



**CNR - IBIMET**

Sede di Sassari

**CNR - IBAF**

Unità staccata  
di Napoli

**CNR - ISMAR**

Sede di Venezia



**Ce.S.I.A.**

Accademia  
dei Geografili



SIMPOSIO

# IL MONITORAGGIO COSTIERO MEDITERRANEO

Problematiche e tecniche di misura



4-5-6 OTTOBRE 2006

**SASSARI** HOTEL GRAZIA DELEDDA



Con il contributo della Regione Autonoma della Sardegna  
Assessorato agli Affari Generali, Personale e Riforma della Regione

CeSIA - Accademia dei Georgofili  
CNR - IBIMET Sede di Sassari

CNR - IBAF Unità Staccata di Napoli  
CNR - ISMAR Sede di Venezia

*Simposio*

**IL MONITORAGGIO COSTIERO MEDITERRANEO:  
PROBLEMATICHE E TECNICHE DI MISURA**

*SASSARI 4-6 OTTOBRE 2006*

Con il contributo della  
Regione Autonoma della Sardegna  
Assessorato agli Affari Generali, Personale e Riforma della Regione

*Elaborazione elettronica del DVD:*  
Matteo De Vincenzi, Alessandro Materassi

*Revisione elettronica dell'impaginazione:*  
Jacopo Casini

DVD realizzato nel dicembre 2006  
dalla Copisteria San Gallo Firenze (Italia)

## ENTI ORGANIZZATORI

CNR Istituto di Biometeorologia IBIMET  
Sede di Sassari

CNR Istituto di Biologia Agro-ambientale e Forestale IBAF  
Unità staccata di Napoli

CNR Istituto di Scienze Marine ISMAR  
Sede di Venezia

Accademia dei Georgofili  
Centro di Studio per l'Applicazione dell'Informatica in Agricoltura

### con la partecipazione di

Regione Autonoma della Sardegna  
Assessorato agli Affari Generali, Personale e Riforma della Regione  
Area Marina Protetta Penisola del Sinis – Isola di Mal di Ventre

### e il contributo di



**Delta OHM**  
Via G.Marconi 5, 35020  
Caselle di Selvazzano (PD)  
Tel. 0498977150  
Fax 049635596  
<http://www.deltaohm.com>  
E.mail: [deltaohm@tin.it](mailto:deltaohm@tin.it)



**ETG s.r.l.**  
via di Porto 159, 50010  
Scandicci (FI)  
Tel. 055.791123  
Fax 055.7221262  
<http://www.etgsrl.it>  
E.mail [etgsrl@etgsrl.it](mailto:etgsrl@etgsrl.it)



## **Comitato Scientifico**

### *Presidente*

Fabrizio Benincasa

CNR Istituto di Biometeorologia – IBIMET Sede di Sassari

### *Componenti*

Claudio Conese

CNR IBIMET Sede di Firenze

Pierpaolo Duce

CNR IBIMET Sede di Sassari

Luigi Alberotanza

CNR ISMAR Sede di Venezia

Giuseppa Tanda

Dipartimento Scienze Archeologiche Storiche e Artistiche Università di Cagliari

Ferdinando Jannuzzi

CNR - IBAF Unità Staccata di Napoli

Donatella Spano

Dipartimento di Economia e Sistemi Arborei Università di Sassari

## **Segreteria Scientifica**

Coordinamento: Matteo De Vincenzi

Componenti: Laura Bonora, Federica Braga, Carla Cesaraccio, Anna Depalmas, Salvatore Patrizio

CNR-IBIMET Sede di Sassari - Via Funtana di Lu Colbu 4/a

Tel. +39079268246-7 Fax +39079268248

e-mail: [simposio@ibimet.cnr.it](mailto:simposio@ibimet.cnr.it)

## **Segreteria Organizzativa**

Coordinamento: Pierpaolo Zara

Componenti: Mario Corrado Duce, Antonietta Falchi, Barbara Mustacciu

CNR-IBIMET Sede di Sassari - Via Funtana di Lu Colbu 4/a

Tel. +39079268246-7 Fax +39079268248

e-mail: [segr.org@ibimet.cnr.it](mailto:segr.org@ibimet.cnr.it)

## PREMESSA

Simposio (dal Devoto-Oli): seconda parte del banchetto greco destinato alla degustazione dei vini prescritti, dal simposiarca, al canto dei carmi, alla recita di poesie e a trattenimenti vari. Per estensione *incontro di congressisti per svolgere una discussione non legata alle formalità*.

Non convegno ma simposio, il relatore traccia l'argomento e gli altri lo discutono e lo approfondiscono *senza alcuna formalità*.

In questi tre giorni dovremmo rivisitare il passato e analizzare il presente, per iniziare a porre le basi per un futuro più attento e responsabile.

Venendo allo specifico spendiamo qualche parola sul Mediterraneo: massa d'acqua dell'Oceano Atlantico racchiusa fra Europa, Asia, Africa. La linea di costa è, molto approssimativamente, di 40000 km ma è estremamente difficile da quantificare, per i forti frastagliamenti delle coste e le innumerevoli isole presenti in questo mare che bagna ventidue nazioni.

Le coste del Mediterraneo sono antropizzate fin dalla preistoria e su di esse si sono sviluppate le culture più formidabili, che commerci e guerre, allora come adesso, si sono confrontate e, tal volta, integrate. Attualmente nelle nazioni bagnate dal Mediterraneo vive, complessivamente, una popolazione di circa 550 milioni di individui ripartiti fra le tre maggiori culture: cristiana, giudaica, mussulmana. Culture in cui la comune radice monoteistica, non è stata e ancora oggi non sembra esserlo, un sufficiente motivo unificante. Così come non sembrano sufficientemente unificanti, e "pacificanti", le norme nazionali e internazionali che attualmente governano i rapporti fra gli Stati, in relazione alla gestione e all'utilizzo delle acque del Mediterraneo.

La forte evaporazione, le scarse precipitazioni, l'afflusso relativamente modesto di acque continentali (un solo grande fiume, il Nilo) fanno sì che il Mediterraneo sia un mare con bilancio idrologico negativo. Questo passivo viene colmato dagli apporti provenienti, in ordine di importanza, dall'Oceano Atlantico, dal Mar Nero e dal Mar Rosso.

Se il Mar Rosso dà un contributo trascurabile in relazione al bilancio idrologico del Mediterraneo, ha però grande influenza sulla sua biologia. Negli ultimi anni, attraverso il Canale di Suez, nel Mediterraneo sono arrivate oltre 250 specie tropicali, fra vegetali, invertebrati e pesci, di cui non sappiamo ancora quale effetto possono avere sulle specie autoctone. Rarissime sono, invece, le specie mediterranee che hanno percorso la strada inversa.

Il sempre più massiccio emungimento di acqua dai fiumi e il costante aumento delle sostanze inquinanti, in essi riversate, stanno alterando fortemente le caratteristiche fisico-chimiche del Mediterraneo, a cui si associano alterazioni della linea di costa. Alterazioni che, in un rigoroso equilibrio dinamico, nei secoli, ci sono sempre state. Ciò che oggi lascia "perplexi" è la velocità con cui avvengono.

Se e come, quanto sopra enunciato per sommi capi, è quantificabile e costituisce un problema, attuale e/o futuro, per il bacino del Mediterraneo, risulterà dalla nostra discussione che prenderà spunto dalle relazioni presentate nelle diverse Sessioni.

Fabrizio Benincasa  
(*simposiarca*)

## INDICE DEI LAVORI

<b>Sessione: Evoluzione della linea di costa ed erosione costiera</b>	<b>1</b>
<b>Presidente: C. Conese</b>	
C. Brandini, A. Ortolani, G. Giuliani, A. Orlandi, B. Gozzini <i>Un sistema previsionale per il monitoraggio dell'erosione costiera</i>	3
G. Fenu, A. Gellon, G. Massaro, B. Paliaga <i>Interventi di protezione della fascia costiera nell'Area Marina Protetta "Penisola del Sinis – Isola di Mal di Ventre" (Cabras – Sardegna)</i>	11
S. Ginesu, F. Secchi, S. Sias, S. Enzo, G. Russino <i>Il monitoraggio sull'intervento pilota di ripascimento lungo il litorale di Fertilia (Sardegna settentrionale)</i>	19
L. Parlagreco, S. Devoti, G. Leoni, P. Montagna, S. Silenzi <i>Variatione della vulnerabilità in una piana costiera del sud pontino (Lazio) in funzione di sei scenari di sollevamento del livello marino per il 2100</i>	29
S. Simeone, C. Dessy, F. Di Gregorio, A. Cucco, B. Paliaga, G. De Falco <i>Analisi della vulnerabilità dei litorali sabbiosi dell'Area Marina Protetta (AMP) Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre</i>	37
S. Cappucci, D. Scarcella, L. Rossi, D. Calarco, C. Mugnai, A. Ausili <i>Monitoraggio indiretto finalizzato al calcolo del volume dei sedimenti marini movimentato nell'intorno del Porto di Marina di Carrara nell'ambito delle attività di dragaggio portuale</i>	45
F. Braga, L. Alberotanza, J. Barbaro, S. Salviato <i>L'evoluzione morfologica dei litorali a sostegno dei piani per la gestione integrata della fascia costiera</i>	55
S. De Muro, C. Kalb, N. Pusceddu <i>Ricerche sedimentologiche e cartografia dell'Osservatorio Coste e Ambiente Naturale Sottomarino (O.C.E.A.N.S.)- Sardegna (Italia)</i>	61
S. Ginesu, F. Russo <i>L'evoluzione del litorale nella costa nord orientale della Sardegna (Costa Smeralda)</i>	69
A. Trigila, C. Iadanza, E. Vittori, B. Dessì <i>La distribuzione e l'evoluzione delle frane costiere in Italia</i>	77
<b>Sessione: Vegetazione costiera</b>	<b>87</b>
<b>Presidente: P. Duce</b>	
S. Acunto, D. Balata, G. Pardi, L. Piazzì, F. Cinelli <i>L'utilizzo delle praterie di Posidonia Oceanica come bioindicatori: un caso di studio</i>	89
G. Bacchetta, G. Fenu, E. Mattana, P. Mulè <i>Monitoraggio e conservazione della flora e della vegetazione costiera nell'Area Marina Protetta di Capo Carbonara (Sardegna Sud Orientale)</i>	97

G. Bovina, S. Cappucci, E. Pallottini, S. Silenzi, S. Devoti <i>Le problematiche generali della gestione delle biomasse vegetali spiaggiate</i>	107
E. L. De Capua <i>Contributo alla conoscenza della flora e della vegetazione del litorale jonico della riserva naturale Bosco Pantano di Policoro (Mt)</i>	115
C.F. Izzi, S. Del Vecchio, A. Acosta <i>Le dune costiere laziali: diversità floristica e gruppi funzionali</i>	123
C. Rugge, G. Marzano, P. Medagli, E. Mallia, A. Longo <i>Studio sui possibili cambiamenti vegetazionali causati dalla nidificazione di Gabbiano reale (Larus cachinnans) nell'Isola di S. Andrea, Gallipoli (Le)</i>	131
L. Bonora, E. Checcacci, M. Romani <i>Forest Fire hazard model definition for local land user (Tuscany Region)</i>	137
C. Rugge, A. Longo, E. Mallia, G. Marzano <i>Conservazione e restauro di una macchia-foresta retrodunale di corbezzolo e quercia coccifera nel comprensorio dei Laghi Alimini, Otranto (Le)</i>	145
R. Carella <i>Le macchie a ginepri del litorale brindisino compreso tra Pilone e Torre Pozzelle (Puglia)</i>	151
<b>Sessione: Fondali, coperture vegetali e qualità delle acque</b>	<b>157</b>
<b>Presidente: L. Alberotanza</b>	
R.M. Bertolotto, S. Albanese, D. D'Arena, R. Della Penna <i>Caratterizzazione delle acque costiere liguri: dal "bianco" al "corpo idrico di riferimento"</i>	159
D. Curiel, A. Rismondo, A. Pierini, D. Mion <i>Definizione dello stato di qualità delle acque della Laguna di Venezia mediante indici di valutazione macrofitobentonici</i>	167
A. Sarretta, S. Guerzoni, D. Tagliapietra, V. Zanon <i>Analisi integrate per la definizione della qualità degli ambienti di transizione</i>	175
A. Ortolani, C. Brandini, R. Costantini, G. Giuliani, F. Maselli, C. Santini, C. Silvestri <i>Valutazione della qualità delle acque nell'area toscana attraverso l'utilizzo integrato di misure, osservazioni remote e modellistica dei processi biogeochimici: applicazione alla pesca</i>	183
L. Alberotanza, J. Barbaro, F. Braga, R. M. Cavalli, S. Pignatti, S. Salviato, F. Santini, A. Zandonella <i>Classificazione della vegetazione sommersa della Laguna di Venezia usando dati iperspettrali da aereo e da satellite</i>	191
A. Pusceddu, R. Danovaro <i>Indicatori di stato trofico e qualità ambientale degli ambienti marini costieri: una prospettiva bentonica</i>	199
J. Barbaro, S. Salviato, F. Braga, L. Alberotanza, G. Angonese, S. Bencivelli <i>Stima delle proprietà bio-ottiche delle acque costiere da dati iperspettrali. Il caso della Sacca di Goro</i>	207



A. Strezov, T. Nonova <i>Radionuclides and Trace Metals in Macroalgae from Uncontaminated Areas in the Black Sea Coast</i>	215
L. Alberotanza, J. Barbaro, F. Braga, R. M. Cavalli, S. Salviato, S. Pignatti, F. Santini <i>Messa a punto di tecniche semiempiriche e di inversione dei dati remoti per la stima quantitativa dei parametri di qualità dell'acqua. Risultati preliminari delle campagne di misura sperimentali nella laguna di Venezia</i>	229
J. Barbaro, S. Salviato, F. Braga, L. Alberotanza <i>Costruzione di una libreria spettrale per le fanerogame della laguna di Venezia</i>	237
R. Bertolotto, C. Cuneo, P. Moretto, V. Parodi <i>Interreg IIIB MEDOCC "POSIDONIA": un'opportunità di confronto e collaborazione</i>	245
R.M. Cavalli, G. Laneve, S. Pignatti, F. Santini <i>Analisi dei parametri di qualità dell'acqua per il controllo della proliferazione delle macrofite</i>	253
A. Faccioli <i>LaserScanner, Interferometria Acustica e SideScanSonar integrati per una fedele rappresentazione delle coste in 3D</i>	261
G. Ferrari, C. Carrer, R. Rosselli, P. Scanferla, M. Beggio <i>Un primo studio sulle acque meteoriche di dilavamento nella Laguna di Venezia</i>	269
T. Pagliani, C. Verri, F. Di Carlo, R. Calabrese <i>Monitoraggio di qualità delle foci della Costa Teatina</i>	277
A. Rismondo, D. Mion, A. Pierini, D. Curiel <i>Metodologie di rilievo e tecnologie GIS nella mappatura delle macrofite acquatiche in Laguna di Venezia</i>	285
A. Spisni, V. Marletto, R. Sciarra, E. Bohm, C. R. Ferrari <i>Il satellite MODIS per il monitoraggio dei fenomeni mucillaginosi nel mare Adriatico</i>	291
<b>Sessione: Archeologia costiera e subacquea</b>	<b>299</b>
<b>Presidente: G. Tanda</b>	
D. Carboni, S. Ginesu <i>Evoluzione della linea di costa in alcuni siti archeologici della Sardegna nord occidentale</i>	301
C. Del Vais, A. Depalmas, A. C. Fariselli, R. T. Melis <i>Il paesaggio costiero della Penisola del Sinis (OR) tra preistoria e storia: aspetti archeologici e ambientali</i>	309
T. Di Fraia <i>Nuove evidenze preistoriche nelle isole di La Maddalena e Caprera</i>	323
G. Lena, A. Rustico <i>Antiche latomie costiere nella Sicilia Sud orientale tra il Capo Passero e il lido di Noto</i>	329
M. Pasquinucci, S. Menchelli, S. Genovesi, P. Sangriso <i>Il sistema portuale dell'Etruria settentrionale e l'evoluzione della sua fascia costiera</i>	337

M. C. Profumo, F. Taccaliti <i>Una peschiera romana al Monte Conero (Ancona)</i>	347
G. Fundoni <i>Pozzi sacri e approdi d'età nuragica nella costa Nord-orientale della Sardegna</i>	355
G. Gabbani <i>L'indagine geofisica per lo sviluppo di un sito archeologico in prossimità della costa tirrenica: l'insediamento termale di Pietratonda (Grosseto)</i>	361
<b>Sessione: Antropizzazione costiera, valorizzazione socio-economica del territorio e recupero ambientale</b>	<b>371</b>
<b>Presidente: F. Jannuzzi</b>	
A. Bertini, M. Guida, A. Jannuzzi, F. Maione, S. Picardi, F. Pisani Massamormile <i>Analisi e recupero ambientale nel Parco Regionale dei Campi Flegrei</i>	373
M. L. Bianchini, S. Ragonese <i>Una idea per lo sviluppo di attività turistiche eco-compatibili lungo le coste italiane</i>	385
M. Calandrelli, M. Naimoli <i>L'evoluzione del sistema insediativo costiero cilentano e le instabilità geomorfologiche in rapporto alla pianificazione territoriale e ambientale</i>	393
G. Campioni Ferrara <i>L'habitat dunale costiero: un laboratorio per progettare il futuro</i>	407
A. Cucco, A. Perilli, G. Umgiesser, S. Simeone, S. Como, P. Magni, G. De Falco <i>Water residence times and flushing features of the Oristano Gulf and Cabras Lagoon</i>	415
R. De Rubertis, A. Cirafici, F. Quici <i>Piano di monitoraggio e di riqualificazione delle fasce costiere italiane</i>	421
E. Chiodo, A. R. Natale, M. L. Pierini <i>Una metodologia di applicazione locale delle linee guida della gestione integrata delle zone costiere: il caso del Comune di Torino di Sangro</i>	429
F. D'Antò, E. Esposito, A. Lanni, M. Morra <i>Gestione sostenibile degli ambienti costieri e balneazione</i>	437
N. Galluzzo <i>L'impatto del turismo rurale e dell'agriturismo sulle aree costiere della regione Lazio</i>	445
G. Lanciani, V. Pierfelice, T. Pagliani <i>Strumenti innovativi di pianificazione ambientale nelle aree costiere: BET, IVE e ISSE</i>	453
G. Massaro, A. de Lucia, E. Molinaroli, B. Paliaga <i>Presenza turistica nell'Area Marina Protetta "Penisola del Sinis – Isola di Mal di Ventre" e suoi effetti sulla fauna ittica costiera: utilizzo del video-visual census</i>	461

## INDICE DEGLI AUTORI

A. Acosta	123	R. Della Penna	159
S. Acunto	89	A. de Lucia	461
S. Albanese	159	C. Del Vais	309
L. Alberotanza	55, 191, 207, 229, 237	S. Del Vecchio	123
G. Angonese	207	S. De Muro	61
A. Ausili	45	A. Depalmas	309
G. Bacchetta	97	R. De Rubertis	421
D. Balata	89	B. Dessì	77
J. Barbaro	55, 191, 207, 229, 237	C. Dessy	37
M. Beggio	269	S. Devoti	29, 107
S. Bencivelli	207	F. Di Carlo	277
A. Bertini	373	T. Di Fraia	323
R. M. Bertolotto	159, 245	F. Di Gregorio	37
M. L. Bianchini	385	S. Enzo	19
E. Bohm	291	E. Esposito	437
L. Bonora	137	A. Faccioli	261
G. Bovina	107	C. Fariselli	309
F. Braga	55, 191, 207, 229, 237	G. Fenu	11, 97
C. Brandini	3, 183	C. R. Ferrari	291
R. Calabrese	277	G. Ferrari	269
M. Calandrelli	393	G. Fundoni	355
D. Calarco	45	G. Gabbani	361
G. Campioni Ferrara	407	N. Galluzzo	445
S. Cappucci	45, 107	A. Gellon	11
D. Carboni	301	S. Genovesi	337
R. Carella	151	S. Ginesu	19, 69, 301
C. Carrer	269	G. Giuliani	3, 183
R. M. Cavalli	191, 229, 253	B. Gozzini	3
E. Checcacci	137	S. Guerzoni	175
E. Chiodo	429	M. Guida	373
F. Cinelli	89	C. Iadanza	77
A. Cirafici	421	C. F. IZZI	123
S. Como	415	A. Jannuzzi	373
R. Costantini	183	C. Kalb	61
A. Cucco	37, 415	G. Lanciani	453
C. Cuneo	245	G. Laneve	253
D. Curiel	167, 285	A. Lanni	437
F. D'Antò	437	G. Lena	329
D. D'Arena	159	G. Leoni	29
R. Danovaro	199	A. Longo	131, 145
E. L. De Capua	115	P. Magni	415
G. De Falco	37, 415	F. Maione	373

E. Mallia	131, 145	M.C. Profumo	347
V. Marletto	291	A. Pusceddu	199
G. Marzano	131, 145	N. Pusceddu	61
F. Maselli	183	F. Quici	421
G. Massaro	11, 461	S. Ragonese	385
E. Mattana	97	A. Rismondo	167, 285
P. Medagli	131	M. Romani	137
R.T. Melis	309	R. Rosselli	269
S. Menchelli	337	L. Rossi	45
D. Mion	167, 285	C. Ruge	131, 145
E. Molinaroli	461	G. Russino	19
P. Montagna	29	F. Russo	69
P. Moretto	245	A. Rustico	329
M. Morra	437	S. Salviato	55, 191, 207, 229, 237
C. Mugnai	45	P. Sangriso	337
P. Mulè	97	C. Santini	183
M. Naimoli	393	F. Santini	191, 229, 253
A.R Natale	429	A. Sarretta	175
T. Nonova	215	P. Scanferla	269
A. Orlandi	3	D. Scarcella	45
A. Ortolani	3, 183	R. Sciarra	291
T. Pagliani	277, 453	F. Secchi	19
B. Paliaga	11, 37, 461	S. Sias	19
E. Pallottini	107	S. Silenzi	29, 107
G. Pardi	89	C. Silvestri	183
L. Parlagreco	29	S. Simeone	37, 415
V. Parodi	245	A. Spisni	291
M. Pasquinucci	337	A. Strezov	215
A. Perilli	415	F. Taccaliti	347
L. Piazzì	89	D. Tagliapietra	175
S. Picardi	373	A. Trigila	77
V. Pierfelice	453	G. Umgiesser	415
A. Pierini	167, 285	C. Verri	277
M.L. Pierini	429	E. Vittori	77
S. Pignatti	191, 229, 253	A. Zandonella	191
F. Pisani Massamormile	373	V. Zanon	175



## SESSIONE PRIMA

# EVOLUZIONE DELLA LINEA DI COSTA ED EROSIONE COSTIERA

**Presidente: Claudio Conese**  
**CNR IBIMET Sede di Firenze**

L'evoluzione di un litorale costiero è il risultato dell'azione combinata di differenti fattori, quali lo stato e l'evoluzione dei fenomeni di dinamica litorale e fluviale, la pressione antropica e naturale sulla fascia costiera e sulle aree interne ad essa afferenti ed infine gli elementi caratterizzanti il territorio dell'area costiera.

Le principali interazioni tra mare e costa possono essere così schematizzate:

- i corsi d'acqua raccolgono materiali nei bacini dell'entroterra e li riversano in mare;
- il mare, con le correnti e il moto ondoso, li ridistribuisce nei fondali e lungo la costa.

L'intervento dell'uomo ha modificato nel tempo questo naturale equilibrio, regimando i corsi d'acqua e rallentando il trasporto di materiale al mare; contemporaneamente il mare lungo la linea di costa è stato sempre più imbrigliato e frenato, con la conseguente riduzione e modifica della capacità di redistribuzione del materiale di apporto.

Il ripascimento è un fenomeno naturale, infatti la linea di battigia non è altro che il risultato dell'equilibrio tra avanzamento ed erosione, e quindi direttamente relazionata con la quantità di materiale apportato dai fiumi e trascinato o meno al di fuori della zona litoranea.

Il monitoraggio dell'evoluzione delle spiagge riveste quindi un ruolo fondamentale nella gestione territoriale delle zone costiere.

La spiaggia inoltre costituisce un elemento di alto valore economico del sistema costiero, ma spesso rappresenta anche quello più fragile e più soggetto a variazioni morfologiche che ne modificano la funzione protettiva dei territori retrostanti e le potenzialità di utilizzazione a fini turistico - ricreativi. Lo studio dell'evoluzione dei litorali è fondamentale per la pianificazione di questa zona densamente popolata, economicamente interessante ma anche complessa e dinamica.

Le regioni costiere dell'Unione europea sono sottoposte a una pressione costante: quasi la metà della popolazione comunitaria vive a meno di 50 km dal mare e le risorse delle zone litoranee producono una parte notevole delle ricchezze economiche della U.E., ed è proprio lungo le coste europee che si trovano alcuni tra i più fragili e preziosi habitat.

La Gestione Integrata della Fascia Costiera (*Integrated Coastal Zone Management/ICZM*) è un processo decisionale continuo che ha lo scopo di risolvere i

conflitti derivati dalla diversità di utilizzo di questa complessa parte del territorio. Questa gestione integrata mira ad aggregare le varie politiche che esercitano un influsso sulle regioni costiere europee e si attua attraverso la pianificazione e la gestione delle risorse e dello spazio costiero. È quindi un processo dinamico destinato ad evolversi e durare nel tempo avvalendosi di iniziative congiunte tra i differenti paesi coinvolti.

Tra i principali aspetti che un programma di gestione integrata della fascia costiera deve affrontare, vi sono la gestione delle spiagge, il controllo dell'erosione costiera e dei rischi naturali; per cui un input di dati specifici è necessario perché si possa condurre tal programma in una forma scientificamente coerente. I principali elementi su cui si fonda una solida gestione integrata delle aree costiere sono:

- avere una panoramica di ampio respiro su problemi interconnessi;
- fondare le decisioni su dati precisi e completi;
- cercare di assecondare le forze naturali;
- tener conto di possibili sviluppi inattesi;
- coinvolgere tutti i soggetti interessati e tutti i livelli dell'amministrazione;
- usare una molteplicità di strumenti (leggi, programmi, strumenti economici, campagne informative, agende 21 locali, accordi volontari, promozione delle buone prassi ecc.).

Risulta quindi evidente l'importanza di studi e ricerche interdisciplinari che permettano di conoscere e misurare i differenti aspetti del fenomeno per fornire quanti più elementi possibile da utilizzare nelle fasi decisionali.

La Sessione Prima del Simposio "Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo: problematiche e tecniche di misura" raccoglie lavori di ricerca che, con differenti tecniche e metodologie, hanno affrontato l'aspetto di quantificazione delle evoluzioni naturali della linea di riva e l'influenza di differenti interventi di ripascimento e protezione; alcuni sotto l'aspetto prettamente teorico altri intervenendo direttamente sul campo sperimentando in differenti aree varie tipologie di intervento, misurando gli effetti di precedenti azioni e valutando le reazioni del "sistema costa". I primi cinque lavori sono stati presentati oralmente, mentre i rimanenti sono stati presentati nella sessione poster.

# UN SISTEMA PREVISIONALE PER IL MONITORAGGIO DELL'EROSIONE COSTIERA

Carlo Brandini, Alberto Ortolani, Graziano Giuliani, Andrea Orlandi, Bernardo Gozzini.  
CNR – Istituto di Biometeorologia Sede di Firenze, Laboratorio LaMMA, Via Madonna del Piano  
Edificio D - 50019 Sesto Fiorentino (FI), Tel. 055 4483052, e-mail: [brandini@lamma.rete.toscana.it](mailto:brandini@lamma.rete.toscana.it)

**Riassunto** – Viene descritto un sistema per la determinazione delle condizioni idrodinamiche costiere costruito attraverso una doppia catena di modelli per rappresentare, rispettivamente, le condizioni meteorologiche, idrodinamiche e di moto ondoso in acque profonde o su larga scala (componente *offshore*), e le trasformazioni d'onda, le correnti litoranee e le variazioni morfodinamiche su scala litoranea (componente *nearshore*). Quest'ultima componente è forzata utilizzando i dati meteomarini ottenuti in *near real time* dalla componente *offshore*, e fornisce un quadro relativo alla situazione idrodinamica su scala litoranea di supporto agli interventi di monitoraggio costiero. Viene inoltre brevemente descritto un nuovo modello che permette di descrivere un campo di moto ondoso reale sotto l'effetto combinato di riflessione, diffrazione e frangimento.

**Abstract** – *A system to forecast coastal hydrodynamics is presented, which includes two main system components for meteorology, hydrodynamics and wave propagation at larger scales (offshore component) and wave transformation, littoral currents and morphodynamics at coastal scales (nearshore components). Near real time meteo, wave and current data are ingested into the nearshore component to support coastal monitoring actions. A short description of a new model for irregular wave propagation in coastal areas under the combined effect of reflection, diffraction and breaking is also described.*

## Introduzione

I processi dinamici che riguardano i sistemi costieri sono caratterizzati da dinamiche fortemente non lineari, tridimensionali e multiscala. In analogia con quanto avviene per la turbolenza, che può essere considerato come il processo multiscala per eccellenza, nelle dinamiche costiere sono stati identificati un gran numero di sottoprocessi a piccola scala che compongono i processi visibili alle scale maggiori, o ne sono a loro volta determinati. Il trasporto solido costiero e i cambiamenti morfologici ad esso associati, infatti, possono essere studiati sotto una vasta gamma di scale spaziali e temporali (microscala, mesoscala, macroscale), a partire dall'istante di inizio del moto di un singolo grano (alla scala temporale caratteristica della turbolenza locale), fino ad arrivare alle grandi variazioni morfologiche determinate, nel lungo periodo, da vasti spostamenti di masse sabbiose (barre *longshore*, dune litoranee, ecc.). Alla macroscale i cambiamenti osservati sono di tipo stagionale e valutati lungo scale spaziali di qualche chilometro (la dimensione spaziale caratteristica è pertanto rappresentata dall'unità fisiografica), mentre alla mesoscale il rateo di trasporto solido viene valutato alla scala temporale di parecchi



periodi d'onda e su distanze comprese tra qualche metro e qualche chilometro. Nonostante che i processi che avvengono su larga scala esibiscano alcune peculiari specificità, molti aspetti della relativa evoluzione costiera possono essere dedotti, anche se in maniera non esclusiva, da effetti caratteristici di scale spazio-temporali inferiori [4]. In anni recenti un grosso sforzo di ricerca è stato compiuto con l'obiettivo di determinare come processi caratteristici di scale spazio-temporali relativamente brevi (moto ondoso e correnti marine, trasporto solido, evoluzione della costa e dei fondali) possano portare agli effetti osservati su scale maggiori.

Il trasferimento di informazioni tra le scale rappresentative dei processi evolutivi costieri costituisce un campo di ricerca di indubbia e intrinseca difficoltà, complicata oltretutto dalla difficoltà nel reperire informazioni ambientali necessariamente multidisciplinari (morfologiche, sedimentologiche, idrodinamiche) e talvolta difficilmente misurabili. Il termine morfodinamica fu coniato nel 1977 da Wright e Thom<sup>1</sup> proprio in riferimento ai processi evolutivi costieri, e riguarda quel complesso di processi di interazione dinamica tra il movimento dell'acqua e dei sedimenti, da una parte, e le variazioni nella topografia del fondo, dall'altra. La morfodinamica costiera quindi non può prescindere dalla valutazione complessiva di processi che comprendono, come minimo, la morfologia, la sedimentologia e l'idrodinamica costiera, oltre, ad esempio, alle dinamiche di trasporto fluviale che determinano gli apporti ai litorali o alla dinamica atmosferica (vento) per quel che riguarda la morfodinamica della spiaggia emersa. L'equilibrio, in senso morfodinamico, nasce in presenza di un bilancio sedimentario in cui il trasporto solido litoraneo, determinato dalle condizioni idrodinamiche che investono la spiaggia (il moto ondoso e le correnti marine per la parte sommersa, il vento per la parte emersa), è compensato dagli apporti esterni a un dato litorale provenienti dalle unità litoranee limitrofe, dai fiumi, oppure, come nel caso dei ripascimenti, dall'intervento umano. Qualsiasi elemento che intervenga ad alterare questa condizione di equilibrio è causa di un'evoluzione morfodinamica che può tradursi in una nuova situazione di equilibrio idro-morfo-sedimentologico il cui risultato finale può sintetizzarsi, in maniera inevitabilmente un po' semplicistica, come erosione o avanzamento di un dato litorale.

Negli ultimi decenni si è assistito a un forte aumento degli interventi umani nella fascia costiera per sfruttarne le molteplici possibilità di sviluppo socioeconomico o per motivi di protezione. Purtroppo tra le cause più evidenti di erosione dei litorali vanno annoverate molte opere realizzate sulla costa e fra queste non solo strutture di grande impatto quali i porti o i pennelli di foce dei fiumi, ma anche le stesse opere realizzate a scopo difensivo. Nonostante la presenza di opere di difesa longitudinali e trasversali, infatti, molte spiagge protette risultano comunque in erosione e le spiagge ad esse limitrofe soffrono, con gravi conseguenze, del mancato apporto di sedimenti intrappolati nel lato sopraflutto, o peggio dispersi dalla circolazione litoranea, modificata dalla presenza stessa delle opere.

Gli interventi di monitoraggio, realizzati per verificare la risposta di un litorale a un mutato equilibrio determinato, ad esempio, dalla costruzione di un porto o di un sistema di opere di difesa, si sono spesso limitati alla misura di quelle componenti dei sistemi morfodinamici litoranei che sono più facilmente osservabili, ovvero la morfologia e la

---

<sup>1</sup> Wright, L. D.; Thom, B. G. - *Coastal depositional landforms: a morphodynamics approach*. Progress in Physical Geography (1977), 1, 412-59

sedimentologia. I dati idrodinamici, in particolare, costituiscono una vera lacuna del sistema, a causa della loro complessità e del costo delle misure (necessariamente sparse), e le condizioni idrodinamiche reali che investono le coste sono praticamente ignote.

Ciononostante, specie in fase di progetto degli interventi sul litorale, vengono comunemente utilizzati modelli numerici per il calcolo del moto ondoso, delle correnti marine, e del trasporto solido, che tuttavia non sono quasi mai validati rispetto alle condizioni reali. Questi modelli potrebbero fornire uno strumento utile per il monitoraggio delle condizioni (idrodinamiche) che potenzialmente determinano l'erosione costiera, ma solo a patto di utilizzare dei dati più attendibili e dei modelli più coerenti per la ricostruzione delle forzanti ai singoli moduli. Nella valutazione delle condizioni idrodinamiche costiere vengono invece utilizzati dati di moto ondoso "al largo" ricavati tramite elaborazione statistica di dati poco distribuiti nello spazio e nel tempo (informazioni da boe, navi in transito) e che non permettono di eseguire correttamente previsioni per scenari futuri. Oggi sono disponibili una serie di strumenti che permettono il calcolo in tempo reale della variabilità delle condizioni meteorologiche e, di conseguenza, dello stato del mare. Si tratta in gran parte, allo stato attuale, di modelli numerici che operano su larga scala e che tuttavia assimilano la gran mole di dati, sia remoti che *in situ*, misurati dalle reti di osservazione meteorologiche ed oceanografiche su scala mondiale. Questi modelli, vengono quindi configurati nelle specifiche situazioni locali, permettendo così di propagare a costa, e al livello di dettaglio desiderato, le condizioni iniziali, i dati al contorno e le forzanti per gli specifici modelli di dettaglio costieri, che descrivono le caratteristiche del moto ondoso a costa e le correnti litoranee che da questo si generano.

In questo lavoro viene descritto un prototipo di sistema integrato per l'analisi e la previsione dell'idrodinamica costiera a partire dalle informazioni derivate a scala sinottica, con l'obiettivo di fornire dati idrodinamici a scala locale da associare al quadro delle conoscenze morfologiche e sedimentologiche per realizzare un monitoraggio più completo della situazione attuale e degli interventi di modifica dei litorali. Il sistema integrato si compone di due sottosistemi che riguardano, rispettivamente, la valutazione delle condizioni di moto ondoso, correnti marine e venti al largo (componenti *offshore*), e la valutazione delle condizioni idrodinamiche, meteorologiche e morfodinamiche su scala costiera locale (componenti *nearshore*).

## **Il sistema di previsione offshore**

I modelli con cui è costruita la parte *offshore* del sistema previsionale, la cui architettura è sintetizzata in Figura 1, sono:

- un modello meteorologico a mesoscala, a fisica completa, in grado di fornire tutte le forzanti atmosferiche (vento, pressione atmosferica, scambi di calore, flussi radiativi, evaporazione e precipitazione) ai modelli marini (WRF);
- un modello non stazionario di previsione del moto ondoso in acque profonde, che descrive i processi di generazione, propagazione e trasformazione del moto ondoso (WW3);
- un modello idrodinamico di larga scala che descrive i pattern di circolazione, legati sia alle forzanti atmosferiche sia ai gradienti di densità (ROMS);

- un modello non stazionario di previsione locale, che permette la propagazione del moto ondoso dal largo alle acque costiere, interpretando opportunamente la fisica del moto ondoso in acque basse (SWAN).

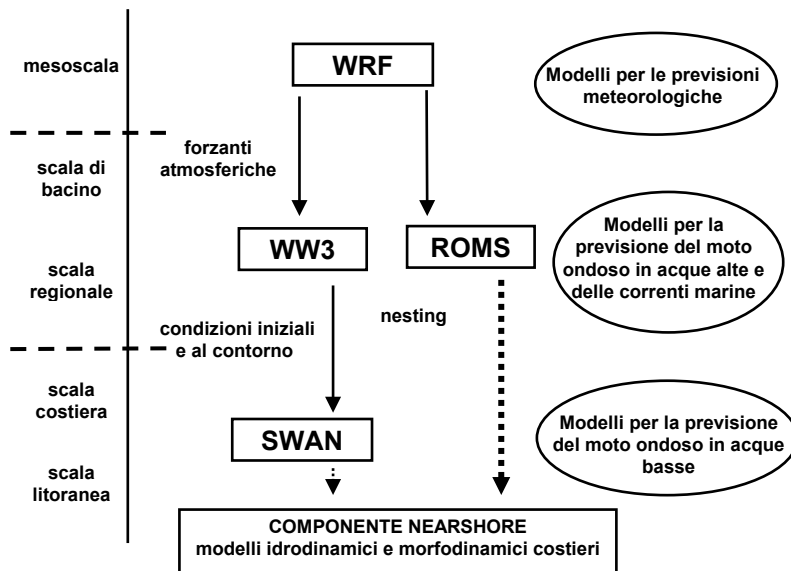


Figura 1 Architettura della componente offshore del sistema previsionale. *Offshore system architecture.*

Ognuno di questi modelli può essere considerato come stato dell'arte all'interno dei modelli utilizzati, negli specifici ambiti di applicazione, da parte della comunità scientifica. Si tratta di *community models* sviluppati come sforzi congiunti di grossi gruppi di ricerca, e costruiti in modo da permetterne facilmente la configurazione su piattaforme di calcolo parallelo.

Il modello di previsione meteorologica WRF (Weather Research and Forecasting system) costituisce una infrastruttura flessibile nella quale sono inseriti differenti schemi dinamici e fisici di descrizione dell'atmosfera terrestre, in grado di garantire, attraverso un'interfaccia standard di programmazione, i servizi comuni di un modello di previsione (input/output, calcolo parallelo, inizializzazione variazionale, gestione degli schemi parametrici e dinamici, pre e post processing). Il modello di previsione meteo, operativo presso il LaMMA, viene inizializzato 4 volte al giorno utilizzando i dati di analisi dei modelli a scala globale NCEP (National Center for Environmental Prediction) ed ECMWF (European Center for Medium-range Weather Forecast) con risoluzione spaziale di 10 km sull'intero bacino del Mediterraneo. La doppia inizializzazione e le quattro corse giornaliere permettono di ottenere una previsione ad alta affidabilità per applicazioni di analisi ambientale quali appunto l'inizializzazione di modelli marini.

La determinazione delle correnti marine su scala da mediterranea a regionale è affidata al modello ROMS (Regional Ocean Modelling System) sviluppato dalla Marine Rutgers University, configurato per girare su un dominio regionale che copre, al momento,

il Mediterraneo Nord Occidentale, alla risoluzione media di circa 3 km (con un dettaglio di 1.5 km sull'area Toscana). Il modello descrive le principali caratteristiche idrodinamiche del bacino su larga scala, quali le correnti superficiali da vento e i macrovortici guidati da gradienti di pressione di origine termalina. Il modello viene inizializzato utilizzando i dati di analisi e le condizioni al contorno del progetto MFSTEP.

WAVEWATCH 3 (WW3) è un modello non stazionario di terza generazione che risolve l'equazione di bilancio della densità di azione spettrale sia nel dominio spaziale (propagazione) che nel dominio frequenze-direzioni [6]. Implicitamente si assume che il campo di moto ondoso vari su scale spazio-temporali molto più grandi di quelle corrispondenti alla scala di una singola onda (per cui il modello non copre condizioni in cui le onde subiscono rapidi processi di trasformazione ad opera dei fondali - come avviene nella surf-zone). Il modello è operativo presso il LaMMA con una risoluzione media di 10 km su tutta l'area mediterranea, e di circa 2 km sull'area regionale toscana.

I modelli a larga scala possono dettare le condizioni al contorno a modelli di dettaglio su aree prossime a costa, a patto di rispettare alcune caratteristiche proprie della propagazione non lineare in acque basse. L'interfaccia tra i modelli di dettaglio descritti nel successivo paragrafo e il modello di moto ondoso su larga scala è realizzata attraverso il modello SWAN [2] che, pur mantenendo un approccio simile a WW3, descrive più compiutamente la fisica della propagazione del moto ondoso in acque basse, e con uno specifico approccio numerico che lo rende molto efficiente per questo tipo di applicazioni. Sia SWAN che WW3, per loro natura, risolvono solo quantità mediate sulla fase, e non permettono di descrivere alcune caratteristiche fondamentali legate all'impatto del moto ondoso con i litorali, quali la riflessione e la diffrazione d'onda.

Tecnicamente i modelli girano su un cluster di PC con sistema operativo Linux utilizzando 40 processori a 2GHz interconnessi su rete gigabit ethernet tramite il middleware MPICH2, ed i dati di output sono forniti in uscita nel formato standard WMO GRIB (World Meteorological Organization GRIdded Binary), e resi fruibili tramite tecnologia OpenDAP (Open Data Access Protocol) sulla rete intranet del Laboratorio LaMMA.

Le previsioni prodotte dalle componenti operative del sistema e la bibliografia di base dei singoli modelli sono consultabili alla pagina <http://www.lamma.rete.toscana.it/>.

## **Il sistema di previsione nearshore**

Il sistema di previsione meteomarina al largo, precedentemente descritto in estrema sintesi, non è per sua natura in grado di descrivere la complessità delle condizioni idrodinamiche che si verificano vicino a costa. I modelli di moto ondoso usati per la fornitura di dati meteomarini in chiave previsionale, ad esempio, non sono in grado di descrivere compiutamente le trasformazioni d'onda in acque basse, mentre i modelli idrodinamici definiti su larga scala non utilizzano mai, come forzante, il flusso di quantità di moto provocato dalle onde nella zona dei frangenti. Questo contributo è, d'altra parte, importante solo nella cosiddetta zona dei frangenti, o *surfzone*, e tuttavia la determinazione del cosiddetto *radiation stress* (i cui gradienti costituiscono la forzante prodotta dal moto ondoso che genera le correnti litoranee) rappresenta l'ingrediente fondamentale nel calcolo delle correnti sia in direzione parallela a costa (correnti *long-shore*) che in direzione

ortogonale (correnti *cross-shore*). Le caratteristiche topografiche e strutturali di gran parte degli interventi da monitorare impone pertanto l'utilizzo di modelli che descrivano, in buon dettaglio, le caratteristiche idrodinamiche nella fascia litoranea. I modelli utilizzati nella componente *nearshore* del sistema previsionale la cui architettura è sintetizzata in Figura 2, sono:

- un modello idrodinamico in acque basse, che descrive la formazione delle correnti litoranee (*long-shore* e *cross-shore*) da parte del moto ondoso;
- un modello di moto ondoso non mediato sulla fase, in grado di descrivere le trasformazioni d'onda in acque basse (rifrazione, shoaling, frangimento, riflessione e diffrazione);
- un modello morfodinamico che, a partire dalle stime locali di trasporto solido determinate dalla conoscenza combinata del moto ondoso, delle correnti, e delle caratteristiche morfologiche e sedimentologiche locali, descrive l'evoluzione di breve termine dei fondali marini.

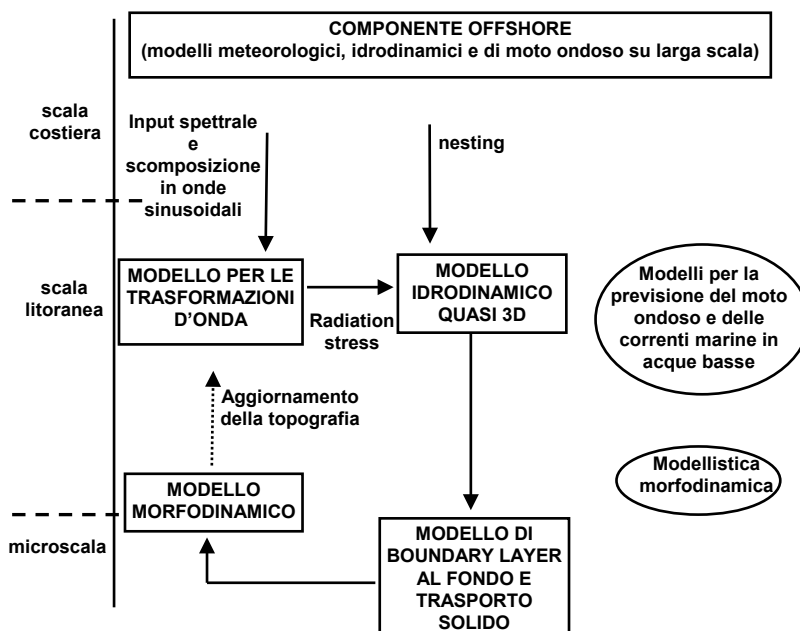


Figura 2 Architettura della componente nearshore del sistema previsionale. *Nearshore component architecture.*

Il modello idrodinamico è costruito attorno al set di equazioni di base che descrivono le correnti e il livello medio marino in acque basse, ovvero le equazioni di continuità, quantità di moto, e gli schemi di parametrizzazione turbolenta. I gradienti di *radiation stress*, che costituiscono le forzanti del modello idrodinamico nella fascia litoranea, sono determinati dal modello per le trasformazioni d'onda in acque basse, mentre

le condizioni al contorno sono ottenute a partire dal modello idrodinamico su larga scala. Il modello morfodinamico è invece costruito utilizzando due fondamentali ingredienti: una formula di trasporto, che è possibile selezionare tra le molte presenti in letteratura (si veda ad esempio [5]) e l'equazione di continuità dei sedimenti, che fornisce le variazioni (a breve termine) della topografia dei fondali determinata dalle condizioni idrodinamiche e di moto ondoso precedentemente calcolate.

Il moto ondoso in prossimità della fascia litoranea rappresenta probabilmente l'elemento più delicato del sistema previsionale, e l'elemento più originale di questo lavoro, e viene di seguito illustrato con maggiore dettaglio.

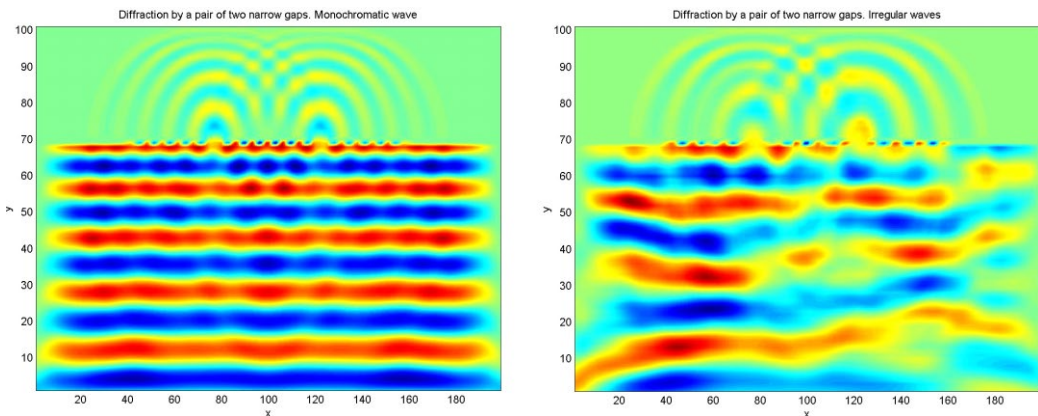


Figura 3 Simulazione di un *pattern* di diffrazione prodotto su una barriera parallela a costa con due aperture: caso di onda monocromatica (a sinistra) e generalizzazione al caso di onde irregolari (a destra). *Diffraction patterns produced by incident waves on a barrier with two narrow gaps: monochromatic (left side) and irregular- full spectral (right side) cases.*

## Un nuovo modello per le trasformazioni d'onda in acque basse

I motivi principali che hanno motivato la formulazione di un nuovo modello risiedono, da una parte nella necessità di rappresentare compiutamente alcuni elementi dalla cui valutazione non può prescindere un sistema di monitoraggio costiero, quali appunto la diffrazione e la riflessione in prossimità della costa, dall'altra nella necessità di non disperdere il contenuto di informazione ottenuto dai dati meteorologici forniti dal sistema *offshore* nella forma di spettri direzionali d'energia. I modelli correntemente impiegati, infatti, si limitano perlopiù a sintetizzare la propagazione costiera attraverso un'unica onda di altezza e periodo significativi e direzione media.

Nel nostro sistema abbiamo inserito un nuovo modello che utilizza una formulazione lineare delle equazioni d'onda note come *mild slope equations* [3], ma generalizzato al caso di onde irregolari. Il modello risolve, utilizzando uno schema numerico di tipo esplicito, la versione iperbolica delle equazioni *mild slope*. Viene inoltre inserita, all'interno dello schema, una formulazione della dissipazione che simula il frangimento d'onda. Le condizioni al contorno del modello nei contorni aperti sono di tipo

radiativo, unite, nei contorni laterali, a uno *sponge layer* per minimizzare gli effetti di riflessioni spurie. L'input, a differenza dei modelli tradizionali "non mediati", è di tipo spettrale: le singole componenti dello spettro (discretizzate in direzione e frequenza) vengono propagate indipendentemente, mentre la dissipazione agisce, in modo non lineare, sull'involuppo complessivo. In questo modo è possibile utilizzare, come condizioni al contorno, dei *wavemaker* che ricostruiscono (utilizzando fasi *random*) il segnale ipotetico di una boa "virtuale" posizionata all'esterno del dominio di calcolo. Quest'ultimo è determinato utilizzando gli spettri direzionali ottenuti attraverso il modello SWAN e scomposti in un numero di onde sinusoidali tali da conservare il contenuto energetico dello spettro originario.

## Conclusioni

Il quadro illustrato in precedenza, necessariamente sintetico, non vuole fornire una generica carrellata di modelli impiegati in maniera telescopica, ma vuole anzitutto dimostrare che la possibilità di utilizzare in *near real time* dati meteorologici nelle valutazioni delle condizioni idrodinamiche e di moto ondoso che localmente possono determinare l'erosione costiera è non soltanto auspicabile (nella considerazione degli elevati standard di qualità e precisione ormai raggiunti dai dati di analisi e di previsione) ma fattibile. La molteplicità delle scale spazio-temporali coinvolte nei problemi di idrodinamica costiera obbliga ad utilizzare un gran numero di modelli la cui gestione può risultare complessivamente onerosa. Il costo computazionale dei modelli idrodinamici e morfodinamici costieri è tuttavia ancora troppo elevato per pensare ad applicazioni su larga scala della metodologia descritta, ma i singoli moduli possono essere attivati o in via sperimentale (nei termini dell'applicazione prototipale qui descritta) oppure *on demand* in aree particolarmente sensibili o comunque oggetto di interventi il cui costo giustifica l'adozione di adeguate azioni di monitoraggio.

## Bibliografia essenziale

- [1] AA.VV. – *State of Nearshore Processes Research*. Report based on the Nearshore Research Workshop, St. Petersburg, Florida, Settembre, 1998.
- [2] Booij N., Ris R.C. and Holthuijsen L.H.;- *A third-generation wave model for coastal regions. Model description and validation* -. Journal of Geophysical Research (1999), 104 C4, 7649-7666.
- [3] Copeland, G. J. M., - *A practical alternative to the "mild-slope" wave equation* - Coastal Engineering (1985), 9, 125-149.
- [4] De Vriend H. J., - *Mathematical modelling and Large-Scale Coastal Behaviour* - Journal of Hydraulic Research (1991), 29 (1), 727-740.
- [5] Fredsoe, J. and Deigaard, R. - *Mechanics of Coastal Sediment Transport* - (1994), World Scientific.
- [6] Tolman, H. L. - *A third-generation model for wind waves on slowly varying, unsteady and inhomogeneous depths and currents* -. J. of Phys. Ocean. (1991), 21, 782-797.

# INTERVENTI DI PROTEZIONE DELLA FASCIA COSTIERA NELL'AREA MARINA PROTETTA “PENISOLA DEL SINIS – ISOLA DI MAL DI VENTRE” (CABRAS – SARDEGNA)

Giuseppe Fenu<sup>1</sup>, Antonello Gellon<sup>2</sup>, Giorgio Massaro<sup>2,3</sup>, Bruno Paliaga<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Conservazione Biodiversità (CCB), Dipartimento di Scienze Botaniche, Università degli Studi di Cagliari, Viale Sant'Ignazio da Laconi 13 – 09123 Cagliari, Tel. 070 6753509,

Fax 070 6753509, e-mail: fenugiuseppe@tiscali.it;

<sup>2</sup>Area Marina Protetta “*Penisola del Sinis – Isola di Mal di Ventre*”;

<sup>3</sup>Dipartimento di Scienze Ambientali, Università “Cà Foscari” di Venezia.

**Riassunto** – L'Area Marina Protetta “*Penisola del Sinis – Isola di Mal di Ventre*” ha intrapreso da tempo un'azione di monitoraggio e studio dell'evoluzione degli arenili. L'analisi di dettaglio per indagare l'evoluzione della fascia costiera è partita da un momento zero che ha fornito le indicazioni di base da monitorare successivamente: l'alterazione morfologica delle dune conseguente al grado di discontinuità, la mappatura delle componenti biologiche con particolare riferimento alla copertura vegetale e la spiaggia emersa e sommersa. L'individuazione delle zone di erosione ha permesso quindi di far partire il monitoraggio costiero e gli interventi per la tutela, seguendo inoltre, con studi successivi, i parametri dipendenti dalla geomorfologia e i parametri meteo-marini.

Dagli inizi del 2003 è iniziata una fase di analisi della vegetazione psammofila che ha portato all'elaborazione di una *checklist* floristica e all'identificazione delle principali associazioni vegetali presenti.

**Abstract** – *For a long time Marine Protected Area “Penisola del Sinis – Isola di Mal di Ventre” studies the evolution of shores and coastal habitats.*

*This study established the start point that provided us with basic information about morphological alteration of dunes and distribution/map of biological elements. We mainly consider the plant cover of dunes and the coastal erosion. These consideration allowed to start monitoring and protection actions.*

*From the beginning of 2003 an analysis of psammophilous vegetation started and it provided the plant checklist and the identification of main vegetal association in Sinis.*

## Introduzione

L'Area Marina Protetta “*Penisola del Sinis – Isola di Mal di Ventre*” (AMP), istituita con Decreto Ministeriale 12.12.1997 e modificata nel 2003, è situata nella costa centro-occidentale della Sardegna, occupa una superficie di 25.000 ha di mare (seconda per estensione in Italia) e comprende circa 30 km di costa; la gestione è affidata dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare al Comune di Cabras.

L'AMP è il principale propulsore per l'attivazione di politiche di gestione



ambientale del territorio orientate allo Sviluppo Sostenibile. Le coste del Sinis sono molto esposte all'azione dei venti e del moto ondoso e vengono quindi modellate continuamente dall'azione del mare che demolisce le falesie ma allo stesso tempo accumula grandi quantità di sedimenti nei tratti di costa bassa. Tutta la fascia litorale si presenta con un'alternanza di coste basse e sabbiose interrotte da falesie più o meno alte, di colore diverso a seconda del elemento litologico dominante. Una peculiarità del territorio è dovuta alla differente composizione sedimentologica degli arenili: i sedimenti delle spiagge sono composti da sabbie grossolane quarzose arricchite da una componente biogenica, a granulometria più fine, che si presenta più cospicua nella parte meridionale della Penisola del Sinis.

A ridosso dei sistemi dunari quarzosi sono presenti depressioni che danno origine a caratteristiche paludi retrodunali (*Chea sa Zibba, Is Arutas* e in particolare *Mari Ermi*).

Le litologie e i sedimenti che costituiscono la costa risentono dell'evoluzione naturale impressa dagli agenti ambientali ai quali si deve l'attuale morfologia del litorale sul quale si esplica l'effetto continuo, naturale e antropico, singolo o associato, nell'evoluzione delle forme. A causa dell'elevato idrodinamismo i litorali del Sinis sono esposti a un moto ondoso particolarmente intenso; è stato dimostrato infatti che questa è una delle zone del Mediterraneo in cui le onde, generate dal Maestrone, raggiungono le ampiezze maggiori. Nelle litologie compatte, in particolare in quelle a quote maggiori sul livello del mare, sono facilmente evidenziabili rischi di crollo per frana, in quei settori ove i sedimenti miocenici mostrano diversa consistenza e quindi più facile erodibilità. Nelle coste basse l'azione erosiva si esplica con l'arretramento della linea di battigia soprattutto lungo i litorali sabbiosi; infatti la forte presenza dell'uomo in particolari situazioni, concentrate in brevi periodi dell'anno, sulla spiaggia emersa e sui campi dunari retrostanti, innescano fenomeni di sbilanciamento naturale che si ripercuotono in una anomala redistribuzione dei sedimenti con accentuazione del fenomeno erosivo.

Lo studio della vegetazione dei litorali oltre ad avere un elevato interesse scientifico, consente anche di dare opportune valutazioni sulla qualità dell'ambiente, guidando quindi le scelte nella gestione e conservazione dell'Area Marina Protetta. La vegetazione riveste un ruolo fondamentale nell'equilibrio morfodinamico delle spiagge: valutarne lo stato di salute, leggerne i fenomeni di disturbo e di conseguenza adottare misure di compensazione, restauro o ripristino delle diverse associazioni vegetali psammofile può consentire un elevato grado di protezione contro l'erosione dei litorali.

Il progetto complessivo di protezione della fascia costiera, sviluppato in più annualità con interventi modulari, prevede la partecipazione e il supporto di diversi partner come il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, la Regione Sardegna e la Provincia di Oristano. Tra gli obiettivi principali vi sono il contenimento dei fenomeni di degrado del sistema dunale, la delimitazione degli ambienti sensibili, il ripristino degli habitat, la conservazione (*in situ* ed *ex situ*) di specie vegetali endemiche, rare, minacciate e d'interesse fitogeografico.

## **Materiali e Metodi**

L'implementazione delle conoscenze del territorio sono la base e il supporto imprescindibile per una corretta pianificazione e gestione delle risorse naturali, capace di promuovere lo sviluppo socio-economico del territorio e allo stesso tempo conservare,

restaurare o ripristinare le condizioni di naturalità e equilibrio ecologico dell'area.

Il lavoro di analisi della copertura vegetale è stato condotto tramite rilevamenti in campo, fotointerpretazione di riprese aeree multitemporali, campionamenti *in situ*, controlli e verifiche delle informazioni raccolte su carte tematiche o altri documenti.

L'indagine floristica è stata realizzata nel periodo compreso tra gennaio 2003 e settembre 2006, durante il quale sono state compiute numerose escursioni, distribuite su tutte le stagioni dell'anno. L'indagine floristica si è basata su una indagine bibliografica preliminare che ha consentito di acquisire i dati relativi ad alcuni settori della fascia costiera, e in particolare l'isola di Mal di Ventre [14], Capo San Marco [4], Torre Seu [15] e Mari Ermi [16]. L'analisi è stata successivamente integrata con una verifica dei campioni d'erbario depositati presso il Dipartimento di Scienze Botaniche dell'Università di Cagliari (*Herbarium CAG*). La nomenclatura delle unità tassonomiche è stata recentemente aggiornata secondo quanto riportato nella *checklist* della flora vascolare d'Italia [7].

Lo studio della vegetazione psammofila è stato condotto con il metodo fitosociologico, nel periodo 2003-2004. L'analisi fitosociologica ha portato all'individuazione di associazioni, alla definizione delle loro caratteristiche ecologiche e alla definizione della loro collocazione sintassonomica.

A partire da giugno 2006, nell'ambito delle attività finalizzate alla redazione dei Piani di Gestione dei pSIC, si sta operando attraverso rilevamento *in situ* con GPS palmare con supporto di un software GIS mobile (ArcPad 7.0): vengono rilevate delle coordinate perimetrali degli habitat e delle associazioni vegetali presenti, la presenza di unità tassonomiche endemiche, rare e/o minacciate, la presenza e l'abbondanza di specie aliene e invasive, la presenza di fenomeni di degrado e le minacce attuali o potenziali. Sul palmare è possibile caricare oltre la cartografia anche foto aeree multitemporali opportunamente georeferenziate. In tal modo è possibile verificare direttamente sul campo ed orientarsi a verificare situazioni già conosciute.

Lo strumento consente inoltre di archiviare per ogni singolo dato rilevato delle osservazioni o delle informazioni puntuali che possono essere poi facilmente trasferiti sul database del GIS principale.

## Risultati

Le ricerche condotte sulla documentazione bibliografica e direttamente sul campo hanno consentito di censire 646 unità tassonomiche (comprese 58 entità sottospecifiche) riconducibili a 325 generi e 78 famiglie, presenti lungo tutta la fascia costiera.

Rispetto agli altri gruppi sistematici dominano le *Dicotyledones* con 59 famiglie, 242 generi e 478 specie. Per quanto riguarda le famiglie si osserva che quelle maggiormente rappresentate sono le *Poaceae* (78 specie), le *Asteraceae* (77) e le *Fabaceae* (76) con valori molto simili tra loro; seguono le *Caryophyllaceae* con 30 specie, le *Apiaceae* con 25 e le *Liliaceae* con 23. Tutte le altre famiglie presentano un numero di specie di gran lunga inferiore rispetto a quelle citate. La *checklist* floristica relativa ai soli settori sabbiosi risulta invece costituita da 102 unità tassonomiche appartenenti a 79 generi e 33 famiglie.

Particolare attenzione è stata posta nello studio delle unità tassonomiche endemiche e quelle di interesse fitogeografico, che possono essere considerati come indicatori di qualità del territorio. La componente endemica è pari al 4,6 % del totale della

flora e risulta importante sottolineare che di queste ben il 63,5 % sono specie ad areale sardo o sardo-corso. Tra le specie endemiche rivestono particolare importanza quelle esclusive del Sinis: *Limonium capitis-marci* Arrigoni et Diana, *Limonium lausianum* Pignatti, *Limonium tharrosianum* Arrigoni et Diana, *Limonium pseudolaetum* Arrigoni et Diana, *Limonium tenuifolium* (Bertol. ex Moris) Erben e *Limonium oristanum* Meyer, recentemente descritto [12]. Il genere con il maggior numero di endemiche è il genere *Limonium* (*Plumbaginaceae*) con ben 9 unità tassonomiche [1]; tre di queste hanno il loro *locus classicus* a Capo S. Marco (*Limonium capitis-marci*, *L. lausianum* e *L. tharrosianum*) mentre un'altra specie (*Limonium pseudolaetum* Arrigoni et Diana) è prioritaria ai sensi della Direttiva 92/43/CEE. Tra le specie di interesse fitogeografico merita particolare attenzione *Helianthemum caput-felis* Boiss, specie dell'Allegato II della Direttiva 92/43/CEE, in quanto le stazioni del Sinis sono le uniche presenti in Italia.

Tutte le informazioni floristiche sono state archiviate su un database in continua implementazione, nel quale per ogni unità tassonomica viene anche riportata la forma biologica, espressa secondo le sigle riportate in Pignatti [17], e la forma corologica. Nel database viene anche inserito, quando disponibile, un record relativo alla categoria di rischio in base ai criteri IUCN [8; 18; 19] e l'indicazione relativa alla presenza negli allegati della CITES, della Convenzione di Berna o della Direttiva 92/43/CEE.

Le analisi condotte sulla vegetazione psammofila hanno consentito di individuare le principali associazioni presenti e di valutarne lo stato di conservazione. I sistemi dunali litoranei del Sinis sono caratterizzati dalla presenza del geosigmeto psammofilo sardo. La serie presenta una articolazione catenale, con diversi tipi di vegetazione (terofitica alonitrofila, geofitica ed emicriptofitica, camefitica, terofitica xerofila, fanerofitica) che tendono a distribuirsi parallelamente alla linea di battigia e corrispondono a diverse situazioni ecologiche in relazione alla distanza dal mare e alla diversa granulometria del substrato [2; 5; 6; 9; 12]. Rivestono notevole importanza le formazioni delle zone umide costiere caratterizzate dalla presenza di comunità vegetali altamente specializzate, attualmente in fase di studio. Infine rivestono particolare interesse le numerose comunità alorupicole costiere caratterizzate da specie endemiche del genere *Limonium* Miller, sulle quali ancora non esistono studi specifici.

Sulla base delle prime analisi è stato possibile, nel corso del 2002, presentare un progetto pilota finalizzato alla protezione della fascia costiera, finanziato dalla Regione Sardegna attraverso fondi strutturali (POR 2000-2002, Misura 1.3 – Difesa del Suolo).

Gli obiettivi e le finalità del progetto si esplicano attraverso diverse modalità di intervento con la duplice valenza di salvaguardia ed infrastrutturazione del litorale. Trattandosi di un progetto pilota si è operato in modo da privilegiare la reversibilità degli interventi e nell'ottica di ridurre la frammentazione degli habitat, dovuta principalmente alla frequentazione antropica non regolamentata. Numerosi studi infatti indicano che la frammentazione, causando una diminuzione delle superfici degli habitat e un aumento delle zone di margine, può facilitare la diffusione e l'invasione di specie esotiche e ruderali, o comunque estranee agli habitat originari [20] che risultano vincenti in situazioni di forte eterogeneità a causa della loro elevata plasticità. La frammentazione produce effetti anche sulle popolazioni di specie portando ad un declino nel numero di individui, aumentandone il rischio di estinzione, anche a seguito di riduzione del flusso genico, modificazioni delle interazioni interspecifiche che modificano i tassi demografici [10] e portando in definitiva ad un declino della ricchezza e della diversità specifica.

Il progetto prevede interventi di salvaguardia del litorale con opere di difesa e rinaturalizzazione degli ambienti dunali compromessi dalla viabilità e dall'utilizzo antropico non regolamentato. Al fine della razionalizzazione degli accessi agli arenili è previsto l'arretramento delle piste litoranee, la realizzazione di passerelle e il posizionamento di dissuasori e recinzioni per impedire il traffico veicolare all'interno dei cordoni dunali. Infatti si è osservato che il carico turistico sulle coste è legato alla disposizione della viabilità principale che fa confluire la maggior parte delle persone in alcuni siti piuttosto che in altri. Le strutture di accesso al mare verranno realizzate con passerelle modulari in legno poggiate sul terreno e completamente amovibili; la loro funzione è duplice: da un lato evitare l'accesso indiscriminato che danneggia la vegetazione e dall'altro ridurre l'asportazione involontaria della sabbia da parte dei bagnanti.

I consolidamenti di versanti, la stabilizzazione delle dune, le opere di bonifica e drenaggio verranno realizzati con tecniche di ingegneria naturalistica, controllando l'intensità delle lavorazioni nelle varie fasi operative ed eseguendo gli interventi prevalentemente a mano o con mezzi meccanici di piccole dimensioni. Sono inoltre previste la realizzazione di aree di sosta per il periodo estivo, esterne ai sistemi dunali, e il posizionamento di dispositivi informativi per sensibilizzare gli utenti, indirizzandoli a comportamenti rispettosi dell'ambiente.

Da giugno 2006 si sta lavorando per la redazione dei Piani di Gestione dei pSIC "Dune di San Giovanni" e "Stagno di Mistas", che costituiscono un ulteriore momento di analisi per pianificare interventi di protezione della fascia costiera. Il lavoro finora svolto si è concentrato nella analisi della vegetazione reale, con particolare attenzione per associazioni di rilevante interesse per la protezione del sistema dunale e per quelle endemiche presenti sul territorio. Nell'area di Mistras, infatti, è presente e ben rappresentata l'associazione *Plantagino crassifoliae-Limonietum oristani* Biondi, Diana, Farris *et* Filigheddu 2001 [3], endemica ed esclusiva del golfo di Oristano, che vegeta sulle sabbie umide retrodunali e peristagnali. La presenza in piccoli nuclei discontinui di tali aspetti di vegetazione non rappresenta affatto un sintomo di degrado, quanto piuttosto una peculiarità ecologica specifica di tali cenosi. L'individuazione *in situ* di questa associazione e la valutazione dello stato di conservazione consente di pianificare gli interventi di gestione compatibili con un soddisfacente grado di tutela finalizzata al mantenimento di un elevato livello di biodiversità. Nella stessa ottica di conservazione si è operato per censire e quantificare le aree attualmente invase da specie esotiche al fine di proporre adeguati di eradicazione (figura 1). Le specie esotiche infatti costituiscono uno dei più attuali problemi ambientali in quanto vengono considerate come la seconda causa di minaccia e riduzione della biodiversità nella biosfera dopo la degradazione, frammentazione e perdita di habitat [13]. Non a caso la Convenzione sulla Diversità Biologica indica tra gli obiettivi quello di impegnarsi a prevenire l'introduzione e promuovere l'eradicazione di quelle specie esotiche che minacciano la conservazione degli ecosistemi, degli habitat e delle specie native.

Recentemente la Regione Sardegna ha finanziato, con fondi "Accordo di Programma Quadro", il secondo lotto del progetto di gestione integrata della fascia costiera; il progetto, cofinanziato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, riprende gli stessi obiettivi di tutela già presenti nel progetto pilota e si integra con le schede di intervento elaborate nell'ambito dei Piani di Gestione dei SIC.

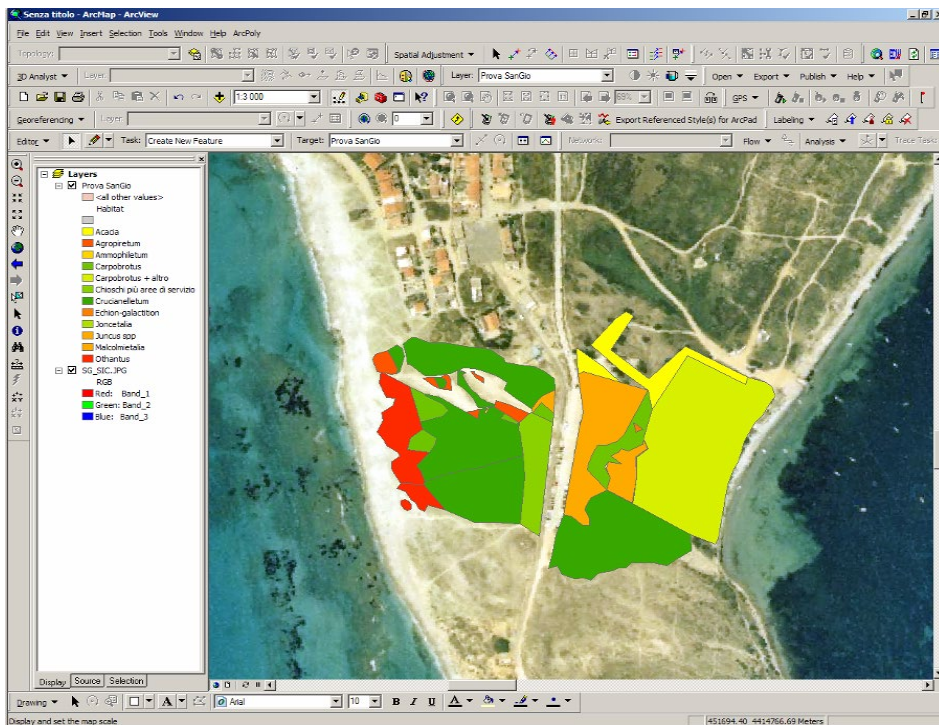


Figura 1 – Bozza mappatura specie esotiche nel SIC “San Giovanni di Sinis”.  
*First map of exotic species in the SAC “San Giovanni di Sinis”.*

## Discussione

Attualmente il progetto pilota è ancora in fase di realizzazione, a causa della difficoltà ad ottenere in tempi ragionevolmente brevi tutte le autorizzazioni necessarie da parte dei diversi Enti Regionali coinvolti. A tali difficoltà si deve sommare la totale mancanza, a livello regionale e nazionale, di chiare direttive necessarie per la realizzazione di progetti integrati di gestione della fascia costiera.

Un elemento da ponderare nella pianificazione di interventi di protezione della fascia costiera è quello legato alla sistemazione della viabilità, all’individuazione di aree destinate alla sosta dei veicoli e al posizionamento delle passerelle che devono essere individuate ed organizzate con il Regolamento di gestione del litorale, in attuazione di un Piano di Utilizzo organico dei Litorali, ancora in fase di definizione.

Risulta fondamentale, in relazione ai nuovi progetti, continuare l’analisi della vegetazione su tutta la fascia costiera, con particolare attenzione allo studio delle cenosi maggiormente minacciate e meritevoli di conservazione; tra queste merita citare una associazione endemica recentemente descritta, *Limonietum pseudolaeti – glomerati* Biondi, Diana, Farris *et* Filigheddu 2001 [3], caratterizzata dalla presenza di *Limonium pseudolaetum* e le formazioni a *Ephedra distachya* L. presenti lungo la fascia costiera; da un punto di vista gestionale gli interventi che determinano una modificazione della

morfologia dei cordoni sabbioso-argillosi potrebbero compromettere tali cenosi.

Un altro problema che emerge è la totale carenza sul mercato florovivaistico di materiale vegetale per le rinaturazioni proveniente da germoplasma autoctono di origine certificata. In tutti gli interventi proposti infatti è prevista la rinaturalizzazione con specie autoctone ma risulta difficile reperire germoplasma. In tale ottica si inquadra la collaborazione in via di definizione con il Centro Conservazione Biodiversità (CCB) dell'Università di Cagliari finalizzata alla conservazione *in situ* ed *ex situ* della biodiversità vegetale. Il CCB opera per garantire la conservazione *in situ* delle entità vegetali e degli habitat, attraverso il monitoraggio delle popolazioni e del loro *status* di conservazione mentre le strategie di conservazione *ex situ* vengono attuate dalla Banca del Germoplasma della Sardegna (BG-SAR) [11]. L'individuazione del protocollo di germinazione ottimale per le unità tassonomica di potenziale impiego negli interventi di ripristino o recupero ambientali, attraverso le tecniche e le metodologie dell'ingegneria naturalistica, consente di moltiplicare le stesse sia presso le strutture del CCB sia in vivaio.

## Conclusioni

La conoscenza dello stato attuale delle coste e l'analisi degli eventi che possono determinare sostanziali trasformazioni sono strumenti indispensabili per chi intende pianificare interventi mirati alla sostenibilità. Come azione preparatoria ai progetti e in funzione di una "sistematizzazione" dei dati conoscitivi sull'area, il Comune e l'AMP hanno sviluppato un GIS, implementato continuamente, che si pone come obiettivo la raccolta e l'archiviazione di tutte le informazioni sul territorio, mettendole successivamente in rete in modo da favorire forme di sviluppo coerenti e sostenibili. Per l'implementazione delle informazioni è indispensabile promuovere studi e progetti pilota di monitoraggio sulle componenti biotiche e abiotiche del territorio, in linea con quanto previsto dal decreto istitutivo dell'area protetta. Risulta fondamentale, per assicurare l'efficacia degli interventi di protezione della fascia costiera, continuare e implementare la campagna di informazione e sensibilizzazione finalizzata a promuovere una fruizione consapevole.

Un'ulteriore attività da implementare, in sinergia con Università e Centri di ricerca specializzati, riguarda le misure di conservazione *in situ* ed *ex situ* della biodiversità, così come richiesto dalle principali convenzioni internazionali recepite dall'Italia.

## Ringraziamenti

Si ringrazia lo staff dell'AMP "Penisola del Sinis – Isola di Mal di Ventre" e del Centro Conservazione Biodiversità per il supporto continuo. Si ringrazia inoltre il Comune di Cabras e il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

## Bibliografia

- [1] [1] Arrigoni P.V., Diana S. – *Karyology, chorology and bioecology of the genus Limonium (Plumbaginaceae) in Sardinia*, Plant Biosystems, (1999), 133 (1), 63-71.

- [2] [2] Bartolo G., Brullo S., De Marco G., Dinelli A., Signorello P., Spampinato G. – *Studio fitosociologico sulla vegetazione psammofila della Sardegna Meridionale*, Coll. Phytosoc., (1992), XIX, 251-273.
- [3] [3] Biondi E., Diana S., Farris E., Filigheddu R. – *L'Ordine Limonietalia Br.-Bl. et O. Bolòs 1958 in Sardegna*, Fitosociologia, (2001), 38 (2), 37- 44.
- [4] [4] Bocchieri E., Mulas B. – *Phytogeographic studies in the Sinis peninsula (C.W. Sardinia): Capo S. Marco*, Flora Mediterranea, (1996), 6, 119-147.
- [5] [5] Brambilla C., Caneva G., De Marco G., Mossa L. – *Analisi fitosociologica della seriazione psammofila costiera nella Sardegna Meridionale*, Ann. Bot. (Roma), (1982), 40, 69-96.
- [6] [6] Brullo S., Giusso Del Galdo G.P., Siracusa G., Spampinato G. – *Considerazioni fitogeografiche sulla vegetazione psammofila dei litorali italiani*, Biogeographia, (2001), Vol XXII, 93-137.
- [7] [7] Conti F., Abbate G., Alessandrini A., Blasi C. – *An Annotated Checklist of the Italian Vascular Flora*, (2005), Palombi Editore, Roma.
- [8] [8] Conti F., Manzi A., Pedrotti F. – *Liste rosse regionali delle piante d'Italia*, (1997), Università degli Studi di Camerino, Camerino.
- [9] [9] De Marco G., Mossa L. – *La vegetazione psammofila costiera nella Sardegna Meridionale*, Lav. Ital. Biogeogr., (1983), 8, 171-188.
- [10] [10] Jules E.S., Shabani P. – *A broader ecological context to habitat fragmentation: why matrix habitat is more important than we thought*, J. Veg. Sci., (2003), 14, 459-464.
- [11] [11] Mattana E., Fenu G., Bacchetta G. – *La Banca del Germoplasma della Sardegna (BG-SAR): uno strumento per la conservazione del germoplasma autoctono sardo*. Inform. Bot. Ital., (2005), 37(1, parte A), 144-145.
- [12] [12] Meyer A. – *Comparative study of the coastal vegetation of Sardinia (Italy) and Crete (Greece) with respect to the effects of human influence*, (1995), IHW-Verlag, Munchen.
- [13] [13] Mooney H.A., Hobbs R.J. – *Invasive Species in a Changing World*, (2000), Island Press, Washington.
- [14] [14] Mossa L., Scrugli A., Milia G. – *Flora e Vegetazione dell'isola di Mal di Ventre (Sardegna centro-occidentale)*, Rend. Sem. Fac. Sci. Univ. Cagliari, (1984), 54(1), 119-142.
- [15] [15] Mulas B. – *La flora del promontorio di Torre del Sevo (Sardegna Centro-Occidentale)*, Webbia, (1993), 47(2), 259-276.
- [16] [16] Mulas B. – *La flora dello stagno di "Mari Ermi" (Cabras, Sardegna centro-occidentale)*, Rend. Sem. Fac. Sci. Univ. Cagliari, (1986), 56 (2), 27-41.
- [17] [17] Pignatti S. – *Flora d'Italia*, (1982), Edagricole, Bologna.
- [18] [18] Pignatti S., Menegoni P., Giacanelli V., (eds.) – *Liste rosse e blu della flora italiana*, (2001), Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Roma.
- [19] [19] Scoppola A., Spampinato G. (eds.) – *Atlante delle specie a rischio di estinzione*. In: Scoppola A., Blasi C. (eds.) – *Stato delle conoscenze sulla flora vascolare d'Italia*, (2005), Palombi Editore, Roma.
- [20] [20] With K.A. – *The landscape ecology of invasive spread*, Conservation Biology, (2002), 16, 1192-1203.

## IL MONITORAGGIO SULL'INTERVENTO PILOTA DI RIPASCIMENTO LUNGO IL LITORALE DI FERTILIA (SARDEGNA SETTENTRIONALE)

Sergio Ginesu,<sup>1</sup> Francesco Secchi<sup>1</sup>, Stefania Sias<sup>1</sup>, Stefano Enzo<sup>2</sup> & Gianfranco Russino<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Istituto di Scienze Geologiche e Mineralogiche, Corso Angioj 10, 07100 Sassari, Tel. 079 2006653,

Fax 079-231250, e-mail: [ginesu@uniss.it](mailto:ginesu@uniss.it).

<sup>2</sup>Dipartimento di Chimica, Via Vienna 2, 07100 Sassari

<sup>3</sup>AMP Porto Conte, Alghero

**Riassunto** – La sintesi dei dati dedotti dalla letteratura al riguardo, indica che ampi tratti di litorale dell'Isola di Sardegna sono sottoposti a fenomeni di erosione. Tali processi, ostacolano fortemente la fruizione turistica e creano danni alle infrastrutture imponendosi pertanto come problemi di protezione civile. Sulla base di queste premesse, si è proceduto in diverse zone dell'Isola a promuovere interventi di ripascimento artificiale dei litorali. Nel litorale di Alghero l'erosione negli ultimi 50 anni ha prodotto un arretramento che raggiunge i 40 m. Pertanto, l'Amministrazione comunale ha proceduto nella primavera del 2004 ad eseguire un modesto intervento di ripascimento lungo il tratto di litorale di Fertilia (in corrispondenza del centro congressi) peraltro interessato da frequenti fenomeni di esondazione sul piano stradale. Si tratta di un intervento pilota eseguito prelevando 5000 m<sup>3</sup> di depositi sabbiosi provenienti dalla cosiddetta "passeggiata Brusché" di Alghero. I depositi utilizzati sono classificabili come sabbie fini che mostrano una composizione quarzoso-feldspatica simile a quella osservata nel tratto di litorale di Fertilia. Le fasi di esecuzione sono state monitorate attraverso la raccolta di dati geomorfologici e analitici eseguiti su campioni prelevati nell'arco di circa due anni. L'intervento ha avuto l'immediato vantaggio di produrre un sensibile arretramento del limite dell'onda di tempesta evitando l'esondazione del piano stradale. I dati granulometrici suggeriscono che nell'arco di un anno si è avuto un rimaneggiamento dei sedimenti con apporti significativi della corrente litorale, ristabilendo un riequilibrio verso la composizione originaria. L'analisi diffrattometrica e il contenuto estremamente basso di elementi in tracce quali Pb, Cd, Cu, Ni, As, Sb, V e Mo, confermano l'idoneità dei sedimenti utilizzati nel ripascimento. Complessivamente, i dati raccolti evidenziano un andamento positivo dell'intervento eseguito e l'efficacia dei sedimenti utilizzati nell'area pilota.

**Abstract** – *Wide shoreline portions of the Sardinia Island suffered erosional phenomena that obstacle the beach management and create serious damages to the infrastructures. Moreover, several beach of the Sardinia Island has been subjected to nourishment of shorelines. In the north western Sardinia, the local Administration of Alghero town, proceeded during the spring of 2004 to replenish the shoreline of Fertilia town (near to the "Palazzo dei Congressi") because frequently interested to flood on the street plan. The project was realized using about 5000 m<sup>3</sup> of sand deposits dredged from the so called "Passeggiata Brusché" of Alghero, along the dismantled railway. Used materials are fine-grained sands that show commonly quartz-feldspar composition and sedimentological*



*characters quite similar to those observed in the shoreline of Fertilia. Work phases are monitored collecting geomorphological and analytical data in the time span of two years approximately. The analysis of the beach profile indicate a sensitive regression of the limit of the storm wave, avoiding the flood on the street plan. Analytical data suggest that the used sediments suffered reworking processes caused by the long shore drift. The behaviour of sediments in frequency curves show a reequilibrium tendency towards those original patterns. X-ray diffractometer and chemical analyses of selected trace elements (Pb, Cd, Cu, Ni, As, Sb, V and Mo), indicate the suitability of used sediments because of the lack of clay minerals and extremely low contents of hazardous elements. The whole data set, confirm the of the project and the efficiency of the sand deposits used to restore the choosed area.*

## **Introduzione**

Il presente studio affronta le problematiche derivate dal pressante problema dell'erosione della fascia costiera lungo il litorale di Alghero. A fronte del fenomeno si è proceduto ad eseguire uno studio preliminare su un'area campione fortemente compromessa da fenomeni erosivi. Lo studio ha la finalità di monitorare nel tempo gli effetti sulla dinamica litorale e l'evoluzione dei sedimenti utilizzati per il ripascimento. L'area prescelta è stata individuata nella zona di Maria Pia dove i problemi relativi all'erosione sono più evidenti come spesso mostrano gli interventi di protezione civile eseguiti per evitare l'allagamento del piano stradale prospiciente la spiaggia (Fig. 1).

La zona individuata (Fig. 2) ha un'estensione di circa 250 m su cui sono stati riversati circa 3000 m<sup>3</sup> di sedimenti che hanno portato nell'immediato ad un avanzamento del profilo di spiaggia di circa 1 m. A seguito di questa prima fase di intervento eseguita



Fig. 1 – Fenomeni di esondazione sul piano stradale prospiciente il tratto di litorale di Maria Pia (1999).  
*Flood phenomena on the street plan, along the Maria Pia coastline (1999)*

nella primavera del 2004, si sono tenuti in osservazione alcuni parametri quali il profilo della linea di riva con lo scopo di individuare gli effetti di massimo arretramento durante gli eventi estremi. Le analisi granulometriche eseguite su campioni prelevati nelle differenti stagioni suggeriscono il diverso andamento dei sedimenti sottoposti agli effetti del moto ondoso e della deriva litorale.

## Inquadramento dell'area di studio

Il litorale di Maria Pia è situato nei pressi dell'abitato di Fertilia, nella porzione settentrionale della baia di Alghero (Fig. 2).

L'intero tratto di litorale è inquadrabile fra le spiagge a bilancio chiuso (*pocket beach*); alimentato da sabbie provenienti dall'erosione di paleo-spiagge e paleo-dune che affiorano estesamente lungo il tratto di costa algherese. Il litorale evidenzia un forte spostamento dei sedimenti dal tratto centrale verso gli opposti promontori, determinando una deriva indotta dall'isola della Maddalena posta all'imboccatura del Golfo [3]. Lo studio

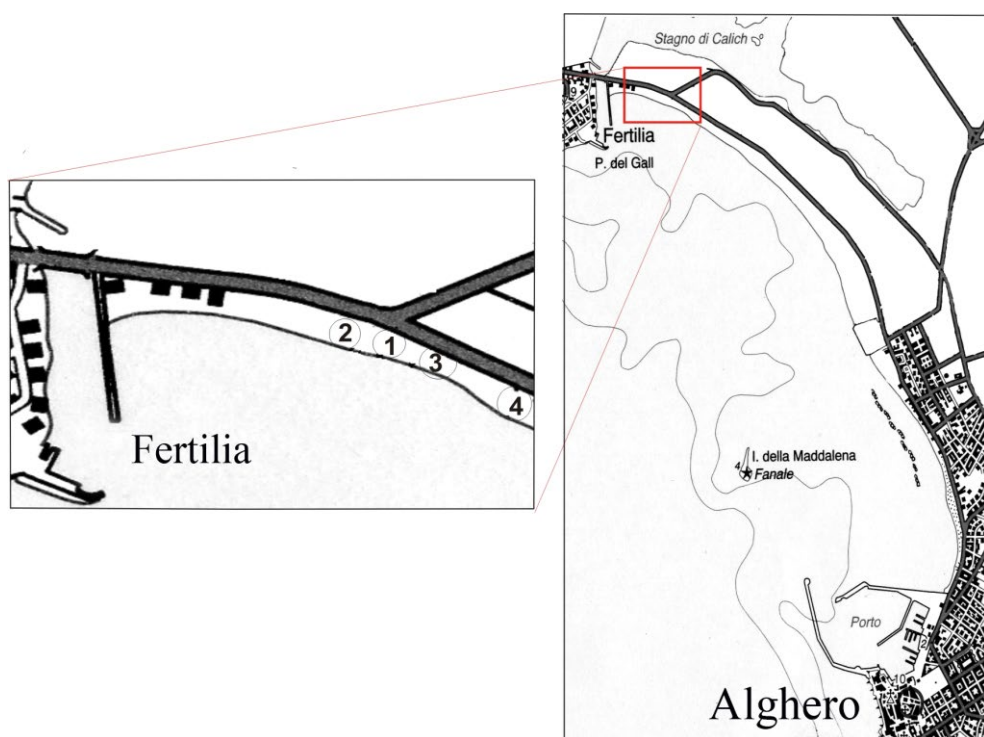


Fig. 2 - Localizzazione del settore in studio. I numeri 1, 2, 3 e 4 nel riquadro si riferiscono ai campioni della serie FRTL prelevati nel periodo gennaio 2005-gennaio 2006 nel litorale di Maria Pia.

*Localization of investigated area. Numbers 1, 2, 3 and 4 refer to the analyzed FRTL samples sampled during the period January 2005 - January 2006.*

dell'evoluzione della linea di riva nel litorale di Alghero ha messo in evidenza, nel triennio di osservazione 1999-2002, un arretramento della linea della riva di circa 3.5 m [2], un dato che conferma un progressivo avanzamento del livello del mare nell'ultimo 50 anni. Le osservazioni permettono di valutare in oltre 250 m<sup>3</sup>/anno, il volume complessivo della sabbia perduta nel triennio di osservazione. Questa situazione rende l'intera spiaggia della rada di Alghero particolarmente fragile, esponendola a maggior rischio erosivo che, in alcuni punti, ha oramai raggiunto situazioni di particolare gravità. L'erosione della spiaggia è più evidente nel settore meridionale, già oggetto negli anni '80 di misure di protezione quali barriere frangiflutti situate lungo il lido di Alghero. Le cause dell'erosione sono state attribuite dagli Autori alla pesante pressione antropica a cui è soggetta la rada di Alghero che induce uno squilibrio sedimentario definito a bilancio chiuso per i limitati apporti fluviali.

## Caratteri geologici e geomorfologici

Il settore di Alghero è caratterizzato da coperture sedimentarie mesozoiche e subordinatamente vulcaniche riferibili al ciclo Oligo-miocenico, (Fig. 3).

Le sequenze mesozoiche affiorano estesamente nella porzione settentrionale dell'area investigata e costituiscono uno dei tratti geologici e geomorfologici più salienti del paesaggio. A contatto per faglia con le sequenze mesozoiche, giacciono le coperture vulcaniche riferibili al ciclo Oligo-miocenico rappresentate da ignimbriti lapidee (di composizione variabile da daciti a rioliti) e piccoli corpi ipoabissali di composizione dioritica. Si tratta delle estreme propaggini del vulcanismo oligo-miocenico estesamente diffuso nel Logudoro-Bosano e che, sulla base di numerosi dati radiometrici K-Ar, Rb-Sr e Ar-Ar è riferibile all'intervallo temporale 27-15 Ma [4].

Dal punto di vista tettonico, l'area in esame è posizionata tra il blocco di Montresta e quello della Nurra (*sensu* [5]). Tali blocchi si localizzano all'interno del principale ramo del cosiddetto Rift sardo che verosimilmente ridefinisce antiche strutture compressive paleogeniche, dando luogo a blocchi basculati e bacini di tipo *half-graben* colmati dalle successioni vulcaniche oligo-mioceniche. I dati desunti dalla letteratura al riguardo suggeriscono che il vulcanismo calcalalino di questa regione, come del resto tutto il vulcanismo oligo-miocenico di tutta la Sardegna, è in relazione con processi di subduzione della litosfera oceanica tetidea, con conseguente deriva del blocco sardo-corso [4].

Estese coperture sedimentarie di età pleistocenica caratterizzano la piana di Alghero. L'unità volumetricamente più significativa è rappresentata da arenarie a cemento carbonatico che si spingono in continuità anche nell'entroterra e che rappresentano paleospieggie e paleo-dune conseguenti alle oscillazioni del mare durante il Pleistocene sup. [2]. Localmente, si osservano intercalati alle arenarie dei livelli di paleosuoli riferibili alle fasi interglaciali. In prossimità della linea di costa, le arenarie sono coperte da sabbie eoliche organizzate in sistemi dunari di età wurmiana, ampiamente colonizzati da coperture vegetali.

Depositi siltoso-argillosi sono individuati nell'area archeologica di Sant'Imbenia e suggerisco l'esistenza di un paleo-stagno legato alle oscillazioni della linea di riva in epoca olocenica [1]. Depositi attuali sono localizzati lungo i corsi d'acqua, perlopiù costituiti da ghiaie e sabbie derivanti dal rimaneggiamento di antichi depositi pleistocenici.

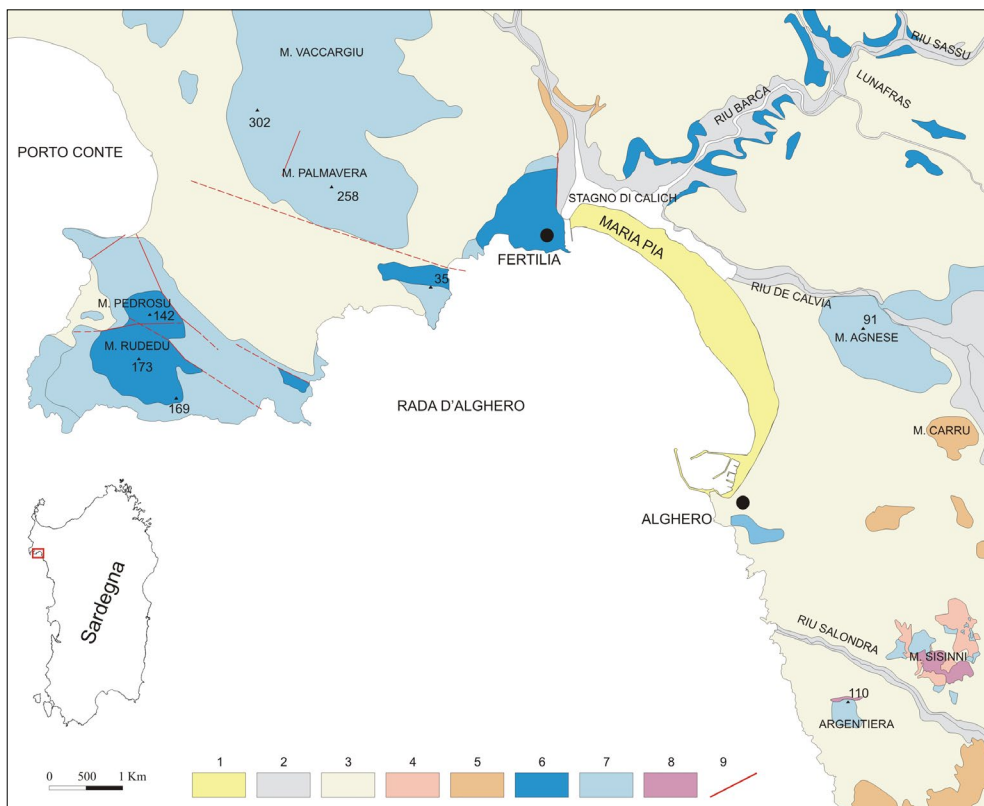


Fig. 3 - Schema geologico semplificato della zona di Alghero. Modificato da: [2, 1 e 4]. 1-3 coperture recenti (Pleistocene-Olocene): (1) sabbie costiere attuali; (2) depositi fluviali attuali; (3) arenarie a cemento carbonatico. 4-5 ciclo vulcanico Oligo Miocenico. (4) Ipoabissaliti di composizione variabile da tonalitica a dioritica; (5) piroclastiti di flusso saldate, di composizione da rioliti a daciti. 6-8 coperture mesozoiche: (6) conglomerati e dolomie (Trias); (7) Calcari indifferenziati a Rudiste (Cretaceo sup.); (8) marne dolomitiche e conglomerati (Giurese). Altri simboli. faglie certe e presunte (9)

*Simplified geological sketch map of Alghero area. Modified after: [2, 1 e 4]. 1-3 recent covers (Pleistocene-Holocene): (1) beaches; (2) recent fluviale deposits; (3) sandstones. 4-5 Oligo-Miocene orogenic volcanic cycle. (4) Small subvolcanic bodies; (5) welded ignimbrites. 6-8 mesozoic covers: (6) dolomias and conglomerates (Trias); (7) undifferentiated limestones (upper Cretaceous); (8) dolomitic marl and conglomerates (Jurassic). Other symbols: main faults (9)*

## L'intervento di ripascimento

L'opera di ripascimento ha previsto diverse fasi di studio, precedute da un attento monitoraggio dei lavori di scavo e dalla caratterizzazione dei sedimenti prelevati. La fase successiva al ripascimento è stata monitorata attraverso il prelievo di campioni della parte

emersa della spiaggia artificiale e di quella naturale durante l'arco di circa 2 anni.

Lo scavo è stato eseguito per una profondità non superiore ai 50 cm; la sezione ottenuta ha evidenziato un deposito di sabbie fini con arricchimento di resti algali nella parte bassa che suggeriscono la natura litorale del sedimento osservato. Infatti, lo studio morfologico preliminare ha individuato la zona di prelievo come tratto intermedio del litorale di S. Giovanni, oggetto oltre cento anni fa, della costruzione della linea ferroviaria ormai dismessa. Sono state prelevate circa 5000 m<sup>3</sup> di sabbie depositate provvisoriamente nel tratto di litorale in prossimità della zona di escavazione. Ciò ha comportato la perdita di oltre 2000 m<sup>3</sup> di materiali per effetto di dilavamento superficiale. Il ripascimento realizzato nel tratto di Fertilia, offre l'indubbio vantaggio di utilizzare sedimenti appartenenti allo stesso ciclo morfogenetico e morfodinamico che ha determinato l'esistenza dell'intera rada di Alghero. La porzione particolarmente ricca di elementi algali è stata utilizzata come orizzonte inferiore allo scopo di stabilizzare il corpo sabbioso, seguendo una sequenza che vede la parte più sabbiosa negli strati superiori mentre quella a componente minore in quelli inferiori.

L'inizio dei lavori nel litorale di Maria Pia ha previsto uno scavo dell'area di intervento per una profondità massima di circa 1.50 m onde preservare la sabbia attuale con caratteristiche granulometriche proprie della dinamica litorale di quel tratto. Il taglio ha evidenziato una sequenza dei sedimenti con un arricchimento verso il basso di materiale argilloso di colore grigio-verde. Ciò conferma quanto osservato in altre zone del litorale dove sono stati identificati depositi di paleo-stagno derivati da spostamenti della linea di riva in epoca olocenica. Successivamente, il materiale prelevato nella "passeggiata Brusché" è stato riversato nella sede di scavo a partire dal ciglio stradale con stadi di avanzamento progressivi sino ad una fase terminale che ha originato una scarpata di circa 1.5 m dal livello del mare. La fase ultima ha previsto il riversamento dei sedimenti della stessa spiaggia asportati all'inizio dell'operazione di riversamento. Le successive mareggiate hanno ristabilito un profilo di spiaggia conforme alla dinamica litorale del tratto di spiaggia.

## Dati analitici

Sono stati prelevati campioni della spiaggia originaria (FRTL3 e FRTL4) e della porzione oggetto del ripascimento (FRTL1 e FRTL2), ripetuta in 3 periodi (12 gennaio 2005, 20 luglio 2005 e 15 gennaio 2006) a circa 5 m dalla battigia ed in condizioni atmosferiche differenti (Fig. 2).

L'osservazione al microscopio binoculare ha evidenziato la presenza in tutti i campioni di quarzo e bioclasti, e in misura minore feldspati (potassici e plagioclasici). I campioni FRTL3 e FRTL4 mostrano sensibili differenze granulometriche e cromatiche che alla scala cromatica Munsell, variano da grigio-marroncino chiaro (10YR 6/2; FRTL3) alle tonalità biancastre (2.5Y 8/2; FRTL4). Anche i campioni provenienti dalla spiaggia artificiale mostrano alla stessa scala, tonalità del grigio-chiaro (5YR 7/1 in FRTL1; 10YR 7/1 in FRTL2).

L'analisi diffrattometrica, effettuata su tutti i campioni con un diffrattometro per polveri Bruker D8 ad alto angolo munito di monocromatore di grafite e utilizzando la radiazione K<sub>α</sub> del rame pari a  $\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$ , ha confermato natura e composizione quarzoso-feldspatica delle sabbie osservate per via ottica, e la mancanza di minerali argillosi. I dati

Tab. 1 - Composizioni mineralogiche (esprese in peso %) delle sabbie analizzate.

<i>Campione</i>	<i>Qz</i>	<i>Pl</i>	<i>Cc</i>	<i>Arg</i>	<i>Kf</i>	<i>Rwp</i>
<i>Spiaggia di Fertilia</i>						
FRTL1	33.2	21.3	11.6	30.6	3.3	6.1
FRTL2	55.0	26.0	6.0	10.0	3.0	10.8
FRTL3	41.1	19.8	9.0	26.2	3.8	5.7
FRTL4	58.4	20.6	6.5	9.8	4.7	8.9
<i>Campioni di sabbia prelevati in cava</i>						
SNLRNZ1	62.6	14.8	b.d.	b.d.	22.6	8.3
SNLRNZ2	47.2	25.3	b.d.	b.d.	17.6	10.2
MRS	33.0	52.1	b.d.	b.d.	12.5	13.0
CDRNGNS	36.6	52.2	b.d.	b.d.	10.3	9.6

Le incidenze quantitative sono state ottenute applicando il metodo di Ritweld alla diffrazione dei raggi *X* dei campioni analizzati. b. d. indica contenuti modali al disotto del limite di rivelabilità, che nelle nostre condizioni è attorno al 2 %. *Qz*, *Pl*, *Cc*, *Arg* e *Kf* indicano rispettivamente quarzo, plagioclasio sodico, calcite, aragonite e K-feldspato. *Rwp* rappresenta un parametro statistico indice della bontà della determinazione quantitativa. I campioni prelevati in cava provengono da coltivazioni impostate su livelli sedimentari marini riferibili al Miocene, in località San Lorenzo (SNLRNZ), Mores (MRS) e Codrongianus (CDRNGNS).

*Quantitative data have been obtained by X-ray diffraction using the Ritweld method. b. d. refer to concentrations below the detection limit, that not exceed 2 % in used conditions. Qz, Pl, Cc, Arg e Kf refer to quartz, Na-plagioclase, calcite, aragonite and K-feldspar respectively. Rwp represent a statistical parameter constructed with the normalized sum of residual squares. Samples SNLRNZ, MRS and CDRNGNS refer to samples coming from quarries of Logudoro.*

composizionali ottenuti, indicano che i campioni utilizzati per il ripascimento sono mineralogicamente indistinguibili da quelli originari (Tab. 1).

Le analisi chimiche di alcuni elementi in traccia (Pb, Cd, Cu, Ni, As, Sb, V e Mo), indicano valori di questi elementi estremamente bassi e comunque decisamente al di sotto dei limiti più restrittivi consentiti dalla legge per l'incidenza di questi elementi negli interventi antropici (Tab. 2). I valori misurati sono peraltro coerenti con le caratteristiche minero-petrografiche osservate.

Infatti, i campioni sono globalmente caratterizzati dall'associazione quarzo, bioclasti e subordinatamente feldspati (sabbie di Fertilia), fasi in cui sono notoriamente trascurabili gli effetti di vicarianza degli elementi in traccia analizzati. L'incidenza maggiore, è osservata per il Pb che raggiunge 5 ppm nei campioni di Fertilia.

Sulla base delle percentuali relative a ciascuna classe granulometrica, ottenute con le consuete metodiche, sono stati tracciati gli istogrammi di frequenza per i prelievi effettuati nei tre differenti periodi dell'anno (Fig. 4). Tali istogrammi mostrano sostanzialmente, che si tratta di sabbie fini. Inoltre è evidente una maggiore omogeneità di caratteri nei campioni delle sabbie originarie (FRTL3-FRTL4), oltre che una sostanziale simile distribuzione in tutti i campioni analizzati. I campioni prelevati il 20 luglio 2005, mostrano un sensibile spostamento verso le frazioni grossolane nei campioni FRTL1 e FRTL2 provenienti dalla

porzione di litorale oggetto di ripascimento, mentre le sabbie originarie, confermano sostanzialmente il quadro distributivo osservato per il precedente campionamento del gennaio 2005 (Fig. 4).

Lo spostamento verso la frazione grossolana delle sabbie è relativo al campionamento effettuato al termine di una mareggiata e pertanto risente delle modificazioni legate alla dinamica del moto ondoso. Gli effetti sono evidenti solo nei campioni in corrispondenza del tratto oggetto dell'intervento in quanto è il punto più depresso nel profilo di spiaggia. I diagrammi di frequenza costruiti per i campioni prelevati il 15 gennaio 2006, mostrano globalmente caratteri quasi indistinguibili da quelli osservati per il precedente gennaio 2005.

Pertanto dopo un anno di osservazioni effettuate, nell'area oggetto di intervento, i prelievi di sabbia analizzati, evidenziano comuni andamenti unimodali ed una sostanziale omogeneità dei 4 campioni con una prevalenza verso le frazioni granulometriche fini. Tuttavia il campione FRTL1 prelevato a gennaio 2005 e 2006, mantiene una leggera predominanza su parametri granulometrici nel campo 0.125, che evidenzia ovviamente l'originario materiale utilizzato.

Tab. 2 – Quadro riassuntivo di alcuni elementi in traccia (espressi in ppm) nei campioni di sabbie del litorale di Fertilia

	Pb (0.2)	Cd (0.3)	Cu (4.0)	Ni (4.0)	As (5.0)	Sb (10.0)	V (20.0)	Mb (0.05)	Mn (0.05)	Zn (0.02)
FRTL1	3.5	0.06	2.5	0.5	1.9	<1	9.0	<0.4	150	23
FRTL2	2.5	0.04	2.5	1.2	2.5	<1	6.3	<0.4	90	19
FRTL3	5.0	0.05	2.0	0.4	1.2	<1	8.8	<0.4	140	21
FRTL4	3.0	0.03	6.0	0.6	0.9	<1	4.5	<0.4	100	19
CDRNGNS	10.5	0.04	2.5	1.7	1.1	<1	10.7	0.4	40	20
MRS	50.0	0.07	1.5	1.3	<0.5	<1	6.8	<0.4	90	21
SNLRNZ1	12.0	<0.03	4.0	1.9	0.7	2	19	<0.4	50	20
Limiti legge	100	2.0	120	120	20	10	90	n.p.	n.p.	150

Le analisi sono state condotte con uno spettrofotometro per emissione ed assorbimento atomico. Tra parentesi sono riportati i limiti di rivelabilità espressi in ppb. Per confronto sono riportati i limiti più restrittivi previsti dalla normativa vigente (Art. 17 Decreto Ronchi; DL n. 22 del 5 febbraio 1997).

*Samples have been analyzed by atomic absorption. In brackets are reported the detection limits expressed in ppb. For comparison, have been reported the maximum values imposed by Italian laws.*

## Conclusioni

L'utilizzo contemporaneo di differenti metodiche analitiche, applicate a campioni rappresentativi di sabbie originarie e provenienti dalla zona di ripascimento, ha dato globalmente risultati soddisfacenti. In sostanza, i caratteri granulometrici dei campioni provenienti dalla zona di ripascimento, indicano un buon stadio di omogeneizzazione con il materiale originario che suggerisce la tendenza al riequilibrio con la dinamica litorale che caratterizza l'area studiata. Inoltre, i caratteri granulometrici e composizionali dei campioni

studiati non mostrano sensibili differenze fra le due differenti tipologie di campioni. Tale omogeneità, trova riscontro nelle osservazioni mineralogiche dedotte per via ottica e/o diffrattometrica che confermano sostanzialmente simili caratteri cromatici quantificati attraverso le colorazioni standard della scala Munsell. Come noto, le differenze cromatiche e quindi sostanzialmente composizionali, rappresentano un aspetto critico nel successo dell'opera in quanto oggetto di fruizione turistica. Al momento il tratto di litorale oggetto dell'intervento è di fatto indistinguibile da quello originario. I dati chimici ottenuti per un set di elementi in traccia, sono piuttosto confortanti e tendono ad escludere possibili danni all'ecosistema.

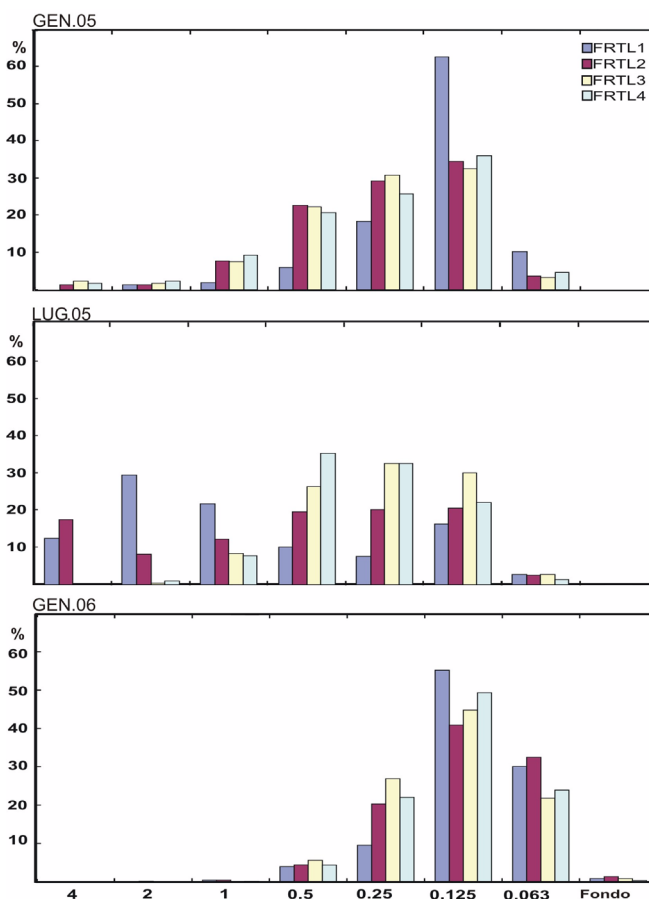


Fig. 4 - Istogrammi di frequenza per campioni di sabbie del litorale di Fertilia prelevati nei tre differenti periodi di campionamento. In ascissa sono riportate le aperture (esprese in mm) dei setacci utilizzati. I campioni di sabbie sono stati preliminarmente essiccati in stufa a 75°C per 24 ore. Le analisi sedimentologiche sono state effettuate su campioni opportunamente quartati, su un'aliquota del peso di oltre 1 kg.

*Frequency curves for representative samples of Fertilia coastline. Used samples have been previously dried at 75 °C for 24 hours.*



Uno dei risultati a cui si perviene è comunque la necessità di un ampliamento dell'intervento presumibilmente dal molo di Fertilia sino all'altezza dell'ospedale, per un avanzamento dell'ordine dei 15 m. L'ampliamento dell'intervento di ripascimento pone il problema dell'approvvigionamento dei materiali. Nella Sardegna settentrionale, sono attualmente in coltivazione gli orizzonti sabbiosi intercalati alle coperture mioceniche e data la loro potenzialità estrattiva e la loro composizione quarzoso-feldspatica, sono stati invocati quali possibili fonti di materiali da riversare negli arenili. L'uso contemporaneo di dati granulometrici e composizionali, mostra che queste sabbie si discostano sensibilmente da quelle osservate nella rada di Alghero. Il carattere più grossolano può garantire una maggiore stabilità all'erosione, ma le differenze tessiturali imporrebbero una diluizione con materiali più simili agli originari.

Per confronto, sono stati prelevati anche campioni delle cave di sabbia di Mores, Codrongianus e San Lorenzo (Anglona) in quanto potenziali sorgenti di materiali utili per l'estensione del progetto di ripascimento della spiaggia studiata. In particolare, dopo il controllo al microscopio binoculare sono state condotte, analisi granulometriche, diffrattometriche (qualitative e quantitative) e chimiche di elementi in traccia. I campioni rappresentativi di sabbie provenienti dalle cave di San Lorenzo (SLRNZ), Mores (MRS) e Codrongianus (CDRNGNS), impostate su livelli sedimentari marini riferibili al Miocene, mostrano rispetto al litorale di Fertilia una grana decisamente più grossolana ed una maggiore eterogeneità. Inoltre si differenziano per l'assenza della componente bioclastica e per la sensibile incidenza di costituenti litici. In particolare, i campioni SNLRNZ mostrano una sensibile incidenza di K-feldspati che conferisce alle sabbie una colorazione sulle tonalità del rosa, confermato dall'analisi effettuate con le carte Munsell, 5YR 7/2 (grigio rosato). Il campione MRS è caratterizzato da una granulometria più grossolana ed eterogenea, rispetto alle sabbie del litorale, anche il suo colore differisce, infatti è 10Y 7/3 (marroncino molto pallido). Il campione CDRNGNS, anch'esso, presenta una granulometria più grossolana ed eterogenea rispetto alle sabbie del litorale, il suo colore è 10YR 6/2 (grigio-marron chiaro).

## Bibliografia

- [1] Federici P. R., Ginesu S. & Sias S. – *Lineamenti geomorfologici ed evoluzione recente del paesaggio della Nurra occidentale (Sardegna nord-occidentale). La fascia costiera di Porto Conte-Porto Ferro.* (1999) Scala 1/25000.
- [2] Ginesu S. Orrù P., Sias S. & De Santis N. – *Dinamica recente ed attuale della rada di Alghero.* Scala 1/10000. (2002). Zeta Beta editrice S.r.l. Verona.
- [3] Ginesu S. & Sias S. – *Arretramento e indice d'erosione lungo il litorale di Alghero.* Studi Costieri. (2004) 8, 49-58.
- [4] Lecca L., Lonis R., Luxoro S., Melis E., Secchi F. & Brotzu P. – *Oligo-Miocene volcanic sequences and rifting stages in Sardinia: a review.* Per. Mineral. (1997) 66, 7-61.
- [5] Sau A., Lecca L., Lonis R., Secchi F. & Fercia M. L. – *La seconda fase del Rift sardo: vulcanismo ed evoluzione dei sub-bacini di Ardara-Chilivani e Bonorva (Sardegna settentrionale).* Boll. Soc. Geol. It. (2005) 124, 3-20.

# VARIAZIONE DELLA VULNERABILITÀ IN UNA PIANA COSTIERA DEL SUD PONTINO (LAZIO) IN FUNZIONE DI SEI SCENARI DI SOLLEVAMENTO DEL LIVELLO MARINO PER IL 2100

Luca Parlagreco<sup>1</sup>, Saverio Devoti<sup>1</sup>, Gabriele Leoni<sup>1</sup>, Paolo Montagna<sup>1</sup>, Sergio Silenzi<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>ICRAM – Istituto per la Ricerca Scientifica e Tecnologica Applicata al Mare Sede di Roma, via di Casalotti, 300 - 00166 Roma, Tel. 06 61 570 532, Fax. 06 61 561 906,  
e-mail: l.parlagreco@icram.org

**Riassunto** – Con riferimento all’anno 2100, è stata valutata la variazione della vulnerabilità costiera in funzione del sollevamento del livello marino. Il percorso metodologico è stato strutturato in cinque fasi: i) acquisizione dei dati territoriali e costruzione di un GIS; ii) scelta di sei scenari di sollevamento del livello del mare per il prossimo secolo, considerando sia le cause globali che quelle locali; iii) elaborazione di un DEM e individuazione di quei settori che si attesteranno a quote pari o inferiori al livello zero in funzione degli scenari di riferimento (carta degli scenari); iv) suddivisione del settore in classi di uso del suolo (carta uso del suolo); v) sovrapposizione della carta degli scenari futuri a quella dell’uso del suolo e valutazione delle percentuali di suolo potenzialmente sommerse per ogni scenario previsionale e per ognuna delle classi considerate. Ciò ha permesso di quantificare la potenziale vulnerabilità alla sommersione dei settori depressi retrostanti la riva, fornendo tuttavia una sottostima della vulnerabilità reale, la cui valutazione necessiterà l’analisi degli impatti direttamente sulla spiaggia. L’utilizzo di modelli numerici permetterà di stimare, in funzione dello spostamento della linea di riva, la percentuale di spiaggia emersa suscettibile all’ingressione marina per l’anno 2100.

**Abstract** – *The variability of coastal vulnerability to sea level rise was assessed based on future scenarios referred to year 2100. We followed a methodological approach comprising five steps: i) data collection and development of a GIS data-base; ii) choice of six sea level rise scenarios for the next century, taking into account both global and local causes; iii) DEM elaboration and individuation of areas lying at or above zero contour line according to different future scenarios (scenarios map); iv) subdivision of the studied area into five classes related to the type of land use (land use map); v) comparison between the scenarios map and the land use map and evaluation, for each future scenario, of the percentages of land potentially vulnerable for each land-use type class. This method has led to the possibility of assessing the potential vulnerability to flooding for the low-lying areas, giving a lower estimate of the real coastal vulnerability since the beach area was not considered in this study. The full evaluation of the coastal vulnerability to sea level rise will thus require the analysis of impacts directly on the shore zone. Using numerical models, it will be possible to evaluate the future positioning of the shoreline and consequently the percentage of beach susceptible to coastal flooding.*

## Introduzione

Le evidenze per il prossimo secolo indicano che il livello globale del mare subirà un'accelerazione nei suoi tassi di innalzamento, soprattutto in funzione del riscaldamento globale.

Considerando l'elevato grado di urbanizzazione delle coste, tali cambiamenti avranno sicuramente delle ripercussioni nella fruizione futura della zona costiera e, sebbene gli impatti del cambiamento climatico non rappresentino necessariamente la minaccia maggiore, in congiunzione con altri *stress* naturali ne possono aumentare la vulnerabilità<sup>1</sup>. L'attività antropica, infatti, ha prodotto profondi mutamenti nelle naturali dinamiche costiere, la riduzione dell'*input* sedimentario e l'irrigidimento dei limiti geomorfologici rappresentano solo due possibili cause. Si comprende quindi, come il cambiamento climatico e il sollevamento del livello marino rappresentino delle pressioni aggiuntive a dei sistemi attualmente in crisi.

Enfatizzando gli effetti diretti e indiretti delle variazioni del livello marino, tra le possibili implicazioni che influenzeranno i settori di piana costiera si possono prevedere: i) l'incremento dell'impatto delle onde sulle coste; ii) il peggioramento o l'insorgere di fenomeni erosivi; iii) l'aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi estremi; iv) fenomeni d'intrusione d'acqua marina negli acquiferi e allagamento di porzioni depresse delle pianure; v) l'incremento di effetti dannosi per agricoltura, acquicoltura, pesca nelle aree lagunari, danni alle proprietà ed alle infrastrutture.

In una scala previsionale di lungo periodo, la vulnerabilità a tali occorrenze dipenderà tanto dai parametri predisponenti<sup>2</sup> la suscettibilità<sup>3</sup>, quanto dalle cause stesse che determinano le variazioni del livello marino.

L'analisi della vulnerabilità, e della sua variazione, rappresenta quindi un percorso necessario per una politica di adattamento al cambiamento climatico.

## Lo stato attuale dell'area di studio

Il settore analizzato è localizzato nel tratto litorale del Lazio Meridionale, compreso tra il promontorio di S. Felice Circeo e l'abitato di Terracina. Quest'area rappresenta uno dei settori morfologicamente più depressi dell'intera regione laziale. Tale pianura si estende per circa 20 km parallelamente alla costa tirrenica fino a 50 km circa nell'entroterra, coprendo una superficie di circa 100 km<sup>2</sup>. Le quote medie della pianura sono pari a circa 2 m s.l.m. e, localmente, anche al di sotto dell'attuale livello del mare (Fig. 1). Più in dettaglio, il settore costiero tra S. Felice Circeo e Terracina, esteso per circa 16 km, è costituito da una spiaggia sabbiosa, orientata OSO-ENE, che limita una pianura costiera nel complesso omogenea, costituita dai depositi sabbiosi e limosi dei sistemi dunari e marino-transizionali che si sono

---

<sup>1</sup> Capacità di un sistema naturale e sociale di sostenere i danni derivanti da un qualche fenomeno naturale (IPCC, 1997).

<sup>2</sup> Caratteristiche intrinseche del territorio (tra cui geologia, geomorfologia, utilizzo del suolo, idrogeologia).

<sup>3</sup> Esprime la potenziale occorrenza di rischi naturali in un'area in funzione dell'interazione dei fattori potenziali che contribuiscono all'insorgenza dei rischi stessi (USGS, 2005).

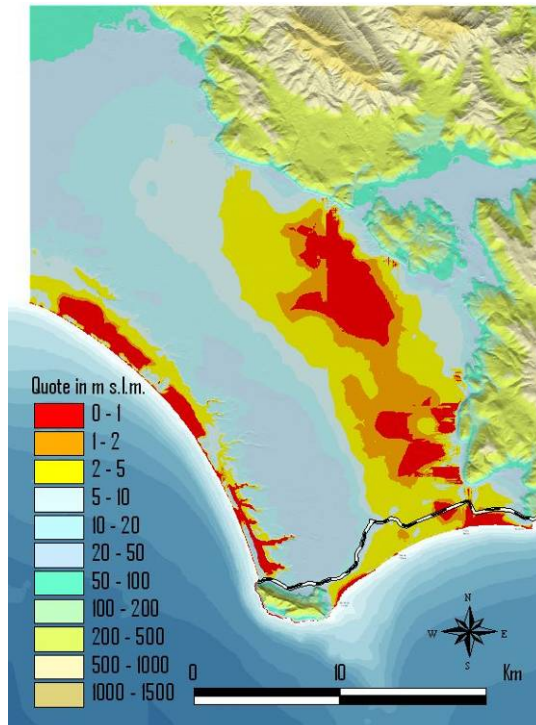


Figura 1 – Assetto plano-altimetrico da Digital Elevation Model del litorale del Lazio meridionale. Il sito pilota è limitato dalla linea tratteggiata.

*Physiographical setting of the southern Latium littoral zone derived from Digital Elevation Model. The pilot area is bounded by dashed line.*

sviluppati nell'area a partire dall'Eutirreniano (Barbieri et al., 1999). Il promontorio del Circeo costituisce l'unico elemento di rottura del paesaggio, costituito da una struttura carbonatica che raggiunge nel suo punto più alto (Picco di Circe) i 541 m s.l.m., e che lungo i suoi 6 km di falesie conserva numerose grotte a pochi metri s.l.m. e testimonianti l'azione morfogenetica dei passati stazionamenti del livello marino (Nisi et al., 2003a).

Come gran parte del litorale laziale, anche questo tratto ha subito negli ultimi decenni vistosi cambiamenti che, almeno in parte, sono legati alle bonifiche effettuate nella fascia costiera intorno agli anni '30 e alla forte urbanizzazione dell'area avvenuta in particolare tra il 1954 e il 1970.

La Pianura Pontina è stata fin da tempi storici una zona paludosa, contraddistinta da un posizionamento delle falde idriche molto prossime alla superficie topografica. La subsidenza dell'area sembra essere legata sia alle cause geologiche regionali sia alla costipazione dei sedimenti che costituiscono il riempimento di questo bacino sedimentario (Antonoli e Frezzotti, 1989).

Con la definitiva opera di bonifica avvenuta durante gli anni 30, l'assetto idrologico, idrogeologico, ecologico e sedimentario del settore sono stati profondamente alterati dalla realizzazione di canali artificiali per il deflusso delle acque palustri.

L'originario aspetto naturale della zona è stato ulteriormente compromesso dall'intensa antropizzazione. La disordinata crescita urbanistica dei centri residenziali dei comuni di S. Felice e Terracina ha determinato, infatti, la totale distruzione della fascia di cordoni dunari che bordava il litorale verso terra. Nelle foto aeree del 1954 il litorale appare caratterizzato da una fascia sabbiosa con dune e cordoni di ampiezza variabile ormai completamente distrutta, soprattutto a causa delle opere edilizie e di viabilità litoranea. Al loro posto ora si osservano frequentemente esili spiagge continuamente minacciate dall'erosione.

A partire dagli anni '70, in seguito alla realizzazione di importanti opere a mare come il porto di S. Felice Circeo (effettuato nel 1964 e aggiornato nel 1970) e il prolungamento del pennello di destra di porto Badino (prolungato di 35 m nel 1955) si verificano ingenti arretramenti lungo quasi tutto il litorale; impedendo il naturale flusso sedimentario verso Est queste opere hanno creato ampi fenomeni erosivi principalmente nelle zone sottoflutto (Evangelista et al., 2004).

## La valutazione della vulnerabilità nel 2100

Nel presente studio è stata valutata l'incidenza potenziale che gli scenari di sollevamento del livello marino avranno sul territorio costiero nel prossimo secolo, focalizzando l'analisi ai settori di retrospiaggia. In particolare si è scelto di porre enfasi, in chiave deterministica, ai differenti scenari che l'applicazione dei modelli climatici hanno posto in evidenza. Alle valutazioni basate su tettonica, subsidenza locale e previsioni IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change; Church et al., 2001) sviluppate per altre pianure costiere (Nisi et al., 2003b; Silenzi et al., 2003), sono state affiancate valutazioni sulla componente glacio-idro-isostatica regionale, nonché le previsioni fornite dalle modellizzazioni dell'INQUA (basate su cause geologiche; Mörner, 2004) e di Meehl et al., 2005 (espansione termica degli oceani) (Tab. 1).

Tabella 1 - Valori di innalzamento del mare previsti per l'anno 2100 nel tratto costiero fra il Circeo e Terracina (Latina).

*Sea Level Rise values predicted for the year 2100 in the coastal tract between Circeo and Terracina (Latina).*

Componente	Validità scala	Sollevamento previsto per il 2100 (cm)	Riferimento
Eustatismo, isostasia, espansione termica	Globale	+47±39	IPCC, Church et al. (2001)
Cause geologiche ed eustatismo	Globale	+5 ±15	INQUA (Mörner, 2004)
Espansione termica	Globale	+21.5±8.5	Meehl et al. (2005)
Glacio-ido-isostasia	Locale	+5.95	Lambeck et al (2004a e b) -dedotto
Tettonica	Locale	~0	Nisi et al. (2003a); Ferranti et al. (2006)

I modelli previsionali utilizzati, basandosi su differenti variabili, permettono di determinare i possibili scenari di sollevamento del livello marino in una determinata località in funzione di: 1) eustatismo; 2) neotettonica; 3) glacio-idro-isostasia<sup>4</sup>; 4) espansione termica degli oceani; 5) subsidenza (naturale ed antropica); 6) distribuzione delle masse d'acqua oceanica. Nell'approssimazione delle previsioni future, e quindi nella valutazione delle potenziali aliquote di sollevamento del livello marino, sono stati considerati costanti i tassi di dislocazione tettonica e di risposta glacio-idro-isostatica, in quanto agenti con velocità tali da non subire modifiche sensibili in un arco previsionale di 100 anni; questi tassi sono quantificabili tramite l'elaborazione di curve paleo-eustatiche e studi di neotettonica (Nisi et al., 2003a).

Nell'elaborazione degli impatti degli scenari futuri sul territorio, la quota altimetrica è stata considerata come essenziale fattore predisponente (o mitigante) la suscettibilità alla sommersione temporanea e/o permanente di una determinata area.

Per analizzare la fisiografia del sito pilota è stato realizzato un DEM (Digital Elevation Model) allo scopo di valutare, con la massima precisione possibile l'assetto altimetrico del settore (Fig. 2).

Dal DEM sono stati quindi derivate le estensioni delle aree al di sotto del livello del mare, ovvero potenzialmente sommerse, relative ai diversi scenari stimati di risalita del livello marino.

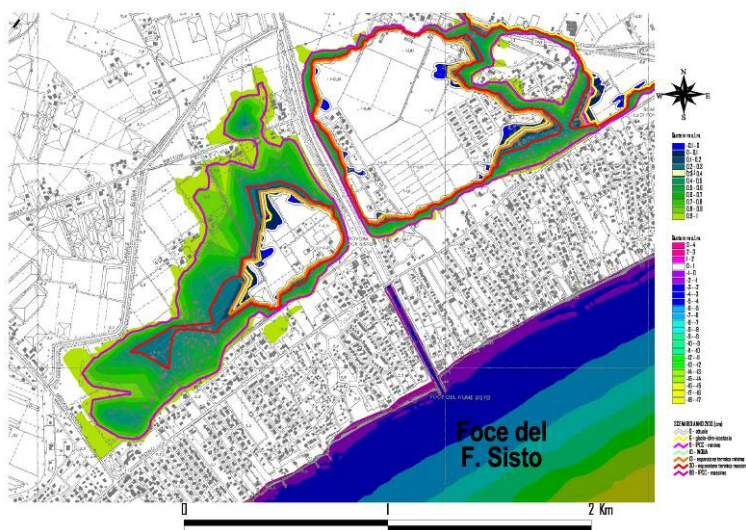


Figura 2 – Particolare dell'assetto altimetrico dei settori depressi ed estensione areale della futura isoipsa zero metri in funzione degli scenari previsionali.

*Zoom on the altimetric setting of the low-lying areas and areal extension of the future contour line zero meters according to predicting scenarios.*

<sup>4</sup> Esprime i movimenti di riequilibrio isostatico della superficie terrestre in funzione delle variazioni di carico dovuti alle variazioni di volume delle calotte glaciali e dei bacini oceanici durante l'alternanza delle fasi glaciali e interglaciali.

La perimetrazione delle zone potenzialmente sommerse nel 2100 dà una stima dei settori in cui la risalita del livello marino indurrà, con maggiore probabilità, un abbassamento relativo della morfologia, legata ad esempio (in assenza di opportune opere di regimazione idraulica) alla probabile emersione della falda superficiale.

L'uso del suolo, infine, è stato preso in esame per avere una stima relativa del valore socio-economico di un settore esposto ad un potenziale allagamento. Questa analisi, in sintesi, ha permesso di distinguere nell'area di studio le emergenze in funzione della fragilità del territorio.

## Discussioni e conclusioni

Lo studio svolto, focalizzandosi sull'importanza che il cambiamento climatico dovrebbe avere nella pianificazione territoriale di lungo periodo della fascia costiera, rappresenta un primo contributo alla valutazione della vulnerabilità all'ingressione marina per l'area compresa tra S. Felice e Terracina.

Tramite l'elaborazione del DEM sono stati individuati gli scenari fisiografici futuri di sei diversi valori di sollevamento del livello marino.

Tali scenari, ottenuti abbassando l'attuale topografia di quantità pari ai valori di sollevamento del livello marino per il 2100, hanno permesso la perimetrazione dei settori che potenzialmente si attesteranno a quote pari o inferiori a 0 m, esclusivamente nei settori di retrospiaggia.

Concettualmente, per intervalli previsionali di lungo periodo, la vulnerabilità alla sommersione dei settori costieri è funzione dell'evoluzione morfologica della costa. Quest'ultima non risulterà semplicemente da un'ingressione del mare sui settori emersi, ma sarà il risultato di una serie di processi che regoleranno, tramite rapporti di *feedback*, la morfologia in funzione sia delle forzanti meteo-climatiche (tra cui le variazioni del livello marino), sia dei valori di *input* e trasporto sedimentario. In funzione delle risultanti interazioni, la morfologia si autoregolerà tramite processi erosivi e deposizionali. Appare chiaro, quindi, che per valutare la vulnerabilità alla sommersione non si può prescindere dall'utilizzo di modelli di previsione delle variazioni del livello marino, ma, allo stesso modo non si può considerare la morfologia costiera una caratteristica statica del litorale su cui il mare potenzialmente ingredirà.

Attualmente lo studio si è focalizzato sulla valutazione dell'incidenza potenziale che i sei scenari futuri avranno sul territorio, considerano l'uso del suolo e l'altimetria come elementi di fragilità sia in funzione di considerazioni ambientali che socio-economiche.

Le evidenze indicano che, per lo scenario più ottimistico, pari a circa +6 cm (effetto glacio-idro-isostatico) un incremento del 6% del territorio a rischio di allagamento (sotto il livello del mare), cioè quasi 25 ettari rispetto ai 400 attuali (di cui 8 di aree urbane e 15 di campi coltivati); per uno scenario intermedio (effetto dell'espansione termica globale, risalita del livello marino di +30 cm) le zone a rischio di allagamento crescono di quasi il 20% (di cui 23 ettari di aree urbane ed 1.5 ettari di insediamenti industriali e/o commerciali); secondo la stima pessimistica dell'IPCC (risalita di +88 cm nel 2100) le zone a rischio di allagamento diventerebbero una volta e mezzo quelle attuali, con incrementi pari a 70 ettari di aree urbane coinvolte, 8 ettari di insediamenti industriali e/o commerciali, 112 ettari di campi coltivati e 10 ettari di altre aree agricole (Tab. 2).

Tabella 2 – Percentuale delle aree suscettibili alla sommersione in funzione dei diversi scenari e delle tipologie di utilizzo del suolo.

*Percentages of land susceptible to flooding according to different future scenarios and relating to different typologies of land-use.*

cm s.l.m. attuale	Aree urbane	Industria e servizi	Seminativi	Frutteti	Aree agricole	TOTALE
0	8.0	1.3	85.2	2.7	2.8	100.0
6	9.9	1.4	89.0	2.8	3.0	106.1
9	10.4	1.4	90.3	2.8	3.1	108.0
10	10.6	1.4	90.6	2.8	3.1	108.5
13	11.0	1.5	91.5	2.8	3.1	110.0
30	13.7	1.7	96.7	2.9	3.5	118.4
88	25.5	2.4	113.3	3.3	4.8	149.1

## Bibliografia

- [1] Antonioli F, Frezzotti M. – *I sedimenti tardo-pleistocenici ed olocenici compresi nella fascia costiera tra Sabaudia e Sperlonga*, Mem. Soc. Geol. It. (1989) 42, 321 - 334.
- [2] Barbieri M., Carrara C., Castorina F., Dai Pra G., Esu D., Gliozzi E., Paganin G., Sadori L. – *Multidisciplinary study of Middle-Upper Pleistocene deposits in a core from the Piana Pontina (central Italy)*, Giornale di Geologia (1999) 61 (3), 47 - 73.
- [3] Church J., Gregory J., Huybrechts P., Kuhn M., Lambeck K., Nhuan M., Qin D., Woodworth P. - *Changes in sea level*, Climate Change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edito da J. Houghton et al., Cambridge Univ. Press, New York.
- [4] Evangelista S., Full W.E., La Monica G.B., Nelson D. – *Aspects of littoral dynamics along the Circeo-Terraacina coastal area (Lazio-Italia Centrale)*, Geologica Romana (2004) 37, 127 - 130.
- [5] Ferranti L. , Antonioli F., Mauz B., Amorosi A., Dai Pra G., Mastronuzzi G., Monaco C., Orrù P., Pappalardo M., Radtke U., Renda P., Romano P., Sansò P. e Verrubbi V. - *Last interglacial sea level high stand markers along the coast of the Italian Peninsula: tectonic implications*, Journal of Quaternary International (2006) 145-146, 30 - 54.
- [6] IPCC – *Special Reports on Climate Change, Methodological and Technological issues in Technology Transfer* (1997), <http://www.grida.no/climate/ipcc/tectran/362.htm>
- [7] Lambeck K., Antonioli F., Purcell A., Silenzi S. (a) - *Sea-level change along the Italian coast for the past 10,000 yr*, Quaternary Science Reviews (2004) 23, 1567 – 1598.
- [8] Lambeck K., Anzidei M., Antonioli F., Benini A., Esposito A. (b) - *Sea level in Roman time in the Central Mediterranean and implications for recent change*, Earth and Planetary Science Letters (2004) 224, 463–575.
- [9] Meehl G.A., Washington, W.M., Collins, W.D., Arblaster, J.M., Hu, A., Buja, L.E.



- [10] Mörner N.A. - *Estimating future sea level changes from past records*. Global and Planetary Change (2004) 40, 49 - 54.
- [11] Nisi M.F., Antonioli F., Dai Pra G., Leoni G. e Silenzi S. (a) – *Coastal Deformation between the Versilia and the Garigliano plains (Italy) derived from elevation of Last Interglacial Transgression data*, J. Quaternary Science (2003) 18 (7), 1 - 15.
- [12] Nisi M.F., Aminti P., Cipriani L., De Donatis M., Devoti S., Gabellini M., Gallerini G., Pranzini E., Rossi L., Silenzi S. (b) - *La valutazione del Rischio da RSLR in Versilia*, Studi Costieri (2003) 6, 133 - 162.
- [13] Silenzi S., Devoti S., Nisi M.F. e Antonioli F. - *Le variazioni del livello del mare come Cause Determinanti il Rischio da RSLR*, Studi Costieri (2003) 6, 31-56.
- [14] USGS – U.S. Geol. Surv. (2005) <http://landslides.usgs.gov/learnineducation/glossary.php#s>

# ANALISI DELLA VULNERABILITÀ DEI LITORALI SABBIOSI DELL'AREA MARINA PROTETTA (AMP) – PENISOLA DEL SINIS ISOLA DI MAL DI VENTRE

Simone Simeone <sup>1,4</sup>, Claudia Dessy <sup>2</sup>, Felice Di Gregorio <sup>2</sup>, Andrea Cucco<sup>5</sup>, Bruno Paliaga<sup>3</sup>,  
Giovanni De Falco <sup>1,5</sup>

1 Fondazione IMC – Centro Marino Internazionale – ONLUS; Loc Sa Mardini Torregrande Oristano.  
Tel: 0783/22027 Fax: 0783/22002, e-mail: s.simeone@imc-it.org

2 Dipartimento di Scienze della Terra Università degli Studi di Cagliari – viale Trentino – Cagliari

3 Area Marina Protetta Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre – Cabras – Or

4 Dipartimento di .Ecologia e Sviluppo Economico Sostenibile Università della Tuscia  
via S. Maria in Gradi Viterbo

5 IAMC – CNR – Istituto per l'Ambiente Marino Costiero – Sezione di Oristano – Loc Sa Mardini  
Torregrande Oristano

**Riassunto** – È stato implementato un modello utile a valutare la vulnerabilità dei litorali dell'Area Marina Protetta Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre rispetto all'uso della fascia costiera. La vulnerabilità è stata calcolata utilizzando metodi di statistica multivariata (analisi fattoriale), analizzando le relazioni tra una serie di variabili idrodinamiche, evolutive, morfologiche, sedimentologiche e antropiche, misurate su 13 tratti costieri simili per caratteristiche morfologiche e geologiche.

L'analisi fattoriale ha consentito di estrarre tre fattori, che spiegano il 75 % della varianza. Ciascun fattore estratto è stato relazionato, per le variabili espresse, alla vulnerabilità. Dalla combinazione dei coefficienti dei fattori per ogni tratto costiero si è ottenuto un indice di vulnerabilità in base al quale si è classificata tutta la costa sabbiosa dell'AMP.

Le informazioni ottenute sono state georeferenziate e inserite in ambiente GIS. In particolare sono stati identificati 2 tratti a vulnerabilità alta, 6 tratti a vulnerabilità media e 5 tratti a bassa vulnerabilità. I risultati ottenuti sono stati forniti all'ente gestore al fine di facilitare i compiti dello stesso nella gestione della fascia litorale all'interno dell'AMP.

**Abstract** - In this study, a model of vulnerability is presented for the Marine Protected Areas "Penisola del Sinis Isola di Mal Di Ventre". Hydrodynamic, sedimentological, morphological, anthropic and evolutive features measured in 13 coastal tracts, analogous for morphological and geological features have been used to estimate vulnerability and Factor analysis has been carried out.

Factor analysis extract three factor that explain 75 % of variance. From combination of score coefficient for each coastal tract has been obtaining a Vulnerability Index in order to classify the sandy coast of MPA. The information has been georeferenced and put in a GIS. The result showing that the sandy coast of MPA have generally a low or medium vulnerability, only in two case the vulnerability index show a critical conditions.

## Introduzione

La vulnerabilità può essere definita come l'entità del danno inferto a un elemento o un gruppo di elementi dal manifestarsi di un fenomeno naturale di una data dimensione.

I modelli di vulnerabilità costiera adottati in letteratura sono stati sviluppati rispetto all'innalzamento del livello del mare [8, 9, 10], agli eventi di tempesta [12], rispetto all'urbanizzazione e uso del suolo [3, 4, 5].

Per il calcolo della vulnerabilità costiera dell'AMP Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre è stato utilizzato il metodo proposto da Dal Cin e Simeoni [4, 5] modificato e adattato al contesto investigato.

L'area in esame comprende tutta la fascia costiera dell'Area Marina Protetta Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre in particolare gli ambienti sabbiosi della stessa (Figura 1). Lungo la penisola del Sinis sono presenti coste basse e sabbiose interrotte da

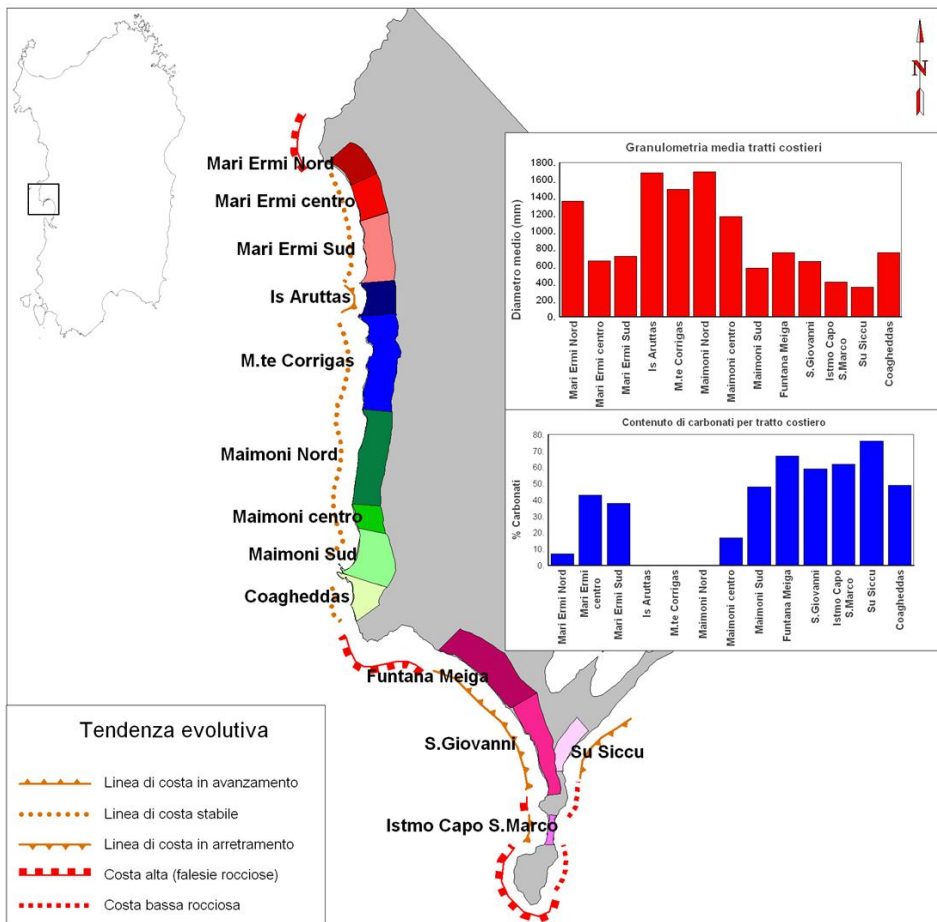


Figura 1 – Tratti costieri analizzati.

Figure 1 – *Analysed coastal tracts.*

falesie rocciose. I sedimenti di spiaggia sono costituiti da sabbie grossolane quarzose [6] e da sabbie carbonatiche granulometricamente più fini, che diventano predominanti verso sud.

La spiaggia sommersa è presente solo in alcuni tratti (Mari Ermi, Maimoni, San Giovanni), mentre generalmente i fondali prospicienti le spiagge sono rocciosi. I granuli biogenici derivano dalla produzione biologica dei fondali: i sedimenti biogenici sono prevalenti sia nelle aree prive di vegetazione che all'interno della prateria di Posidonia [7].

Studi precedenti sulla dinamica dei litorali hanno evidenziato importanti fenomeni di arretramento della spiaggia di San Giovanni [13], mentre più recentemente una tendenza erosiva è stata segnalata per San Giovanni e Is Arutas [7]. Non esistono tuttavia dati quantitativi sui fenomeni di erosione che consentano una valutazione delle cause del fenomeno e dei processi in atto.

## Materiali e metodi

La vulnerabilità è stata calcolata utilizzando e adattando, per l'area in esame, il modello proposto da Dal Cin e Simeoni [4, 5]; che restituisce la vulnerabilità rispetto all'antropizzazione della costa sabbiosa dopo un'analisi statistica multivariata di un set di dati comprendente  $n$  variabili e  $m$  tratti costieri, affini per caratteristiche morfologiche.

Il set di dati per l'area di studio in esame comprende 13 tratti costieri (Figura 1) e 10 variabili (Tabella 1).

Le variabili possono essere suddivise in variabili idrodinamiche, evolutive, morfologiche, sedimentologiche e fattori antropici.

Il valore delle variabili idrodinamiche è stato estratto da [1], le variabili morfologiche sono state rilevate in campo mediante l'utilizzo del sistema DGPS Ashtec Pro Mark II, in modalità cinematica [11]. La superficie della spiaggia sommersa è stata ottenuta attraverso analisi d'immagine in ambiente Multiscope® [2]. I valori delle variabili

Tabella 1 – Variabili analizzate.

*Table 1 – Analysed variables.*

Energia media annua ( $\text{GN m}^{-1}$ )	
Flusso di energia netto medio annuo ( $\text{W m}^{-1}$ )	
Evoluzione linea di riva tra il 1960 e il 2000 ( $\text{m anno}^{-1}$ )	Variabile evolutiva
Larghezza massima spiaggia emersa (m)	
Inclinazione media spiaggia emersa (%)	
Inclinazione media fondo marino tra 0 e -3 metri (%)	
Superficie sabbia sommersa ( $\text{m}^2$ )	
Granulometria media dei sedimenti di spiaggia (mm)	
Presenza carbonati (%)	
Superficie antropizzata (adimensionale)	Variabile antropica

sedimentologiche sono stati estratti da [2, 6], mentre la variabile superficie antropizzata si riferisce alla superficie occupata da manufatti, strutture antropiche e strade sulla superficie totale del tratto costiero determinati mediante analisi d'immagine di foto aeree in ambiente ARCGIS®.

Le variabili sono state raggruppate in una matrice per l'Analisi Fattoriale condotta con il software Statistica® 6.0 (StatSoft®), finalizzata a individuare l'indice di vulnerabilità secondo la metodologia descritta in [4].

## Risultati e discussione

L'analisi fattoriale ha raggruppato le 10 variabili in tre fattori, che spiegano il 76,15 % della varianza totale. Il primo fattore raggruppa variabili legate alla morfodinamica dell'ambiente di spiaggia (Tabella 2). Valori positivi del fattore I corrispondono a spiagge ad elevata energia, con elevata pendenza della spiaggia sommersa, granulometria grossolana, assenza di sedimento carbonatico, e modesto sviluppo della spiaggia sommersa. Tali situazioni identificano tratti ad alta vulnerabilità in quanto tali parti del litorale sono più soggette a condizioni idrodinamiche estreme, sono caratterizzate dalla presenza preponderante di sedimenti relitti e basso rifornimento di sabbia organogena dalle praterie di Posidonia, per cui presentano maggior possibilità di erosione e perdita netta di sedimento.

Il fattore II raggruppa le variabili Area urbanizzata/Area Totale e Evoluzione della linea di riva (Tabella 2), identificando le spiagge con elevata urbanizzazione ed arretramento della linea di riva. Valori positivi di questo fattore identificano quindi tratti vulnerabili in cui è presente instabilità.

Tabella 2 – Risultati dell'analisi fattoriale.

Table 2 – Results of factorial analysis.

Variabili	Fattore 1	Fattore 2	Fattore 3
Energia media annua (GNm/m)	0,839	-0,249	0,090
Flusso energia netto (W/m)	0,602	-0,394	0,253
Evoluzione (1960-2000) (m)	-0,152	-0,732	-0,254
Pendenza media Spiaggia emersa (%)	0,122	0,085	-0,833
Pendenza media Spiaggia sommersa (%)	0,847	0,312	0,090
Larghezza max Spiaggia emersa (m)	0,015	0,427	0,800
Superficie sabbia fondale (m <sup>2</sup> )	-0,613	0,371	0,415
Granulometria media (mm)	0,867	0,001	-0,275
Carbonati (%)	-0,923	-0,029	0,219
Area urbanizzata/area totale	-0,225	0,898	-0,033
Varianza spiegata (%)	38,5	19,9	17,8
Varianza totale 76,2 %			

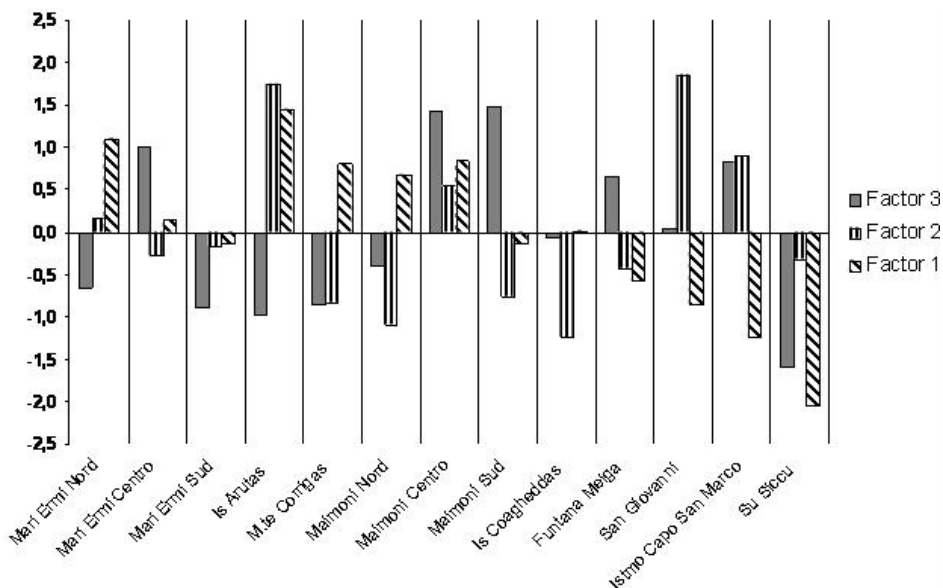


Figura 2 – Coefficienti fattoriali per ogni tratto costiero.  
 Figure 2 – Factorial coefficients for each coastal tracts.

Il fattore III identifica tratti con bassa pendenza della spiaggia emersa e ampio retrospiaggia (Tabella 2). Valori positivi di tale fattore caratterizzano spiagge più resilienti agli eventi idrodinamici e con campi dunali ben sviluppati.

I tratti costieri compresi tra Mari Ermi e Caogheddas (Figura 1) sono più vulnerabili dal punto di vista morfodinamico (fattore 1) rispetto a quelli del settore sud (Figura 2).

Le spiagge vulnerabili per la presenza di urbanizzazione e fenomeni erosivi in atto, come evidenziato dal fattore II, sono Is Arutas, S. Giovanni e l'Istmo di Capo S. Marco (Figura 2).

È stato calcolato un indice sintetico che esprima la vulnerabilità complessiva dei litorali sabbiosi della penisola del Sinis attraverso la combinazione degli coefficienti fattoriali. L'indice di vulnerabilità è stato definito come:

$$I.V. = (CF1 + CF2) - CF3 \quad 1$$

dove I.V. esprime il valore dell'Indice di Vulnerabilità, mentre CF1, CF2, CF3 esprimono i valori dei coefficienti fattoriali per ogni singolo tratto costiero. Il valore sintetico espresso dall'indice di vulnerabilità identifica differenti classi:

I.V. > 1 Vulnerabilità alta. Tratti litorali con capacità di recupero molto bassa rispetto a perturbazioni esterne. Tratti costieri caratterizzati da sabbie silicoclastiche, assenza di spiaggia sommersa, scarso apporto di sedimenti.

-1 < I.V. < 1 Vulnerabilità media. Tratti litorali con capacità di recupero bassa rispetto a perturbazioni esterne: comprende tratti costieri caratterizzati da sabbie silicoclastiche, assenza di spiaggia sommersa, scarso apporto di sedimenti, scarsa antropizzazione e stabilità della linea di riva (tratti da Mari Ermi a Maimoni) e litorali antropizzati con sabbie biogeniche estesa spiaggia sommersa e apporto di sedimenti (S. Giovanni e Su Siccu).

I.V. < -1 Vulnerabilità bassa. Tratti litorali con capacità di recupero buona rispetto a perturbazioni esterne. Comprende litorali con sabbie biogeniche, estesa spiaggia sommersa, ampia spiaggia emersa campi dunali e apporto di sedimenti.

In definitiva sono stati identificati 2 tratti a vulnerabilità alta, 6 tratti a vulnerabilità media e 5 tratti a bassa vulnerabilità.

Tabella 3 – Indice di Vulnerabilità per ogni tratto costiero.

*Table 3 – Vulnerability Index for each coastal tracts.*

Tratti costieri	Indice Vulnerabilità
Mari Ermi Nord	1,89
Mari Ermi Centro	-1,14
Mari Ermi Sud	0,57
Is Arutas	4,17
M.te Corrigas	0,81
Maimoni Nord	-0,02
Maimoni Centro	-0,05
Maimoni Sud	-2,40
Is Coagheddas	-1,17
Funtana Meiga	-1,67
San Giovanni	0,93
Istmo Capo San Marco	-1,16
Su Siccu	-0,77

## Conclusioni

La metodologia utilizzata nel presente lavoro e adattata alle condizioni specifiche dei litorali della AMP Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre, è risultata utile per fornire un indicatore sintetico di vulnerabilità costiera. L'utilizzo di tale metodologia costituisce un utile supporto gestionale per la pianificazione dell'uso della fascia litorale.

## Ringraziamenti

Questo lavoro è stato finanziato dall'Area Marina Protetta – Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre. Si ringraziano il Dott. Antonello Gellon e il Dr. Beppe Piergallini per l'assistenza durante le campagne di campionamento.

## Bibliografia

- [1] Atzeni A., De Muro S., Di Gregorio F., Piras G. - *Map of geo-environmental hazard on the coast of Sardinia (Italy)* (2004), Scale 1:300.000. S.E.L.C.A. Firenze.
- [2] Baroli M., De Falco G., Piergallini G. - *Cartografia ad alta risoluzione dei popolamenti bentonici della fascia costiera dell'Area Marina Protetta della Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre finalizzata alla gestione del diporto nautico*. *Biologia Marina Mediterranea*, (2003) 10, 644-646.
- [3] Brewster L. F. S. - *The development of a Comprehensive Littoral Vulnerability Assessment Approach for Small Island Developing State: A Case Study for Barbados*. *Littoral 2002*, (2002), The Changing coast, Portugal.
- [4] Dal Cin R., Simeoni U. - *A model for determining the classification, vulnerability and risk in the southern coastal zone of the Marche (Italy)*. *Journal of Coastal Research*, (1996) 10(1), 18-29.
- [5] Dal Cin R., Simeoni U. - *Analisi ambientale quantitativa dei litorali marchigiani fra Gabicce e Ancona. Livello di rischio naturale e del degrado, distribuzione dei sedimenti e loro possibile impiego per ripascimenti artificiali*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, (1987) 106, 377-423.
- [6] De Falco G., Molinaroli E., Baroli M., Bellacicco S. - *Grain size and compositional trends of sediments from Posidonia oceanica meadows to beach shore, Sardinia, western Mediterranean*. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, (2003) 58, 299-309.
- [7] De Falco G., Piergallini, G. *Mare, Golfo, Lagune Studi e Ricerche*. (2003) Editrice S'Alvure, Oristano.
- [8] Gambolati G., Teatini P., Gonella M. - *A Gis simulation of the inundation risk in the coastal lowland of the northern Adriatic Sea*. *Mathematical and Computer Modeling*, (2002) 35, 936-972.
- [9] Gornitz V. - *Vulnerability of East Coast, U.S.A. to future sea level rise*. *Journal of Coastal Research*, Special Issue (1990) 9, 201-237.
- [10] Gornitz V. M., Beaty T. W., Daniels R. C. - *A coastal hazard data base for the U. S. West Coast*. (1994) OAK Ridge National Laboratory, U. S. A. 150 pp.
- [11] Haxel J. H., Homan R. A. - *The sediment response of a dissipative beach to variations in wave climate*. *Marine Geology*, (2004) 206, 73-99.
- [12] Mendoza E. T., Jimenez J. A. - *Factors controlling vulnerability to storm impact along the Catalanian coast*. *Coastal Engineering*, (2004) 3087-3099.
- [13] Spano P., Pinna M. - *Le spiagge della Sardegna*, (1956) CNR.





# MONITORAGGIO INDIRETTO FINALIZZATO AL CALCOLO DEL VOLUME DEI SEDIMENTI MARINI MOVIMENTATO NELL'INTORNO DEL PORTO DI MARINA DI CARRARA NELL'AMBITO DELLE ATTIVITÀ DI DRAGAGGIO PORTUALE

Sergio Cappucci, Damiano Scarcella, Lorenzo Rossi,  
Daniela Calarco, Cristian Mugnai, Antonella Ausili  
(ICRAM, Via di Casalotti, 300 – 00166 – Roma - Tel: 06-61570490 - Fax:06-61561906 -  
s.cappucci@icram.org)

**Riassunto** - Attraverso una semplice raccolta delle informazioni contenute nei Decreti del Ministero dell'Ambiente relativi alle autorizzazioni di dragaggio del Porto di Carrara nell'intervallo temporale 1993-2004, è stato possibile: (1) determinare il volume di sedimento movimentato dai fondali nel corso degli anni, (2) stimare un rateo annuo di materiale dragato dall'imboccatura portuale e (3) conoscere la destinazione d'uso del materiale. I dati di seguito presentati sono da considerarsi propedeutici alla realizzazione di un dettagliato quadro conoscitivo relativo al bilancio sedimentologico dell'unità fisiografica di riferimento con lo scopo di ricostruire le variazioni morfologiche dei fondali indotte da interventi antropici e di essere d'ausilio per l'implementazione di modelli numerici atti a simulare l'evoluzione morfobatimetrica del tratto costiero in esame. Il presente studio è uno dei risultati ottenuti nell'ambito delle attività del tavolo tecnico istituito dal Ministero dell'Ambiente e del Territorio per trovare una soluzione alle problematiche relative al Porto di Carrara e agli effetti che questo induce sulla fascia costiera apuo-versiliense.

**Abstract** - *By putting together all the information contained in the Ministry of the Environment Acts on the dredging works that have been carried out in the Port of Carrara between 1993 and 2004, it has been possible to: (1) determine the total volume of dredged material (2) estimate the annual rate of dredged material (3) identify what the dredged material was subsequently used for. The data presented within this report must be considered only as introductory to the production of a detailed framework on the understanding of the sediment budget of this coastal area, with the purpose to determine the morphological changes caused by the anthropogenic interference and also to provide a base for the development of numerical models for the simulation of the morphobathymetric evolution of the studied area. The present study is one of the results obtained by the team that the Ministry of the Environment created in order to determine a possible solution for the problems related to the Port of Carrara and to the effects that the port is causing to the apuo-versiliense coast.*

## Introduzione

Allo scopo di ricostruire le variazioni morfologiche dei fondali e l'evoluzione morfobatimetrica di unità fisiografiche fortemente antropizzate e condizionate dalla presenza di infrastrutture, è fondamentale quantificare i volumi di sedimenti marini movimentati nell'ambito delle attività di dragaggio portuale [10].

Tale esigenza è diventata fondamentale nell'ambito delle attività istituzionali per dare una soluzione alle problematiche relative al Porto di Carrara e agli effetti che questo induce sulla fascia costiera apuo-versiliese.

L'attuale lay-out del porto di Marina di Carrara ha una configurazione del tipo "a bacino" e, essendo stato realizzato all'interno della fascia attiva di un litorale sabbioso, ha comportato una serie di interferenze sulla morfodinamica costiera sin dagli anni successivi alla sua realizzazione [13], generando un ingente accumulo di sedimenti a Nord della struttura ed un deficit di sedimenti a sud della stessa, il quale si è poi manifestato attraverso elevatissimi tassi di arretramento della linea di riva sottoflutto. In tale processo hanno importanza anche le attività di dragaggio e sversamento dei sedimenti: l'approccio metodologico utilizzato dall'ICRAM nel presente studio ha permesso di determinare con un discreto dettaglio, utilizzando una tecnica di monitoraggio indiretto, il volume di sedimento movimentato nell'area portuale di Marina di Carrara nell'intervallo temporale 1993-2004.



Figura 1 - Batimetria 3d dell'area portuale di Marina di Carrara: i cambiamenti di intensità di colore corrispondono ad intervalli di 1 m di profondità.

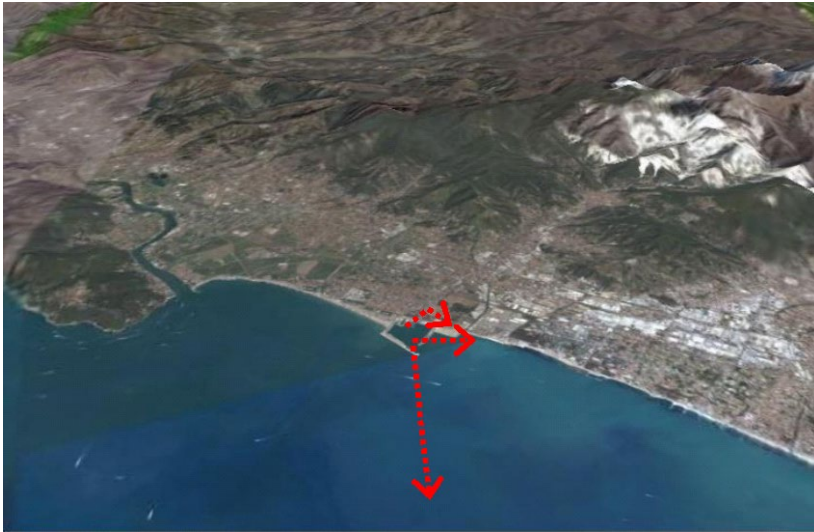


Figura 2 - Porto di marina di Carrara e tratto costiero di riferimento. Le frecce indicano genericamente i principali siti di destinazione del materiale dragato.

## Metodologia

L'approccio metodologico scelto ha compreso 3 fasi distinte.

Nella prima fase è stata effettuata un'accurata ricerca presso l'archivio delle direzioni Protezione Natura e Qualità della Vita del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio [9]. Lo scopo di tale ricerca è stato la catalogazione e l'esame dei decreti autorizzativi al dragaggio e al successivo sversamento di sedimenti nell'area portuale di Marina di Carrara. Solitamente in tali decreti è riportato il volume del materiale da dragare, la localizzazione delle aree di escavo e di deposito e la relativa destinazione d'uso.

Le volumetrie desumibili dai decreti sono per natura prive di un riscontro oggettivo (ad es. con rilievi di prima e seconda pianta) sugli effettivi volumi dragati. Per questo, nella seconda fase sono stati presi in considerazione anche tutti i documenti contabili o attestanti lo stato finale dei lavori che gli enti coinvolti hanno reso disponibili. Attraverso questi documenti è stato determinato il quantitativo di sedimento effettivamente movimentato e sono state identificate variazioni dell'area di scarico in relazione ad alcuni dei decreti [7] e [8]. La principale limitazione riscontrata nel metodo è che ove tali informazioni integrative non sono state trasmesse si è dovuto necessariamente considerare che tutto il volume autorizzato fosse stato effettivamente movimentato.

Nella terza fase, data l'eterogeneità dei sistemi di riferimento associati ai dati in origine, tutte le informazioni raccolte sono state inserite all'interno di un geodatabase e georeferenziate nel medesimo datum, WGS 84 UTM Fuso 32. Tali dati sono stati poi elaborati e visualizzati utilizzando il software ArcGis per poter ottenere una stima delle volumetrie riferite alle aree di dragaggio e successivo scarico (Fig. 3). E' stato così possibile localizzare tali aree e metterle in relazione a dati pregressi quali rilievi batimetrici o della linea di riva.

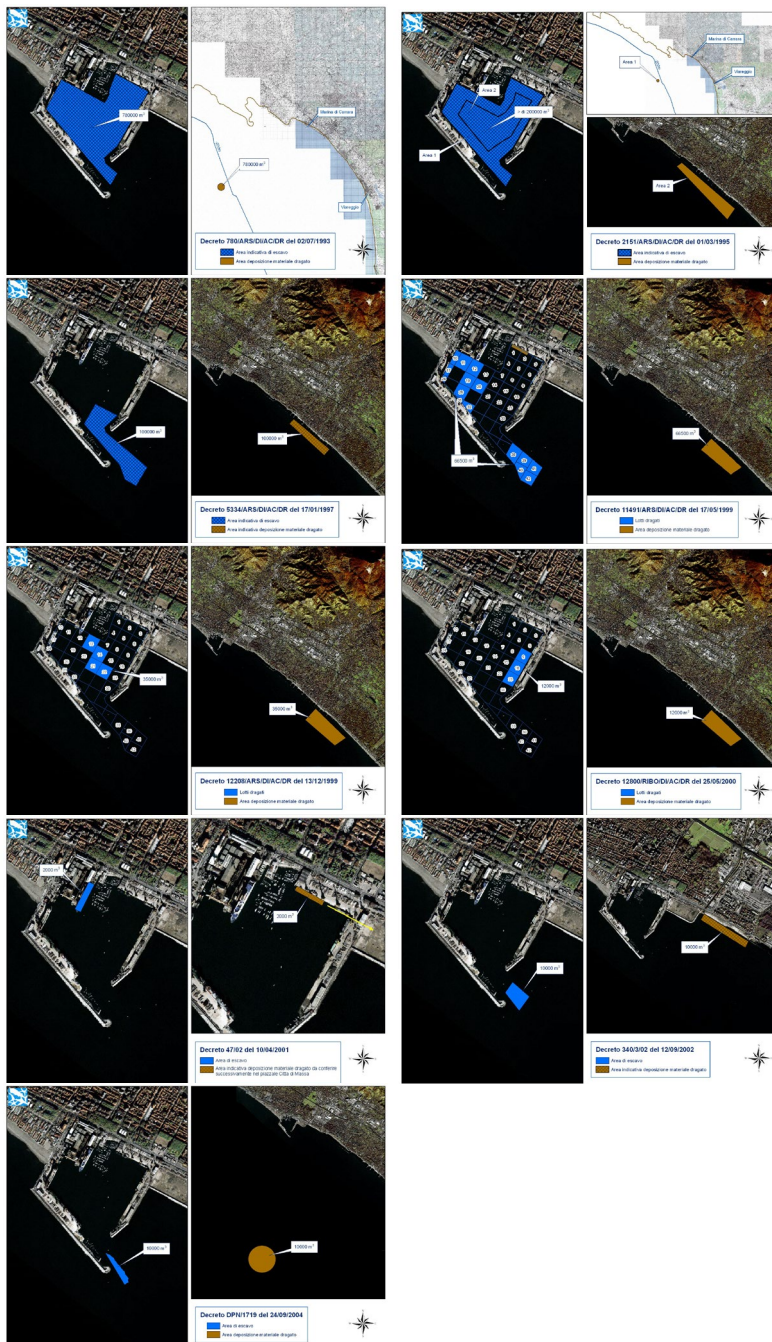


Figura 3 - Aree di dragaggio e di sversamento di sedimenti relative agli interventi dal 1993 al 2004.

Ai fini di distinguere le frazioni granulometriche che contribuiscono al bilancio sedimentologico del tratto costiero in esame, sono state considerate anche le caratteristiche tessiturali dei sedimenti. Tale informazione, oltre ad essere utile per valutare l' idoneità per operazioni di ripascimento, è rilevante perché la frazione limo-argillosa non contribuisce in maniera significativa al bilancio sedimentologico delle spiagge, dal momento che la sua sedimentazione sottocosta è sempre molto esigua. Sono stati confrontati così due differenti serie di dati: gli elaborati della Regione Toscana inerenti la granulometria dei sedimenti all'esterno del bacino portuale relativi al periodo 1997-1998 e i dati ottenuti a seguito delle attività di caratterizzazione dei sedimenti eseguita dall'Autorità Portuale di Marina di Carrara in ottemperanza del Piano di Caratterizzazione ICRAM [6].

## Risultati

L'approccio metodologico utilizzato ha permesso di ottenere i seguenti risultati:

Tra il 1993 e il 2004 il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio ha emesso un totale di 10 decreti autorizzativi al dragaggio dell'area portuale di Marina di Carrara. Il materiale dragato ha avuto tre differenti destinazioni:

- sversamento sottocosta ai fini del ripascimento tramite ondatazione
- sversamento a largo
- conferimento in casse di colmata

In alcuni casi le informazioni riportate nei decreti sono state confermate o aggiornate da documenti contabili attestanti lo stato finale dei lavori, ove tali informazioni non sono state acquisite è stato ritenuto che tutto il volume autorizzato sia stato effettivamente movimentato. La tabella 1 riporta gli atti autorizzativi, la cronologia degli escavi ed i volumi di escavo movimentati all'interno del bacino portuale e presso l'imboccatura.

Tabella 1 - Cronologia ed ubicazione delle aree di escavo dell'area portuale di Marina di Carrara nell'intervallo 1993-2004.

Decreto	anno	Escavo (m <sup>3</sup> )		Destinazione (m <sup>3</sup> )	
		Bacino Portuale	Imboccatura	Ripascimento indiretto	Scarico a mare a largo
780	1993	780000		-	780000
2151	1995	>200000		ripartizione non specificata	
5334	1997	100000		100000	-
11491	1999	66500		66500	
12208	1999	35000	-	35000	
12800	2000	12000	-	12000	
47/02	2001	2000			2000
340	2002	-	10000	10000	
1719	2004	-	10000	-	10000

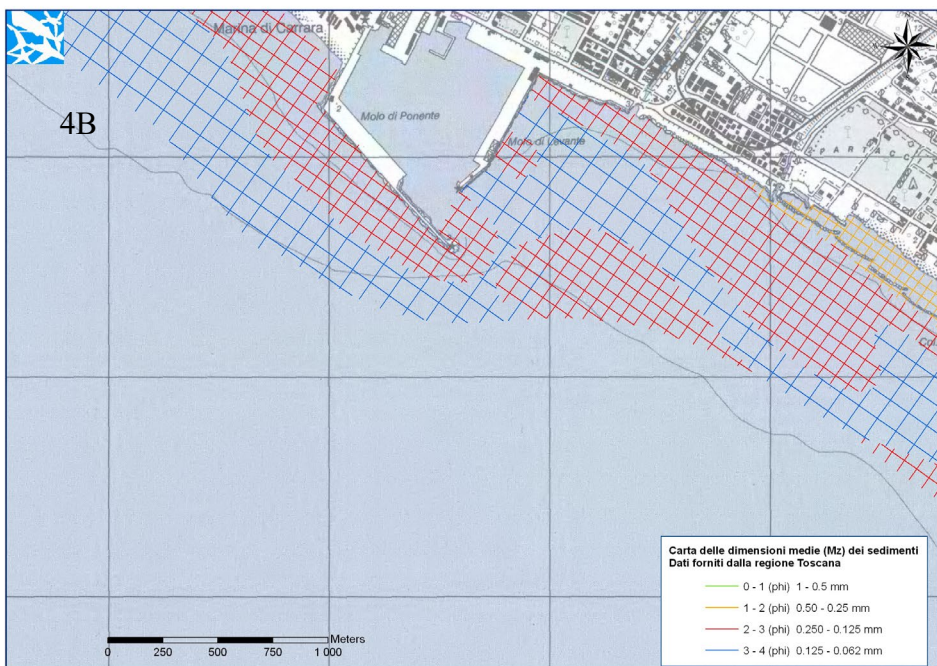
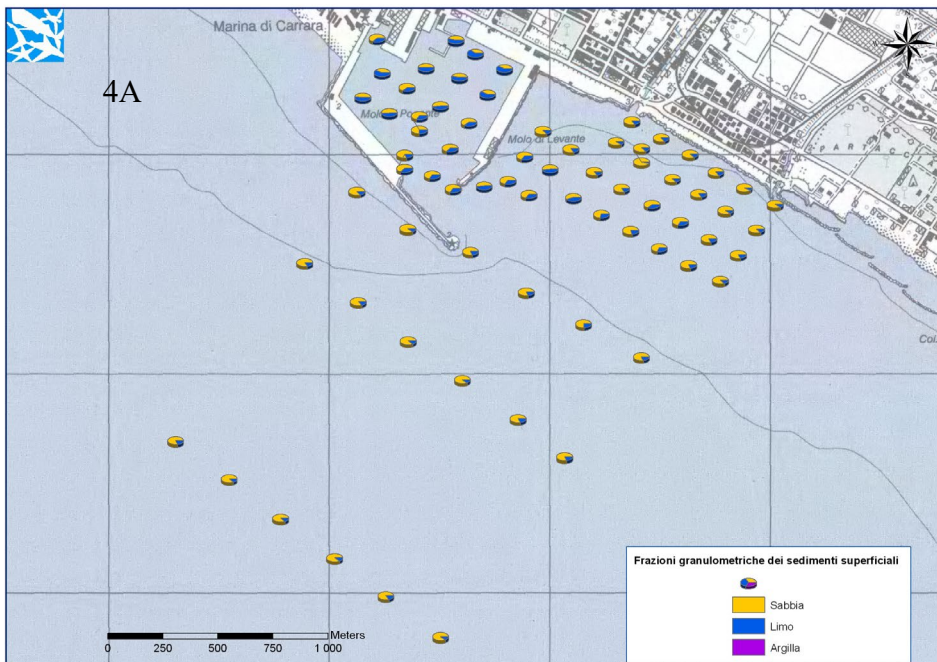


Figura 4 - Distribuzioni granulometriche dei sedimenti dell'area portuale di Marina di Carrara. 4A: Risultati Caratterizzazione eseguita dall'Autorità Portuale di Marina di Carrara su stralcio del Piano ICRAM [6]; 4B: dati Regione Toscana.

Dai dati ottenuti a seguito delle attività di caratterizzazione dei sedimenti effettuata dall'Autorità Portuale di marina di Carrara nel marzo 2005, è possibile constatare che il contenuto in sabbia (diametro compreso tra 0.063 mm e 2 mm) dei sedimenti superficiali nei pressi dell'area portuale varia da un minimo di 40% ad un massimo di 90 %, ed è mediamente pari al 70 % (Fig. 4A). Dagli elaborati della Regione Toscana inerenti la granulometria dei sedimenti all'esterno del bacino portuale, relativi al periodo 1997-1998, si evince che la loro dimensione media è superiore a 0.063 mm e che quindi si tratta di sedimenti prevalentemente sabbiosi (Fig. 4B).

## Conclusioni

Relativamente ai sedimenti che costituiscono i fondali delle darsene portuali è doveroso sottolineare che questi possono costituire una “potenziale risorsa” da sfruttare, seguendo le procedure previste dalle normative vigenti, anche per l'utilizzo più nobile quale il rinascimento degli arenili. Dunque, analogamente ai depositi sabbiosi sommersi del largo, anche i sedimenti dragati dai porti, compatibilmente alle loro caratteristiche fisiche, chimiche, biologiche e tossicologiche, potrebbero contribuire ad assicurare il bilancio sedimentario dei litorali. In questo modo verrebbero a ridursi gli impatti dei fenomeni di erosione generati dalle medesime strutture portuali che interrompono il trasporto solido longitudinale e generano stock sabbiosi sopraflutto. D'altro canto gli stessi sedimenti, una volta dragati dall'area portuale e depositati ad una profondità maggiore della “profondità di chiusura” o destinati al riempimento di opere portuali quali casse di colmata o banchine, possono essere considerati definitivamente sottratti al bilancio sedimentologico dell'unità fisiografica di riferimento.

Nel caso del Porto di Marina di Carrara, i documenti esaminati permettono di affermare che nell'area portuale, tra il 1993 e il 2004, è stata autorizzata la movimentazione di un volume di sedimenti pari a 1.265.500 m<sup>3</sup>. Il quantitativo realmente escavato, sulla base dei documenti ad oggi acquisiti circa lo stato finale dei lavori, risulta pari a 814.777 m<sup>3</sup> (Tab. 1). I quantitativi corrispondenti a ciascuna destinazione d'uso sono riportati nello schema in Fig. 5: è interessante notare che il quantitativo massimo di materiale dragato e scaricato al largo ai sensi dei decreti autorizzativi è pari a circa 305.000 m<sup>3</sup> mentre quello dragato e riutilizzato nell'ambito dei lavori di riqualificazione e ampliamento del Piazzale “Città di Massa” ammonta a 190.000 m<sup>3</sup>.

Dal 1993 al 2004 solo 4 dei 9 interventi di dragaggio hanno riguardato le aree limitrofe all'imboccatura portuale. Analisi più approfondite recentemente condotte dall'Autorità Portuale di Marina di Carrara [4], sulla base delle analisi condotte nel presente lavoro hanno inoltre messo in evidenza che dal 1993 al 2004, si può cautelativamente stimare un rateo annuo di materiale dragato dall'imboccatura portuale compreso da un minimo di 5.000 m<sup>3</sup>/anno ad un massimo di 25.000 m<sup>3</sup>/anno con un valore medio di circa 13.000 m<sup>3</sup>/anno.

Dal punto di vista sedimentologico la componente sabbiosa è, relativamente ai primi 10 cm di fondale, pari al 70 % in peso e varia da un minimo del 50 % all'interno della darsena ad un massimo di più del 90 % fuori dal bacino portuale. Considerando la componente limo-argillosa rispetto al quantitativo totale di sedimenti movimentati, l'influenza che le attività di movimentazione prese in esame hanno realmente avuto sul



bilancio sedimentologico del litorale potrebbero essere approfondite con maggior dettaglio.

Ciononostante, si ritiene che il presente lavoro abbia fornito informazioni estremamente utili ai fini della realizzazione di un dettagliato quadro conoscitivo del bilancio sedimentologico dell'unità fisiografica di riferimento.

Sono state ricostruite infatti le variazioni morfologiche dei fondali indotte da interventi antropici, informazione fondamentale per l'implementazione e calibrazione di modelli numerici ad alta risoluzione atti a simulare l'evoluzione morfobatimetrica della costa.

I risultati del presente lavoro hanno anche risvolti di tipo gestionale, in quanto i criteri di progettazione più moderni non possono prescindere dal quantificare l'influenza che una struttura costiera può avere sul trasporto solido litoraneo, prevedendo cioè se e come i sedimenti costieri possano by-passare la struttura. Approcci metodologici analoghi a quello proposto nel presente lavoro possono risultare utili al fine di rendere maggiormente compatibili gli adeguamenti o ampliamenti delle strutture portuali con le dinamiche sedimentarie che agiscono lungo le unità fisiografiche di riferimento.

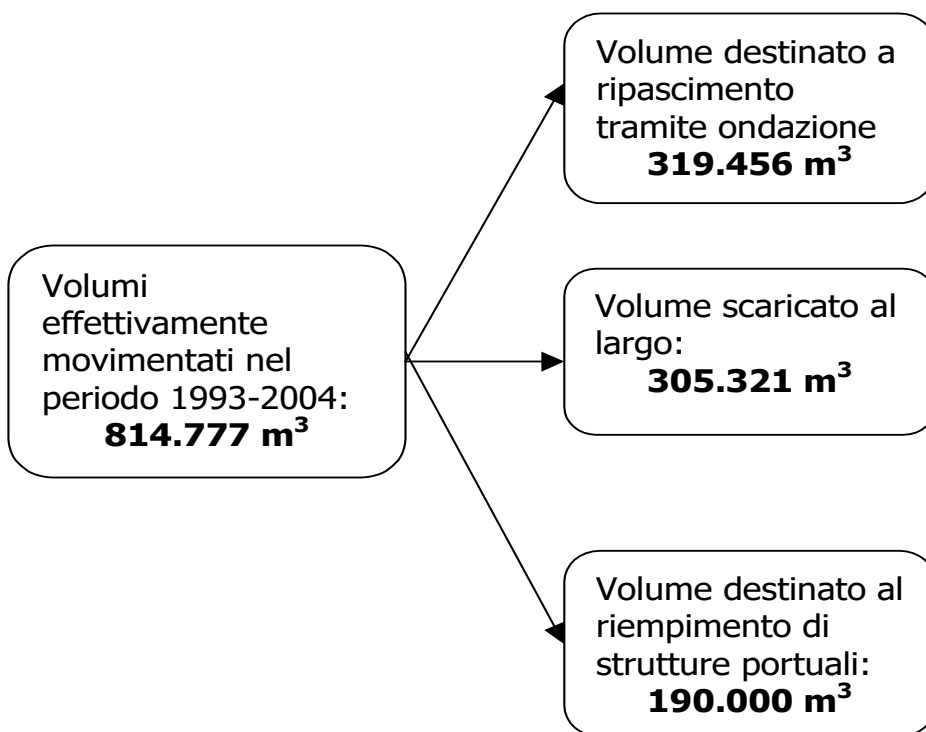


Figura 5 - Schema riassuntivo dei volumi movimentati nei pressi del Porto di Marina di Carrara e relativa destinazione d'uso.

## Bibliografia

- [1] Autorità Portuale di Marina di Carrara “*Ampliamento del piazzale città di Massa. Relazione tecnica*” (2004).
- [2] Autorità Portuale di Marina di Carrara “*Relazione generale e quadro economico*” del Progetto Definitivo di “*Ampliamento del piazzale Città di Massa*” (2000).
- [3] Cappucci S., Colonna P., Paoletti A. Rinaldo A., Zanovello, Calarco D., Mugnai C., Rossi L., Scarcella D. -*Calcolo del volume dei sedimenti marini movimentato nell’intorno del Porto di Marina di Carrara nell’ambito delle attività di dragaggio portuale nel periodo 1993-2004 – TTMC-DP-01.06*. ICRAM, Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio: 29 pp (2006).
- [4] Contini P., Melito I. Pranzini E. -*Contributo tecnico al documento ttmc-dp-02.06 Problematiche di insabbiamento ed escavazione delle aree portuali ricadenti in litorali sabbiosi* (2006).
- [5] Gregory P. *Port Engineering: Planning, Construction, Maintenance, and Security* (2004). Tsinker ISBN: 0-471-41274-0 896 pp.
- [6] ICRAM- Piano di Caratterizzazione Ambientale dell’Area marino costiera prospiciente il sito di interesse nazionale di Massa e Carrara (CII-Pr-TO-MC-02.05) (2004).
- [7] Ministero dei Lavori Pubblici – Ufficio Genio Civile per le Opere Marittime - *Atto unico di Collaudo dei lavori di dragaggio del bacino portuale di Marina di Carrara 2° e ultimo lotto del 26/05/1996*.
- [8] Ministero dei Lavori Pubblici – Ufficio Genio Civile per le Opere Marittime - *Stato Finale dei lavori di dragaggio del bacino portuale di Marina di Carrara 2° e ultimo lotto, a tutto il 28/08/1995* (perizia n. 3050/MS del 19/07/1986).
- [9] Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio - *DECRETI MINISTERIALI: 780/ARS/DI/AC/DR del 02/07/1993; 2151/ARS/DI/AC/DR del 01/03/1995; 5334/ARS/DI/AC/DR del 17/01/1997; 5519/ARS/DI/AC/DR del 27/02/1997; 11491/ARS/DI/AC/DR del 17/05/1999; 12208/ARS/DI/AC/DR del 13/12/1999; 12800/RIBO/DI/AC/DR del 25/05/2000; DEC 47/02 del 10/04/2001; DEC/340/3/02 del 12/09/2002; DEC/DPN/1719 del 24/09/2004*.
- [10] Pellegrini D., Onorati F., Virno Lamberti C., Merico G., Gabellini M., Ausili A., *Aspetti tecnico-scientifici per la salvaguardia ambientale nelle attività di movimentazione dei fondali marini: Dragaggi Portuali*. (2002) Quaderno ICRAM.
- [11] Provincia di Massa Carrara *Determinazione n. DD/8685/2004 del 27/09/2004*.
- [12] U.S. Army Corps of Engineers - *Coastal Engineering Manual* (2002) EM 1110-2-1100.
- [13] WL | Delft Hydraulics - *Carrara Coastal Study Volume 3: Coastline Evolution Study – Draft Report* (2006), 211 pp.



# L'EVOLUZIONE MORFOLOGICA DEI LITORALI A SOSTEGNO DEI PIANI PER LA GESTIONE INTEGRATA DELLA FASCIA COSTIERA

Federica Braga<sup>1</sup>, Luigi Alberotanza<sup>1</sup>, Jvan Barbaro<sup>1</sup>, Stefania Salviato<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>CNR – Istituto di Scienze Marine Sede di Venezia, San Polo 1364 – 30125 Venezia,  
Tel. 041 5216854, Fax. 041 2602340, e-mail: federica.braga@ve.ismar.cnr.it

**Riassunto** – Lo studio del sistema costiero risulta assai complesso. Per questo è necessario analizzarlo nelle molteplici componenti per individuare quelle maggiormente influenti sulla dinamica evolutiva. Questo aspetto consente di pervenire alla conoscenza dei fenomeni che regolano il regime dei litorali e permette di disporre degli elementi necessari alla stesura di un piano operativo per la gestione della fascia costiera.

Per comprendere le dinamiche e i processi naturali ed antropici che agiscono sui sistemi litoranei, a complemento di quelle sul bacino idrografico, l'Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico ha avviato una convenzione di ricerca con l'Istituto di Scienze Marine - CNR di Venezia. In tale ambito è stata analizzata l'evoluzione morfologica della linea di costa dei litorali adiacenti ai fiumi di loro competenza, attraverso cartografia, immagini aeree e da satellite, dati dedotti da studi pregressi.

***Abstract** – The study of coastal system is extremely complex and it requires a multidisciplinary approach in order to understand the main processes which influence the evolution dynamics. This is necessary for developing a management and monitoring plan, which supports and directs the near-future coastal interventions.*

*For understanding the dynamics and the natural and man-induced processes, which influence the coastal evolution of the North Western Adriatic Sea, a specific research program is started in 2003 by a cooperation between CNR-Istituto di Scienze Marine and the Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico.*

## Introduzione

L'equilibrio di una costa è di tipo dinamico, dipende dalle interazioni di terra, mare e atmosfera (venti), ed è soggetto a continue variazioni in seguito al mutare dei fattori naturali che ne presiedono l'esistenza (apporto solido dei fiumi, azione del moto ondoso, ecc.). Inoltre può essere sensibilmente influenzato dall'azione dell'uomo sia riducendo il trasporto solido con interventi lungo i corsi d'acqua sia modificando direttamente il litorale con la costruzione di opere (moli, scogliere artificiali, installazioni turistiche, ecc.).

L'impatto dei fenomeni naturali e antropici sull'evoluzione costiera rende necessario elaborare modelli, metodologie ed informazioni che integrino le ricerche in corso, per definire un piano di gestione e di controllo che supporti ed orienti i futuri interventi sui litorali.

Negli ultimi decenni l'ambiente costiero è stato oggetto di una crescente attenzione

sia da parte delle amministrazioni centrali e locali che da parte del mondo della ricerca. Ciò deriva, da un lato dalle forti pressioni che si sono andate ad esercitare su questa parte del territorio, dall'altro dalla complessità dei fenomeni fisici che qui si sviluppano, con grandi trasformazioni dovute anche ai cambiamenti climatici in atto. Ciò ha favorito la nascita di una stretta collaborazione fra le amministrazioni pubbliche e il mondo della ricerca.

A complemento degli studi sui bacini idrografici, l'Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico ha avviato con l'Istituto di Scienze Marine - CNR Sede di Venezia una convenzione di ricerca sui processi fondamentali che influenzano la dinamica evolutiva dell'ambiente costiero nell'area compresa tra le foci dell'Isonzo e del Brenta.

Lo studio partendo dalle conoscenze già esistenti e dalle ricerche in atto ha sviluppato i temi fondamentali della caratterizzazione del clima meteomarinico, del modello di circolazione costiera ed analisi dei processi di trasporto del carico sospeso, dell'indagine morfologica dell'evoluzione della costa e del monitoraggio del trasporto solido nel tratto terminale dei fiumi Piave e Tagliamento. [2]

## **Materiali e Metodi**

L'avanzamento e l'arretramento della costa sono l'aspetto più evidente delle modificazioni del litorale e generalmente lo studio dell'evoluzione morfologica della linea di riva costituisce una valida indicazione del comportamento del tratto costiero in relazione ai processi naturali ed indotti dall'uomo. Inoltre è uno strumento utile per la protezione e per la gestione delle problematiche connesse con l'erosione costiera.

I cambiamenti morfologici della costa sono l'effetto di processi, condizioni climatiche ed interventi antropici spesso concomitanti, quali: l'eustatismo, la subsidenza, le condizioni meteo-marine, il trasporto solido, l'azione eolica, l'attività antropica.

Tutti questi fattori contribuiscono in modo diverso alle variazioni morfologiche della fascia litoranea tra le foci dei fiumi Brenta ed Isonzo. Tali modificazioni a loro volta presentano un impatto diverso in funzione sia della vulnerabilità intrinseca dell'assetto ambientale che dell'attività antropica o uso del suolo, ovvero dell'importanza ambientale e socio-economica di uno specifico tratto costiero. [6]

L'evoluzione morfologica della linea di costa dei tratti di litorale adiacenti ai fiumi di competenza dell'Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico è stata indagata attraverso l'analisi e l'elaborazione della cartografia storica e attuale, di immagini aeree e da satellite ad alta risoluzione spaziale, di dati dedotti da studi pregressi.

Materiali utilizzati:

- Tavole IGM (Istituto Geografico Militare) della carta ufficiale italiana, ultimo aggiornamento (scala 1:25.000).
- Carta Tecnica Regionale del Veneto in formato raster (scala 1:10.000).
- Carta Tecnica Regionale Numerica del Veneto - CTRN - in formato vettoriale (scala 1:5.000)
- Carta Tecnica Regionale del Friuli Venezia Giulia in formato vettoriale (scala 1:5.000).
- Fotoaeree relative al Volo AdB del 6 giugno 2003.
- Immagini registrate dai sensori QuickBird o IKONOS relative al 2004.

Il metodo utilizzato per confrontare le immagini è stato messo a punto gradualmente durante lo svolgimento dello studio, prendendo in considerazione le differenti caratteristiche dei dati disponibili.

- Georeferenziazione: le diverse fonti cartografiche e remote sono state rettificate nel sistema cartografico nazionale (Gauss-Boaga, fuso Est), utilizzando come base di riferimento la CTRN, sulla quale sono stati individuati dei *Ground Control Points*. Sulla base di questi punti, per ciascuna immagine è stata definita una funzione polinomiale di I grado. L'algoritmo di ricampionamento adottato è il *nearest neighbour*. [4]
- Analisi spettrale e fotointerpretazione: per definire la linea di riva è necessario individuare la separazione, nella zona di spiaggia intertidale, tra terra e acqua. L'approccio tradizionale prevede il riconoscimento per fotointerpretazione, cioè tramite l'indagine e l'interpretazione visiva di un operatore. Questa tecnica è stata utilizzata nei tratti in cui le condizioni di ripresa dell'immagine permettevano una determinazione univoca della linea di riva.  
L'approccio alternativo cerca di sfruttare le informazioni relative alla diversa risposta spettrale di terra e acqua. Nelle immagini multispettrali IKONOS e QuickBird la linea di riva è stata estratta in modo semi-automatico dall'analisi dei valori di ogni pixel del vicino infrarosso (NIR), considerando che virtualmente tale banda non penetra nell'acqua. [1], [3], [5], [7].
- Individuazione e digitalizzazione della linea di riva.
- Confronto di porzioni omologhe.

## Risultati

Un primo risultato è stato l'aggiornamento della situazione dei litorali (linea di riva, difese parallele e trasversali, armature fluviali) sulla base della ripresa aerea del 2003. Ciò è stato necessario per fornire un riferimento cartografico aggiornato per l'implementazione dei modelli di circolazione costiera e di trasporto dei sedimenti. Dati relativi alla tipologia e ubicazione delle strutture costiere, unitamente ai dati relativi all'evoluzione della linea di riva, costituiscono le condizioni al contorno da associare alla serie storica delle forzanti meteomarine trasferite, mediante opportuni modelli, a costa.

Il confronto tra le linee di riva relative ai diversi periodi ha messo in rilievo le zone di erosione e di accumulo del litorale. Sono state prodotte quattro carte di evoluzione della linea di riva (scala 1:25.000) (Figura 1), rispettivamente per i litorali adiacenti ai fiumi Brenta, Piave e Livenza, Tagliamento, Isonzo. L'analisi dei dati cartografici e delle immagini ha considerato il periodo dagli anni '60 al 2004. Nel rapporto tecnico allegato vengono considerati anche i dati dedotti da studi pregressi. [8]

Gli apparati deltizi dei fiumi Brenta, Piave e Tagliamento sono le aree maggiormente sottoposte ai processi di erosione e deposizione che si manifestano con l'arretramento e l'avanzamento della spiaggia emersa e l'incremento o la riduzione di pendenza dei fondali. Tali modifiche si verificano per variazioni di portata liquida e solida dei corsi d'acqua e del regime meteo-marino del litorale, per subsidenza e per interventi

antropici effettuati lungo costa, in prossimità delle foci, lungo le aste fluviali o nell'ambito degli interi bacini idrografici.

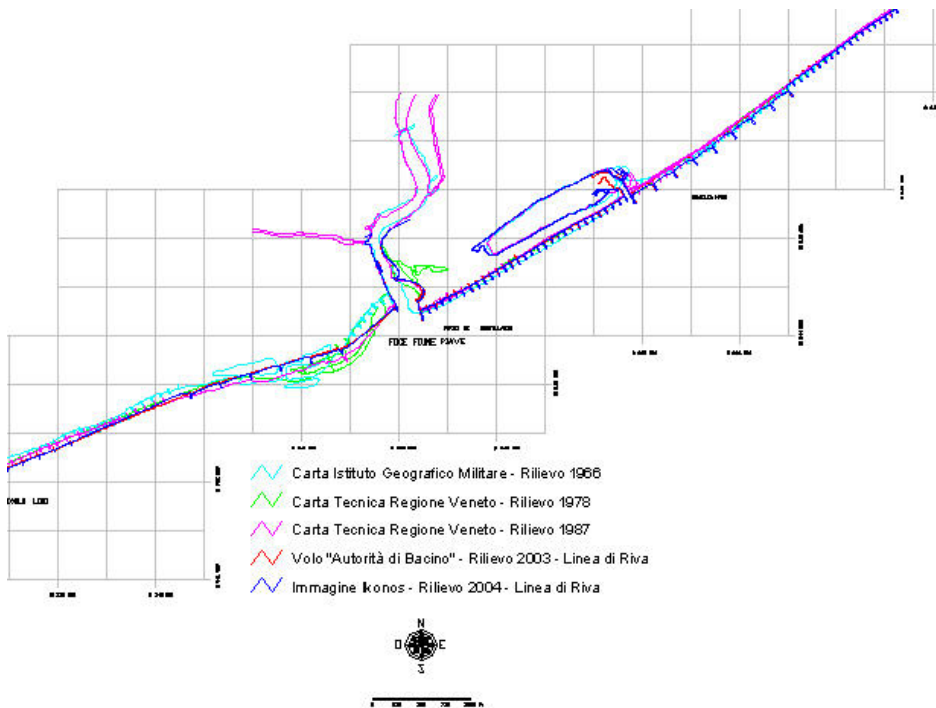


Figura 1 – Particolare della Carta di evoluzione della linea di riva (scala 1:25.000).  
*Figure 1 – Detail of shoreline evolution map (1:25.000).*



Figura 2 – Variazioni dei moli alla foce del Brenta. Da sinistra: 1978, 1987, 2003.  
*Figure 2 – Modifications of the jetties on Brenta river mouth. From the left: 1978, 1987, 2003.*

Circa la metà dei 70 km di costa, sono interessati da difese parallele e trasversali e da periodici ripascimenti artificiali per poter mantenere la funzione protettiva nei confronti dei territori retrostanti e le potenzialità di utilizzazione a fini turistico ricreativi. Lo stato attuale della costa risente dell'inorganicità complessiva degli interventi realizzati in passato, effetto di una sommatoria di esigenze specifiche che non prodotto di una logica di sistema in un rapporto corretto tra ambiente costruito e ambiente naturale.

A supporto delle considerazioni riguardanti l'evoluzione morfologica dei litorali, si sta producendo un database nel quale sono raccolti e censiti i principali interventi di difesa del litorale (pennelli trasversali e longitudinali, moli fluviali, ripascimenti, ecc.) che hanno interessato le spiagge in esame (Figura 2). In questo modo, è possibile fare delle corrette valutazioni sulla tendenza evolutiva dell'area, associando la componente dovuta alla dinamica naturale e l'impatto antropico.

Allo scopo di fornire uno strumento efficace per la pianificazione del territorio e per i progetti di intervento si stanno raccogliendo e organizzando dati relativi allo stato della spiaggia emersa, con particolare riferimento alle caratteristiche morfologiche (presenza di cordoni dunali, estensione dell'arenile, ecc.), e all'uso del territorio.

Infine la disponibilità di dati di diverso tipo (cartografici, da aereo, da satellite) permettono di valutare i prodotti ottenibili dalle diverse tipologie di dati di *Earth Observation* sulla base delle applicazioni richieste e per l'assimilazione nelle simulazioni numeriche.

## Conclusioni

Il programma di ricerca tra CNR e Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico rappresenta la messa a punto di un moderno sistema di monitoraggio del sistema costiero al fine di poter fornire dati accurati necessari per la pianificazione e le strategie di intervento.

Il calo dell'apporto di sedimenti verso costa, causato prevalentemente dagli interventi antropici (sbarramenti fluviali, regimazioni idrauliche, estrazioni di acqua e di materiali inerti), ha determinato una profonda alterazione dei cicli sedimentari nei bacini idrografici e frequenti situazioni di squilibrio sui litorali italiani. Un aspetto innovativo di questo studio è considerare la costa come naturale continuazione del fiume, ricostruendone la dinamica evolutiva, valutando anche il ruolo del trasporto solido dei fiumi, gli effetti degli interventi strutturali e manutentivi attuati, nonché gli effetti delle varie forme di antropizzazione.

In un quadro di competenze di gestione frammentato come è quello dell'ambiente costiero, il solo fatto di poter riunire le informazioni disponibili è già un grande risultato ed un ottimo punto di partenza per la redazione di un Piano integrato per la gestione delle coste.

L'analisi dell'evoluzione della linea di costa con metodologie innovative può risultare utile alla protezione e alla gestione delle problematiche connesse con l'erosione costiera. L'utilizzo di dati telerilevati è un valido strumento per individuare i principali cambiamenti e per cercare di identificarne cause e possibili trend evolutivi.

Il monitoraggio dell'evoluzione delle spiagge riveste un ruolo fondamentale in ogni politica territoriale in cui sia coinvolta la fascia litorale. La spiaggia costituisce l'elemento di maggior valore economico del sistema costiero, ma anche quello più fragile e più soggetto a variazioni morfologiche che ne modificano la funzione protettiva dei territori retrostanti e le potenzialità di utilizzazione a fini turistico ricreativi.



Da una valutazione corretta e precisa dell'evoluzione morfodinamica dipendono alcuni dei problemi tipici di gestione integrata della fascia costiera: il controllo dell'erosione delle spiagge; la progettazione di ripascimenti artificiali; la realizzazione e il controllo di opere di difesa; la definizione di linee di *set-back* per la costruzione e zone di rischio.

Gli obiettivi diretti di un approccio di questo tipo sono lo studio dell'evoluzione costiera a lungo termine per l'impostazione di piani di gestione a livello di unità fisiografica e a breve termine per la valutazione dell'impatto delle opere marittime e dell'efficacia degli interventi di difesa; la determinazione dell'estensione e della qualità dell'arenile ai fini dell'ottimizzazione degli usi.

La necessità di prevedere un'indagine multidisciplinare (aspetto ambientale e socio-economico) indirizza in modo armonico lo sviluppo delle attività che insistono sulla costa e influenza positivamente l'insieme dei fattori che dall'entroterra e dal mare premono su questa fascia di territorio in delicato equilibrio.

## Bibliografia

- [1] Abileah R. - *High-Resolution Imagery applications in the Littorals*, Atti di SPIE Remote Sensing Conference, Toulouse, September 2001.
- [2] Alberotanza L., Ardizzon G., Braga F., Costa F., Cucco A., Ferla M., Rizzetto F., Sclavo M., Simionato F., Tosi L., Umgiesser G., Zaggia L. e Zuliani A. - *Rapporto finale della Convenzione di ricerca tra l'Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta- Bacchiglione, ed il Consiglio Nazionale delle Ricerche – ISMAR – Venezia per la ricerca avente come oggetto un'indagine sull'assetto morfologico delle coste*, 2003, Venezia.
- [3] Di, K., Wang J., Ma R., and Li R., - *Automatic Shoreline Extraction from High-Resolution Ikonos Satellite Imagery*, Proceeding of ASPRS 2003 Annual Conference, Anchorage, Alaska, May, 2003. Modified and published in EOM (Earth Observation Magazine), Vol.12, No.7, pp.14-18.
- [4] Lillesand T. M., Kiefer R. W. - *Remote sensing and Image Interpretation*, Fourth ed. (1999), Wiley & Sons, New York.
- [5] Lohani, B., & Mason, D.C. - *Construction of a Digital Elevation Model of the Horderness Coast using the waterline method and Airborne Thematic Mapper data*, Int. J. of Rem. Sens. (1999), 20 (3), 593-607.
- [6] Rusconi A., Alberotanza L., Braga F., Cucco A., Ferla M., Rizzetto F., Sclavo M., Tosi L., Umgiesser G., Zaggia L. e Zuliani A. - *Indagini sull'assetto morfologico delle coste dell'Alto Adriatico*, Atti del XXIX Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Trento, Settembre, 2004, vol. 3, 823-829.
- [7] Ryu, J.H., Won, J.S., Min, K.D. - *Waterline extraction from Landsat TM data in a tidal flat. A case study in Gomso Bay, Korea*, Rem. Sens of Env. (2002), 83, 442-456.
- [8] Zunica M. - *Le spiagge del Veneto*, (1971), Tipografia Antoniana, Padova.

# RICERCHE SEDIMENTOLOGICHE E CARTOGRAFIA DELL'OSSERVATORIO COSTE E AMBIENTE NATURALE SOTTOMARINO (O.C.E.A.N.S.) SARDEGNA - ITALIA

Sandro De Muro, Claudio Kalb, Nicola Pusceddu

O.C.E.A.N.S. - Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Cagliari - Via Trentino, 51 – CA

[demuros@unica.it](mailto:demuros@unica.it); [www.osservatoriocostesardegna.com](http://www.osservatoriocostesardegna.com)

**Parole chiave:** Sedimentologia, Cartografia, Geologia marina, Sardegna.

Vengono esposti alcuni esempi di cartografia costiera in scala 1:10.000 (Figg. 1, 2, 3) derivanti dalle attività di ricerca dell'Osservatorio Coste E Ambiente Naturale Sottomarino (O.C.E.A.N.S. – Palau) sulle aree marine costiere e di piattaforma continentale della Sardegna.

Le ricerche, attuate con lo scopo di redigere cartografia geologico-marina, sedimentologica e geomorfologica su differenti scale, hanno interessato principalmente aree del Nord-Est dell'isola [4, 10], il Golfo di Cagliari [11] e il Golfo di Oristano.

Le informazioni riportate sulla cartografia prodotta si riferiscono alla mappatura e al rilevamento realizzati durante le campagne a terra e in mare svolte tra il 1990 e il 2006, organizzate dal “*Coastal and Marine Geology Group*” dell'Università di Cagliari nell'ambito di diversi progetti di ricerca tra i quali EuroSION (UE), INTERREG IIIA GERER: “*Gestione ambientale integrata in località ad elevato rischio di erosione*”, COFIN 40 %: “*Ripascimenti litorali in differenti assetti geomorfologici e sedimentari: metodologie innovative per la definizione della loro efficacia*”, Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche (G.N.D.C.I. – C.N.R.): “*Prevenzione e previsione degli eventi franosi a grande rischio – Interlinea difesa dei litorali – Unità operativa Sardegna*”.

Gli studi fino ad oggi condotti hanno riguardato soprattutto le indagini sedimentologiche dei fondali marini e dei litorali compresi: tra Punta di Li Francesi e Capo Ferro - Sardegna Nord-Orientale [9, 8, 7], tra Capo Spartivento e Capo Carbonara (Golfo di Cagliari) – Sardegna Sud-Orientale [13] e l'area settentrionale del Golfo di Oristano – Sardegna Occidentale.

Le ricerche sono state svolte con l'ausilio di mezzi navali del Consiglio Nazionale delle Ricerche, dell'Università di Cagliari, del Corpo Forestale e di Vigilanza Ambientale e della Marina Militare. I primi studi costieri sono stati eseguiti contestualmente alle indagini sedimentologiche dei fondali, ma limitati alle sole ricerche sulla provenienza e trasporto dei sedimenti oltre che alla definizione regionale di unità morfologico-strutturali e alla evoluzione pleistocenico-olocenica della piattaforma continentale (De Muro 1990, Brambati e De Muro 1992).

Successivamente, le indagini sono passate a fasi di maggior dettaglio mediante la realizzazione di cartografia sedimentologica della fascia costiera integrata da raccolta di dati morfostrutturali, ecografici e sismici, stratigrafici, micropaleontologici, ecc. [2, 1].

Nell'ambito di questa seconda fase sono stati approfonditi gli aspetti riguardanti lo studio di paleo-linee di riva e di beachrocks mappate e campionate a diverse profondità [3, 9].

Sulla base dei primi risultati geologici, sedimentologici e geomorfologici è stata effettuata una zonazione delle coste e dei fondali marini in scala 1:25.000 e 1:10.000 di sei aree campione.

Inoltre sui sistemi di spiaggia delle aree in studio è stato avviato il monitoraggio basato su una rete di caposaldi.

I principali obiettivi raggiunti sono stati la definizione del regime e della tendenza evolutiva (stabilità, avanzamento, arretramento) delle principali spiagge delle aree in studio.

Le carte prodotte evidenziano la distribuzione dei sedimenti (tessitura, composizione, provenienza, direzioni di trasporto) e delle principali geometrie dei corpi deposizionali olocenici.

Sono in corso di approfondimento studi e mappature di dettaglio con l'obiettivo di ampliare l'areale cartografato e implementare l'Atlante delle coste della Sardegna Nord-Orientale [12], attualmente composto da nove carte tematiche digitali (Fig. 4), ed incrementare la banca dati dell'OCEANS (Osservatorio Coste E Ambiente Naturale Sottomarino).

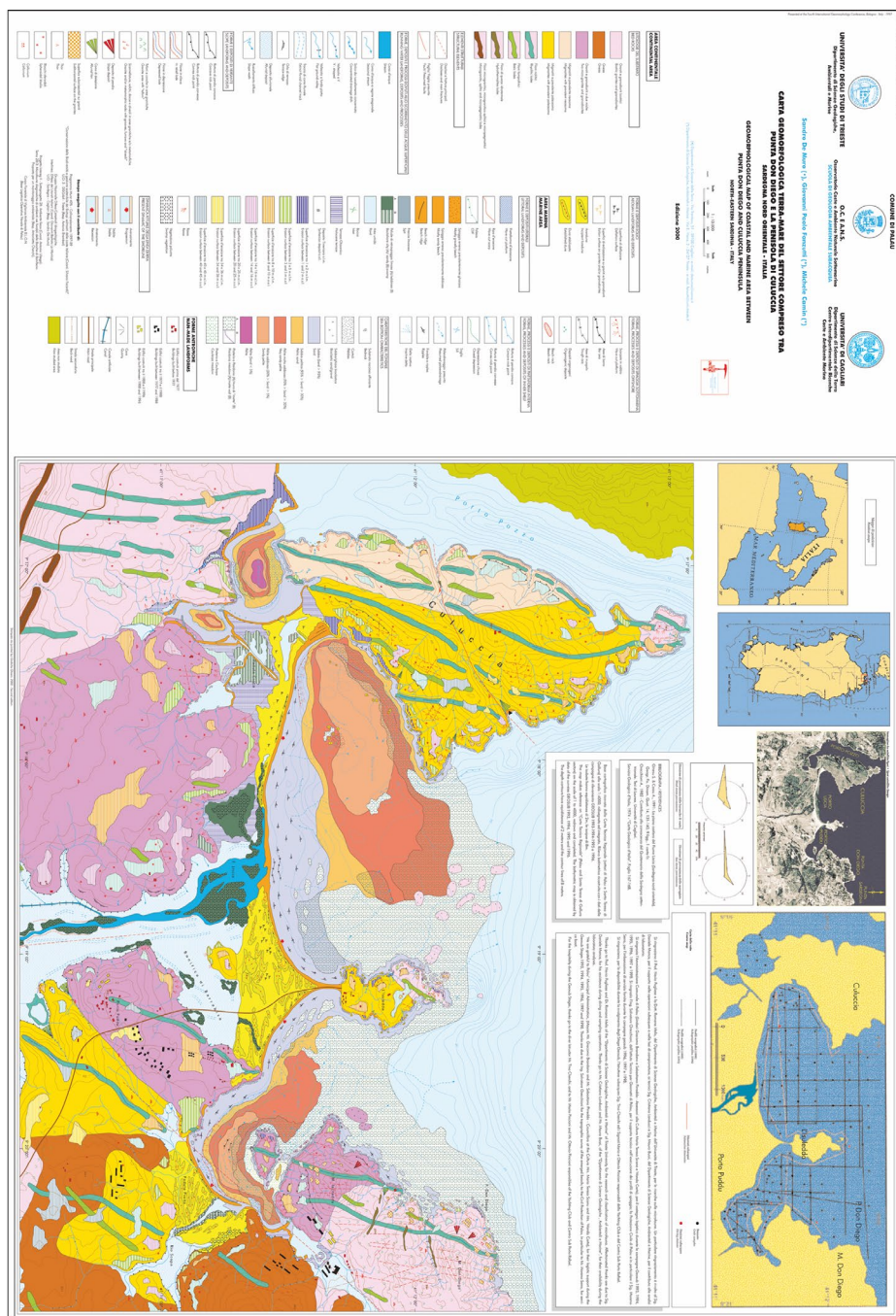


Figura 1 - Carta Geomorfológica Terra–Mare del settore compreso tra Punta Don Diego e la Penisola di Culuccia – Sardegna NE.

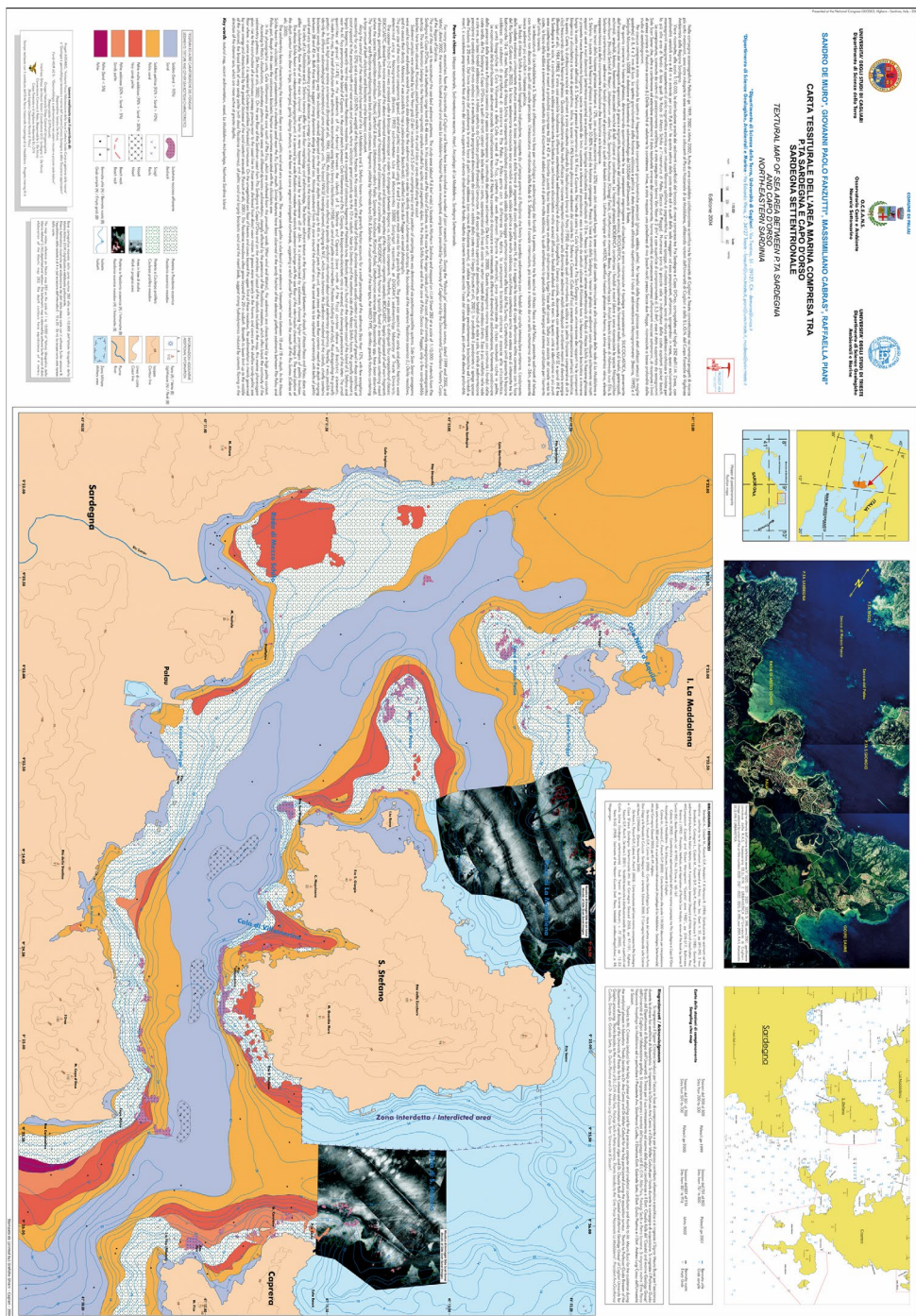


Figura 2 - Carta tessiturale dell'area marina compresa tra P.ta Sardegna e Capo d'Orso (Sardegna settentrionale).

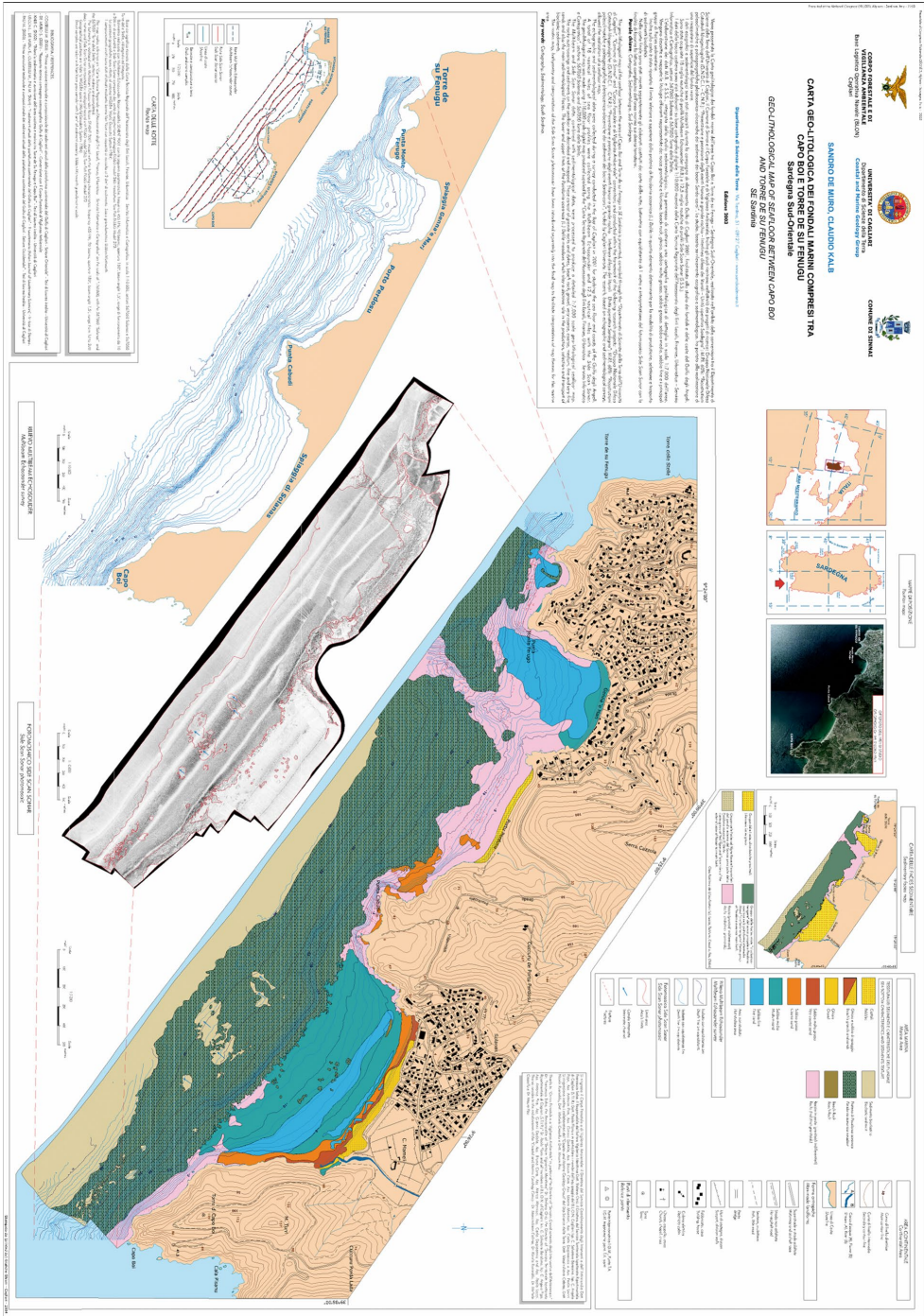


Figura 3 - Carta geo-litologica dei fondali marini compresi tra Capo Boi e Torre de su Fenegu, Sardegna Sud-Orientale.

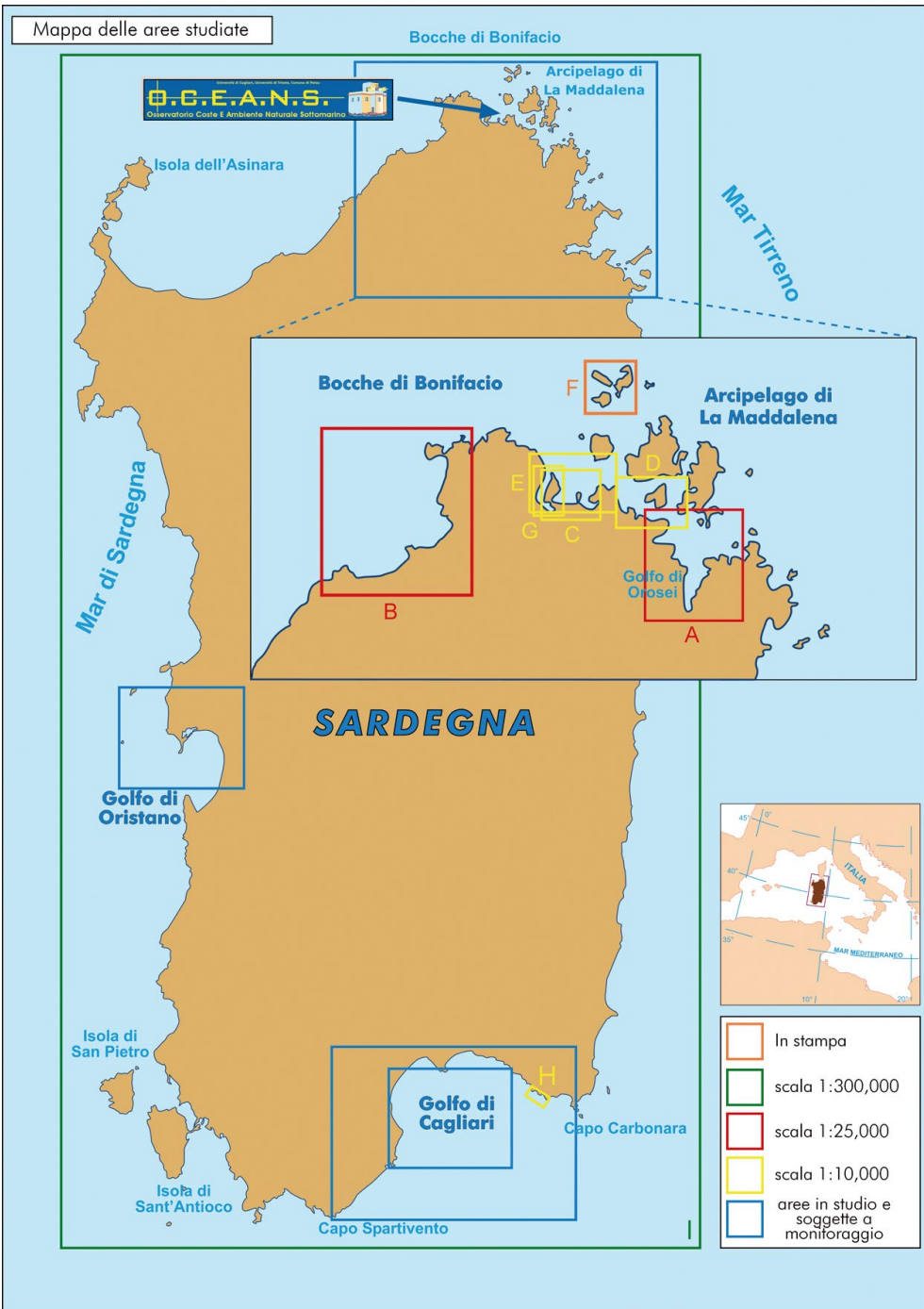


Figura 4 - Mappa delle carte tematiche stampate e delle aree in studio (De Muro, 2006).

## Bibliografia essenziale

- [1] Brambati A, De Muro S. (1992) – “*Dynamics of the bar and trough zone between Capo Testa and Punta di Li Francesi (Northern Sardinia – Italy)*” – Boll. Oceanol. Teor. Appl., VOL 10, N. 2-3-4, 145-179, Trieste 1992.
- [2] De Muro S. (1990) - “*Dinamica dei litorali e Geomorfologia della piattaforma prossimale tra Capo testa e Punta di li Francesi - Sardegna settentrionale*” - Tesi di Dottorato in Scienze Ambientali - Oceanografia Geologica e Risorse - Università degli Studi di Trieste. 2 Vol. 526 pp. 25 Tav. f.t., 295 figg. Biblioteche Nazionali di Firenze e Roma.
- [3] De Muro S., Orrù P. (1997) – “*Il contributo delle beachrock nello studio della risalita del mare olocenico. Le beachrock post glaciali della Sardegna Nord-Orientale*” - Il Quaternario (Italian Journal of Quaternary Sciences). Vol. (11), 1998, 19-39.
- [4] De Muro S., Camin M., Fanzutti G.P. (1997) – “*Geomorphological map of the coastal and marine area between Punta Sardegna and Culuccia Peninsula. New deglacial sea level records from underwater surveys and dating intergranula cement of beachrock (NorthEastern Sardinia , Italy – “IVth International Geomorphology Conference” (Bologna, 1997 – Italy).*
- [5] De Muro S., Ferrara C., Follesa R., Ibba A. (2002a) – “*Caratteristiche sedimentologiche delle spiagge tra Capo Testa e Punta di Li Francesi - Nord Sardegna*” - Proceeding International Congress: Environment and Identity in the Mediterranean. Tome 4. pp. 559-575.
- [6] De Muro S., Follesa R., Ibba A. (2002b) – “*Regime, dynamics and bilance on the coast between Punta di Li Francesi and Capo Testa – Northern Sardinia*” - Proceeding International Congress: Environment and Identity in the Mediterranean. Tome 4. pp. 577-589.
- [7] De Muro S. (2003) – “*Euroasion case study: Lu litarroni - La Liccia - Isle of Sardegna, Italy*” - WP 4.1 report of UAB Pilot Sites Euroasion [www.euroasion.org](http://www.euroasion.org) - [www.euroasion.org/shoreline/table.htm](http://www.euroasion.org/shoreline/table.htm).
- [8] De Muro S., Bartole R., Ramella R., Donda F. (2003a) – “*Acoustic facies and morphologies of the Holocene deposits within the La Maddalena Archipelago (Bocche di Bonifacio – NW Sardinia, Italy)*” - Atti del Convegno Geosed 2003, pp. 119-123. Alghero, Italia.
- [9] De Muro S., De Waele J., Jacumin P., Longinelli A. (2003b) – “*Holocene sea-level changes and palaeoclimatic reconstruction in central north sardinia: preliminary results*” - Atti del Convegno GeoSed 2003, pp. 125-131. Alghero, Italia.
- [10] De Muro S., Fanzutti G.P., Cabras M., Piani R. (2003c) – “*Carta tessiturale dell’area marina compresa tra P.ta Sardegna e capo d’orso (Sardegna settentrionale)*” – Scala 1:10.000 Atti del convegno GeoSed 2003, pp .98, 101. Alghero, Italia.
- [11] De Muro S., Kalb C. (2003d) - “*Geo-Lithological map of seafloor between Capo Boi and Torre de su Fenugu – SE Sardinia*” - Atti del Convegno “Geosed 2003”, pp.143, 149. Alghero, Italia.
- [12] De Muro S. (2006) – “*Atlante delle coste della Sardegna Nord-Orientale – Italia*” (Raccolta di nove carte tematiche su differente scala) – Atti della Conferenza di



avvio del progetto Interreg IIIA GERER: “Gestione sostenibile dei sistemi di spiaggia” – Palau, 30 giugno 2006 - Italia.

- [13] Lecca L., De Muro S., Cossellu M., Pau M. (2005) – “*I sedimenti terrigeno-carbonatici Olocenici della piattaforma continentale del Golfo di Cagliari*” – Il Quaternario (Italian Journal of Quaternary Sciences), 18 (2) 2005, pp. 201-221.

# L'EVOLUZIONE DEL LITORALE NELLA COSTA NORD ORIENTALE DELLA SARDEGNA (COSTA SMERALDA)

Sergio Ginesu, Fiammetta Russo

Istituto policattedra di Scienze Geomineralogiche, Università degli studi di Sassari, Corso Angioi 10, 07100 Sassari. ☎ 079.2006653 ✉ ginesu@uniss.it

**Riassunto** – Lo studio di questo settore della costa nord orientale della Sardegna ha permesso di ricostruire numerosi rilievi batimetrici lungo profili estesi sino all'isobata -10 m e, attraverso analisi granulometriche di campioni di spiaggia emersa e sommersa, di mettere in luce una condizione di avanzamento degli apparati deltizi nella maggior parte delle rias considerate. Tale situazione di sovralluvionamento è da mettere in relazione con l'intensa erosione e il denudamento cui sono sottoposti i rilievi granitici dell'area, intensamente fratturati e privi di una copertura vegetale.

Lo studio idraulico-marittimo della Costa Smeralda rivela inoltre, che l'energia dei piani d'onda all'interno di queste rias è sempre molto attenuata: o per la rifrazione dovuta alla presenza di secche o isolotti, o per l'azione di barriera svolta dai promontori, o per l'espansione laterale dell'onda in baie adiacenti.

***Abstract** – In north-eastern coast of Sardinia, bathymetric profiles down to a -10 m isobath and granulometry analyses carried out on representative samples either of submerged or emerged beaches revealed general conditions of progradation of observed deltaic systems. These conditions could be linked to the strong erosive processes of granite reliefs, commonly characterized by complex fractured systems and lack of vegetal cover. Hydraulic-marine data collected on the investigated area suggest that the energy of waves is attenuated in the bays because of the destructive interference from little islands or promontories or by the lateral scattering of waves coming from adjacent bays.*

## Introduzione

L'area oggetto del presente studio è situata lungo la fascia costiera della Gallura nord-orientale ed in particolare resta compresa tra il Golfo di Arzachena e il Golfo di Cugnana

Sebbene questo litorale abbia subito negli ultimi 40 anni imponenti e sostanziali modificazioni dell'ambiente, in seguito alla realizzazione di un insediamento di interesse turistico internazionale, laddove non esisteva, tuttavia risulta assai povero di letteratura e nello specifico si può fare riferimento unicamente alle attività di indagine svolte per conto del Consorzio Costa Smeralda e delle amministrazioni pubbliche che ne hanno curato la gestione. Esistono invece, ricerche condotte nell'immediato territorio circostante, come nell'Isola di Caprera [1] e nell'Isola della Maddalena [2], [3]. Più recentemente sono state effettuate delle indagini a carattere geomorfologico su aree limitrofe [4], [5] o su condizioni generali della costa Gallurese [6].

## Discussione

La Sardegna nord-orientale è impostata su un prisma tettonico bascolato verso nord-est in seguito alla tettonica oligo-miocenica. Ciò ha determinato l'attuale orientamento delle principali aste fluviali e delle rias: coste di sommersione derivanti da movimenti eustatici e tettonici (sulle direttici di frattura del batolite granitico gallurese E-W, subordinatamente N-S), con dominanza dei primi. Le insenature sono chiaramente derivate da una ingressione marina recente nelle valli di origine continentale fluviale, dove ancora oggi sono presenti corsi d'acqua o le tracce di una loro presenza passata. Nel caso dei corsi d'acqua a sufficiente portata si sono potute formare spiagge di materiali ciottolosi e sabbiosi, talora acquitrini.

Sulla distribuzione dei lidi nella Costa Smeralda agiscono più fattori tra i quali sono dominanti gli apporti sabbiosi dei corsi d'acqua, grazie anche a recenti opere idrauliche. La linea di costa risente nel suo insieme delle azioni demolitrici e di asporto rispetto a quelle di deposito, ne è testimonianza il fatto che gli accumuli di sabbie e ghiaie sono assai rari e le spiagge, presenti solo all'interno delle rias, hanno forma tipicamente falcata, in condizioni di spiagge a bilancio chiuso. I corsi d'acqua sono spesso sbarrati a mare da cordoni sabbiosi, che in alcuni casi formano raccolte d'acqua salmastra, di solito temporanee e modeste agli sbocchi delle piccole valli, o stagni di dimensioni maggiori al limite tra la costa e la pianura e poco profondi. L'analisi dei depositi delle piane sedimentarie situate alle spalle di numerose spiagge indica che in passato tali formazioni caratterizzavano un numero maggiore di lidi. Inoltre i sistemi lido-cordone-stagno ancora attivi (es. Golfo Pevero e Cala Razza di Juncu) si trovano oggi in uno stadio di progressivo impaludamento e/o avanzato interrimento. Nel primo dei due lidi citati, in particolare, le dune più lontane dalla riva sono pressoché stabilizzate dalla vegetazione, mentre quelle più prossime al mare mostrano lievi spostamenti di materiale da parte dei venti. Le aree settentrionali della Costa Smeralda sono le più esposte ai venti (soprattutto all'agitazione di Ponente e di Maestrale) ed alle correnti che si muovono in direzione ovest-est e qui la dinamica di accumulo e l'asporto dei sedimenti è più significativo. La composizione mineralogica è essenzialmente quarzoso-feldspatica arricchita da residui conchigliari nelle piane algali e nelle praterie di *Posidonia*. Gli ambienti di sedimentazione sono caratterizzati da livelli energetici elevati in prossimità delle coste più esposte (Capo Ferro), mentre nei golfi e nelle parti più interne delle rias prevale la sedimentazione da fine a molto fine. Lungo tutta la fascia costiera del nord-est della Gallura si rilevano ripe d'abrasione marina a quote differenti da mettere in relazione con l'opera di spianamento operato dalle fasi regressive e trasgressive del mare in epoca quaternaria ed alle azioni del ruscellamento diffuso, verificatosi sulle piattaforme d'abrasione lasciate a giorno dalle regressioni. Le agitazioni principali che investono le insenature nord-orientali e orientali della Costa Smeralda sono quella di Greco e quella di Levante (Figura 1). L'agitazione di Maestrale, che si verifica con maggiore frequenza, investe la costa Orientale con una inclinazione molto accentuata per effetto dell'espansione laterale delle onde nel Golfo di Manza e nelle Bocche di Bonifacio. Per quanto riguarda le correnti, sulla costa Orientale della Sardegna ne esiste una che proviene dalle bocche di Bonifacio e discende verso Sud. Essa presenta le stesse caratteristiche della corrente litoranea che interessa tutte le coste del Mediterraneo, e non ha velocità tale da consentire un movimento di sabbie.

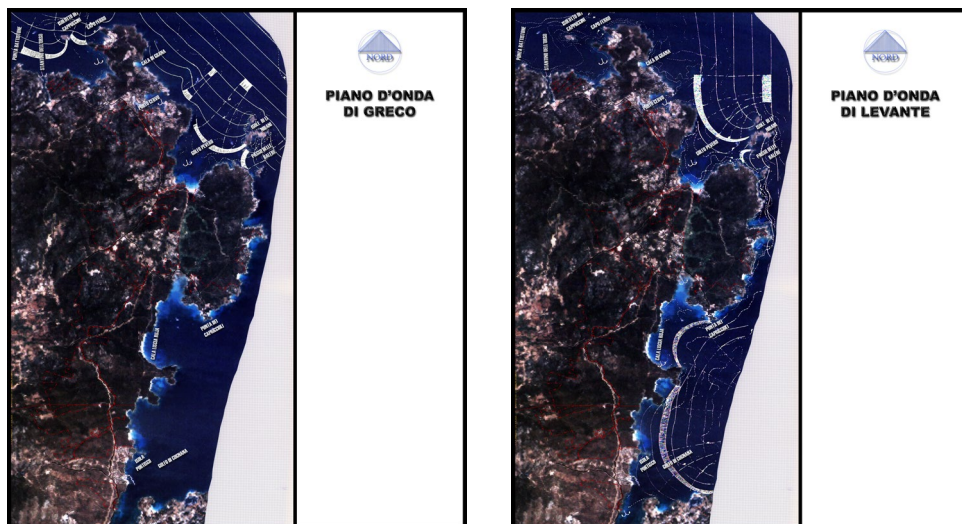


Figura 1 – Principali agitazioni che investono la Costa Smeralda. – *The prevailing winds of Costa Smeralda.*

Lo studio dei rilievi batimetrici lungo numerosi profili estesi sino all'isobata -10 m e l'analisi granulometrica di campioni di spiaggia emersa e sommersa, hanno messo in luce una condizione di avanzamento degli apparati deltizi, in quasi tutte le insenature prese in esame. Tale situazione di sovralluvionamento è da mettere in relazione con l'intensa erosione e il denudamento cui sono sottoposti i rilievi granitici dell'area, intensamente fratturati e privi di una copertura vegetale. In numerose aree della Costa Smeralda, infatti, il granito è profondamente arenizzato, per alterazione soprattutto dei plagioclasti e delle biotiti, soprattutto negli avvallamenti, dove il ruscellamento opera una forte azione erosiva superficiale, e nelle zone pianeggianti, che hanno costantemente un substrato in granito a grana medio grossa, e nelle fasce granitiche che hanno subito i maggiori stress tettonici.

Si noti ad esempio la migrazione delle isobate -5 m e -10 m tra il 1966 e il 1998, nella "Cala di Volpe" (Figura 2): una piccola insenatura esposta a Sud. L'agitazione di Scirocco è smorzata dal prospiciente Promontorio di Portisco e dall'espandimento laterale nell'adiacente Cala Liscia Ruja. L'agitazione di Levante è completamente contenuta dalla Punta Capriccioli.

Diversa risulta invece l'evoluzione della "Cala Liscia di Vacca" (Figura 2). Esposta a nord-ovest, essa è investita normalmente dalla traversia di Maestrale, ed è inoltre situata nella porzione settentrionale della Costa Smeralda interessata da correnti che redistribuiscono i sedimenti secondo la direzione ovest-est. Questa insenatura è una delle poche, fra tutte quelle prese in esame, che non risulta interessata da fenomeni di sovralluvionamento (non presenta migrazione delle isobate fra il 1965 e il 1998), a causa della sua esposizione.

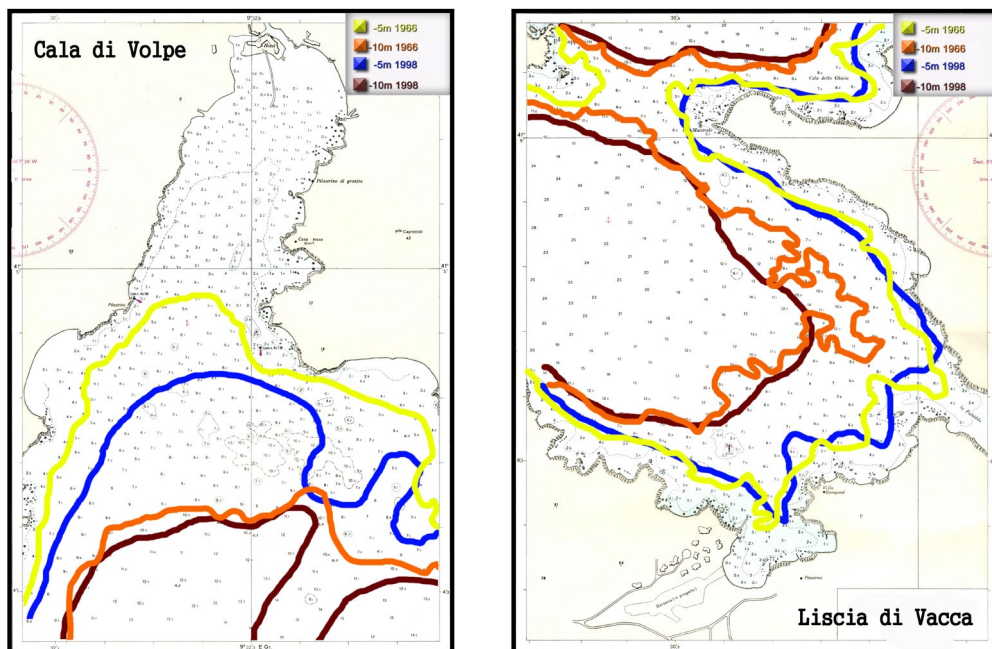


Figura 2 – ■ -5 m 1966 ■ -10 m 1966 ■ -5 m 1998 ■ -10 m 1998.

**Modello evolutivo di dettaglio: la ria di Porto Cervo** — Essa si presenta come una vasta insenatura agibile dal mare tramite un'imboccatura piuttosto stretta, investita dall'agitazione di Levante normalmente (Figura 3). Il mare di Scirocco investe l'imboccatura secondo una direzione parecchio inclinata ed è notevolmente smorzato dalla presenza delle isole "dei Nibani" e dall'ampiezza del vicino Golfo Pevero. Sebbene la ristrettezza della imboccatura rispetto alla superficie dell'insenatura, sia condizione favorevolissima per quanto riguarda l'agitazione interna del bacino in periodo di mare tempestoso, tuttavia l'onda è smorzata dalle "Secche del Cervo". È stato infatti calcolato che l'area di maggiore agitazione è quella centrale (altezza massima delle onde di tempesta 1.3 m, mentre l'altezza massima delle onde di tempesta nella porzioni più laterali è di 0.5 m). Le ricognizioni del fondale della ria hanno rivelato una natura rocciosa e sabbiosa per la porzione sud, limoso sabbiosa in quella centro-occidentale, e sabbiosa per quella nord-occidentale, dove è presente il lido principale della baia.

L'analisi delle carte batimetriche 1:1000 (realizzate sulla base del rilevamento del 1975, precedente la costruzione del porto nuovo) mette in luce la presenza di quattro paleostagni e due barre sommerse (Figura 4). L'allineamento dei quattro paleostagni, è verosimilmente impostato sul paleoalveo post-glaciale. La posizione della prima barra sommersa (-9 m) proprio all'attuale imboccatura della ria di Porto Cervo, fa supporre che questa fosse un'antica linea di riva con stagno retrodunale (paleostagno più esterno A). Il successivo innalzamento del livello del mare ha generato la fase di ingressione marina di cui oggi rimane traccia nei sedimenti del fondale.

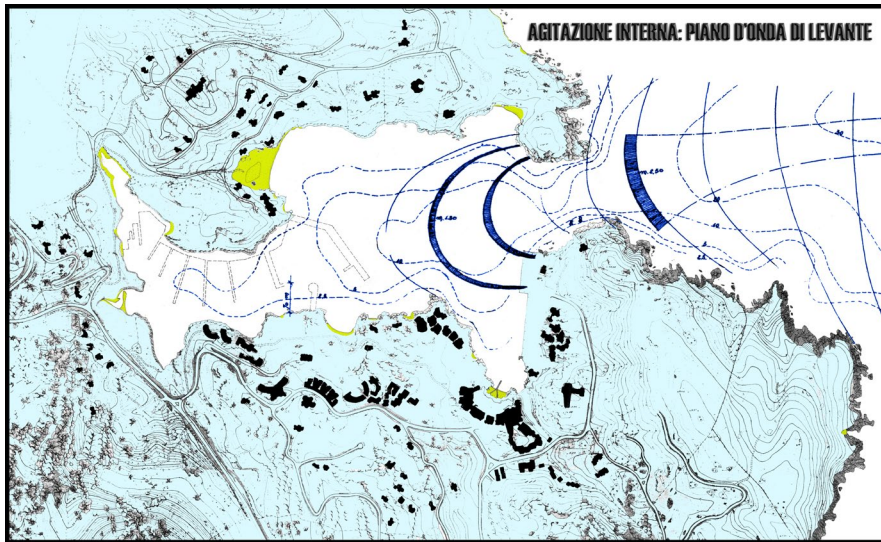


Figura 3 – Agitazione interna della Ria di Porto Cervo. (Piano d’onda di Levante).  
 – Interior Porto Cervo ria roughness. (Eastern wind).

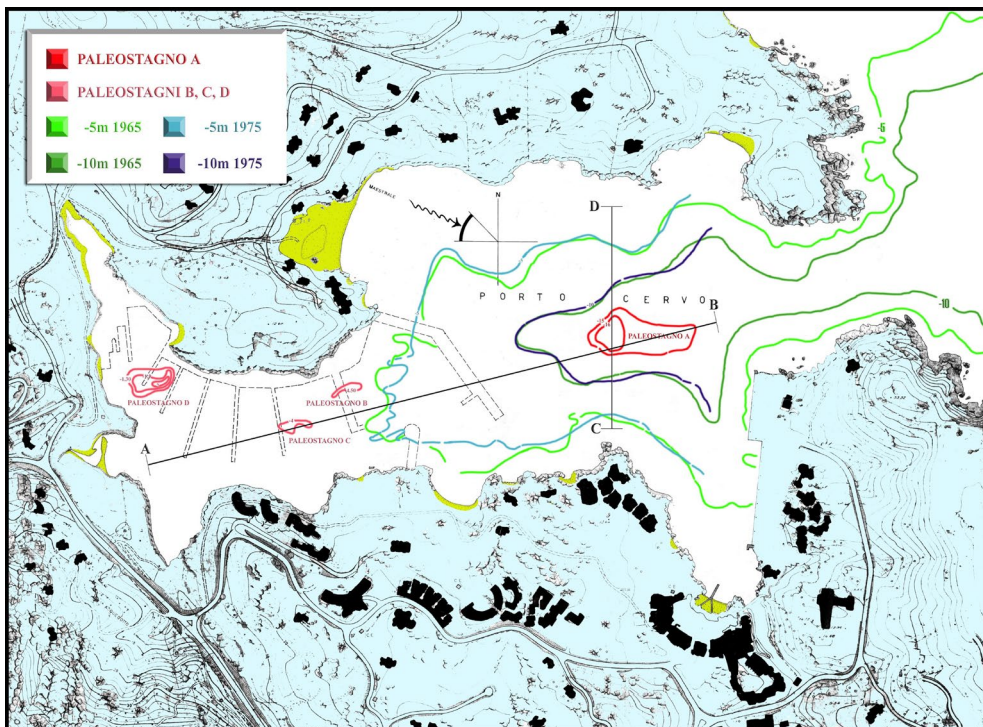


Figura 4 – Ria di Porto Cervo. – Porto Cervo ria.

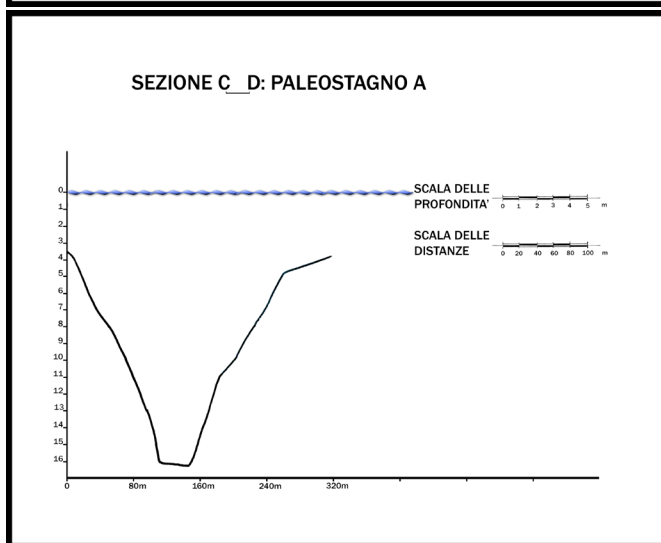
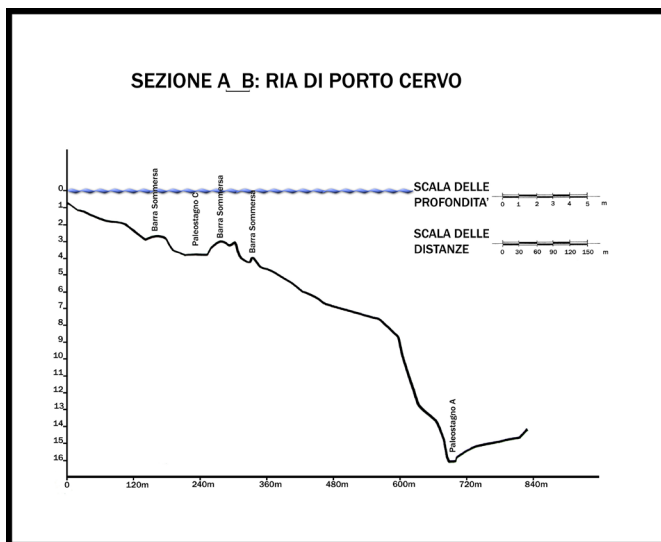


Figura 5 – La sezione A-B mette in evidenza un sistema di paleostagni e barre sommerse. La sezione C-D mostra la sezione trasversale del paleostagno maggiore (A): essa assume la tipica morfologia della sezione di un alveo fluviale. È, infatti, su un paleo-alveo che il sistema dei paleostagni si imposta durante l’ingressione marina recente.  
 – *A-B section and C-D section.*

Una seconda barra sommersa, più interna, corre dal molo più esterno del Porto Nuovo all’opposta riva sud. Sulla base dei dati raccolti sembra lecito affermare che essa rappresenti una seconda paleo linea di costa corrispondente ad un livello marino più recente, e che tale livello sia perdurato sufficientemente a lungo da produrre il sistema dei tre paleostagni più interni (Figura 5). Il raffronto fra il rilevamento batimetrico condotto nel 1975 e quello del 1965 rivela una situazione di stasi delle linee batimetriche -5 m e -10 m. Tale situazione è attribuibile all’azione della traversa di Levante che opera l’asporto dei materiali nella porzione centrale dell’insenatura.

## Conclusioni

Dai dati precedentemente esposti e dalla ricostruzione delle batimetriche attuali si evince che la dinamica a cui è soggetto l'intero litorale denominato Costa Smeralda, non ha praticamente risentito del diffuso impatto antropico a cui la zona è stata soggetta negli ultimi 40 anni. Appare quindi evidente l'importante ruolo che hanno le profonde rias di questo territorio che, pur conservando, sommerse, le morfologie preesistenti favoriscono la sedimentazione del materiale di apporto e la progradazione degli apparati deltizi all'interno delle rias da parte della modesta rete idrografica che le caratterizza. Recenti lavori hanno ipotizzato che tale comportamento può avere progressivamente cancellato le testimonianze archeologiche preistoriche e storiche che sono certamente presenti in queste insenature [7]. Presso l'area portuale della città di Olbia sono stati rinvenuti i resti della portualità pre-romana e post-romana confermando il fenomeno di pronunciata sedimentazione. Le misure all'interno della ria di Cugnana consentono di valutare la mobilità del fondale limoso-sabbioso e valutarne una crescita di oltre 50 cm per anno. Il reale problema legato all'impatto antropico su questo territorio è pertanto da ricercare nel sistema di drenaggio continentale e nelle relative opere di bonifica idraulica realizzate.

## Bibliografia

- [1] Edlemann L. - *Rocce e terreni dell'Isola di Caprera* Annuali R. Istituto Sup. Agrario e Forestale. Ric. Firenze (1930) 3.
- [2] Anselmi B., Brondi A., Ferretti O., Rabottino L. - *Arcipelago della Maddalena- Studi mineralogici e sedimentologici*. Boll. Soc. Geol. It, (1976), 1995, 1293-1318.
- [3] Baldacci O., Desole L., Guareschi C., Lilliu G., Vardabasso S. e Vardabasso S. - *Ricerche sull'Arcipelago della Maddalena*. Soc. Geog. It, Roma. (1971)
- [4] Cossu A., Ginesu S. - *La piana costiera del fiume Liscia (Sardegna nord-orientale)* Geog. Fis. Dinam. Quat. (1991) 14 (1), 131-140.
- [5] IDEM. Carta Geomorfologica 1:16000
- [6] Grimberieux J., Ozer A. - *Dati preliminari sulla neotettonica dei F. 167-168-169 Sardegna*. Contributi prel. Carta Neotettonica d'Italia. Progetto finalizzato geodinamica - Sottoprogetto Neotettonica. CNR Pubbl.n.356 (1980), 545-547.
- [7] Fundoni G., Ginesu S., Russo F. - *Evoluzione recente della costa e portualità nuragica. Alcuni dati dal nord-est della Sardegna*. Atti del convegno "La Geoarcheologia: metodi ed applicazioni", Verona, Luglio, 2005.





## LA DISTRIBUZIONE E L'EVOLUZIONE DELLE FRANE COSTIERE IN ITALIA

Alessandro Trigila, Carla Iadanza, Eutizio Vittori, Barbara Dessì  
APAT – Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici - Dipartimento Difesa del  
Suolo-Servizio Geologico d'Italia, via Vitaliano Brancati 48 – 00144 Roma  
tel. : 06-50074121, e-mail: alessandro.trigila@apat.it

**Riassunto** – Il presente lavoro ha permesso di delineare un primo quadro sul numero e sulla distribuzione delle frane costiere sull'intero territorio italiano, sulle più diffuse tipologie di movimento, sullo stato di attività dei fenomeni, sui danni provocati e sugli elementi potenzialmente a rischio. Tali informazioni sono state ricavate utilizzando principalmente la banca dati del Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), realizzato dal Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia dell'APAT, in collaborazione con le Regioni e le Province Autonome. Elaborazioni GIS hanno consentito di individuare 3472 frane distribuite su buona parte della costa italiana. I crolli e/o ribaltamenti, legati allo stato fratturazione dell'ammasso roccioso, all'azione del moto ondoso al piede e talvolta agli eventi sismici specialmente nel Sud d'Italia, sono le tipologie di movimento maggiormente rappresentate.

La quantificazione dei danni è stata effettuata utilizzando il database AVI realizzato dal CNR-GNDICI. Per le frane costiere sono stati estratti i seguenti dati: 408 vittime, 4703 sfollati/senza tetto, 713 danni alla rete stradale e ferroviaria.

Un'analisi di dettaglio è stata effettuata in tre aree campione del territorio costiero italiano per analizzare i principali parametri che condizionano la genesi e l'evoluzione dei fenomeni franosi, quali la litologia, l'assetto strutturale, la pendenza, l'azione del moto ondoso e le precipitazioni.

**Abstract** – *This paper provides a first portrait over the whole Italy of a) number and distribution of coastal landslides, b) their most diffuse typologies, c) their state of activity, d) the most common damage types and elements potentially at risk. This information has been largely derived from national databases, in particular the IFFI (Italian Landslides Inventory) archive, which has proven to offer the indubitable advantage to cover the whole territory with homogeneous data and spatial resolution.*

*GIS processing has allowed to identify 3472 landslides affecting a large portion of the Italian high coast strip. Many rocky cliffs are affected by rock falls/topples, connected to the structural setting and fracturing network of the rock mass, to the wave erosion at the cliff base and sometimes to seismic events especially in Southern Italy.*

*The damage estimate, based on the AVI archive provided by CNR-GNDICI, has evidenced the relevance of the problem: 408 casualties in the 20th century, 4703 people homeless, 713 significant disruptions of the rail and road networks.*

*A more detailed analysis in three sample areas has permitted to illustrate the basic parameters controlling the triggering mechanism and evolution of landslides, as lithology, slopes steepness, rainfall events, structural setting and wave action.*

## Introduzione

Il presente lavoro ha l'obiettivo di fornire un primo quadro conoscitivo sulla distribuzione dei fenomeni franosi costieri in Italia e di effettuare una valutazione qualitativa e quantitativa dei principali parametri ad essi associati che influiscono sulla dinamica e sulla genesi dei dissesti.

## Materiali e metodi

I dati di input utilizzati nel presente lavoro sono l'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI), l'archivio AVI (Aree Vulnerate Italiane), l'Uso del suolo (Progetto *Corine Land Cover 2000*), il tracciato stradale e ferroviario nazionale, il modello digitale del terreno 20 m x 20 m e prodotti derivati (pendenza del versante, contributo dell'area drenata), la Carta Geologica d'Italia 1:500.000 e prodotti derivati (carta litologica), le Ortofoto a colori Volo IT2000.

Il Progetto IFFI prevede l'identificazione e la mappatura dei movimenti franosi sull'intero territorio nazionale secondo modalità standardizzate e condivise e, ad oggi, ha portato al censimento di circa 430000 frane (<http://www.sinanet.apat.it/progettoiffi>).

Finanziato dal Comitato dei Ministri per la Difesa del Suolo ex lege 183/89 con circa 4,1 milioni di euro, vede coinvolti il Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia dell'APAT, con le funzioni di indirizzo e coordinamento delle attività e verifica della conformità dei dati alle specifiche di progetto e le Regioni e Province Autonome d'Italia, per la raccolta, informatizzazione e validazione dei dati.

La metodologia adottata per la realizzazione dell'inventario utilizza l'aerofotointerpretazione, la ricerca di fonti di archivio e bibliografiche e i rilievi di campagna. La banca dati è strutturata in una cartografia informatizzata (scala di rilevamento 1:10.000/1:25.000) ed in un database alfanumerico, che contiene le informazioni sulle frane.

Lo studio sulla distribuzione e sull'elaborazione delle frane costiere in Italia è stato articolato in più fasi:

a) individuazione dei tratti di costa alta e bassa del territorio italiano. A tale scopo è stato ricavato il Modello dell'acclività, utilizzato il DEM 20 m x 20 m. È stata quindi individuata una soglia pari a 3°, risultata ottimale, da un'analisi su ampi settori della costa italiana, per discriminare i tratti di costa bassa da quelli a costa alta;

b) estrazione delle frane costiere dalla banca dati del Progetto IFFI. Sono state definite, ai fini del presente lavoro, "frane costiere" quelle che ricadono in una fascia di ampiezza un chilometro dalla linea di costa. Da un'analisi effettuata su settori significativi della costa italiana si è visto che tale ampiezza consente di selezionare i fenomeni gravitativi che coinvolgono direttamente la costa, o che interessano tratti di infrastrutture o centri abitati costieri;

c) analisi statistiche su tipologia di movimento, stato di attività, cause, danni e pendenza del versante;

d) elaborazioni GIS sui livelli informativi vettoriali e raster mediante le funzionalità *3D Analyst*, *Spatial Analyst*, *Geoprocessing*, *Buffer* e *Hydrological Analyst*;

e) analisi di dettaglio in tre aree campione.

## Analisi dei dati e risultati

Degli oltre 8000 km di coste italiane circa il 39 % è rappresentato da coste alte a falesia (Fig. 1a). Le frane in area costiera, estratte dalla banca dati del Progetto IFFI, sono 3.472 (Fig. 1b); per quanto riguarda la costa lucana è tuttora in corso la fase di raccolta dei dati (Progetto IFFI – Regione Basilicata).

Confrontando le due figure si osserva che le frane sono ubicate prevalentemente in corrispondenza dei tratti a costa alta, ad eccezione di tratti della costa adriatica, dove numerosi fenomeni franosi interessano falesie abbandonate di retrospiaggia.

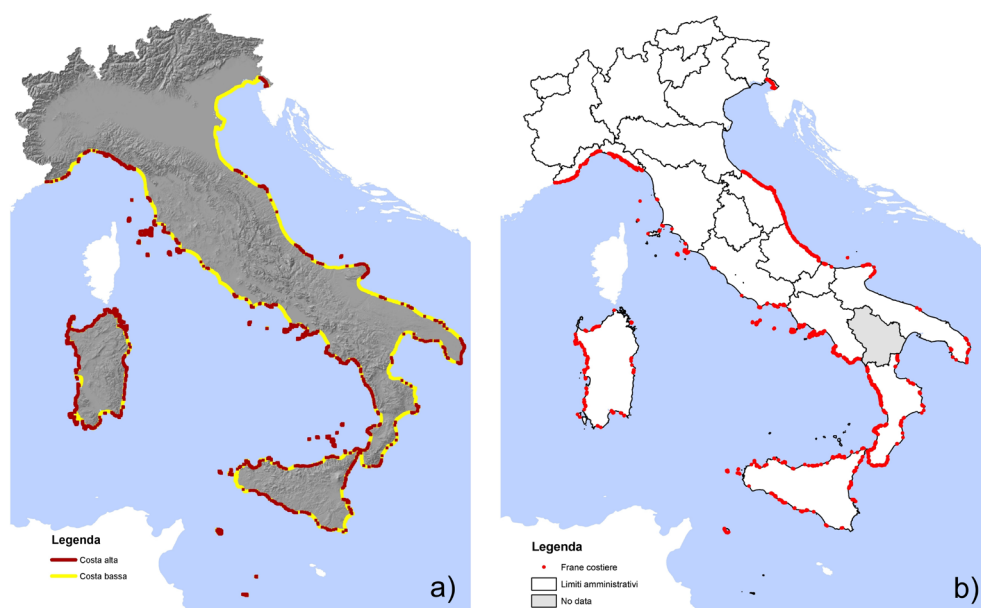


Figura 1 – a) Coste alte e coste basse; b) frane costiere in Italia.  
*a) Rocky cliffs and beaches; b) italian coastal landslides.*

### *Tipologia di movimento*

I crolli/ribaltamenti e le aree soggette a crolli/ribaltamenti [2] sono i fenomeni di dissesto gravitativo predominanti nelle coste alte; seguono gli scorrimenti rotazionali e traslativi e le frane complesse, caratterizzate dalla combinazione di due o più tipi di movimento (Fig. 2).

La tipologia di movimento dipende principalmente dalle caratteristiche geologiche e litologiche, dall'assetto stratigrafico e strutturale dell'ammasso roccioso, dal grado di alterazione, dalla morfometria della falesia, dalla resistenza meccanica dei materiali che costituiscono il pendio, dall'azione esplicata dal moto ondoso.

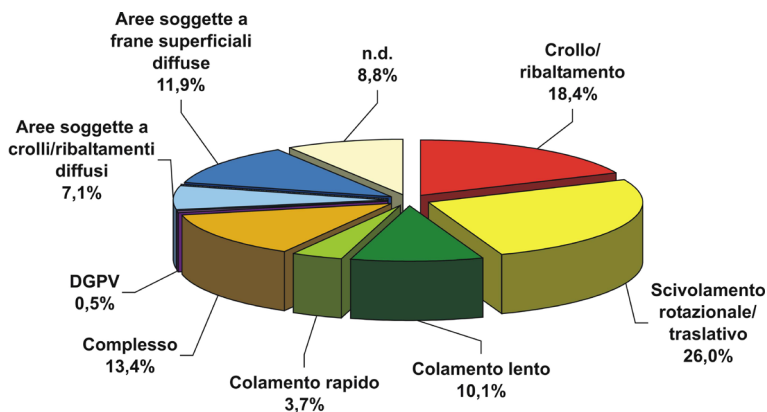


Figura 2 – Tipologia di movimento (%).  
*Type of movement (%)*.

#### *Stato di attività*

Il 43 % delle frane è rappresentato da fenomeni attivi, sospesi o riattivati. Il 50 % è costituito da frane quiescenti, al momento inattive ma che potrebbero riattivarsi, il 4 % stabilizzate (naturalmente o artificialmente) e l'1 % da fenomeni relitti, sviluppatasi in condizioni geomorfologiche o climatiche diverse dalle attuali.

#### *Danni ed elementi a rischio*

La quantificazione dei danni (Tab.1) è stata effettuata utilizzando l'archivio AVI realizzato dal CNR-GNDICI. Dalla banca dati, costituita da 16630 fenomeni georiferiti relativi al periodo 1918 – 2000, sono state estratte 1453 frane ubicate ad una distanza dalla linea di costa minore di un chilometro.

Le colate rapide di fango e detrito, caratterizzate da elevate velocità e potere distruttivo, sono le tipologie di dissesto che hanno determinato nel passato ingenti perdite di vite umane e rilevanti danni agli insediamenti e alle reti infrastrutturali.

Tabella 1 – Danni causati da frane costiere (AVI, CNR-GNDICI).  
*Damages from coastal landslides (AVI, CNR-GNDICI)*.

VITTIME	408
FERITI	344
SFOLLATI	3656
SENZA TETTO	1047
EDIFICI CIVILI (centri abitati, nuclei rurali, case sparse...)	310
AUTOSTRADE	23
STRADE (statali, provinciali, comunali)	518
FERROVIE	172
EDIFICI INTERESSE ARTISTICO	18
EDIFICI INDUSTRIALI	14
INFRASTRUTTURE A RETE (linee telecomunicazione, elettrodotto, acquedotto...)	78
STRUTTURE INTERESSE PUBBLICO (porti, ponti e viadotti...)	40
EDIFICI PUBBLICI (scuole, ospedali, sedi amministrazioni pubbliche...)	27
AGRICOLTURA (terreno agricolo, frutteti, seminativi...)	65

La valutazione del rischio da frana in area costiera è stata effettuata sovrapponendo il livello informativo delle frane costiere con le infrastrutture lineari di comunicazione e l'urbanizzato estratto dal Progetto *Corine Land Cover 2000*. L'operazione di intersezione tra i suddetti strati informativi ha consentito di determinare gli elementi a rischio. In particolare sono stati individuati 142 punti di criticità sulla rete autostradale, 657 su quella stradale, 186 sul tracciato ferroviario e 652 nei centri abitati.

### *Aree campione*

Al fine di comprendere il rapporto tra fenomeni franosi e alcuni parametri predisponenti quali la litologia, la pendenza e l'azione del moto ondoso, è stata effettuata un'analisi di maggior dettaglio in tre aree campione: a) la costa adriatica; b) la penisola sorrentina; c) la costa sarda.

a) La fascia costiera adriatica tra Pesaro e Termoli è caratterizzata da rilievi collinari costituiti dalle argille sovraconsolidate plio-pleistoceniche grigio-azzurre sormontate da depositi grossolani, ad eccezione della zona del promontorio del Conero, a sud di Ancona, dove affiorano litotipi marnosi e marnoso-calcarei di età mesozoico-paleogenica, [6] [8] [11] (Fig. 3).

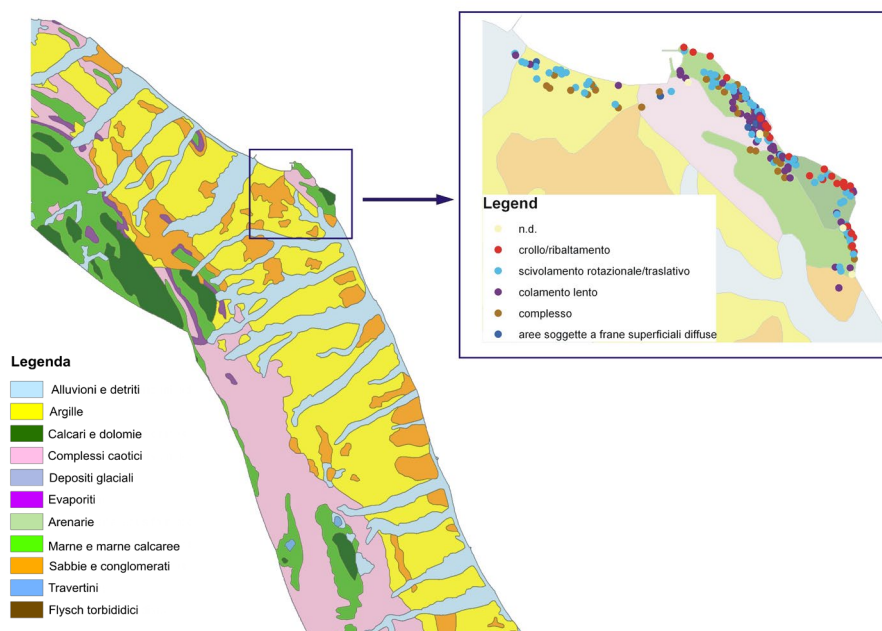


Figura 3 – Litologie affioranti nel tratto costiero adriatico tra Gabicce e la foce del fiume Pescara; tipologie di movimento nel Promontorio del Conero (AN).

*Litological map of a portion of the adriatic coast; distribution of type of movement in Conero promontory.*

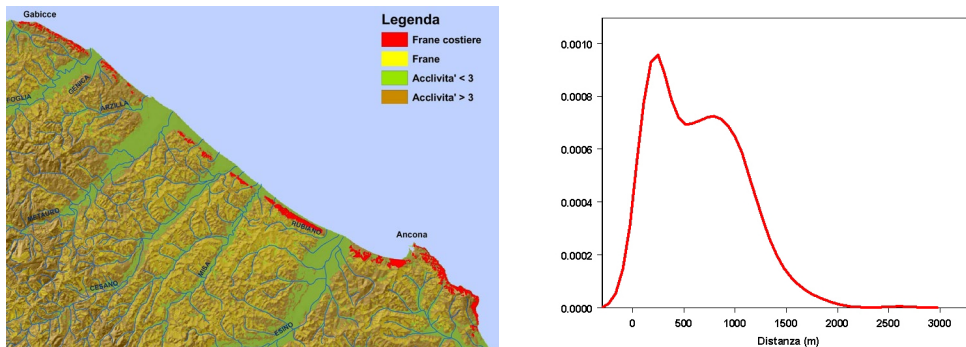


Figura 4 – a) Successione di falesie attive e falesie abbandonate tra Gabicce e il Conero. b) Distribuzione di frequenza della distanza dalla linea di costa.  
 a) *Active and abandoned cliffs from Gabicce to Conero promontory.* b) *The probability density of the distance of the landslide crown from the shoreline.*

La fascia costiera adriatica tra Pesaro e Termoli si estende per circa 368 km ed è caratterizzata da una successione di falesie attive e falesie abbandonate [7] [13]. Mentre per le falesie attive la causa principale delle frane è l'erosione esercitata dal moto ondoso al piede della falesia (es. promontori di Gabicce e del Conero) (Fig.4a), la stabilità delle falesie abbandonate è influenzata dagli stessi fattori che condizionano la stabilità dei pendii dell'entroterra. Le cause che determinano l'innesco o la riattivazione dei fenomeni franosi sulle falesie abbandonate del tratto di costa in esame sono le precipitazioni meteoriche intense, le variazioni delle pressioni interstiziali nel terreno, l'erosione superficiale di acque non regolate, mentre come fattore predisponente è da ricordare la progressiva diminuzione nel tempo della resistenza al taglio dei terreni prevalentemente argillosi, per effetto dei processi di *creep*, *softening* e alterazione.

Le frane costiere che interessano il tratto tra Pesaro e Termoli sono 574. Le tipologie di movimento maggiormente diffuse sono gli scivolamenti rotazionali e traslativi (circa 35 %), i colamenti lenti (20 %), le frane complesse (20 %), i crolli/ribaltamenti (7 %) e le aree soggette a frane superficiali diffuse (7 %).

Le falesie in fase di intensa erosione marina sono sede principalmente di crolli/ribaltamenti e scorrimenti traslativi/rotazionali, le falesie abbandonate sono interessate da scivolamenti, colamenti e movimenti che coinvolgono generalmente spessori limitati.

Per quanto riguarda la distanza della zona di innesco della frana dalla linea di costa, si può osservare, dal diagramma in Figura 4b, che la distribuzione di frequenza è di tipo bimodale con massimo principale, a circa 250 m dalla linea di costa, riferibile a frane su falesie attive e massimo secondario, a circa 800 m, relativo a fenomeni di dissesto su falesie abbandonate.

Le pendenze dei versanti nella zona di innesco dei fenomeni franosi sono generalmente poco elevate e comprese tra  $8^\circ$  e  $10^\circ$  per gli scivolamenti rotazionali e traslativi, i colamenti lenti e le aree soggette a frane superficiali diffuse. Al contrario per fenomeni di crollo e ribaltamento il picco della distribuzione di frequenza si ha in corrispondenza di valori di pendenza del versante di circa  $25^\circ$  (Fig. 5).

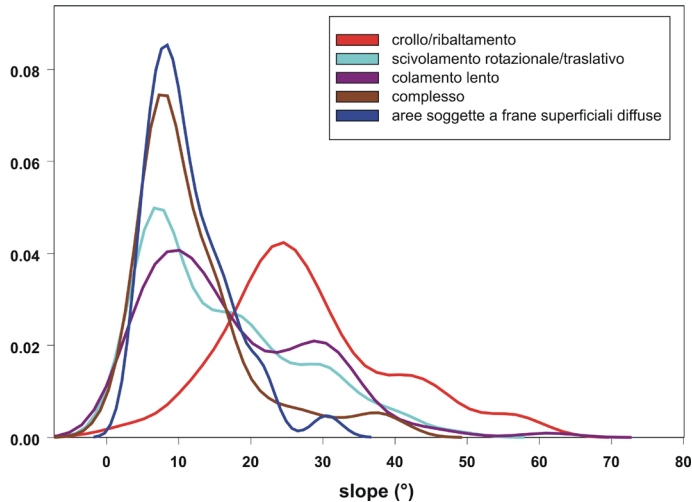


Figura 5 – Distribuzione di frequenza dell’acclività del versante nella zona di innesco.  
*The probability density of slope angle by types of movement in the landslide crown area.*

Per quanto riguarda gli scivolamenti rotazionali e traslativi in argille grigio-azzurre della costa adriatica, ampiamente descritti in letteratura, si tratta di frane generalmente molto estese, che si sviluppano dalla sommità dei rilievi fino alla costa, con superfici di rottura a profondità significative che talvolta proseguono sotto il livello del mare dando luogo a fenomeni di sollevamento del fondale. Tali frane si riattivano periodicamente tra ottobre e marzo, in periodi di precipitazioni cumulate elevate.

b) La penisola sorrentina è caratterizzata dall’affioramento di calcari e calcari dolomitici, con ampie porzioni dei versanti ricoperte da livelli piroclastici, con spessori che raggiungono alcuni metri, attribuibili alla eruzione vesuviana del 79 d.C. (Fig. 6a).

In tale contesto geologico-geomorfologico i fenomeni franosi più frequenti e pericolosi sono del tipo colata rapida di fango e detrito che si innescano prevalentemente su versanti ad elevata pendenza ( $> 35^\circ$ ), in concomitanza di intensi eventi meteorici, coinvolgendo i depositi piroclastici (Figg. 6a-b).

Tali fenomeni vengono distinti in frane “incanalate”, di forma stretta e allungata, quando percorrono fino a valle un impluvio, e frane “non incanalate” quando interessano versanti privi di incisioni lineari, assumendo una morfologia sub triangolare.

Nella penisola sorrentina sono state individuate 281 colate rapide, per le quali è stato effettuato il confronto fra la distribuzione delle zone di innesco delle colate rapide e le classi di acclività. Il diagramma in Figura 6b mostra una frequenza massima intorno a valori compresi tra  $35^\circ$  e  $40^\circ$ . La riduzione del numero di eventi in corrispondenza di pendenze più elevate può essere interpretata come l’assenza della copertura piroclastica su superfici molto acclivi.

Il potenziale di invasione delle colate rapide è stato valutato diagrammando il dislivello massimo esistente tra il coronamento e l’unghia della frana, in funzione della lunghezza massima percorsa dalla frana. In Figura 6b, il grafico mostra, per le 281 colate



rapide considerate, una relazione lineare tra dislivello e lunghezza del cumulo, secondo un fattore 0.47 che è coerente con quanto riportato in bibliografia [5].

I valori minori del rapporto H/L sono caratteristici delle colate incanalate, che presentano maggiore fluidità e percorrono distanze più elevate, mentre i valori più elevati sono riferibili a fenomeni di colata non incanalata su versante regolare.

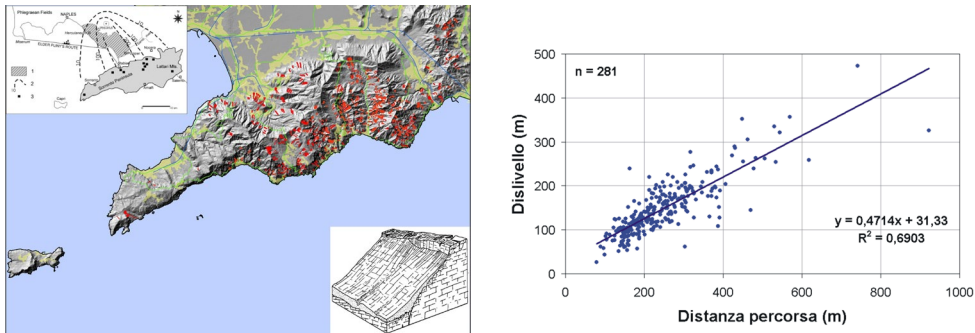


Figura 6 – a) mappa delle isopache delle coperture piroclastiche [5], distribuzione delle colate rapide in Penisola Sorrentina, schema della assetto geologico-strutturale con ripidi versanti carbonatici ricoperti da depositi piroclastici; b) potenziale di invasione delle colate rapide.

a) *Distribution of the 79 A.D. pyroclastic deposits [5]; landslides distribution in Sorrento peninsula, geological structural model - pyroclastic deposits over the calcareous bedrock; b) the potential of invasion of extremely rapid debris-earth flows.*

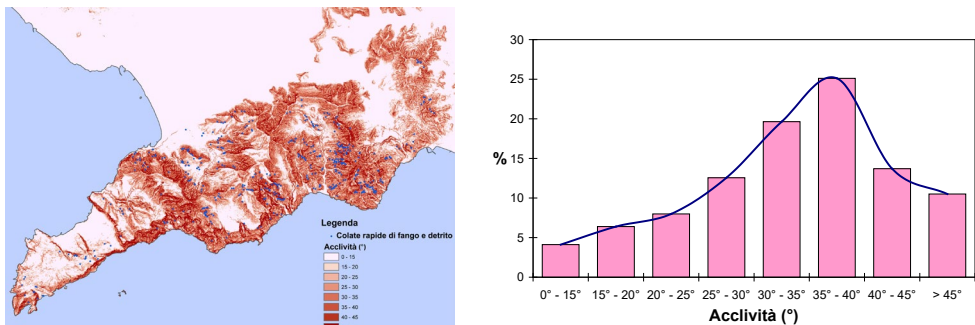


Figura 7 – a) Mappa delle acclività e aree di innesco delle colate rapide; b) distribuzione di frequenza dell'acclività del versante nella zona di innesco delle colate rapide.

a) *Map of slope angle and landslides source area; b) the probability density of slope angle in the debris flows source area.*

c) Lo sviluppo costiero della Sardegna, comprese le isole, fra cui La Maddalena, Caprera, Asinara, Tavolara, S. Antioco e S. Pietro, è di circa 1897 km.

Le 211 frane censite lungo la costa sarda (Fig. 8), sono classificate per l'83 % come crolli/ribaltamenti e aree soggette a crolli, per il 6 % come scivolamenti e per il 6 % come aree soggette a frane superficiali diffuse. Il numero di frane per classi litologiche, estratto dal Secondo livello della Scheda frane IFFI, è rappresentato in Figura 8b.

Lungo le coste alte costituite da depositi calcarei o da arenarie eoliche wurmiane prevalgono i fenomeni franosi di crollo e ribaltamento e le aree soggette a crolli e ribaltamenti. Per quanto riguarda i litotipi calcarei, i fattori che condizionano la stabilità dei costoni rocciosi sono principalmente le caratteristiche dell'ammasso roccioso (fratturazione, alterazione, ecc.) e l'azione meteomarina. Nelle falesie costituite da dune fossili, l'azione erosiva delle acque dilavanti contribuisce all'evoluzione dei fenomeni di dissesto [15].

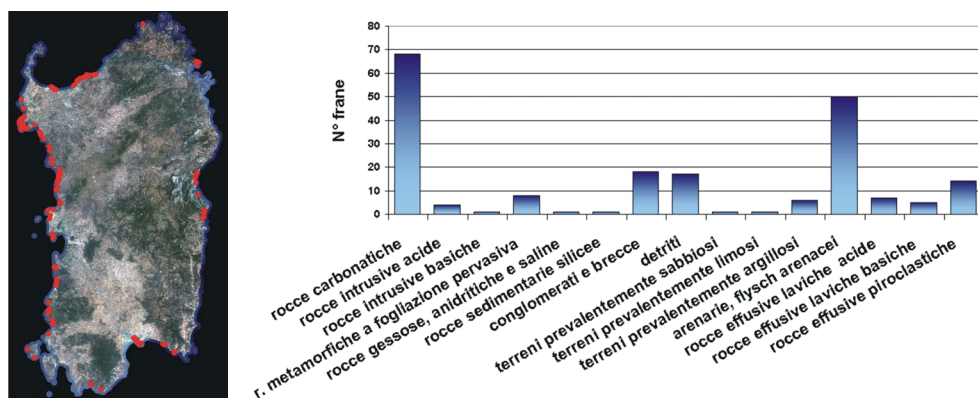


Figura 8 – a) Distribuzione delle frane lungo la costa sarda. b) Numero di frane per classi litologiche.

a) Coastal landslides distribution in Sardinia region. b) Coastal landslides and litology.

## Bibliografia

- [1] Almagià R. -. *Le frane costiere, Studi geografici sulle frane in Italia*, Memorie della Società Geografica Italiana (1910) 14, 266-278.
- [2] Amanti et al. - *Allegato 1 – Guida alla compilazione della scheda frane IFFI*, (2001), SGN, Roma.
- [3] Budetta P., Calcaterra D., De Riso R., Di Crescenzo G., Franco I., Galiotta G., Iovinelli R., Napolitano P., Palma B., Santo A. - *Fenomeni Franosi connessi all'evento pluviometrico del gennaio 1997 in Penisola Sorrentina – M.ti Lattari: primo contributo*, Atti del IX Congresso Nazionale Geologi, Roma, 1997, 223-231.
- [4] Budetta P., Galiotta G., Santo A. - *A methodology for the study of the relation between coastal cliff erosion and the mechanical strength of soils and rock masses*, Engineering Geology (2000) 56, 243-256.
- [5] Calcaterra D., Santo A. - *The January 10, 1997 Pozzano landslide, Sorrento Peninsula, Italy*, Engineering Geology (2004), 75, 181-200.

- [6] Cancelli A., Marabini F., Pellegrini M., Tonnetti G. - *Incidenza delle frane sull'evoluzione della costa adriatica da Pesaro a Vasto*, Memorie della Società Geologica Italiana (1984) 27, 555-568.
- [7] D'Alessandro L., Genevois R., Marino A. - *Dinamica recente della costa alta tra Ortona e Vasto (Abruzzo centro-meridionale)*, Memorie della Società Geologica Italiana (2001) 56, 53-60.
- [8] Esu F. - *La stabilità dei pendii costieri*, Rapporto 1986-1995 - Linea 2, Previsione e prevenzione eventi franosi a grande rischio, CNR-GNDCI (2000) 149-158.
- [9] Fumanti F., Rischia I., Serva L.; Trigila A., Tranfaglia G., Violante C. - *Effetti sul territorio dell'evento meteorico del 7-8 Ottobre 1899 nel salernitano*, (2001). Atti del convegno Dissesto idrogeologico: inventario e prospettive, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, Giugno 2001.
- [10] Gori U., Mezzabotta M. - *Sul cinematismo della frana costiera dell'abitato di Petacciato (CB)*, Geologia applicata e Idrogeologia (1995) 30, 659-670.
- [11] Guerricchio A., Melidoro G. - *Rischi da grandi frane nella fascia costiera adriatica,..* Atti del Convegno Internazionale La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica, Alba. 1996, I, 317-330.
- [12] Guzzetti F., - *Progetto AVI. Rapporto sull'attività svolta nel corso del 1999-2000*, CNR - GNDCI.
- [13] Hutchinson J. N. - *The response of London clay cliffs to differing rates of toe erosion* - Geologia Applicata e Idrogeologia (1973) 8, 221-239.
- [14] Melidoro G., Mezzabotta M. - *Monitoraggio ultrasecolare delle deformazioni gravitative costiere adriatiche*, Atti del Convegno Internazionale La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica, Alba, 1996, (I), 343-356.
- [15] Regione Autonoma della Sardegna - *Progetto IFFI, Regione Sardegna*, (2006), Cagliari
- [16] Sunamura T. - *Geomorphology of rocky coasts*, (1992), Ed. J. Wiley & Sons, Chichester, U.K.

## SESSIONE SECONDA

# VEGETAZIONE COSTIERA

**Presidente: Pierpaolo Duce**  
**CNR IBIMET Sede di Sassari**

I primi sei lavori della Sessione “Vegetazione Costiera” sono stati presentati oralmente, mentre i rimanenti sono stati presentati nella sessione poster.



## L'UTILIZZO DELLE PRATERIE DI *POSIDONIA OCEANICA* COME BIOINDICATORI: UN CASO DI STUDIO

Stefano Acunto, David Balata, Giuseppina Pardi, Luigi Piazzini, Francesco Cinelli  
Dipartimento di Biologia, Unità di Biologia Marina ed Ecologia, Università di Pisa. Via A. Volta 6.  
56126 Pisa, Tel. 0502211414, e-mail: sacunto@biologia.unipi.it

**Riassunto** – Il presente lavoro riporta i risultati di una valutazione d'impatto in un'area marina costiera effettuata mediante lo studio di vari descrittori delle praterie formate dalla fanerogama marina *Posidonia oceanica*. Lo studio è stato effettuato lungo le coste dell'Isola d'Elba, nell'Arcipelago Toscano, al fine di verificare il possibile impatto derivato da un aumento di sedimentazione ed intorbidimento delle acque provocato dalle opere realizzate nell'ambito di un progetto di ripascimento costiero. L'area sottoposta al disturbo è stata confrontata per un periodo di due anni con tre aree di controllo. I risultati hanno mostrato che dopo due anni la progressione del limite superiore delle praterie è risultato significativamente inferiore nell'area disturbata rispetto alle aree di controllo; al contrario, le altre variabili studiate non hanno dato risultati univoci. Tale disaccordo nei risultati sottolinea come la scelta dei descrittori possa determinare differenti interpretazioni dei risultati. Ulteriori investigazioni sono dunque necessarie a determinare le variabili più idonee per rilevare i differenti effetti di disturbi sia naturali che antropici.

**Abstract** – *The present work reports the results of an impact evaluation in a coastal marine area through the study of several descriptors of the meadows of the seagrass Posidonia oceanica. The study was carried out along the coasts of Elba Island in the Tuscan Archipelago in order to evaluate the possible impact derived from an increase of sedimentation and turbidity due to a beach restoration project. The disturbed area was compared with three reference areas during a two-years period. Results showed that the progression of the upper limit of the meadows was significantly lower in the disturbed than in the reference areas; on the contrary, the other variables analysed didn't show univocal patterns. The disagreement among the results obtained underlines that the choice of descriptors could determine different interpretations. Further investigations are needed to determine the most suitable variables to discriminate among different effects of natural and anthropogenic disturbances.*

### Introduzione

La fanerogama marina *Posidonia oceanica* (L.) Delile rappresenta una delle specie chiave degli ecosistemi costieri Mediterranei [1] ed è considerata un buon indicatore ambientale: infatti si tratta di una specie ampiamente distribuita lungo tutte le coste del bacino, mostra una buona sensibilità a molti fattori di disturbo ed ha la caratteristica di accumulare alcune sostanze inquinanti nei tessuti [4]. Nonostante venga utilizzata come bioindicatore, molti aspetti delle risposte della pianta al disturbo rimangono solo

parzialmente conosciuti. Infatti se alcune risposte, come drastiche regressioni delle praterie o la concentrazione di inquinanti persistenti nei tessuti, sono risposte facilmente determinabili, altri descrittori, comunque abitualmente utilizzati nel monitoraggio costiero, mostrano risultati più difficilmente interpretabili e spesso contraddittori.

Il presente lavoro vuole presentare i risultati di una valutazione d'impatto effettuata a seguito di un aumento di sedimentazione e torpidità delle acque provocato da un'opera di ripascimento costiero. I risultati ottenuti mediante lo studio di più descrittori della prateria di *P. oceanica* sono stati confrontati tra loro e discussi nell'ottica dell'utilizzo delle praterie come bioindicatori.

## Materiali e metodi

Lo studio è stato effettuato lungo le coste nord orientali dell'Isola d'Elba, nell'arcipelago Toscano. In tale area è stata realizzata un'opera di ripascimento costiero che ha causato un diffuso intorbidimento delle acque e un incremento di sedimentazione. Allo scopo di rilevare possibili effetti di tali modificazioni ambientali sulle praterie di *Posidonia oceanica*, l'area sottoposta al disturbo (Cavo) è stata confrontata per un periodo di due anni con tre aree di controllo (Topi; Mandriola; Palmaiola) (Fig. 1). Come variabili di confronto sono state utilizzate: la dinamica del limite delle praterie di *P. oceanica*, la densità dei fasci, la fenologia della pianta e la struttura della comunità epifita delle foglie e dei rizomi della fanerogama.

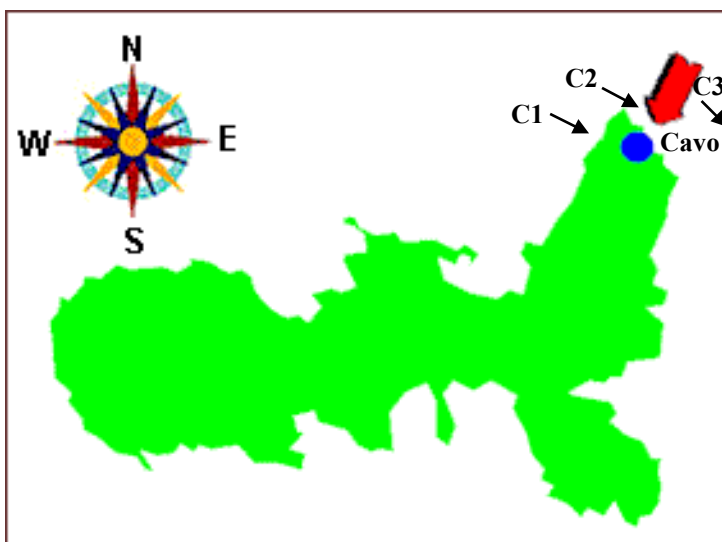


Figura 1 - Localizzazione dell'area disturbata (Cavo) e delle aree di controllo. C1: Cala Mandriola, C2: Isola dei Topi, C3: Isola di Palmaiola.

*Figure 1 - Localisation of the disturbed area (Cavo) and of the control areas. C1: Cala Mandriola, C2: Topi Island, C3: Palmaiola Island.*

La dinamica del limite delle praterie è stata monitorata attraverso il metodo del “balisage” [2]: due serie di 10 balises separate tra loro da distanze randomicamente scelte sono state posizionate presso il limite superiore della prateria nell’area disturbata e in ciascuna di tre aree di controllo alla profondità di circa 8 m. La densità dei fasci fogliari per m<sup>2</sup> di superficie è stata calcolata sulla base di conteggi, effettuati in immersione autonoma con autorespiratore ad aria (A.R.A.), del numero di fasci presenti in ciascuno di 3 quadrati di 0.25 m<sup>2</sup> scelti casualmente all’interno di ciascuno dei siti di campionamento. La fenologia della pianta e la comunità epifita sono state studiate a partire da 10 fasci prelevati in ciascun sito di balisage, in 8 date durante il periodo di studio. I ricoprimenti percentuali dei principali gruppi morfologici algali e dei phyla animali sono stati utilizzati come descrittori del popolamento epifita [6].

I dati sono stati analizzati mediante un’analisi asimmetrica della varianza (ANOVA) [7].

## Risultati

Al termine del periodo di studio, due anni dopo il posizionamento delle balises, l’avanzamento del limite superiore delle diverse praterie è risultato significativamente inferiore nell’area disturbata rispetto alle aree di controllo (Tab. 1; Fig. 2). L’analisi della varianza condotta sui valori di densità dei fasci non ha invece mostrato differenze significative tra la prateria disturbata e quelle di controllo (Tab. 2).

Per quanto riguarda le variabili fenologiche studiate i risultati ottenuti non sono univoci. Infatti, il numero medio e la lunghezza media delle foglie intermedie risultano differire significativamente a Cavo rispetto alle località di controllo, mentre lo stesso non accade per le foglie adulte e giovanili (Tab. 3, 4).

Tabella 1 - Analisi della varianza sui valori di accrescimento (cm) del limite superiore di *Posidonia oceanica*. Ca = Cavo; Al = Altri = Topi, Mandriola, Palmaiola. \* =  $p < 0.05$ ; \*\* =  $p < 0.01$ ; \*\*\* =  $p < 0.001$ ; ns = non significativo. I valori significativi sono in neretto.  
*Table 1 - Analysis of variance on the growth (cm) of the upper limit of Posidonia oceanica. Ca = Cavo; Al = Altri = Topi, Mandriola, Palmaiola. \* =  $p < 0.05$ ; \*\* =  $p < 0.01$ ; \*\*\* =  $p < 0.001$ ; ns = not significant. Significant values are in bold.*

Sorgenti di variabilità	g.l	Progressione limite (cm)	
		MS	F
<b>Località = L</b>	3	434.284	
<b>CaVsAl</b>	1	1233.766	<b>187.2***</b>
Altri	2	34.543	1.1
<b>Siti (L)</b>	4	6.592	0.2
<b>Residuo</b>	40	32.411	
		C = 0.30 ns	
<b>Trasformazione</b>		nessuna	



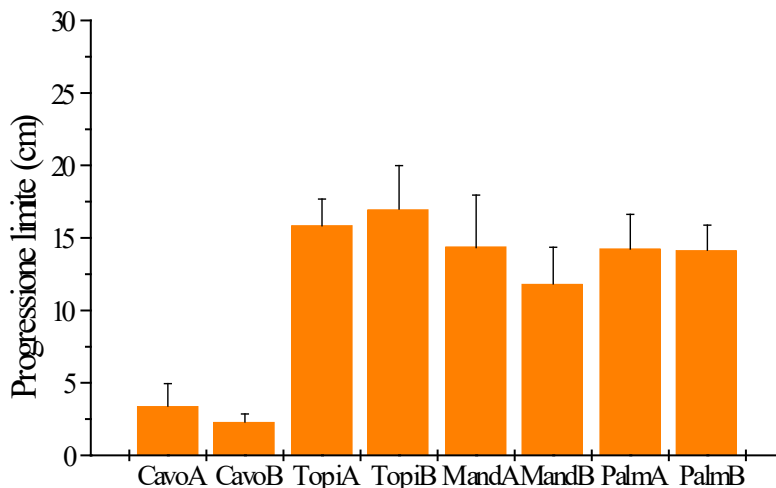


Figura 2 - Evoluzione dei limiti superiori delle praterie di *Posidonia oceanica* monitorate.  
 Figure 2 - Evolution of the upper limits of *Posidonia oceanica* meadows monitored.

Tabella 2 - Analisi della varianza sui valori di densità media dei fasci fogliari di *Posidonia oceanica* per metro quadrato di superficie.

Table 2 - Analysis of variance on the mean density of *Posidonia oceanica* (shoots/m<sup>2</sup>).

Sorgenti di variabilità		Densità (fasci/m <sup>2</sup> )		
		g.l	MS	F
<b>Località = L</b>		3	382355.6	
	CaVsAl	1	94864.1	0.18
	Altri	2	526101.3	<b>11.85*</b>
<b>Siti (L)</b>		4	44407.0	<b>3.57*</b>
<b>Tempo = T</b>		7	38342.9	
<b>T x L</b>		21	30521.3	<b>2.46*</b>
	T x CaVsAl	7	7571.4	0.18
	T x Altri	14	41996.3	<b>3.38**</b>
<b>T x Siti (L)</b>		28	12420.0	1.22
<b>Residuo</b>		128	10170.7	
<b>Trasformazione</b>				

*Cochran's test: C = 0.095 ns*  
nessuna

Infine, le analisi condotte sui ricoprimenti dei gruppi epifiti più abbondanti non hanno mostrato differenze significative tra la prateria disturbata e quelle di controllo (Tab. 5, 6). Per la maggior parte delle variabili analizzate, è risultata significativa la variabilità a piccola scala spaziale. In alcuni casi (lunghezza di foglie intermedie, ricoprimento percentuale delle alghe incrostanti sulle foglie) è stata osservata la significatività dell'interazione tempo x contrasto tra impatto e controlli (Tab. 3, 6).

Tabella 3 - Analisi della varianza sul numero medio di foglie per fascio (adulte, intermedie e giovanili) di *Posidonia oceanica*.

Table 3 - Analysis of variance on the mean number of leaves/shoot (old, intermediate, young) of *Posidonia oceanica*.

Sorg. Var.	g.l	Numero adulte		Numero intermedie		Numero giovanili	
		MS	F	MS	F	MS	F
<b>Località = L</b>	3	7.060		8.18		0.25	
<b>CaVsAl</b>	1	4.900	0.60	24.07	<b>62.90**</b>	0.23	0.90
<b>Altri</b>	2	8.140	<b>19.96**</b>	0.23	0.60	0.26	2.00
<b>Siti (L)</b>	4	0.408	0.55	0.38	0.38	0.13	0.78
<b>Tempo = T</b>	7	19.230		45.87		6.36	
<b>T x L</b>	21	0.802	1.09	0.73	0.71	0.15	0.90
<b>T x CaVsAl</b>	7	0.773	0.95	1.11	2.08	0.16	1.15
<b>T x Altri</b>	14	0.816	1.11	0.53	0.52	0.14	0.85
<b>T x Siti (L)</b>	28	0.736	<b>1.39*</b>	1.02	<b>2.22**</b>	0.16	1.45
<b>Residuo</b>	576	0.530		0.46		0.11	
<i>Cochran's C</i>		C = 0.62 ; P < 0.01		C = 0.07 ; P < 0.01		C = 0.039 ns	
<b>Trasf.</b>		nessuna		nessuna		Ln (x + 1)	

Tabella 4 - Analisi della varianza sulla lunghezza media delle foglie (adulte, intermedie e giovanili) e sulla percentuale media di tessuto bruno di *Posidonia oceanica*.

Table 4 - Analysis of variance on the mean length of leaves (old, intermediate, young) and on the mean percentage of dead tissue of *Posidonia oceanica*.

Sorg. Var.	g.l	Lunghezza adulte		Lunghezza intermedie		Lunghezza giovanili	
		MS	F	MS	F	MS	F
<b>Località = L</b>	3	7.26		4856.31		0.29	
<b>CaVsAl</b>	1	14.32	3.85	13908.33	<b>20.48*</b>	0.74	4.54
<b>Altri</b>	2	3.72	<b>13.40*</b>	330.30	0.48	0.06	0.36
<b>Siti (L)</b>	4	0.28	1.32	679.20	1.11	0.16	1.12
<b>Tempo = T</b>	7	5.19		22744.42		6.57	
<b>T x L</b>	21	0.39	1.88	947.33	1.54	0.24	1.63
<b>T x CaVsAl</b>	7	0.55	1.75	1742.63	<b>3.17*</b>	0.16	0.60
<b>T x Altri</b>	14	0.32	1.50	549.68	0.89	0.27	1.88
<b>T x Siti (L)</b>	28	0.21	<b>3.93***</b>	613.42	<b>3.97***</b>	0.15	0.82
<b>Residuo</b>	576	0.53		154.27		1.18	
<i>Cochran's C</i>		C = 0.045 ns		C = 0.14 ; P < 0.01		C = 0.042 ns	
<b>Trasformazione</b>		Ln (x + 1)		nessuna		Ln (x + 1)	

Tabella 5 - Analisi della varianza sugli epifiti delle foglie di *Posidonia oceanica*.  
 Table 5 - Analysis of variance on the percentage cover of the leaf epiphytes of *Posidonia oceanica*.

Sorg. Var.	g.l	Corallinacee incrostanti		Incrostanti brune		Briozoi totali	
		MS	F	MS	F	MS	F
<b>Località = L</b>	3	28.558		2.375		3.770	
<b>CaVsAl</b>	1	55.720	5.3	0.071	0.02	4.686	1.8
<b>Altri</b>	2	14.977	1.4	3.528	<b>6.9*</b>	3.312	1.3
<b>Siti (L)</b>	4	10.448	2.1	0.505	0.2	1.714	1.1
<b>Tempo = T</b>	7	26.650		13.289		6.189	
<b>T x L</b>	21	5.409	1.1	2.436	1.2	2.575	1.7
<b>T x CaVsAl</b>	7	20.017	<b>3.7**</b>	3.312	1.4	1.762	0.7
<b>T x Altri</b>	14	5.409	1.1	2.436	1.2	2.575	1.7
<b>T x Siti (L)</b>	28	4.934	<b>2.5**</b>	2.001	<b>2.4***</b>	1.539	<b>1.6*</b>
			*				
<b>Fascio (T x Siti (L))</b>	256	1.943	<b>1.3**</b>	0.816	1.1	0.949	1.2
<b>Residuo</b>	320	1.429		0.731		0.806	
<i>Cochran 's C</i>		C = 0.021	ns	C = 0.041	ns	C = 0.037	ns
<b>Trasformazione</b>		Ln (x + 1)		Ln (x + 1)		Ln (x + 1)	

Tabella 6 - Analisi della varianza sugli epifiti dei rizomi di *Posidonia oceanica*.  
 Tabella 6 - Analysis of variance on the percentage cover of the rhizome epiphytes of *Posidonia oceanica*.

Sorg. Var.	g.l	Corallinacee incrostanti		Filamentose		Briozoi	
		MS	F	MS	F	MS	F
<b>Località = L</b>	3	10.979		4.076	1.807		
<b>CaVsAl</b>	1	16.510	1.6	1.070	5.382	2.5	1.2
<b>Altri</b>	2	8.214	0.8	5.580	0.019	0.01	0.6
<b>Siti (L)</b>	4	10.577	<b>7.4***</b>	21.941	2.166	1.6	2.3
<b>Tempo = T</b>	7	5.129		21.815	5.362		
<b>T x L</b>	21	1.199	0.8	2.125	1.560	1.1	0.6
<b>T x CaVsAl</b>	7	0.721	0.6	2.870	0.604	0.4	0.9
<b>T x Altri</b>	14	1.199	0.8	2.125	1.560	1.1	0.6
<b>T x Siti (L)</b>	28	1.428	1.5	4.396	1.352	1.5	<b>2.1**</b>
<b>Residuo</b>	256	0.962		1.880	0.911		
<i>Cochran 's C</i>		C = 0.058	ns	C = 0.043	ns	C = 0.038	ns
<b>Trasformazione</b>		Ln (x + 1)		Ln (x + 1)		Ln (x + 1)	

## Discussione

I risultati hanno mostrato che dopo due anni dall'evento di disturbo, la progressione del limite superiore delle praterie è risultato inferiore nell'area impattata rispetto alle aree di controllo; differenze significative sono state osservate anche nel numero e la lunghezza delle foglie intermedie.

Al contrario, la densità dei fasci fogliari così come altre variabili fenologiche ed il ricoprimento dei gruppi epifiti analizzati non hanno mostrato differenze significative tra la prateria disturbata e quelle di controllo. In alcuni casi (lunghezza di foglie intermedie e ricoprimento percentuale delle alghe incrostanti sulle foglie) si è avuto una significatività dell'interazione tempo x contrasto tra disturbo e controlli, che potrebbe far ipotizzare una risposta di tali variabili al disturbo che è andata scomparendo con il tempo.

I risultati hanno anche mostrato un'alta variabilità a piccola scala spaziale per la maggior parte delle variabili analizzate. Un'alta variabilità a piccola scala nel popolamento epifita è stata più volte rilevata sia per *P. oceanica* [5; 3] che per altre fanerogame marine [8] mostrando che tale andamento rappresenta una caratteristica delle comunità legate alle praterie. Tale variabilità può essere legata a differenze locali nella struttura delle praterie, come modificazioni della densità dei fasci, vicinanza dei limiti, substrato di impianto, etc., ma anche a fattori abiotici (idrodinamismo, luce) e biotici (competizione per lo spazio tra organismi sessili, predazione, dispersione di spore e larve) il cui effetto può variare su piccole distanze.

In conclusione, la prateria dell'area disturbata ha mostrato una minore vitalità rispetto ai controlli, ma tale risultato non è stato rilevato attraverso lo studio della densità, di alcune variabili fenologiche (ad eccezione delle foglie intermedie) e dei gruppi epifiti più abbondanti. Tale evidenza sottolinea come, nonostante i molti studi di cui *P. oceanica* è stata oggetto, il suo utilizzo come bioindicatore richieda ulteriori investigazioni necessarie a determinare le variabili più idonee a discriminare tra le risposte della pianta ai differenti disturbi naturali e antropici.

## Ringraziamenti

Si ringrazia L. Paoletti per il supporto logistico fornito durante il lavoro sul campo e A. Proietti-Zolla per il prezioso contributo allo svolgimento del progetto.

## Bibliografia

- [1] Buia M.C., Gambi M.C., Zupo V. - *Structure and functioning of Mediterranean seagrass ecosystems: an overview*, Biol. Mar. Medit. (2000) 7, 167-190.
- [2] Meinesz A., Cuvelier M., Laurent R. - *Méthodes récentes de cartographie et de surveillance des herbiers de phanérogame marines Leurs application sur les côtes françaises de la Méditerranée.*, Vie et Milieu (1981) 31, 27-34.
- [3] Pardi G., Piazzì L., Balata D., Papi I., Cinelli F., Benedetti-Cecchi L. - *Spatial variability in epiphytes of Posidonia oceanica (L.) Delile around the mainland and the islands of Sicily*, Mar. Ecol. – Evol. Persp. (2006), in stampa.

- [4] Pergent-Martini C., Pergent G., Fernandez C., Ferrat L. 1999 - *Value and use of Posidonia oceanica as a biological indicator*. MEDCOAST 99- EMCS 99 Joint conference, land-ocean interactions: managing coastal ecosystems, Antalya, Turkey, 245-262.
- [5] Piazzzi L., Balata D., Cinelli F., Benedetti-Cecchi L. - *Patterns of spatial variability in epiphytes of Posidonia oceanica. Differences between a disturbed and two references locations*, Aq. Bot. (2004) 79, 345-356.
- [6] Steneck R.L., Dethier M.N. - *A functional group approach to the structure of algal-dominated communities*, Oikos (1994) 69, 476-498.
- [7] Underwood A.J. - *Experiments in ecology. Their logical design and interpretation using analysis of variance* (1997), Cambridge University Press, Cambridge.
- [8] Vanderklift M.A., Lavery P.S. - *Patchiness in assemblages of epiphytic macroalgae on Posidonia coriacea at a hierarchy of spatial scales*, Mar. Ecol. Prog. Ser. (2000) 192, 127-135.

## MONITORAGGIO E CONSERVAZIONE DELLA FLORA E DELLA VEGETAZIONE COSTIERA NELL'AREA MARINA PROTETTA DI CAPO CARBONARA (SARDEGNA SUD ORIENTALE)

Gianluigi Bacchetta, Giuseppe Fenu, Efisio Mattana, Paolo Mulè  
Centro Conservazione Biodiversità (CCB), Dipartimento di Scienze Botaniche  
Università di Cagliari. Viale S. Ignazio da Laconi, 13 - 09123 Cagliari  
Tel.: 0039 070 6753508-9, Fax.: 0706753509  
E-mail: [bgsar@ccb-sardegna.it](mailto:bgsar@ccb-sardegna.it).

**Riassunto** – Vengono illustrati i primi risultati del progetto “Conservazione della biodiversità vegetale nell’Area Marina Protetta di Capo Carbonara”. Tale iniziativa promossa dal CCB e dal Comune di Villasimius (CA), è stata finanziata per il triennio 2005/07 dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

Il progetto prevede lo studio, il monitoraggio e la conservazione degli habitat costieri. Durante il primo anno si sono avviati gli studi di carattere ecologico, floristico-sociologico e corologico, anche attraverso l’individuazione di quadrati permanenti, al fine di valutare lo stato attuale di conservazione e poter proporre adeguate misure di gestione sostenibile.

Per poter garantire una effettiva conservazione della biodiversità vegetale si è provveduto alla raccolta, studio e conservazione *ex situ* a lungo periodo del germoplasma relativo alle entità maggiormente minacciate presso le strutture della Banca del Germoplasma della Sardegna (BG-SAR).

**Abstract** – *The first results of the project “Plant Biodiversity Conservation in the Sea Protected Area of Cape Carbonara” are illustrated. This initiative promoted by the CCB and the Municipality of Villasimius (CA) was funded for three-year period (2005/07) by the Ministry of the Environment and Territory protection.*

*The project provides the study, monitoring and conservation of the coastal habitat. During the first year there were started the ecological, floristic-sociological and chorological studies, sometimes by the means of the individuation of the permanent plots in order to value the actual state of the conservation and have a possibility to propose the adequate measures of the sustainable management.*

*In order to guarantee an effective plant biodiversity conservation there was done the following: ex situ collecting, study and its conservation for a long time of the seed in the structures of the Sardinian Seed Bank (BG-SAR).*

## Introduzione

Il Centro Conservazione Biodiversità (CCB) ha come obiettivo principale lo studio, la conservazione (*in situ* ed *ex situ*) e la gestione della diversità vegetale della Sardegna e più in generale dei territori insulari del Mediterraneo occidentale [1]. Le strategie di conservazione *ex situ* vengono attuate dalla Banca del Germoplasma della Sardegna (BG-SAR) [16]. Allo stesso tempo il CCB opera per garantire la conservazione *in situ* delle entità vegetali e degli habitat, attraverso un monitoraggio delle popolazioni e del loro *status* di conservazione [3]. Coniugando tali strategie con quanto sancito dal decreto istitutivo dell'Area Marina Protetta di Capo Carbonara, è stato possibile proporre, all'inizio del 2005, un progetto volto alla conservazione della diversità vegetale dei territori della Sardegna sud-orientale. Le finalità sono quelle di raccogliere, conservare e studiare tutte le unità tassonomiche rare o minacciate, endemiche, di rilevante interesse fitogeografico o di potenziale impiego in ripristini o recuperi ambientali presenti nei territori in oggetto [2].

Il territorio di studio è costituito dalle aree costiere ed insulari dell'AMP di Capo Carbonara. Dal punto di vista biotico l'importanza del territorio è testimoniata dalla presenza di 3 pSIC, 2 ZPS istituite e una in corso di istituzione.

Numerose sono le specie vegetali endemiche esclusive o ad areale limitato, distribuite prevalentemente nelle isole dei Cavoli e di Serpentara. In proposito è da rilevare l'abbondanza di *Brassica insularis* Moris (All. II e IV DIR. 92/43/CEE) nella sola Isola dei Cavoli. L'Isola di Serpentara costituisce invece il *locus classicus* per due endemismi recentemente descritti [4]: *Ferula arrigonii* Bocchieri, endemita sardo-corsa limitata a poche aree costiere e insulari e *Silene valsecchiae* Bocchieri, endemita esclusiva della Sardegna orientale. Lungo tutta la fascia costiera sono presenti altri importanti endemismi tra cui citiamo: *Linaria flava* (Poir.) Desf. ssp. *sardoa* (Sommier) A. Terracc., *Limonium retirameum* Greuter et Burdet, *Carduus fasciculiflorus* Viv., *Verbascum conocarpum* Moris, *Helicodicerus muscivorus* (L. f.) Engler, *Scrophularia trifoliata* L., *Bryonia marmorata* Petit, *Aristolochia tyrrhena* Nardi et Arrigoni, *Lotus cytisoides* L. ssp. *conradiae* Gamisans e *Helichrysum microphyllum* (Willd.) Camb. ssp. *tyrrhenicum* Bacch., Brullo et Giusso.

Gli ecosistemi dunari sono ancora oggi ben conservati e si ha la possibilità di vedere, in diverse località, tutto il geosigntaxa psammofilo, dalla vegetazione erbacea annuale sino a quella forestale dei ginepreti dell'habitat prioritario "Dune costiere con *Juniperus* spp.". Risultano di grande valore i popolamenti a *Crucianella maritima* L. che, seppur frammentati, occupano il retroduna e fanno parte dell'habitat "Dune fisse del litorale del *Crucianellion maritimae*"; così pure le formazioni ad *Otanthus maritimus* (L.) Hoffmanns. et Link, limitate alla sola località di Cava Usai e diffuse in pochissime altre stazioni della costa sud-orientale. Le pareti e gli anfratti rocciosi fronte mare sono occupati dall'associazione *Crithmo maritimi-Limonietum retiramei* Mossa et Tamponi 1978 corr., inseribile nell'habitat "Scogliere con vegetazione delle coste mediterranee con *Limonium* spp. endemici". Lo stagno di Notteri occupa l'area retrodunale della spiaggia di Porto Giunco, ha una superficie di 34 ha circa e presenta una vegetazione alofila riferibile all'habitat prioritario "Steppe salate mediterranee (*Limonietalia*)"; mentre il fondo melmoso è colonizzato dall'associazione idrofila lagunare *Chaetomorpha-Ruppium* Br.-Bl. 1952 dell'habitat prioritario "Lagune costiere" [17]. In ambito marino, buona parte dei fondali mobili, poco profondi, è colonizzata da praterie di *Posidonia oceanica* Delile, riferibili all'habitat prioritario "Praterie di Posidonie (*Posidonion oceanicae*)".

## Materiali e metodi

Per valutare la qualità e lo stato di conservazione del territorio è in corso di realizzazione uno studio della vegetazione attraverso rilevamenti fitosociologici, eseguiti secondo il metodo della scuola sigmatista di Zurich-Montpellier [5]. Allo scopo di stimare il livello d'inquinamento floristico, e quindi lo stato di conservazione, per ogni associazione presente viene anche calcolato il numero di specie esotiche e ruderali presenti e il rapporto con il numero medio di specie della comunità [6].

Lo studio degli habitat prevede inoltre indagini di tipo ecologico e corologico, anche attraverso la realizzazione di quadrati permanenti (plot) indicati con picchetti metallici; per ogni punto sono state rilevate le coordinate GPS (coordinate geografiche, Datum WGS84). Con cadenza semestrale, generalmente prima dell'inizio della stagione turistica e al termine della stessa, viene eseguito un monitoraggio dei plot attraverso il conteggio del numero di individui di *Juniperus oxycedrus* L. ssp. *macrocarpa* (Sibth. et Sm.) Neilr. presenti e un rilevamento floristico-sociologico, oltre alla compilazione della scheda demografica e di quella fenologica [3]. Periodicamente viene eseguito un monitoraggio finalizzato alla realizzazione di rilievi fitosociologici di tipo sinusiale [10], al fine di avere una copertura di tutte le diverse stagioni fenologiche. Gli studi delle popolazioni e i monitoraggi *in situ*, realizzati sulla base delle indicazioni metodologiche elaborate in seno al progetto Interreg IIIB "GENMEDOC" [3], prevedono il censimento del numero di individui, suddivisi in classi d'età (plantule, giovani e riproduttori), la delimitazione della superficie delle popolazioni attraverso il rilevamento delle coordinate perimetrali, il rilevamento quali-quantitativo dei dati stazionali, oltre all'individuazione di rischi e pericoli attuali o potenziali, anche in relazione alla presenza o meno di misure di protezione. La scelta delle popolazioni dei *taxa* da monitorare è stata fatta sulla base della criticità e del reale rischio di estinzione degli stessi, privilegiando entità rare, localizzate o d'interesse comunitario. Anche in questo caso sono stati realizzati dei quadrati permanenti localizzati principalmente sulle isole.

Per la gestione *ex situ* del germoplasma vengono seguite le procedure e i protocolli riconosciuti a livello internazionale [3; 8; 12]. Le campagne di raccolta vengono preventivamente pianificate sulla base della fenologia delle unità tassonomiche selezionate, a partire dagli studi esistenti e dalle conoscenze dirette acquisite negli anni. Il momento ideale per la raccolta, la quantità del materiale ed i metodi di campionamento sono disciplinati da criteri etico-scientifici che garantiscono una elevata qualità del materiale prelevato ed evitano il depauperamento delle risorse genetiche *in situ* [11]. Il germoplasma raccolto non viene introdotto nella banca prima di aver superato un periodo di quarantena durante il quale si verifica che il materiale non sia contaminato da patogeni e/o parassiti. All'ingresso in banca, dopo aver registrato i lotti e i dati relativi alle singole accessioni, il germoplasma viene stoccato in un locale a parametri ambientali controllati ( $T < 20^{\circ}\text{C}$  e u.r.  $< 40\%$ ) che permette una lenta e graduale postmaturazione. Raggiunti i requisiti adeguati, il materiale viene pulito con metodi manuali e meccanici mediante l'utilizzo di setacci ad intermaglia variabile o separatori gravimetrici. Contestualmente ogni accessione viene analizzata dal punto di vista quantitativo, calcolando il peso totale della stessa, il peso medio del seme e di conseguenza il numero di semi puliti [3]. Una volta selezionato, il germoplasma viene stoccato in una camera di deidratazione ( $T 15^{\circ}\text{C}$  e  $15\%$  di u.r.) [12] allestita con due deumidificatori ad assorbimento chimico e un condizionatore per il



controllo della temperatura, comandati elettronicamente da un umidostato. L'umidità interna dei semi viene costantemente monitorata in modo da poter valutare il loro grado di deidratazione e il raggiungimento dei parametri ottimali per la conservazione a lungo termine. Dopo aver verificato che il contenuto di umidità dei semi sia compreso tra il 3,5 % (per quelli aventi un alto contenuto in olii) e il 6,5 % (per i semi a basso contenuto in olii) [15], questi vengono conservati a -25°C in cella frigorifera (collezione di base); il materiale può anche essere conservato ad una temperatura compresa tra 0 e 5°C (collezione attiva), per l'esecuzione di studi e test quali le prove di germinazione. L'individuazione dei protocolli di germinazione avviene attraverso l'implementazione di uno schema decisionale [3] che prevede una analisi bibliografica preliminare, la consultazione di algoritmi e protocolli di germinazione già sperimentati per unità tassonomiche affini [9; 13], l'applicazione di eventuali pretrattamenti [14] e l'esecuzione delle prove di germinazione con parametri ambientali variabili a seconda dei dati presenti. Per le prove di germinazione sono state utilizzate 4 repliche da 25 semi ciascuna racchiuse in capsule Petri in vetro con 3 fogli di carta da filtro per substrato, sterilizzate in autoclave; la semina ed i successivi controlli sono stati eseguiti in condizioni di sterilità biologica sotto cappa a flusso laminare. Per tutte le prove eseguite sono stati determinati i seguenti parametri: capacità germinativa, espressa come valore percentuale degli individui germinati, ritardo di germinazione che rappresenta il tempo necessario (in giorni) per avere la prima germinazione, T50, ovvero il tempo necessario per il raggiungimento del 50 % della capacità germinativa finale [7], indice del vigore dei semi e la durata, ossia il tempo necessario (in giorni) per avere l'ultima germinazione. Le plantule prodotte a seguito dei test di germinazione vengono allevate su terreno sterilizzato e in condizioni ambientali controllate (camera di crescita con fotoperiodo di 12/12 e temperatura costante di 20°C); successivamente vengono trapiantate in terreno a composizione variabile su banchi termoriscaldati per individuare il substrato ottimale necessario alla coltura e moltiplicazione.

## Risultati

In questa prima fase del progetto è stato realizzato un elenco floristico, attualmente costituito da 593 unità tassonomiche, in base all'indagine bibliografica e all'analisi dei campioni depositati presso *Herbarium CAG*; la checklist viene costantemente integrata con le osservazioni e raccolte derivanti dalle escursioni in campo. Particolare attenzione è stata rivolta allo studio degli habitat; tra questi sono stati scelti quelli in cui si ritrovano le popolazioni dei taxa selezionati, nonché quelli prioritari ai sensi della Direttiva e maggiormente esposti a degrado o depauperamento. Sulla base della forte vocazione turistica del territorio sono stati selezionati habitat estremamente fragili e localizzati nei sistemi dunari, oggetto dell'impatto diretto e indiretto dell'attività turistica quali: "Dune mobili del cordone litorale con presenza di *Ammophila arenaria* (Dune bianche)", "Dune fisse del litorale del *Crucianellion maritimae*" e "Dune costiere con *Juniperus* spp.", habitat prioritario. Per tali habitat è stato avviato lo studio attraverso tecniche di rilevamento fitosociologico e il monitoraggio grazie alla realizzazione di quadrati permanenti. Parallelamente sono stati rilevati sul campo i dati relativi alle maggiori cause di degrado di tali habitat, legate principalmente a pressioni di natura antropica, ma anche a fenomeni di invasività di specie aliene. Sono state, infatti, rilevate tutte le aree sulle quali sono presenti

specie alloctone, al fine di poter proporre un piano di progressiva eliminazione e sostituzione con le specie strutturali autoctone. Durante la prima annualità è stato avviato il monitoraggio delle popolazioni delle entità selezionate, in particolare di *Ferula arrigonii*, *Silene valsecchiae*, *Helicodicerus muscivorus* e *Brassica insularis*. Per lo studio delle popolazioni sono stati realizzati dei quadrati permanenti di 50 m<sup>2</sup> localizzati sulle Isole; in particolare per *Ferula arrigonii* e *Helicodicerus muscivorus* sono presenti un plot sull'Isola di Serpentara, in area di tutela integrale, quindi non interessata da disturbo antropico e uno sull'Isola dei Cavoli. Il plot relativo a *Brassica insularis* si trova sull'Isola dei Cavoli. Per queste specie sono state rilevate le coordinate perimetrali delle diverse popolazioni volte a determinare l'esatta distribuzione spaziale e i dati fenologici utili per gli studi di carattere biologico-riproduttivo. Per quanto riguarda invece *Silene valsecchiae*, non essendo possibile realizzare degli studi su plot permanenti, si è proceduto attraverso il conteggio di ogni individuo e il rilevamento delle coordinate relative, al fine di poter ottenere una restituzione cartografica della distribuzione della specie.

Dai rilievi realizzati all'interno dei quadrati permanenti, si osserva come all'inizio della stagione turistica si ritrovano numerose plantule di ginepro che non si rinvencono alla fine dell'estate. Il calpestio sembra avere un ruolo determinante nel limitare lo sviluppo della vegetazione. Altra minaccia presente e in costante crescita è quella costituita dalla presenza di specie aliene altamente invasive quali *Carpobrotus acinaciformis* (L.) L. Bolus, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill e *Acacia saligna* (Labill.) H.L.Wendl., ampiamente diffuse su tutti i litorali. Per quanto riguarda lo studio delle popolazioni, i dati disponibili non sono ancora sufficienti per formulare delle ipotesi sul loro stato di conservazione.

Le prime analisi relative alle popolazioni di *Ferula arrigonii* indicano la diffusione di questa entità principalmente sull'Isola di Serpentara, sulla quale è presente una popolazione costituita da circa mille individui. Tale specie risulta più sporadica sull'Isola dei Cavoli, dove ne sono stati censiti un centinaio di esemplari, e invece appare completamente assente nelle aree costiere. I primi dati dei quadrati permanenti indicano una differenza significativa tra l'andamento demografico del plot di Serpentara, sul quale non si registra alcun impatto di natura antropica e quello dell'Isola dei Cavoli; la densità media degli individui in primavera presenta valori simili tra le due Isole (1,44 individui e 1,32 individui per metro quadrato) mentre in estate la densità media di Serpentara si attesta a 0,56 individui/m<sup>2</sup> mentre quella dei Cavoli mostra un calo molto più accentuato (0,02 individui/m<sup>2</sup>). Le analisi fenologiche portano a ipotizzare una alternanza tra annualità in cui si hanno grandi fioriture e fruttificazioni e anni in cui solo pochi individui portano a compimento il ciclo fenologico. Molto particolare risulta essere la situazione di *Silene valsecchiae*, della quale è stata individuata solo una piccolissima popolazione (circa 50 individui) sull'Isola dei Cavoli, mentre a Serpentara è molto più abbondante e distribuita su una superficie più ampia. *Helicodicerus muscivorus*, risulta molto diffusa sia a Serpentara sia ai Cavoli e sembra ipotizzabile una ampia diffusione della specie in relazione all'elevato tasso di nitrofilia dovuta alla presenza di una consistente colonia di gabbiani reali. L'andamento demografico relativo ai plot posizionati sulle due isole è analogo con una densità primaverile di 0,5 individui/m<sup>2</sup> per tutti i plot e di 0,15-0,2 individui/m<sup>2</sup> in piena estate, quando la pianta si trova già nel periodo di stasi vegetativa. I dati relativi a *Brassica insularis* confermano la presenza della specie su tutta l'Isola dei Cavoli e la completa assenza sia sull'Isola di Serpentara, sia sul litorale. I primi dati demografici indicano una elevata capacità germinativa *in situ* (ben 196 plantule su un totale di 216 individui censiti

all'interno del plot), alla quale si accompagna una forte mortalità estiva; infatti di tutte le plantule presenti non ne sopravvive alcuna.

Per quanto concerne la raccolta di germoplasma si è provveduto al prelievo del materiale di *taxa* ad elevato rischio d'estinzione e di entità strutturali o di potenziale impiego nei recuperi e ripristini ambientali. In totale sono state raccolte e conservate 39 accessioni relative a 24 unità tassonomiche (tabella 1). Inoltre, grazie all'autorizzazione concessa al CCB dalla Direzione Protezione della Natura del Ministero, in deroga al DPR 357/97, modificato dal 120/03, si è proceduto alla raccolta del germoplasma di *Brassica insularis*; lotti di tale specie sono stati duplicati presso altre strutture accreditate a livello internazionale per garantire un'efficace conservazione *ex situ* [2].

Tabella 1 – Accessioni raccolte e conservate presso BG-SAR. *Accessions collected and conserved in BG-SAR.*

TAXON	CODICE	LOCALITA'	DATA DI RACCOLTA	N° INDIVIDUI	N° SEMI
<i>Achyranthes sicula</i> L.	383/05	Campu Longu	30/09/2005	120	7028
	158/06	Campu Longu	04/07/2006	75	ND
<i>Ammophila arenaria</i> L. (Link) ssp. <i>australis</i> (Mabille) Lainz	163/06	Simius	04/07/2006	25	ND
<i>Ampelodesmos mauritanicus</i> (Poir.) T. Durand et Schinz	381/05	Rio Trottu	30/09/2005	75	51837
<i>Asparagus albus</i> L.	406/05	Campus	18/11/2005	10	9653
	333/05	Isola dei Cavoli	08/07/2005	28	15573
	356/05	Isola dei Cavoli	29/07/2005	8	5495
<i>Brassica insularis</i> Moris	155/06	Isola dei Cavoli	04/07/2006	25	6772
	334/05	Isola dei Cavoli	08/07/2005	2	284
<i>Bryonia marmorata</i> Petit.	355/05	Isola dei Cavoli	29/07/2005	2	988
	405/05	Simius	18/11/2005	5	1298
<i>Carduus fasciculiflorus</i> Viv.	210/06	Isola di Serpentara	28/07/2006	21	ND
	212/06	Isola di Serpentara	28/07/2006	37	ND
<i>Crithmum maritimum</i> L.	403/05	Simius	18/11/2005	14718	4880
<i>Cyperus capitatus</i> Vand.	162/06	Simius	04/07/2006	230	ND
	332/05	Isola dei Cavoli	08/07/2005	14	1856
<i>Helicodiceros muscivorus</i> (L. fil.) Engl.	157/06	Isola dei Cavoli	04/07/2006	12	717
	328/05	Isola di Serpentara	08/07/2005	30	1902
	207/06	Isola di Serpentara	28/07/2006	25	358
<i>Elytrigia juncea</i> (L.) Nevski	160/06	Cava Usai	04/07/2006	30	ND
	335/05	Isola dei Cavoli	08/07/2005	12	43860
<i>Ferula arrigonii</i> Bocchieri	329/05	Isola di Serpentara	08/07/2005	27	54670
	156/06	Isola dei Cavoli	04/07/2006	10	1360
<i>Glaucium flavum</i> Crantz	161/06	Cava Usai	04/07/2006	15	ND
<i>Juniperus oxycedrus</i> L. ssp. <i>macrocarpa</i> (Sibth. et Sm.)	385/05	Porto Sa Ruxi	30/09/2005	10	307
	404/05	Simius	18/11/2005	12	774

(continua)

(segue)

<i>Juniperus phoenicea</i> L. ssp. <i>turbinata</i> (Guss.) Nyman	384/05	Porto Sa Ruxi	30/09/2005	10	4111
	376/05	Punta Molentis	30/09/2005	16	2319
<i>Lygeum spartum</i> L.	379/05	Punta Molentis	30/09/2005	50	58
<i>Narcissus tazetta</i> L. s.l.	24/06	Isola di Serpentara	07/04/2006	71	5995
<i>Pancratium maritimum</i> L.	375/05	Punta Molentis	30/09/2005	60	831
	382/05	Simius	30/09/2005	216	1322
<i>Piptatherum miliaceum</i> (L.) Coss. ssp. <i>Miliaceum</i>	360/05	Notteri	26/08/2005	10	12700 9
	380/05	Punta Molentis	30/09/2005	50	48157
<i>Scrophularia trifoliata</i> L.	331/05	Isola di Serpentara	08/07/2005	7	4915
	211/06	Isola di Serpentara	28/07/2006	4	ND
<i>Silene valsecchiae</i> Bocchieri	95/05	Isola dei Cavoli	16/05/2005	10	689
	65/06	Isola dei Cavoli	09/05/2006	22	64
<i>Verbascum conocarpum</i> Moris					20004
	330/05	Isola di Serpentara	08/07/2005	7	9

Le prove di germinazione sino ad oggi realizzate su tali accessioni hanno consentito di individuare protocolli efficaci per *Brassica insularis* (97 % a 20 °C e fotoperiodo a 12/12), *Pancratium maritimum* (98 % a 20°C senza fotoperiodo) [2] e per *Helicodicerus muscivorus*, *Ferula arrigonii*, *Scrophularia trifoliata*, *Silene valsecchiae* e *Verbascum conocarpum* di cui si riportano, in tabella 2, i risultati. Tali prove di germinazione costituiscono parte di due tesi di laurea di studenti delle Università di Amsterdam e Toledo che stanno compiendo le proprie ricerche all'interno di BG-SAR.

## Discussione

I risultati fin qui ottenuti confermano la pressione del turismo balneare come uno dei principali fattori di frammentazione e quindi di degrado degli habitat costieri ed in particolare di quelli psammofili. Per poter definire lo stato di conservazione degli habitat e delle popolazioni delle unità tassonomiche selezionate si rende necessario continuare il monitoraggio periodico.

Le prove sperimentali effettuate ed i protocolli di germinazione individuati hanno consentito di stimare un'elevata capacità germinativa per le due accessioni esaminate di *Helicodicerus muscivorus* (81 % e 84 %), per le accessioni di *Scrophularia trifoliata* (96 %), *Silene valsecchiae* (91 %) e *Verbascum conocarpum* (97 %). Per quanto riguarda invece *Ferula arrigonii* si rendono necessarie altre prove sperimentali al fine di migliorare i protocolli sin qui elaborati. Considerato l'esiguo numero d'individui che costituiscono la popolazione di *Silene valsecchiae*, le plantule di tale unità tassonomica prodotte a seguito dei test di germinazione sono coltivate *ex situ* al fine di moltiplicare gli individui ed eseguire successivamente un intervento di rafforzamento della popolazione *in situ*, i cui dettagli dovranno essere definiti sulla base degli studi popolazionali e fenologici.

Tabella 2 – Protocolli efficaci di germinazione. *Effective Germination Protocols*<sup>1</sup>.

TAXON	CODICE	A	B	C	D	E	F	G	H
<i>Helicodiceros muscivorus</i> (L. fil.) Engl.	328/05	CF H <sub>2</sub> O	10	NO	51,0	18,41	41	46,74	99
	328/05	CF H <sub>2</sub> O	10	12/12	32,0	10,20	36	41,40	60
	328/05	CF H <sub>2</sub> O	15	NO	81,0	7,68	17	21,62	49
	328/05	CF H <sub>2</sub> O	15	12/12	37,0	9,11	19	23,73	49
	332/05	CF H <sub>2</sub> O	10	NO	47,0	11,45	41	46,08	92
	332/05	CF H <sub>2</sub> O	10	12/12	24,0	10,95	35	47,00	66
	332/05	CF H <sub>2</sub> O	15	NO	84,0	7,48	18	26,41	49
	332/05	CF H <sub>2</sub> O	15	12/12	34,0	13,42	19	26,00	47
<i>Ferula arrigonii</i> Bocchieri	329/05	CF H <sub>2</sub> O	10	12/12	57,0	5,20	20	29,00	51
	329/05	CF GA <sub>3</sub> 600	10	12/12	63,0	13,80	17	23,93	52
	335/05	CF H <sub>2</sub> O	10	12/12	51,0	16,58	16	22,90	60
	335/05	CF GA <sub>3</sub> 600	10	12/12	50,0	6,00	16	25,00	66
	331/05	CF H <sub>2</sub> O	20	NO	5,0	1,73	20	16,50	20
<i>Scrophularia trifoliata</i> L.	331/05	CF GA <sub>3</sub> 120	20	NO	79,0	9,95	6	13,74	35
	331/05	CF GA <sub>3</sub> 240	20	NO	81,0	5,92	6	12,10	27
	331/05	CF GA <sub>3</sub> 400	20	NO	92,0	2,83	6	8,21	27
	331/05	CF H <sub>2</sub> O	10/20	NO	33,0	9,11	13	10,44	35
	331/05	CF GA <sub>3</sub> 120	10/20	NO	84,0	4,90	13	10,45	35
	331/05	CF GA <sub>3</sub> 240	10/20	NO	96,0	2,83	13	9,82	35
<i>Silene valsecchiae</i> Bocchieri	331/05	CF GA <sub>3</sub> 400	10/20	NO	93,0	8,19	13	9,54	20
	95/05	CF H <sub>2</sub> O	15	12/12	91,0	15,59	2	2,90	10
<i>Verbascum conocarpum</i> Moris	330/05	CF H <sub>2</sub> O	15	NO	93,0	3,32	7	16,46	20
	330/05	CF GA <sub>3</sub> 240	15	NO	97,0	5,20	7	15,32	14
	330/05	CF H <sub>2</sub> O	20	NO	90,0	4,47	7	13,33	20
	330/05	CF GA <sub>3</sub> 240	20	NO	96,0	2,00	7	7,43	14

## Conclusioni

Durante la prima annualità si è operato esclusivamente nelle aree costiere, insulari e in particolare in quelle ricadenti all'interno dei pSIC, mentre per il prosieguo del progetto è previsto l'ampliamento delle aree costiere sulle quali verranno realizzati i rilievi fitosociologici finalizzati alla valutazione della qualità e dello stato di conservazione della copertura vegetale presente. Particolare attenzione sarà posta nel rilevare la diffusione ulteriore di specie aliene. Risulta fondamentale per la valutazione dello stato di

<sup>1</sup> A: tipo di substrato, 3 fogli di carta da filtro (CF) inumiditi con H<sub>2</sub>O distillata o con una soluzione di GA<sub>3</sub> a diverse concentrazioni (ppm). B: temperatura in °C. C: fotoperiodo. D: percentuale di germinazione finale con l'indicazione della deviazione standard (E). F: ritardo di germinazione, tempo in giorni per avere la prima germinazione. G: T50. H: durata, tempo in giorni per avere l'ultima germinazione.

conservazione delle popolazioni delle specie indagate proseguire il monitoraggio periodico al fine di individuare la corretta dinamica popolazionale. In particolare per *Silene valsecchiae* saranno analizzati tutti i siti potenzialmente idonei ad ospitare popolazioni di tale entità presenti sulle isole.

Per quanto riguarda le attività *ex situ* nel corso del prossimo anno si prevede di realizzare ulteriori prove sperimentali al fine di migliorare i protocolli sino ad oggi elaborati e avviare la moltiplicazione del materiale destinato alle attività *in situ* di ripristino o recupero ambientale.

## Ringraziamenti

Si ringraziano il Ministero dell'Ambiente e l'AMP di Capo Carbonara per aver concesso il finanziamento necessario allo svolgimento delle ricerche; l'Amministrazione Comunale di Villasimius per il costante appoggio e sensibilità mostrate; Rose Marie Lek (Università di Amsterdam) e María Jiménez Cuesta (Università di Toledo) per la collaborazione a tutte le attività realizzate *in situ* e *ex situ*.

## Bibliografia

- [1] Bacchetta G., Demurtas A., Pontecorvo C. - *The Biodiversity Conservation Centre of Cagliari (CCB)*, Scripta Botanica Belgica (2004) 29, 79-82.
- [2] Bacchetta G., Fenu G., Iriti G., Mattana E., Meloni F., Mulè P., Podda L. - *Territory defence throughout conservation of the plant diversity: the project of the Protected Sea Area of Capo Carbonara (South eastern Sardinia)*, Atti First International Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area - ISEIM 2006, Corte-Ajaccio (France), 9-13 luglio, 2006, 302-307.
- [3] Bacchetta G., Fenu G., Mattana E., Piotta B., Virevaire M. (Eds.) - *Manuale per la raccolta, studio, conservazione e gestione ex situ del germoplasma* (2006), Linee Guida APAT, 37.
- [4] Bocchieri E. - *Silene valsecchiae e Ferula arrigonii, due specie nuove della Sardegna*, Boll. Soc. Sarda Sci. Nat. (1988) 26, 305-310.
- [5] Braun-Blanquet J. - *Pflanzensoziologie. Grundzüge der vegetationskunde* (1951), Springer-Verlag, Wien.
- [6] Buffa G., Mion D., Gamper U., Ghirelli L., Sbulrino G. - *Valutazione della qualità e dello stato di conservazione degli ambienti litoranei: l'esempio del SIC "Penisola del Cavallino: biotopi litoranei" (Venezia, NE-Italia)*, Fitosociologia (2005) 42 (2), 3-13.
- [7] Côme D. - *Les obstacles à la germination*, (1970), Masson & CIE, Paris.
- [8] FAO/IPGRI - *Genebanks standards*, (1994), FAO/IPGRI, Roma.
- [9] Flynn S., Turner R.M., Dickie J.B., *Seed information Database (release 6.0, October 2004)*.
- [10] Gillet F., Foucault B. de, Julve Ph. - *La phytosociologie synusiale intégrée: objets et concepts*. Candollea (1991) 46, 315-340.
- [11] Guarino L., Ramanantha Rao V., Reid R. (Eds.) - *Collecting Plant Genetic Diversity - Technical guidelines*, (1995), CABI, Wallingford, Oxon.

- [12] IBPGR – *The design of seed storage facilities for genetic conservation. Handbooks for genebanks: n. 1. Revised 1985 and 1990*, (1982), International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italy.
- [13] IBPGR – *Handbook of seed technology for genebanks. Vol II. Compendium of Specific Germination Information and Test Recommendations Handbooks for genebanks: n. 3*, (1985), International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italy.
- [14] ISTA - *International rules for seed testing. Edition 2006*, (2006), The International Seed Testing Association (ISTA), Bassersdorf, CH-Switzerland.
- [15] Linington S.H. – *The Design of Seed Banks*. In: Smith R.D., Dickie J.B., Linington S.H., Pritchard H.W, Probert R.J. (Eds.) – *Seed Conservation: turning science into practice*, (2003), Royal Botanic Gardens, Kew.
- [16] Mattana E., Fenu G., Bacchetta G. - *La Banca del Germoplasma della Sardegna (BG-SAR): uno strumento per la conservazione del germoplasma autoctono sardo*. Inform. Bot. Ital. (2005) 37(1, parte A), 144-145.
- [17] Mossa L., Curreli F., Fogu M.C. – *La vegetazione degli habitat terrestri della riserva marina protetta di Capo Carbonara (Sardegna sud-orientale)*, Rend. Sem. Fac. Sci. Univ. Cagliari (2000) 70, 163-185.

## LE PROBLEMATICHE GENERALI DELLA GESTIONE DELLE BIOMASSE VEGETALI SPIAGGIATE

Giancarlo Bovina<sup>1</sup>, Sergio Cappucci<sup>2</sup>, Elena Pallottini<sup>2</sup>, Sergio Silenzi<sup>2</sup>, Saverio Devoti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ass. Amb. MAREVIVO, Lungotevere A. da Brescia Scalo de Pinedo - 00196 Roma

<sup>2</sup>ICRAM – Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica e tecnologica Applicata al Mare, Roma

Tel. 0661570490, Fax. 0661561906, e-mail: [s.cappucci@icram.org](mailto:s.cappucci@icram.org)

**Riassunto** – Nell’ambito dell’Operazione Quadro Regionale (OCR) INTERREG IIIC Beachmed-e (Misura 3.4), l’ICRAM, in collaborazione il Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università “La Sapienza” di Roma e con l’Associazione Ambientalista Marevivo, ha avviato un progetto di ricerca che si propone di esaminare i meccanismi di retroazione esistenti tra le praterie di *Posidonia oceanica*, i litorali in erosione e le operazioni di ripristino morfologico delle dune costiere. Il progetto P.O.S.I.DU.N.E. (*Posidonia Oceanica and Sand Interactions with DUNE Natural Environment*) ha come obiettivo quello di valutare l’efficacia di tecniche “innovative” di intervento, che prevedono l’utilizzo delle biomasse vegetali spiaggiate per favorire la colonizzazione delle specie pioniere sui cordoni dunari ed il successivo innesco di processi di *feedback* positivo legati all’accumulo deposizione di sabbia. Nel presente lavoro sono sintetizzati i principali risultati emersi nel corso della ricerca bibliografica e normativa condotta al fine di: (1) individuare modalità di fruizione e criteri di “manutenzione” delle spiagge secondo criteri avanzati e responsabili, indispensabili per una corretta gestione delle biomasse vegetali spiaggiate, e (2) eliminare o minimizzare l’impatto prodotto da un approccio poco consapevole nella gestione dei rifiuti negli ambienti costieri.

**Abstract** – As a part of Regional Framework Operation (RFO) INTERREG IIIC Beachmed-e (Measure 3.4), ICRAM (Central Institute of Marine Research), in collaboration with the Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università “La Sapienza” di Roma and the Environmental Association Marevivo, has started a research project that will investigate the feedback mechanism between *Posidonia oceanica*, coastal erosion and morphological restoration of coastal dunes. The main objective of P.O.S.I.DU.N.E. (*Posidonia Oceanica and Sand Interactions with DUNE Natural Environment*) project is to evaluate the effectiveness of innovative naturalistic technique that will use vegetal biomasse to trigger the colonisation of sand dunes by pioneering species and subsequent positive feedback processes like sand accumulation. In the present study the main results of the literature and legal review are presented. The aims of the review were: (1) to found innovative methods for the beach cleansing in order to correctly manage the vegetal biomasses and (2) to minimize the impact due to an unaware wastes management in the coastal zones.



## Introduzione

Dopo le mareggiate, lungo i litorali, si possono osservare accumuli formati dalle foglie di piante marine; fra queste la *Posidonia oceanica*, da origine ai depositi più caratteristici e di maggiori dimensioni detti *banquettes* [1], [7].

I resti di *Posidonia oceanica* che si depositano sulla battigia costituiscono un prodotto che non ha ancora completato il suo ciclo biologico e che deve quindi subire diverse modificazioni biochimiche per poter essere utilizzato dalle reti trofiche costiere. Questo detrito, una volta frammentato da processi fisici e dagli organismi detritivori e rimineralizzato ad opera dei batteri, rappresenta una importante fonte di carbonio, particolato e disciolto, e di nutrienti. Si consideri come molti pesci, allo stadio giovanile, traggono parte delle loro risorse trofiche da organismi quali Anfipodi o Isopodi che vivono e si alimentano nella zona di battigia interessata dalla presenza di *banquettes* [1].

Anche dal punto di vista più strettamente fisico, ed a fronte della frequente diffusione e recrudescenza dei meccanismi di erosione costiera, l'azione protettiva che gli ammassi fogliari, specie se abbancati, svolgono a protezione dei litorali sabbiosi o sabbioso-ciottolosi, è certamente non trascurabile tanto che localmente essa può assumere importanza strategica [2].

Il contenuto di elementi nutritivi e la grande capacità di accumulo di umidità fanno sì che, anche in condizioni di deposito più modesto, tali materiali svolgano una funzione importantissima per la vegetazione pioniera delle spiagge e di quella delle dune, favorendone lo sviluppo e quindi contribuendo alla loro stabilità.

La sottrazione di ingenti quantità di materiale vegetale spiaggiato può quindi essere critica ed è necessaria la massima cautela poiché i nutrienti derivanti dalle *banquettes* e le particelle di detrito contribuiscono in modo non trascurabile alla produttività costiera globale.

In tempi passati le *banquettes* erano considerate parte integrante del paesaggio costiero e se ne conoscevano gli aspetti positivi tanto che la "convivenza" con tali forme di deposito naturale era più che gradita. Erano poi praticate (anche secondo differenti tradizioni locali) molteplici forme di utilizzazione delle foglie spiaggiate: quale materiale isolante, termico ed acustico, materiale da imballaggio e per imbottitura di materassi e cuscini, ammendante naturale, materiale per la formazione di suolo [5]. Oggi, a causa dello sviluppo delle attività turistico-balneari, alle spiagge sono imposte condizioni di totale artificialità; in particolare la manutenzione e la pulizia meccanizzata degli arenili comportano la rimozione delle masse vegetali spiaggiate delle quali risultano sconosciute le molteplici e strategiche funzioni ecologiche.

Tutto questo determina una sorta di "desertificazione" delle coste sabbiose, che pur essendo ambienti limite, presentano comunque ecosistemi di straordinaria importanza e complessità, strategici in termini di biodiversità; le dune costiere, i cui meccanismi di conservazione sono strettamente collegati a quelli delle spiagge, così come le stesse praterie di *Posidonia oceanica*, sono infatti considerate habitat prioritari dalla Direttiva 92/43 della UE. In relazione ad habitat marino-costieri meritevoli di tutela, è necessario sottolineare come nell'ambito del protocollo SPAMI della Convenzione di Barcellona (sulle Aree Specialmente Protette e la Biodiversità in Mediterraneo), spiaggiamenti e *banquettes* siano considerati elementi meritevoli di salvaguardia e in tal senso

specificamente definiti come “**habitat determinanti**”.

I resti della Posidonia si mescolano frequentemente con quelli di altre fanerogame marine, alghe e con materiali vegetali di origine terrestre: il destino delle “*banquettes*” si colloca così nella più generale problematica della gestione delle masse vegetali spiaggiate ed in particolare di come queste debbano essere considerate.

Va infatti rilevato come al momento, contrariamente a quanto accadeva in tempi pregressi, l'elevata quantità di rifiuti trasportata dai corsi d'acqua, abbandonata in mare o direttamente sugli arenili, si mescoli alle frazioni naturali vegetali degradandole.

Le operazioni meccanizzate di pulizia degli arenili, oltre al danneggiamento fisico della spiaggia ed alla perdita delle funzioni ecologiche, determina il mescolamento della frazione nobile e di quella contaminante, a cui segue, inevitabilmente, lo smaltimento in discarica (peraltro tra tutte, la forma di smaltimento “culturalmente” meno impegnativa).

Oltre alla sottrazione pressoché irreversibile di importanti biomasse si aggiungono altri effetti critici quali: (1) la sistematica sottrazione di sabbie da arenili frequentemente interessati da un bilancio sedimentario negativo, ormai divenuto cronico lungo la maggior parte delle spiagge italiane; (2) il danneggiamento della vegetazione dunale pioniera e delle forme d'accumulo sabbioso embrionali; (3) gli alti costi (economici ed energetici complessivi) per la raccolta, il trasporto e lo smaltimento dei materiali organici; (4) l'occupazione di volume in discarica.

## **La gestione delle biomasse vegetali spiaggiate in Italia**

Le indagini bibliografiche, il confronto con Amministrazioni locali e le ricognizioni condotte presso alcune Aree Marine Protette italiane hanno consentito di verificare le modalità di gestione degli ammassi vegetali spiaggiate; in particolare si è rilevato come questa problematica venga affrontata in modo sostanzialmente analogo nelle diverse regioni costiere italiane nelle quali il fenomeno trova maggiore sviluppo.

In linea generale, dove non vi sono motivazioni di carattere turistico, i depositi vengono lasciati al processo naturale di trasformazione mentre, nelle aree maggiormente interessate da turismo balneare (sempre più diffuse), le amministrazioni locali provvedono alla rimozione del materiale secondo differenti destinazioni: (1) interrimento in discarica controllata; (2) abbandono in aree non autorizzate; (3) accantonamento in cumuli in aree adiacenti allo spiaggiamento; (4) immersione in mare.

In data 17/03/06 il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, a seguito delle pressanti richieste formulate da numerosi comuni rivieraschi, ha emesso una Circolare che ha come oggetto la “**gestione della posidonia spiaggata**”. Secondo tale Circolare “... non si ritiene utile fornire una regola e un modello univoco, ma è necessario adottare soluzioni flessibili, legate di volta in volta alla specificità dei luoghi e delle situazioni sociali ed economiche. Gli interventi da attuare possono sintetizzarsi come segue: (1) il mantenimento in loco delle *banquettes*, (2) lo spostamento degli accumuli o (3) la rimozione permanente e trasferimento in discarica.

Recentemente, alcuni progetti di ricerca hanno focalizzato la loro attenzione sul problema dei depositi vegetali spiaggiate, concentrandosi sui litorali maggiormente interessati dall'accumulo di foglie di *Posidonia oceanica* che, a luoghi, danno origine alle *banquettes* [6].

Ad esempio, dal maggio 2004 al maggio 2006, è stato intrapreso e concluso il progetto ARENA [3]. Tale progetto, condotto lungo i litorali della Sardegna, ha indagato le interazioni tra le *banquettes* di *Posidonia oceanica* e la dinamica delle spiagge e, di conseguenza, ha permesso di individuare i possibili impatti dell'attività di pulizia delle spiagge sulla stabilità dei litorali; questi studi proseguiranno nell'ambito di un nuovo progetto di ricerca avviato il 30 giugno 2007: l'INTERREG III A GERER "*Gestion intègrèe de l'environnement à haute risque d'érosion*".

## **Le esperienze estere in tema di gestione degli spiaggiamenti di Posidonia**

Ai fini dell'impostazione di un programma di gestione sostenibile delle biomasse vegetali spiaggiate, sempre nell'ambito delle attività condotte per il "Programma Nazionale di individuazione e valorizzazione della *Posidonia oceanica*", è stato ritenuto utile acquisire informazioni sulle esperienze estere in materia di gestione degli spiaggiamenti di Posidonia e di fanerogame marine. In particolare le indagini hanno riguardato: (1) l'inquadramento nell'ambito normativo dei resti di Posidonia che si spiaggiano lungo la costa e se essi sono considerati rifiuto, (2) le possibilità di riutilizzo mediante compostaggio o tecniche similari di stabilizzazione e (3) il reimpiego in interventi di recupero ambientale o ricostruzione paesaggistica e la descrizione di interventi significativi in tale ambito.

Si riporta una sintesi delle informazioni ottenute.

In **Spagna** non esiste una regolamentazione specifica. Come per altri paesi del bacino Mediterraneo questi resti sono considerati elementi di degrado e, per motivi turistici, ne è praticata la rimozione come rifiuto, come avviene per esempio nelle Isole Baleari.

Non sono stati avviati programmi sistematici di valorizzazione delle *banquettes* e/o di riutilizzazione ecologica del detrito vegetale. Sono state condotte da parte delle Università e delle Associazioni ambientaliste, iniziative di sensibilizzazione e comunicazione sul ruolo ed importanza delle *banquettes* nella protezione dei litorali.

Si ha comunque notizia, non documentata, di reimpieghi localizzati in interventi di recupero ambientale in ambito costiero. Esistono inoltre esperienze, anch'esse non documentate, su sperimentazioni per la produzione di pannelli isolanti.

Per quanto riguarda più specificamente il compostaggio è utile riportare l'esperienza di Denya, comune della regione di Valencia in Spagna. Con il sostegno finanziario dello strumento LIFE Ambiente (concesso dalla Commissione Europea nel 1996 per il carattere innovativo del progetto), la municipalità di Denya, sotto la supervisione dell'Università Politecnica di Valencia, ha realizzato un impianto di compostaggio in grado di trattare circa 15.000 m<sup>3</sup>/anno di residui vegetali.

Il progetto è nato dall'esigenza di rimuovere ingenti quantità di alghe e fanerogame marine, spiaggiate in grande quantità lungo la costa della municipalità di Denya, e di smaltire rilevanti quantitativi di scarti di manutenzione del verde pubblico e privato (circa 60.000 m<sup>3</sup>/anno).

Il ciclo di trattamento utilizza la tecnica del cumulo rivoltato all'aperto, con aerazione forzata: la capacità di trattamento è di circa 9.000 t di resti vegetali e 3.000 t di Posidonia (con una incidenza di circa il 15 % di alghe). Secondo l'esperienza spagnola, con tale composizione viene ottenuto un compost di apprezzabili caratteristiche agronomiche,

con deboli limitazioni e ricco in oligoelementi, particolarmente indicato per impieghi nella vivaistica, negli interventi di riforestazione o di recupero ambientale. (*Universitat Politècnica Valencia* <http://www.upv.es>).

Anche in **Francia** non risultano indicazioni normative specifiche relative al detrito vegetale spiaggiato e tale materiale viene trattato come rifiuto dai gestori delle spiagge turistiche; tutto questo nonostante esista una legge del 1988 che tutela sia la *Cymodocea nodosa* che la *Posidonia oceanica* (L.) Delille, “in tutte le sue parti”: secondo gli esperti comprendendo dunque in queste anche quelle asportate dalla prateria. Si sottolinea però che nelle aree marine protette, come il Parco nazionale di Port-Cros o la Riserva Naturale di Scandola in Corsica, le foglie di *Posidonia* non vengono rimosse [1].

Ancora in Francia, in tema di sensibilizzazione, si riporta l’esperienza del comune di Hyeres dove, grazie alla collaborazione tra amministrazione locale, ecologisti ed esperti scientifici, dal 1999 viene condotta una esperienza di gestione ecologica di due spiagge nelle quali non vengono rimossi i depositi di *Posidonia*. La comunicazione rivolta ai turisti tramite pannelli esplicativi informa gli stessi che si tratta di materiali naturali, indicatori di buona qualità dell’ambiente, e non di rifiuto; inoltre il fatto di non rimuovere un materiale fa sì che la spiaggia da loro frequentata possa essere considerata come una “spiaggia ecologica”.

A **Malta** sono stati condotti interventi, considerati innovativi (ma comunque basati su esperienze storiche), per la gestione ed il miglioramento della copertura vegetale costiera, attraverso il reimpiego “locale” della *Posidonia* spiaggiata. Il materiale viene rimosso dalla spiaggia ed utilizzato come substrato organico per creare condizioni pedologiche favorevoli allo sviluppo delle coperture vegetali ed al restauro di aree costiere degradate o comunque denudate e carenti di suolo.

Gli obiettivi dell’azione consistono (1) nella pulizia, per motivi turistici, delle spiagge; (2) nella riduzione delle problematiche di gestione dei rifiuti; (3) nella creazione di barriere verdi utili per fini di restauro ambientale ed il contenimento dell’impatto prodotto dai veicoli sulle spiagge.

L’esperienza maltese prevede la rimozione meccanizzata, ma comunque attenta del materiale, che viene successivamente deposto in cumuli, l’uno accanto all’altro, a formare uno strato di circa 1.5 m di spessore, modellato prima dell’inverno. Dopo almeno due stagioni invernali il deposito viene piantumato con specie quali *Atriplex halimus*, lungo il perimetro, e *Tamarix sp.* ed acacia al suo interno.

A circa 15 anni dai primi interventi i risultati ottenuti sono molto soddisfacenti essendosi realizzate barriere verdi alte più di 2 m, in grado di controllare l’accesso selvaggio alle spiagge, soprattutto per le automobili, e di creare condizioni favorevoli alla colonizzazione della vegetazione pioniera locale (*University of Malta – Research and development centre Ministry of agriculture and fisheries - J. Borg* <http://www.um.edu.mt/pub/jborg.html>).

Alcuni paesi del Nord Europa (Germania, Danimarca, Francia), nell’ambito del progetto INTERREG IIIC CosCo (*Coastal co-operation with sea grass and algae focus*), hanno avviato sperimentazioni per attuare il riutilizzo delle biomasse vegetali spiaggiate (in questo caso costituite per la maggior parte da alghe) in differenti settori quali quello medico, edile, commerciale. Lo scopo è quello di evitare lo smaltimento di tali depositi in discarica per non incrementare la concentrazione di biogas (derivante dalla decomposizione della sostanza organica) nell’atmosfera. In quest’ottica, infatti, il conferimento in discarica di biomasse vegetali contraddice le direttive del protocollo di Kyoto in quanto queste

contribuiscono alla produzione di biogas.

## **Aspetti Normativi**

Ai fini della individuazione di una linea di corretta gestione dei detriti vegetali spiaggiati è in primo luogo fondamentale comprendere se questi debbano, o meno, essere considerati come rifiuto; in tal senso viene fatto riferimento alla attuale normativa sui rifiuti - D. legislativo n. 22 del 5 febbraio 1997 e relativi decreti di attuazione.

Ad una attenta analisi della normativa si osserva che i detriti vegetali spiaggiati, le piante marine e le alghe non siano chiaramente definibili come rifiuti. L'articolo 7 del D.L. 22/97 (Classificazione) definisce semplicemente come urbani i rifiuti giacenti sulle spiagge ma non definisce rifiuto tutto quello che giace sulle spiagge.

Negli elenchi della normativa (nazionale o comunitaria) manca alcun riferimento specifico a tali materiali come rifiuti. Tra l'altro essendo prodotto da un meccanismo naturale non si individua né un produttore né un detentore.

Contrariamente a tutto questo, l'interpretazione data da esperti della materia rifiuti confermerebbe l'appartenenza alla categoria di rifiuto del materiale spiaggiato poiché, pur trattandosi di un prodotto naturale, questo avrebbe comunque terminato il suo ciclo naturale e la sua funzione, e certamente diventa rifiuto nel momento stesso in cui viene raccolto (mescolato o meno con rifiuti veri e propri).

A conferma di tale impostazione restrittiva, e delle criticità che essa comporta, è significativo citare la risoluzione del Ministero delle Finanze del 5/11/1999 n. 158/E (TARSU – alghe giacenti sulle spiagge). La risoluzione risponde ai quesiti posti dal comune di Grado le cui spiagge, di apprezzabile valenza turistica, sono interessate da spiaggiamenti dell'ordine di 5.000 ÷ 10.000 tonnellate annue di fanerogame marine (principalmente *Cymodocea* e *Zostera*) ed alghe. La risoluzione precisa che le "alghe" sono classificabili come rifiuti urbani esterni e che i costi di smaltimento (ovviamente in discarica) dovranno gravare sui singoli utenti; per i tratti in concessione, costituendo rifiuti urbani interni, la futura tariffa dovrà essere a carico del concessionario.

Volendo comunque accettare una visione restrittiva della normativa, le foglie di *Posidonia* ed i resti di altre fanerogame o le alghe sono classificabili come rifiuti urbani esterni e non, come spesso sostenuto, rifiuti speciali<sup>1</sup>. Devono inoltre essere considerati non pericolosi poiché non sono presenti nell'allegato B dei rifiuti pericolosi.

Quando tali materiali, frammisti ad altri chiaramente identificabili come rifiuti (oggetti plastici, contenitori, ecc.) vengono raccolti unitamente a questi, è inevitabile che vengano considerati contaminati e quindi classificati anch'essi come rifiuto. Tuttavia una raccolta mirata dei soli materiali "contaminanti" lascerebbe a terra le frazioni naturali con degrado ambientale residuo del tutto relativo (fondamentalmente organolettico) e comunque limitato a particolari condizioni di accumulo (es. in adiacenza o corrispondenza di stabilimenti balneari, insediamenti turistici ecc.<sup>2</sup>).

---

<sup>1</sup> "Sono rifiuti urbani esterni... rifiuti di qualunque natura o provenienza, giacenti sulle strade ..... o sulle spiagge marittime o lacuali e sulle rive dei corsi d'acqua."

<sup>2</sup> Per poter meglio approfondire l'argomento si specifica che, in base alle definizioni (art. 6) il Decreto Ronchi intende:

**rifiuto** " ... qualsiasi sostanza od oggetto che rientri nell'allegato A e di cui il detentore si disfi o abbia deciso od abbia l'obbligo di disfarsi".

Sempre in relazione agli aspetti normativi, per quanto riguarda la compostabilità delle biomasse vegetali spiaggiate, è necessario considerare il D.M. 27 marzo 1998 - modificazione all'allegato 1C della legge 19/10/1984 n. 748 e s.m.i. (recentemente è stata abrogata dal Decreto Legislativo n. 217/2006) recante nuove norme per la disciplina dei fertilizzanti - che esclude la presenza "alghe e piante marine" tra i componenti degli ammendanti organici naturali (produzione di compost di qualità). Si tratterebbe quindi di materiali non compostabili per effetto della possibile concentrazione di metalli pesanti.

Inoltre questi materiali non sono compresi nelle tipologie dei rifiuti compostabili indicate dal D.M. 5/2/98. Vale a dire che tali materiali sono esclusi dalla procedura semplificata di trattamento dei prodotti utilizzabili per la produzione di compost.

Lo stesso decreto, non citandoli in alcuna parte dell'allegato 1 "Norme tecniche generali per il recupero di materia dai rifiuti pericolosi" non ne consente l'utilizzo neanche nei recuperi ambientali (Art. 5 - Recupero ambientale - "Le attività di recupero ambientale individuate nell'allegato 1 consistono nella restituzione di aree degradate ad usi produttivi o sociali attraverso rimodellamenti morfologici").

## Conclusioni

Per la comprensione oggettiva della problematica e per una gestione responsabile delle biomasse vegetali spiaggiate si ritiene opportuno elencare alcuni punti che sono emersi durante la ricerca bibliografica condotta nel corso della prima fase del progetto:

1. Gli spiaggiamenti di Posidonia sono costituiti da foglie e rizomi della pianta e quindi da materiale naturale confrontabile al detrito vegetale di un bosco; come per un bosco, la caduta delle foglie rappresenta un fenomeno del tutto naturale, e non è indicativo di stati di sofferenza o degrado dell'ambiente marino. Al contrario proprio quando sono cospicui e ben strutturati i depositi di foglie morte traducono la presenza nelle vicinanze di ampie praterie di Posidonia, ecosistemi che per la loro presenza indicano un mare sano ed in equilibrio [4].
2. La possibile presenza di rifiuti costituisce quindi elemento di contaminazione di una risorsa naturale la quale essa stessa non può essere considerata come elemento di contaminazione.
3. Le forme di deposito sono molteplici in ragione della distanza della prateria madre, dell'età del materiale, delle condizioni meteomarine occorse e delle caratteristiche geomorfologiche del paraggio.

---

**Detentore:** "..... il produttore dei rifiuti o la persona fisica o giuridica che li detiene".

**Produttore:** " .... La persona la cui attività ha prodotto rifiuti e la persona che ha effettuato operazioni di pretrattamento o di miscuglio od altre operazioni che hanno mutato la natura o la composizione dei rifiuti".

In quanto all'allegato A relativamente al punto 1 - Categorie di rifiuti - non si ravvisa l'appartenenza ad alcuna categoria se non *Q16: qualunque sostanza, materia o prodotto che non rientri nelle categorie sopra elencate*. Relativamente al punto 2 - Catalogo europeo dei rifiuti - In considerazione dell'art.7 citato in precedenza tali materiali possono essere inquadrati nelle seguenti categorie: 20 00 00 rifiuti solidi urbani ed assimilabili .....; 20 01 08 rifiuti di natura organica utilizzabili per il compostaggio; 20 02 01 rifiuti comportabili; 20 03 00 altri rifiuti urbani.

4. Il ciclo delle foglie morte di *Posidonia* si svolge in mare, dove sostiene la catena del detrito, e dove, in condizione seppur molto transitoria, sotto forma di ammassi flottanti, costituisce habitat peculiare; è in mare il suo destino finale (chiusura del ciclo). I resti di *Posidonia* non dovrebbero essere quindi considerati uno “scarto” del mare poiché non hanno concluso la propria funzione naturale, ma al contrario sono inseriti in un ciclo ecologico complesso e funzionale per la rete trofica marino costiera e costiera [1].
5. In termini di bilancio di massa, la frazione che resta definitivamente a terra è molto ridotta. Ma anche a terra svolge un ruolo insostituibile ed irrinunciabile nell'ecologia dell'ambiente litorale, dove infatti innesca e sostiene meccanismi di colonizzazione della vegetazione, sia dei litorali sabbiosi che di quelli rocciosi [5].
6. Le *banquettes* e le relative sospensioni di biomasse vegetali flottanti, per quanto comunque transitorie, concorrono significativamente alla riduzione dell'energia del moto ondoso, specie se poste in relazione a singoli eventi meteomarinari [1], [5].
7. Nell'ambito del protocollo SPAMI della Convenzione di Barcellona, spiaggiamenti e *banquettes* rientrano come habitat meritevoli di salvaguardia e in tal senso sono considerati come “habitat determinanti”.
8. La *Posidonia* spiaggiata, come tutte le biomasse vegetali, non appartiene alla categoria dei rifiuti, né per origine né per definizione, tanto che non è mai citata dalla normativa. Rientra forzatamente nella categoria di rifiuto solo quando, attraverso azioni antropiche del tutto innaturali, viene rimossa senza separare i rifiuti che la contaminano [6].

## Bibliografia

- [1] Boudouresque C. F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L. – *Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica*, RAMOGE pub. (2006).
- [2] Boudouresque C.F., Meinesz A. – *Découverte de l'herbier de Posidonie*, Cah. Parc. Nation. Port-Cros, Fr., (1982), 4: 1-79
- [3] Di Falco G., Baroli M., Simeone S., Piergallini G. – *La rimozione della Posidonia dalle spiagge: conseguenze sulla stabilità dei litorali*, Risultati del Progetto ARENA, (2002).
- [4] Diviacco G., Spada E., Virno Lamberti C. – *Le fanerogame marine del Lazio*, (2001), ICRAM, Roma.
- [5] MAREVIVO/Bovina G. – *Programma Nazionale di individuazione e valorizzazione della Posidonia oceanica*, Convenzione Marevivo/ Ministero dell'Ambiente 1998. Relazione Illustrativa V semestre (Rapporto inedito), (2001).
- [6] Marevivo/Bovina G. - *Programma di indagine sulle banquettes di Posidonia oceanica come indicatore dello stato di conservazione delle praterie*, Convenzione Associazione Ambientalista Marevivo/Ministero dell'Ambiente 2002. Relazione illustrativa finale e tavole allegate (Rapporto inedito), (2003).
- [7] Molinier R., Picard J. – *Notes biologiques à propos d'un voyage d'études sur les côtes de Sicile*, Ann. Inst. Océanogr. (1953), 28(4): 163-187.

# CONTRIBUTO ALLA CONOSCENZA DELLA FLORA E DELLA VEGETAZIONE DEL LITORALE JONICO DELLA RISERVA NATURALE BOSCO PANTANO DI POLICORO (MT)

Enrico L. De Capua<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Provincia di Matera, Via Ridola, 60 75100 Matera.

Tel./fax 0835.306340/312871, e. mail: agrifor@provincia.matera.it

**Riassunto** - Il presente studio ha lo scopo di fornire degli elementi descrittivi riguardo ai principali aspetti vegetazionali del litorale Jonico inclusi nella riserva Naturale Bosco Pantano di Policoro in Provincia di Matera. I rilievi effettuati mostrano una progressiva trasformazione in senso regressivo di questi habitat, causata dalle attività intensive dell'uomo.

*Abstract* – *The present study has the aim to provide some descriptive elements concerning to the main vegetational traits of the Jonian coast, included in the Natural Reserve Bosco Pantano of Policoro, in the Province of Matera. Surveys show a progressive regressional changes in this habitat, caused by intensive human activity.*

## Introduzione

La Riserva Naturale Orientata Bosco Pantano situata nel Comune di Policoro, in Provincia di Matera, rappresenta ciò che resta dei due complessi detti "bosco del Pantano Soprano" e "bosco del Pantano Sottano" che costituivano fino ad alcuni decenni fa una delle più estese foreste planiziali costiere dell'Italia meridionale<sup>1</sup>. Questa formazione naturale costituisce attualmente un ambiente di rifugio unico per la fauna e per molte specie vegetali spontanee, qui confinate da vicende storiche naturali ma, in maggior misura, dalle modificazioni ambientali operate dall'uomo. La superficie totale della Riserva è di circa 1200 ha, il suo limite S-E è rappresentato dal mare e si estende per circa 3 km, il limite S-O è delineato dall'argine destro del fiume Sinni.

Il bosco igrofilo di Policoro appartiene, secondo Pedrotti (1980), all'associazione *Carici - Fraxinetum angustifoliae* che si ritrova lungo i corsi d'acqua e lungo le coste in posizione retrodunale o interdunale [5]. Dal punto di vista ecologico-naturalistico i caratteri di maggior pregio sono riconducibili, in primo luogo, alla rarità della cenosi stessa, al suo valore fitogeografico ed ecologico, alla presenza di entità floristiche strettamente legate a particolari habitat. Il biotopo se analizzato globalmente costituisce un sistema eterogeneo per la sua varietà di ambienti: bosco, macchia mediterranea e litorale sabbioso. La presenza della foce del fiume Sinni, di aree acquitrinose permanenti e semipermanenti e di un fitto reticolo idrografico arricchiscono ulteriormente l'ambiente sia dal punto di vista vegetazionale, sia faunistico. L'area protetta ricomprende anche estese superfici rimboschite a prevalenza di

---

<sup>1</sup> Vale la pena ribadire, anche in questa sede, il valore storico di questo biotopo che ritrova frammenti descrittivi del suo ambiente nelle Tavole di Eraclea (VI-V sec. a. C.) [5] [3].



Pino d'Aleppo realizzate negli anni Cinquanta la cui gestione, oggi, pone diversi problemi in relazione alla loro stabilità, con particolare riferimento alla fascia del litorale sabbioso.

Il presente studio ha lo scopo oltre che di rendere noti degli aspetti vegetazionali di un settore dell'area esaminata, di documentare l'esistenza, in un ambiente sempre più alterato, di un aspetto della vegetazione dal precario equilibrio ecologico, meritevole, pertanto, di una oculata gestione. Questo lavoro si inserisce in un programma di indagini conoscitive nell'ambito della Riserva Naturale Bosco Pantano, cercando di fornire un ulteriore contributo alla conoscenza complessiva di un'area di notevole importanza naturalistica.

## **Materiali e metodi**

Durante il periodo 2000 - 2005 sono stati eseguiti rilievi lungo il litorale Jonico del comune di Policoro (MT) nell'area della Riserva Naturale orientata Bosco Pantano di Policoro in prossimità della Foce del fiume Sinni. I rilievi sono stati effettuati in punti scelti in maniera soggettiva prendendo in considerazione soprattutto le zone più indisturbate. In particolare le osservazioni hanno interessato oltre alle zone situate sulla sinistra idrografica del fiume Sinni, comprese nell'area della Riserva, anche alcune aree comprese nel litorale del "Lido di Policoro" e del "Lido di Torre Mozza". In base al tipo di substrato, alla maggiore o minore umidità del suolo e alla salinità delle acque o del terreno, che caratterizzano il tratto di costa in esame, sono state individuate per scopi pratici le seguenti tre principali tipologie vegetazionali: vegetazione psammofila delle dune litoranee; vegetazione mesoigrofila delle zone retrodunali stagionalmente umide; vegetazione xerofila della macchia mediterranea; rimboschimenti litoranei. Le osservazioni sono state effettuate mediante *transects* rettangolari di lunghezza variabile da 10 a 100 m divisi in quadrati di un metro di lato. I *transects* sono stati accompagnati in alcuni casi da una misurazione del profilo della vegetazione per meglio delineare la stratificazione e l'aspetto fisionomico della fitocenosi, sia per rilevare le variazioni della vegetazione lungo gradienti ambientali, in questo caso dalla battigia verso l'interno. Inoltre è stata condotta una sintetica analisi comparativa con altre aree limitrofe non ricomprese nell'area naturale protetta, utilizzando anche le fonti bibliografiche disponibili.

## **Inquadramento fisiografico e climatico della stazione**

L'altitudine dell'intera area indagata, collocata nella piana del Metapontino nel comune di Policoro in provincia di Matera, è compresa tra 0 e 5 m s.l.m. ed è delimitata dai fiumi Agri e Sinni; la cartografia è riportata sulle tavolette IGM 212 - III - NE "Rocca Imperiale" e 212 - IV - SE "Policoro". Questa porzione di litorale è compresa nella parte dell'arco Jonico che rappresenta il tratto meridionale della fossa bradanica, situata tra l'Appennino e le Murge, con direzione N-O/S-E, che costituisce il riempimento di un braccio di mare avvenuto in parte nel Pliocene, in parte nel Quaternario [7]. Secondo Cocco et. al. (1986) il Golfo di Taranto rispecchia i rapporti strutturali esistenti sulla terra emersa tra le coltri appenniniche. Dal punto di vista geomorfologico e sedimentario, sempre secondo Cocco et al. (1986), l'area può essere suddivisa in vari tratti, tra cui quello compreso tra Rocca Imperiale Marina e Ginosa in cui è situata la Riserva Bosco Pantano. Tale tratto è impostato sui complessi di foce dei principali fiumi sfocianti nel golfo di

Taranto. La porzione meridionale è caratterizzata da spiagge ciottolose e ciottolose-sabbiose è sottesa alla piana alluvionale del fiume Sinni in cui si riscontrano numerosi ordini di terrazzi marini pleistocenici ed il cui bacini imbrifero è costituito da terreni meso-cenozoici in facies di *flysch*, da depositi pliocenici sciolti e da rocce ofiolitifere. Dal punto di vista morfologico è possibile individuare un retrospiaggia costituito da dune basse (con altezze massime di circa 3 m rispetto al livello del mare) allungate parallelamente alla linea di costa. La sabbia non subisce sensibili spostamenti da parte del vento, per cui non si distingue un vero e proprio cordone dunoso: la spiaggia si presenta pressochè uniforme con un'altezza variabile da 1 a 3 m rispetto al livello del mare. I suoli delle dune, costituiti da depositi recenti di sabbie, sono caratterizzati da presenza di calcare ed argilla e rispecchiano le caratteristiche dei terreni clastici miocenici dell'Appennino e pleistocenici della Fossa Bradanica [1].

Il clima è di tipo mediterraneo; in base ai dati rilevati l'area rientra nella sottozona calda del *Lauretum*, del secondo tipo, con siccità estiva, secondo la classificazione fitoclimatica del Pavari. Il pluviometro di Lang e l'indice di aridità di De Martonne hanno fornito valori rispettivamente pari a 36,5 e 22,5. Secondo le applicazioni di questi indici a scopo fitogeografico il primo valore è tipico della vegetazione della zona del *Lauretum* in cui ricade Policoro, il secondo corrisponde a foreste sempreverdi xerofile [5].

## Risultati

Partendo dalla riva si distingue una fascia di sabbia nuda battuta dalle onde, priva di specie colonizzatrici. L'estensione di questa zona afitoica presenta un'ampiezza variabile tra 3 m e 20 m. In alcuni casi le modificazioni della sua estensione per cause naturali o antropiche determinano una distanza della vegetazione psammofila dalla riva che raggiunge i 50 ÷ 60 m.

È stata rilevata lungo dei *transects* la serie spaziale della vegetazione dalla battigia verso l'interno, le specie che rappresentano la prima forma di colonizzazione della fascia sabbiosa sono: *Sporobolus pungens*, *Eryngium maritimum*, *Xanthium italicum*, *Cakile maritima*, *Agropyron junceum*. Queste specie, ascrivibili al Cakileto, sono caratterizzate da un modesto sviluppo vegetativo superficiale ma da apparati radicali sviluppati che esercitano una prima azione stabilizzatrice del suolo. La presenza frequente di specie che caratterizzano le dune più interne dimostra, già in questa fascia, notevoli fenomeni di penetrazione che rendono difficile l'inquadramento e l'identificazione dell'associazione del Cakileto. Questa prima fascia sabbiosa risulta abbastanza povera floristicamente e fra le specie rilevate quelle che mostrano maggior frequenza e buon indice di copertura sono lo *Sporobolus pungens*, l'*Eryngium maritimum* ed in minor misura la *Cakile maritima*. E' da rilevare che l'*Eryngium* si ritrova in maniera abbastanza diffusa verso l'interno del litorale sabbioso su sabbie relativamente meno mobili. In alcuni punti (in particolare nei pressi della foce del Sinni) si riscontra una certa diffusione di *Salicornia (Salicornia Europaea)*. Si può rilevare che la presenza di *Sporobolus pungens* e *Xanthium italicum* caratterizza gli aspetti pionieri di questa prima fascia del litorale, i cui indici di copertura vegetale sono stimabili intorno al 10 %, seppur tale stima assume proporzioni estremamente variabili. In particolare *Sporobolus pungens* risulta più frequente in relazione ai suoi meccanismi di diffusione, per stoloni, che ne favoriscono l'espansione e una migliore resistenza.

Proseguendo in direzione opposta al mare, su un substrato che appare progressivamente più consolidato si individuano le seguenti specie: *Echinophora spinosa*, *Euphorbia*



Figura 1 – Caratteristica vegetazione psammofila delle dune sabbiose.

Figure 1 – Characteristic psammophylous vegetation of sandy dunes.

*paralias*, *Euphorbia peplis*, *Eryngium maritimum*, *Medicago marina*, *Ammophila littoralis*, *Juncus acutus*, *Otanthus maritimus*, *Pancratium maritimum*, *Ephedra distachya* (Fig. 1).

In questa fascia intermedia del litorale si nota una certa abbondanza e frequenza di *Echinophora spinosa*, di *Eryngium maritimum* e di *Euphorbia paralias*. Queste tre specie hanno una notevole incidenza su tutto il complesso vegetazionale psammofilo e risultano accompagnate da altre entità quali *Otanthus maritimus*, *Pancratium maritimum*, *Euphorbia peplis* e *Medicago marina* che hanno quasi sempre carattere sporadico. In particolare la *Medicago marina* si ritrova in piccoli raggruppamenti monospecifici anche in corrispondenza dei tratti più frequentati e disturbati del litorale. Da segnalare, inoltre, la significativa presenza in questa fascia di *Ammophila littoralis*. Le altre specie riscontrabili con maggior frequenza sono *Mattiola sinuata* e *Lotus creticus* quest'ultimo su suoli più stabilizzati. L'altezza della vegetazione si innalza progressivamente raggiungendo il metro e mezzo con i densi cespugli di *Ammophila littoralis* che forma un ostacolo efficace alla sabbia trasportata dal vento ed in questo punto si ha, generalmente, la massima quota della fascia sabbiosa rispetto al livello del mare. L'*Ammophila littoralis* si distribuisce abbastanza uniformemente in tutta la zona più interna del litorale sabbioso. È da rilevare la presenza pressoché costante di altre specie quali *Echinophora spinosa*, *Eryngium maritimum*, *Medicago marina*. Non mancano comunque situazioni caratterizzate da una certa povertà floristica che talora assumono la fisionomia di popolamenti quasi monofitici ad *Ammophila littoralis*.

In questa fascia del litorale, sulle parti superiori delle dune più interne, si evidenzia in maniera più marcata la presenza di punti di contatto e di transizione sia con la vegetazione psammofila bassa tipica della prima fascia sabbiosa, sia con le specie arbustive retrodunali tipiche dei suoli più stabilizzati e più ricchi di sostanza organica. Sulle sabbie più consolidate, generalmente in posizione retrodunale, è presente un'ampia fascia di vegetazione a macchia mediterranea che si rinviene molto spesso compenetrata a mosaico con la tipica



Figura 2 – Aspetti ben conservati di vegetazione costiera a macchia bassa.  
 Figure 2 – Conserved features of the coastal vegetation: low “macchia”.

vegetazione psammofila. Questa può essere considerata la zona di passaggio tra le associazioni psammofile in senso stretto e le successive forma arbustive. La fisionomia tipica è quella della macchia bassa (Fig. 2), solo nelle situazioni più favorevoli assume una struttura di boscaglia per il maggior sviluppo delle specie arbustive e per la presenza di sporadici elementi arborei.

Questa zona è fisionomicamente caratterizzata dalla dominanza di *Pistacia lentiscus*, *Juniperus macrocarpa* ssp. *macrocarpa* e da una notevole diffusione di *Agave americana*. Si tratta di aspetti tipici della vegetazione eumediterranea legati essenzialmente all’ambiente costiero sabbioso e possono essere considerati esempi di pedoclimax [8], nel caso dell’area in esame questi assumono particolare valenza fisionomica e strutturale per il buon grado di copertura e per la presenza di individui a portamento arboreo. Numerosi risultano gli elementi psammofili riscontrabili quali *Ammophila littoralis*, *Echinophora spinosa*, *Eryngium maritimum*, *Medicago marina* che dimostrano i fenomeni già citati di tensione e forte compenetrazione di differenti cenosi. In questa zona retrodunale sono inoltre presenti, nel piano inferiore, *Rosmarinus officinalis* (a tratti piuttosto diffuso), *Myrtus comunis*, *Cistus momspelliensis* (che in alcuni casi forma dei piccoli gruppi puri). Più sporadiche risultano *Phyllirea angustifolia* e *Thymelea hirsuta* mentre nelle aree più distanti dal mare su suoli più maturi si riscontra anche la presenza di *Rhamnus alaternus*, *Phagnalon saxatile*, *Helicrisum italicum*, *Asparagus acutifolius*, *Daphne gnidium* e rari esemplari di *Juniperus phoenicea*. La componente arborea è scarsa ed è costituita prevalentemente da isolati esemplari di pioppo bianco, frassino ossifillo e Pino d’Aleppo. La fascia del litorale sabbioso ospita diversi tipi di vegetazione in stretto rapporto con il gradiente idrico del suolo, difatti sono riconoscibili tipologie vegetazionali che vanno dalle formazioni tipiche dei suoli con acqua stagnante per gran parte, dell’anno agli aspetti di transizione con gli ambienti salmastri o mesofili. Nelle depressioni interdunali e retrodunali con acque stagnanti tra le specie dominanti ritroviamo *Phragmites australis* che tende a formare cospicui popolamenti monospecifici notevolmente densi con la presenza di *Thypha latifolia*. Molto diffuso su suoli umidi salmastri risulta *Juncus acutus* che forma aggruppamenti con una tipica fisionomia di densa e intricata prateria giunchiforme. Questa specie è comunque riscontrabile anche su suoli più asciutti.



Figura 3 – Aree umide retrodunali colonizzate da *Fraxinus angustifolia*.  
 Figure 3 – Wet coastal areas colonized by *Fraxinus angustifolia*.

In corrispondenza dei canali naturali e nelle aree a contatto con la vegetazione a macchia mediterranea si segnala la presenza di *Tamarix gallica*, *Vitex agnus - castus* (quest'ultimo è un elemento tipico delle bassure umide e delle fiumare) e *Nerium oleander*. Alle suindicate specie dominanti si affiancano sporadicamente piante di pioppo bianco e salice bianco. Gli ambienti più salsi sono caratterizzati dalla salicornia che in alcuni tratti forma un rivestimento fisionomicamente molto omogeneo. Nel complesso in queste aree salmastre si osserva una certa eterogeneità della struttura fitocenotica dove il ruolo fisionomico dominante è esercitato in molti tratti da *Juncus acutus*. Nelle depressioni con acqua stagnante per tutto l'anno o per gran parte di esso, che si ritrovano in posizione retrodunale si insediano gruppi monospecifici a *Fraxinus angustifolia*, accompagnati, spesso, da esemplari di salice bianco; queste formazioni, tipicamente igrofile, si riscontrano su superfici di estensione limitata (1000 ÷ 2000 m<sup>2</sup>) e rappresentano i rari casi in cui è possibile osservare la flora erbacea caratteristica a *Carex* spp., *Iris pseudacorus*, *Rumex sanguineus*, *Alisma plantago - aquatica* (Fig. 3) [5].

Tali aspetti del soprassuolo vegetale che si spingono sino al limite interno della fascia sabbiosa risultano in generale determinati dalla potenziale esondabilità dei suoli su cui si sviluppa la vegetazione, testimoniata dalla presenza di specie nemorali influenzate dalla falda freatica nonché dalle differenti forme di giacitura del terreno. Queste condizioni inducono una diversificazione della vegetazione in senso igrofilo o xerofilo in relazione a difformità di livello, legate alla presenza di modeste depressioni o di piccoli rilievi, cui si associa probabilmente anche una diversa costituzione dei sedimenti. La loro origine risiede, sicuramente, nella rielaborazione del paesaggio che il fiume ha operato divagando naturalmente con il proprio letto, ai paleoalvei, cioè ai residui degli antichi canali percorsi attivamente dal fiume, che oggi si presentano come modeste depressioni. Ciò conferisce alla componente vegetale caratteri del tutto atipici, rispetto alle aree circostanti, chiaramente “azonali” per la presenza di microhabitat locali. In questa fascia più interna del litorale tra le specie meno frequenti è possibile menzionare alcune orchidee quali *Barlia robertianum*, *Ophrys sphegodes*, *Ophrys sphegodes (atrata)*, *Ophrys Bertoloni*. Le specie arboree presenti in forma isolata o in

piccoli gruppi sono rappresentate da *Quercus pedunculata*, *Salix alba*, *Salix fragilis*, *Populus alba*, *Populus nigra*, *Populus canescens* (nelle depressioni), *Quercus cerris*, *Pinus halepensis*.

## Discussione e conclusioni

Le indagini svolte mostrano come nei punti più indisturbati, nell'ambito dell'area protetta, è possibile riscontrare ancora tratti di vegetazione costiera in cui è possibile individuare le tipiche successioni vegetazionali, seppur caratterizzate da notevoli aspetti di compenetrazione, come precedentemente evidenziato. Dove persistono, questi lembi residuali, svolgono un importante ruolo nella costituzione ed evoluzione dei sistemi dunali. Da una analisi comparativa dedotta dall'osservazione di zone limitrofe all'area di indagine gli effetti dell'antropizzazione della costa si manifestano con una alterazione progressiva di questi ambienti che in molti casi non presentano più le caratteristiche successioni vegetazionali. L'interruzione delle tipiche successioni vegetazionali delle dune mostra i suoi effetti soprattutto a livello delle comunità pioniere ma si ripercuote in modo evidente anche a carico della retroduna con una generale semplificazione floristica che si manifesta, spesso, in modo drastico. Una delle principali cause del degrado degli ecosistemi psammofili è certamente attribuibile all'antropizzazione diretta delle spiagge che agisce in modo negativo tramite il livellamento geomorfologico (pratica diffusa in quasi tutti i paesi rivieraschi). Degna di particolare attenzione è la fascia di litorale occupata dai rimboschimenti misti a prevalenza di *Pinus halepensis*, *Eucalyptus* sp. ed *Acacia* (*A. cyanophylla* e *retinoides*) specie che diventano esclusive esercitando una forte concorrenza sulle comunità naturali nelle quali sono state introdotte. Secondo alcuni autori [6] i rimboschimenti, per tali motivi, rappresenterebbero una delle cause di regressione della biodiversità dunale. Tale osservazione trova ampio riscontro nell'area di indagine sotto il profilo della semplificazione floristica, che è facilmente percepibile sia a livello delle comunità pioniere della parte dunale, sia di quelle retrostanti alla fascia sabbiosa (retrodunali) [4]. Questa situazione risulta tanto più accentuata in relazione ai fenomeni di perturbazione delle coste a scopo turistico (livellamento geomorfologico, calpestio). Da segnalare peraltro la marcata diffusione delle specie introdotte, in particolare *Pinus halepensis*, che colonizza progressivamente le aree a vegetazione spontanea.

Le osservazioni e i rilievi vegetazionali in nostro possesso evidenziano chiaramente una strettissima relazione tra queste particolari cenosi vegetali e l'azione diretta o indiretta dell'uomo che, nel caso specifico, si è concretizzata anche con la realizzazione di opere di grande impatto (sbarramenti e cave lungo i fiumi, insediamenti). A partire dal 1943 - 47 si evidenzia una chiara tendenza generale all'arretramento del litorale, difatti tra il fiume Sinni ed il fiume Agri si passa da + 1,9 m / anno del periodo 1947 - 1964 a + 0,7 m / anno del periodo 1954 - 1965 per arrivare a - 0,2 m / anno dal 1965 in poi [1]. La tendenza all'arretramento dopo un periodo di protendimento plurisecolare può essere attribuita alla riduzione degli apporti solidi da parte dei fiumi dovuta alla costruzione di sbarramenti artificiali ed all'estrazione di materiale sabbioso e ghiaioso lungo gli alvei. Per quanto riguarda il fiume Sinni i volumi di inerti estratti in alveo (oltre  $3,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / \text{anno}$ ) risultano molto prossimi al valore minimo del trasporto solido (circa  $4,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / \text{anno}$ ) [1]. Ulteriori fenomeni di alterazione a carico della vegetazione costiera, spontanea e non, sono attribuibili alla presenza di *aerosol* inquinanti. Recenti indagini, nel tratto di costa in esame, hanno evidenziato danni alla vegetazione (in media metà della chioma disseccata, sul lato

esposto ai venti di mare) e verificato la presenza di tensioattivi sulle chiome, con valori consistenti, che oscillano tra 0.119 mg / l in località Lido di Metaponto e 0.227 mg / l in località Torre Mozza nel Comune di Policoro [9]. Questo studio rappresenta un contributo alla conoscenza di un'area per la quale non sono ancora disponibili dati ed indagini esaustive ed approfondite riguardanti particolari aspetti della vegetazione e soprattutto della flora. La drastica trasformazione delle associazioni floristiche tipiche è diventata un fenomeno molto evidente, queste sono ormai residue in piccole aree con il risultato di avere un degrado sia della consistenza, sia dell'equilibrio biologico [2].

Questi primi risultati ottenuti ci permettono di avere utili elementi per affrontare le complesse problematiche connesse all'evoluzione dei sistemi costieri, la cui stabilità è regolata da fenomeni naturali e da fattori antropici, per contrastare quei fenomeni regressivi che investono l'ambiente responsabili della scomparsa di cenosi o specie di particolare valore biogeografico, alcune di esse ormai residue in siti di ampiezza limitata [3] come la Riserva Naturale Bosco Pantano per il territorio costiero materano.

## Ringraziamenti.

Desidero ringraziare il Presidente della Provincia di Matera C. Nigro e gli Assessori all'Ambiente e alle Aree Naturali protette, G. Dalessandro e F. Labriola, per l'attenzione e l'interesse riposto nell'argomento.

## Bibliografia

- [1] Cocco E. et al. – *Evoluzione e dinamica del litorale ato jonico (Golfo di Taranto)*. Atti del convegno “Evoluzione dei litorali, Problematiche relative al Golfo di Taranto, ENEA, (1986).
- [2] De Capua E. L. et al. - *Boschi, biodiversità, territorio e variazioni ambientali. Interventi e attività della provincia di Matera*, Forest@ - Sezione Speciale - Cambiamento climatico e inquinamento: effetti sulle foreste meridionali (2005), vol. 2 (1) 110-129.
- [3] De Capua E. L., Rugge C. – *Monumental trees and relict vegetational formations of the province of Matera. Interventions of protections and value increase*. Proceedings of the International Congress, Torino 1-2 aprile; Regione Piemonte (2004).
- [4] De Capua E. L. - *Indagine preliminare sullo stato dei rimboschimenti costieri del litorale Jonico di Policoro (MT)*. Legno cellulosa carta (2002), n. 1/2.
- [5] De Capua E. L. – *"Il bosco di Policoro: vicende storiche e caratteri vegetazionali"*. Annali Accademia Italiana di Scienze Forestali (1995), Vol. 44: 183-233.
- [6] Géhu J. M., Biondi E.– *Antropizzazione delle dune del mediterraneo*. In “Alterazioni ambientali ed effetti sulle piante” Edagricole (1994), pp. 160-176.
- [7] Mancini F. -. *Cenni illustrativi della geologia, geomorfologia e pedologia della Basilicata*. Giornale Botanico Italiano (1974), 108: 203-209.
- [8] Marinucci C., Veri L., Bruno F. - *Lineamenti fitosociologici della Duna del Parco nazionale del Circeo*. Annali di botanica (1980), Vol. XXXIX.
- [9] Rettori A. Paoletti E., De Capua E. Nicolotti G. - *Danni da tensioattivi sulla vegetazione litoranea dell'Italia Meridionale*, Forest@ - Sezione Speciale - Cambiamento climatico e inquinamento: effetti sulle foreste meridionali (2005), vol. 2 (1) 92-97.

## LE DUNE COSTIERE LAZIALI: DIVERSITÀ FLORISTICA E GRUPPI FUNZIONALI

Carmela Francesca Izzi<sup>1</sup>, Silvia Del Vecchio, Alicia Acosta

<sup>1</sup>Dipartimento di Biologia – Università degli Studi Roma Tre, Viale G. Marconi 446 – 00146 Roma, Tel. 0655176389, Fax. 0655176321, e-mail: c.izzi@uniroma3.it

**Riassunto** – Lo scopo di questo lavoro è quello di analizzare la diversità floristica e i caratteri morfologico-funzionali della flora costiera psammofila del Lazio. A tal proposito è stato attuato un censimento floristico, realizzato seguendo il protocollo della cartografia floristica europea [9]. Il campionamento ha riguardato le coste sabbiose e ha interessato la vegetazione psammofila delle dune embrionali e mobili, le depressioni interdunali, i rimboschimenti e la macchia mediterranea. I primi dati ottenuti hanno dimostrato la presenza di una elevata ricchezza di specie: sono state censite, infatti, 395 entità comprese in 81 famiglie tassonomiche. Le specie esotiche rappresentano circa il 10 % delle entità censite; si tratta soprattutto di specie provenienti dall'America e dall'Africa.

In seguito, per analizzare le principali strategie sviluppate dalle specie dunali, sono state selezionate le specie native più comuni. Pertanto sono stati misurati e valutati i seguenti caratteri, seguendo il protocollo di Cornelissen [7]: altezza della pianta, forma e peso del seme, area fogliare e area fogliare specifica, consistenza, spessore, durata di vita e fenologia della foglia, forma di crescita, clonalità, tipo di impollinazione e forma biologica. Sono stati individuati tre gruppi funzionali: il primo racchiude le specie che utilizzano rapidamente le risorse; il secondo comprende le specie che tendono ad immagazzinare le risorse; ed infine il terzo include le specie che investono in fitomassa aerea.

**Abstract** – *This study examined the floristic diversity and morpho-functional traits of species growing on coastal dunes of Lazio region, in central Italy. The floristic sampling was carried out following the European Cartographic Project protocol. On the other hand, the analyses of morphological and functional traits was implemented considering most common species occurring within the recent (Holocenic) coastal dunes and it was based mainly on information from the literature following Cornelissen [7] protocol. High floristic diversity was found on coastal dunes with consistent numbers of non-native species. America represents the continent which provides the highest number of aliens species. The comparative analysis of functional groups revealed three functional groups related to the most important plant communities in coastal vegetation zonation. In his way, functional groups are consistent with floristic groups following the sea-to-inland ecological gradient from annual communities on the strandline zone of the beach to Mediterranean macchia on the inland stabilized dunes. The first group included species with a fast use of resources, the second group comprised species that tend to resource allocation and the last one included the species investing in aerial phytomass.*



## Introduzione

L'Italia presenta uno sviluppo costiero pari a 7500 km di costa di cui 4500 km sono costituiti da coste basse sabbiose-ghiaiose [5]. Le spiagge e le dune sabbiose costiere, e gli ambienti umidi retrodunali ad esse associati, rappresentano senz'altro uno degli ambienti naturali più interessanti sotto il profilo ecologico e paesaggistico, ma costituiscono nello stesso tempo, su scala mondiale, ecosistemi tra i più vulnerabili e più seriamente minacciati. Il precario e difficile equilibrio fisico del sistema dunale, nelle ultime decine di anni, è stato turbato e spesso completamente stravolto dalla pressione antropica. Attualmente la zonazione costiera psammofila nella sua espressione più caratteristica è osservabile soltanto in pochi siti del litorale dell'Italia peninsulare. Il forte disturbo antropico e l'erosione costiera spesso hanno determinato la modificazione morfologica delle dune [8,10,13] con la conseguente perdita di identità floristico-vegetazionale, o addirittura la totale scomparsa di alcune o di tutte le comunità della sequenza catenale. Gli effetti dell'antropizzazione diretta delle spiagge e delle dune costiere hanno portato non solo alla diminuzione ed estinzione locale di specie, ma anche alla diffusione di elementi esotici, cioè di specie che sono originarie di altre aree geografiche [19,3]. Si deve anche considerare che, a causa della limitata estensione e dei parametri abiotici fortemente limitanti che creano una condizione di grande stress ambientale, questi ecosistemi hanno selezionato specie, vegetali ed animali, altamente specializzate e spesso presenti esclusivamente in questi habitat. In uno spazio relativamente ridotto, si possono individuare diverse comunità di specie vegetali, che si differenziano dal punto di vista floristico, strutturale e morfologico-funzionale [1,6]. Attraverso lo studio di caratteri morfologici e funzionali delle specie, possono essere individuate le principali strategie adattative utilizzate dai gruppi vegetazionali presi in esame e possono essere definiti dei "gruppi funzionali", costituiti da specie che mettono in atto strategie simili [23].

Il presente lavoro, pertanto, espone i risultati preliminari di un'analisi della diversità floristica dei sistemi dunali olocenici della costa laziale e si propone di approfondire la conoscenza delle principali strategie adattative delle comunità costiere dunali mediante l'osservazione dei caratteri morfologico-funzionali.

## Materiali e metodi

### *Censimento della flora dunale*

Il censimento della flora vascolare autoctona ed esotica degli ecosistemi dunali costieri del Lazio, è stato effettuato seguendo il protocollo della cartografia floristica europea [9] e considerando come unità di base, l'Unità Geografica Operazionale (OGU) nel senso di Crovello, comprendente una superficie di circa 143 km<sup>2</sup> e corrispondente ad ¼ di foglio al 50.000. Tale griglia è stata poi suddivisa in quadranti di minore estensione pari a 1 / 16 del foglio al 50.000 (circa 36 km<sup>2</sup>). Il censimento floristico delle dune costiere sabbiose della regione laziale ha interessato 33 quadranti dei 56 individuati; il campionamento, infatti, ha riguardato soltanto le coste sabbiose, individuando le dune oloceniche attraverso una carta litostratigrafia [4]. Esso ha interessato la vegetazione

psammofila delle dune embrionali e mobili, le depressioni interdunali, la vegetazione ruderale più vicina alle dune, i rimboschimenti e la macchia mediterranea.

### *Campionamento dei caratteri morfologico-funzionali*

In una prima fase, è stata realizzata una selezione di piante vascolari native per le quali individuare i principali caratteri morfologico-funzionali. Sono state considerate, sulla base di lavori pubblicati in precedenza [19,2], 39 specie vegetali, quelle più comuni ed abbondanti dei sistemi costieri sabbiosi laziali. Successivamente sono stati individuati i caratteri da considerare per la costruzione della matrice. Per la selezione dei tratti morfologico-funzionali sono stati considerati i seguenti criteri: 1) sono stati scelti caratteri che siano facilmente reperibili nelle flore o attraverso osservazione in campo; sono stati selezionati, quindi, solo “*soft trait*” [12]; 2) sono stati scelti quei caratteri che siano fortemente collegati alle fasi rigenerative e stabilizzatrici del ciclo vitale della pianta e alle risposte delle piante a ambienti severi, come quelli degli ecosistemi dunali sabbiosi [14,11,18,20].

I dati sui caratteri morfologico-funzionali sono stati in parte raccolti in campo ed in parte reperiti mediante ricerca bibliografica (Tabella 1); ogni carattere esaminato in campo è stato osservato su dieci individui diversi per ogni specie, disposti in maniera relativamente omogenea su tutta l’area di studio. Le informazioni su ciascun carattere sono state ottenute da diverse fonti incluse le flore, come la Flora d’Italia [15] e la Flora Europea [21]. Sono state adottate le categorie dei tratti suggerite dal protocollo metodologico proposto da Cornelissen [7].

Tabella 1 - Caratteri morfologico – funzionali analizzati. *Summary of data for each plant attribute.*

<b>Variabile</b>	<b>Categoria</b>	<b>Fonte dei dati</b>
Forma di crescita	3 Classi: 1. Scalatrici, Rampicanti, Cespugli, Alberi; 2. Basali corte, Basali lunghe, Semi basali; Erette frondose; 3. Cuscini, Ciuffi, Cespugli nani.	Dati bibliografici e osservazioni in campo
Forma biologica	5 classi: 1. Fanerofite; 2. Camefite; 3. Emicriptofite; 4. Geofite; 5. Terofite.	Dati bibliografici e osservazioni in campo
Altezza della pianta	Dati continui	Misurata in campo
Clonalità	2 Classi: 1. Non-clonali, 2. Presenza di organi per la riproduzione clonale	Dati bibliografici e osservazioni in campo
Fenologia fogliare	2 classi: 1. Terofite/Decidue; 2. Sempreverdi.	Dati bibliografici
Durata di vita della foglia	2 classi: 1. Annuali; 2. Perenni.	Dati bibliografici
Area fogliare	Dati continui	Misurata in laboratorio
Consistenza della foglia	4 classi: 1. Succulente; 2. Malacofille; 3. Cartilaginee; 4. Sclerofille.	Osservazioni in campo
Tipo di impollinazione	2 classi: 1. Mediante il vento o non specializzata; 2. Mediante insetti o uccelli.	Dati bibliografici e osservazioni in campo
Area fogliare specifica (SLA)	Dati continui	Misurata in laboratorio
Spessore fogliare	Dati continui	Misurato in campo
Forma del seme	Dati continui	Misurata in laboratorio
Peso del seme	Dati continui	Misurato in laboratorio

### *Analisi dei dati*

I dati raccolti sui caratteri morfologico-funzionali sono stati organizzati in una matrice specie x attributi, e sono stati elaborati attraverso tecniche di analisi multivariata, in particolare, tecniche di ordinamento, utilizzando il programma Syntax 2000 [17]. Mediante l'ordinamento di questa matrice sono stati identificati i gruppi funzionali delle piante native delle dune sabbiose. Poiché le variabili erano sia nominali che ordinali, è stata realizzata una PCoA (Analisi delle Coordinate Principali) con il coefficiente di Gower che si è dimostrato adeguato per elaborare matrici costituite da variabili miste [16].

## **Risultati e discussione**

### *Censimento floristico*

I dati ottenuti, riguardanti l'intero tratto di costa laziale hanno dimostrato la presenza di una elevata ricchezza di specie. Sono state censite 395 entità (di cui 93 sottospecie) comprese in 81 famiglie tassonomiche. Le famiglie più frequenti sono risultate in primo luogo le *Poaceae* (circa il 14 %), seguite dalle *Leguminosae* e dalle *Compositae* entrambe con una percentuale dell'11 % e infine dalle *Caryophyllaceae* (circa 4 %).

Lo studio ecologico-strutturale e fitogeografico è stato realizzato calcolando gli spettri corologici e biologici per i 33 quadranti censiti. Dallo spettro biologico è emersa una buona percentuale di terofite (40 %), con una netta prevalenza di scapose. Molte di esse sono specie ruderali frequenti negli incolti e nei pratelli che si sviluppano tra le radure della macchia, nei rimboschimenti o nelle zone retrodunali. Delle terofite, invece, legate alla vegetazione naturale potenziale, troviamo molte specie di duna come *Cakile maritima* subsp. *maritima*, *Chamaesyce peplis*, e *Salsola kali* e dei pratelli retrodunali come *Silene canescens* e *Vulpia fasciculata*. Seguono poi nello spettro biologico le emicriptofite (22 %), le fanerofite (16 %) e le geofite (11 %). Tra le emicriptofite, legate alla vegetazione potenziale naturale, ricordiamo alcune specie di duna come *Anthemis maritima*, *Centaurea sphaerocephala* e *Glaucium flavum* e altre specie di ambienti più umidi come *Erianthus ravennae* e *Schoenus nigricans*. Per quanto riguarda le fanerofite, osserviamo che esse comprendono sia specie legate alla vegetazione naturale della macchia mediterranea e dei boschi retrodunali, quali *Phillyrea angustifolia*, *Pistacia lentiscus*, *Viburnum tinus* subsp. *tinus*, sia specie introdotte dall'uomo attraverso il rimboschimento o per fini ornamentali, quali *Pinus* ssp., *Tamarix gallica*. Le geofite, infine, sono quasi esclusivamente rizomatose; infatti esse, con le loro radici, trattengono la sabbia e sono così responsabili della formazione delle dune. Tra le geofite tipiche degli ambienti dunali troviamo *Ammophila arenaria* subsp. *australis*, *Elymus farctus* subsp. *farctus* e *Pancratium maritimum*.

Dall'analisi dello spettro corologico è emerso il predominio delle specie mediterranee, che nel complesso rappresentano circa il 58 % delle specie censite. Le Eurimediterranee rappresentano circa il 28 %, mentre le Steno-mediterranee raggiungono poco più del 26,5 %. Nello spettro corologico alle mediterranee seguono le Eurasiatiche (17 %), le Cosmopolite (circa 10 %). Le Eurasiatiche comprendono specie legate all'ambiente del bosco caducifoglio (es. *Quercus pubescens* subsp. *pubescens*, *Euonymus europaeus*), agli ambienti umidi (es. *Populus alba*, *Alnus glutinosa*) oppure all'ambiente arido di tipo

steppico e substeppico. Anche le cosmopolite includono specie multizonali legate ad ambienti ecologici ben determinati, che si ripetono nelle varie parti del mondo tra cui, appunto, le spiagge sabbiose costiere (*Calystegia soldanella*, *Sporobolus virginicus* e *Polygonum maritimum*). Esiste, però, un gruppo importante di piante multizonali, costituito da specie che vivono a stretto contatto con l'uomo: specie dei terreni calpestati (es. *Parapholis incurva*, *Cynodon dactylon*).

Lungo il litorale laziale sono state censite ben 37 entità esotiche pari ad una percentuale di poco più del 9%. Delle specie esotiche alcune, sono state introdotte per i rimboschimenti litoranei come *Eleagnus angustifolia*, *Eucalyptus globulus*; altre, invece, sono frequenti in prossimità di siepi o di case come il *Pittosporum tobira*, *Yucca gloriosa*, *Opuntia ficus-indica*; sulle dune, invece, abbiamo trovato frequentemente *Carpobrotus acinaciformis*, *C. edulis*, *Agave americana*, *Xanthium orientale* ssp. *italicum*. Infine, specie trovate negli ambienti più ruderali sono state *Erigeron canadensis*, *Oxalis articulata* e *Dichondra micrantha*. Per quanto riguarda la provenienza di queste specie esotiche è emerso che l'America rappresenta il continente di origine per il maggior numero di esse (58% circa) seguito dall'Africa (18%) e dall'Asia (12%). Questi dati confermano quelli riportati nella flora esotica d'Italia [22] per i quali soprattutto l'America costituisce il continente di origine per il maggior numero di specie. Tra le specie di origine africana predominano le aizoacee; si tratta di specie succulente introdotte soprattutto a scopo ornamentale. Il caso più noto è la diffusione del *Carpobrotus acinaciformis* (fico degli ottentotti); sfuggita dai giardini e naturalizzata nel mediterraneo. Dallo spettro delle forme biologiche emerge che le esotiche più rappresentate sono le terofite (32%), tra cui ricordiamo *Senecio inaequidens*, *Tribulus terrestris*, *Cenchrus incertus* e le invasive *Erigeron* ssp. e *Xanthium orientale* subsp. *italicum*. Seguono in percentuale le fanerofite con circa il 30%; esse, data la più difficile adattabilità, sono quasi tutte spontanetizzate e quindi strettamente legate alle coltivazioni.

#### *Analisi dei caratteri morfologico-funzionali*

Dalla PCoA si sono ottenuti i principali gruppi funzionali delle piante native dunali più comuni. Il primo asse della PCoA può essere associato alla consistenza e fenologia fogliare, all'altezza della pianta e alla forma biologica, comprendendo circa il 37% della varianza totale; mentre il secondo asse, che copre circa il 16% della varianza totale, può essere associato alla clonalità, area e spessore fogliare. Nel diagramma di dispersione si possono individuare tre grandi gruppi (Figura 1). Il primo gruppo comprende specie che appartengono alle comunità annuali, nitrofile ed effimere che si sviluppano in prossimità della battigia e delle comunità annuali di terofite che crescono nelle zone interdunali. Queste specie di altezza ridotta, condividono la forma biologica, trattandosi di terofite. Il gruppo 2 è formato dalle specie avandunali della duna embrionale e mobile. Queste specie, di altezza media, sono accomunate dalla dimensione della foglia, che ha un'area maggiore di 10 cm<sup>2</sup>, dal fatto di riprodursi clonalmente mediante organi sotterranei e di avere foglie spesse, con spessore maggiore di 0.85 cm. Infine, il terzo gruppo è costituito dalle specie retrodunali della duna semifissa e fissa (macchia e gariga), in cui predominano le specie arbustive e lianose. Queste specie condividono varie caratteristiche, tra cui la forma di crescita, l'altezza, la consistenza della foglia e l'assenza di organi clonali; si tratta infatti principalmente di specie perenni e sempreverdi costituite da un notevole

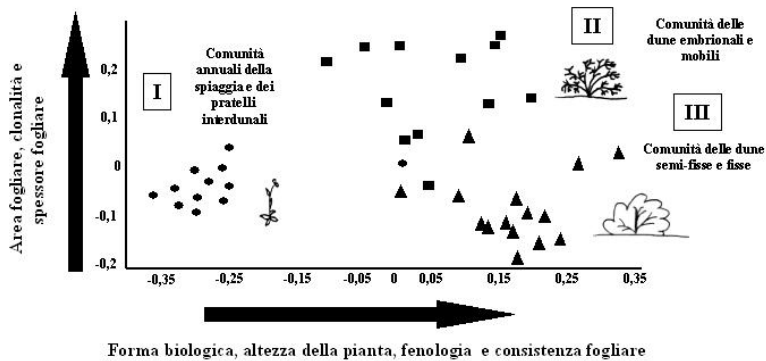


Figura 1 - Caratteristiche dei gruppi morfologico-funzionali. I cerchi indicano le specie delle comunità terofitiche; i quadrati le specie della duna embrionale e mobile; i triangoli le specie della duna semifissa e fissa. *Functional types distinguished in the coastal dune vegetation according to plant traits. Circles indicate the ephemeral beach and interdune grass communities; squares indicate the embryo and mobile dune communities and finally triangles indicate the semi-fixed and fixed communities.*

sviluppo epigeo, con altezza maggiore di 66 cm. La superficie fogliare non è molto sviluppata, ed i valori di SLA sono medio-alti, ma quasi tutte le specie presentano foglie sclerotizzate.

I risultati ottenuti permettono di affermare che i tre gruppi individuati adottano diverse strategie di sopravvivenza e di allocazione delle risorse in risposta al forte gradiente ecologico che si estende dal mare verso l'entroterra. In questo modo nel primo gruppo si osservano specie che tendono ad utilizzare le risorse in breve tempo, piuttosto che a immagazzinarle. Queste specie sono tutte terofite: germinano, si riproducono e muoiono nell'arco di una sola stagione, sfruttando le risorse per l'unica fase riproduttiva della loro vita. La strategia di utilizzo rapido delle risorse viene suggerita anche dalle caratteristiche della foglia, che tendono ad essere di piccole dimensioni, per limitare l'evapotraspirazione, ma con elevati valori di SLA. Le specie del secondo gruppo, invece, sono più propense ad accumulare le risorse, piuttosto che a consumarle rapidamente. Compaiono, infatti, specie perenni, contraddistinte dalla capacità di riprodursi clonalmente mediante organi ipogei, i quali fungono quasi sempre anche da organi di riserva. Lo spessore della foglia, relativamente elevato, riflette la necessità di immagazzinare l'acqua, proprietà necessaria in un ambiente caratterizzato da stress idrico. Le forme biologiche principali sono geofite, emicriptofite e camefite, da cui si nota la tendenza a proteggere le gemme, conservandole nel terreno, o comunque vicino al suolo. Infine, il terzo gruppo è costituito dalle specie che crescendo in una zona più riparata tendono ad investire in fitomassa. Infatti, le condizioni ambientali diventano più favorevoli allontanandosi dal mare, per questo, è possibile la sopravvivenza di forme biologiche quali alberi e cespugli, caratterizzati da un notevole sviluppo epigeo.

## Conclusioni

Dallo studio effettuato è emersa la presenza di una notevole diversità floristica degli ambienti dunali costieri laziali. La conoscenza della flora è, inoltre, un elemento basilare per tutti gli altri approcci conoscitivi anche di tipo applicativo, fornendo un contributo importante alla conoscenza e al monitoraggio di ecosistemi particolarmente esposti al disturbo antropico. Nello stesso tempo, però, è stata registrata anche una forte incidenza di specie esotiche soprattutto nella zona antistante le dune in prossimità di stradine di accesso al mare, di abitazioni, di stabilimenti e camping. Dall'analisi dei caratteri morfologico-funzionali delle specie dunali osservate è possibile fare una descrizione di alcune caratteristiche necessarie per la loro sopravvivenza, in funzione della distanza dal mare. I tre gruppi individuati, infatti, si differenziano per la loro posizione e per le strategie di sopravvivenza adottate dalle specie che li compongono: un primo gruppo racchiude le specie della spiaggia e dei pratelli terofitici, che utilizzano rapidamente le risorse, un secondo gruppo comprende quelle della duna embrionale e mobile, che tendono ad immagazzinare le risorse, ed infine un terzo gruppo è formato dalle specie della duna fissa (retroduna), che investono in fitomassa aerea.

La divisione delle specie in gruppi funzionali per descrivere la realtà funzionale e strutturale degli ecosistemi aiuta a comprendere le strategie adattative messe in atto delle specie e permette di fare previsioni circa interventi di vario tipo. Fornisce quindi un utile strumento per l'impostazione di misure di gestione e salvaguardia del territorio, per usufruirne correttamente e al tempo stesso preservare la biodiversità dei litorali.

Essendo, inoltre, le specie vegetali della duna fortemente legate al loro peculiare habitat, sono importanti per la caratterizzazione ambientale. I risultati di questo studio possono essere utilizzati come informazione di base per ottenere un valore di bioindicazione di specie e di comunità vegetali, che si rinvergono sul litorale, elementi di fondamentale importanza per eventuali studi sulla qualità dell'ambiente.

**Ringraziamenti** - Il lavoro è stato realizzato con il finanziamento del MIUR – PRIN 2003-2005.

## Bibliografia

- [1] Acosta A., Anzellotti I., Blasi C., Stanisci A. - *Sequenza fitotopografica nella duna costiera del Parco Nazionale del Circeo*. In: Stanisci A. & Zerunian S. eds. (1998) – *Flora e Vegetazione del Parco Nazionale del Circeo*, 169-179.
- [2] Acosta A., Carranza M.L., Conti F., De Marco G., D'Orazio G., Frattaroli A.R., Izzi C.F., Pirone G. & Stanisci A. - *Banca dati della flora costiera psammofila dell'Italia centrale*, *Informatore botanico* (2005) 37 (1/ A), 110-111.
- [3] Acosta A., Izzi C.F., Stanisci A. - *Comparison of native and alien plant traits in Mediterranean coastal dunes*, *Community ecology* (2006) 7 (1), 35-41.
- [4] Bigi G., Casentino D. & Parlotto M. - *Modello litostratigrafico-strutturale della Regione Lazio. Scala 1:250.000*, (1988), Regione Lazio, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Dip. Scienze della Terra.

- [5] Biondi E. - *Diversità fitocenotica degli ambienti costieri italiani*. In: Bon M., Sburlino G., Zuccarello V. (eds.) *Aspetti ecologici e naturalistici dei sistemi lagunari e costieri*, (1999), Arsenale Editrice, Italy.
- [6] Castillo S., Popma J., Moreno-Casasola P. - *Coastal sand dune vegetation of Tabasco and Campeche, Mexico*, J. Veg. Sci. (1991) 2, 73-88.
- [7] Cornelissen J.H.C., Lavorel A., Garnier E., Diaz S., Buchmann N., Gurvich D.E., Reich P.B., ter Steege H., Morgan H.D., van der Heijden M.G.A., Pausas J.G. & Poorter H. - *A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide*, Australian Journal of Botany (2003) 51, 335-380.
- [8] D'Alessandro L. & La Monica G.B. - *Rischio per erosione dei litorali Italiani*, Atti dei Convegni Lincei, 1999, (154) 251-256.
- [9] Ehrendorfer F. & Hamann U. - *Vorshlaege zu einer floristischen Kartierung von Mitteleuropa*, Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft (1965) 78, 35-50.
- [10] Fierro G. - *Il degrado dei litorali*, Atti dei Convegni Lincei, 2004, (205) 37-50.
- [11] Grime J.P. - *Plant strategies, vegetation processes and ecosystem properties*, (2001) Jonh Wiley & Sons, Chichester, UK.
- [12] Hodgson J.G., Wilson P.J., Hunt R., Grime J.P. & Thompson K. - *Allocation C-S-R-plant functional types: a soft approach to a hard problem*, Oikos (1999) 85, 282-294.
- [13] Iannantuono E., Roskopf C.M., Stanisci A., Acosta A. & Aucelli P.P.C. - *Effetti della dinamica costiera sull'evoluzione dei sistemi dunali presenti lungo la costa molisana (Italia meridionale)*, Atti dei Convegni Lincei 2004, (205) 321-332.
- [14] Pausas J.G. & Lavorel S. - *A hierarchical deductive approach for functional types in disturbed ecosystems*, J. of Veg. Sci. (2003) 14, 409-416.
- [15] Pignatti S. - *Flora d'Italia*, (1982), Edagricole, Bologna.
- [16] Podani J. - *Extending Gower's general coefficient of similarity to ordinal characters*, Taxon (1999) 48, 331-340.
- [17] Podani J. - *SIN-TAX 2000, computer programs for multivariate data analysis in ecological systematics*, (2001), Scientia Publishing, Budapest.
- [18] 18- Rodgers J.C. & Parker K.C. - *Distribution of alien plant species in relation to human disturbance on the Georgia Sea Islands*, Diversity and Distributions (2003) 9, 385-398.
- [19] 19- Stanisci A., Acosta A., Ercole S. & Blasi C. - *Plant communities on coastal dunes in Lazio*, Annali di Botanica (2004), Vol. IV, 115-128.
- [20] 20- Suehs C.M, Affre L, Médail F. - *Invasion dynamics of two alien (Aizoaceae) taxa on a Mediterranean Island: II. Reproductive strategies*, Heredity (2004) 93, 1-7.
- [21] Tutin T.G. et al. - *Flora Europea*, (1964-1993), Cambridge University Press, UK.
- [22] Viegi L., Cela Renzoni G. & Garbari F. - *Flora esotica d'Italia*, Lav. Soc. Ital. Biogeogr. (1974), 4, 125-220.
- [23] 23- Weiher E., Var Der Werf A., Thompson K., Roderick M., Garnier E. & Eriksson O. - *Challenging Theophrastus: A common core list of plant traits for functional ecology*, J. of Veg. Sci. (1999) 10, 609-620.

# STUDIO SUI POSSIBILI CAMBIAMENTI VEGETAZIONALI CAUSATI DALLA NIDIFICAZIONE DI GABBIANO REALE (*LARUS CACHINNANS*) NELL'ISOLA DI S. ANDREA, GALLIPOLI (LE)

Cristina Rugge<sup>1</sup>, Giacomo Marzano<sup>2</sup>, Piero Medagli<sup>3</sup>, Egidio Mallia<sup>4</sup>, Antonio Longo<sup>1-2</sup> Riserva Naturale Statale "Torre Guaceto", Brindisi, e-mail: [segereteria@riservaditorreguaceto.it](mailto:segereteria@riservaditorreguaceto.it), [cristinarugge@libero.it](mailto:cristinarugge@libero.it), [giacomomarzano@libero.it](mailto:giacomomarzano@libero.it); <sup>3</sup>Di.S.Te.B.A. Università degli Studi di Lecce; <sup>4</sup>Parco Gallipoli Cognato Piccole Dolomiti Lucane, MT, e-mail: [info@parcogallipolicognato.it](mailto:info@parcogallipolicognato.it), [egidiomallia@inwind.it](mailto:egidiomallia@inwind.it); via Contr. Nuova, Tuglie (LE), e-mail: [antoniolongo66@libero.it](mailto:antoniolongo66@libero.it)

**Riassunto** – Gli autori riportano uno studio riguardante le alterazioni vegetazionali dovute alla presenza eccessiva di colonie di Gabbiano reale (*Larus cachinnans*) nell'isola di S. Andrea (Gallipoli, Lecce).

**Abstract** – *The authors report a research on vegetation's alterations in consequence of excessive Yellow-legged Gull's presence on the S. Andrea island (Gallipoli, Lecce).*

## Introduzione

L'isola di S. Andrea (Le) rappresenta un importante sito naturalistico, dove a causa delle continue trasformazioni delle caratteristiche abiotiche, in particolare, il substrato, il diverso grado di salinità, la distanza dalla linea di costa, i cambiamenti del livello dell'acqua e la durata di inondazione, si ha la presenza di numerose comunità vegetazionali con spiccata alofilia. Zona di Protezione Speciale (ZPS, IT9150015) dal dicembre del 1998, con legge regionale n.20 del 10.07.2006 è stata istituita Parco Naturale Regionale.

Sono poche le specie animali capaci di sopravvivere alle estreme condizioni ambientali dell'isola ma la stessa, al contempo, rappresenta un importante sito di riposo per numerosi uccelli in transito migratorio (Marzano, 2003).

Tra le poche specie di avifauna nidificanti vi è il Gabbiano reale (*Larus cachinnans*) (Marzano, 1998). La costante presenza delle sue colonie, che ogni anno si spostano lungo il perimetro dell'isola per la nidificazione e per la scelta dei dormitori, un tempo a causa del disturbo antropico ed oggi esclusivamente per l'espansione della sua popolazione, ha invogliato uno studio sui possibili cambiamenti vegetazionali dovuti al carico eccessivo di questo selvatico.

## Materiali e metodi

Durante i mesi di aprile, maggio, giugno e settembre, dal 2003 al 2006 si sono potute svolgere le indagini, in concomitanza alle operazioni di inanellamento scientifico nell'ambito del "Progetto Piccole Isole" coordinato dall'Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica.



Le stesse hanno riguardato una prima fase di studio, con cui si è cercato di delineare l'ambiente fisico dell'area (geologia, climatologia), alla quale è seguita una seconda incentrata sullo studio delle componenti biotiche presenti sull'isola, in particolare della vegetazione e della fauna selvatica, stanziale e migratoria.

Al fine di delineare l'ambiente fisico sono state effettuate una serie di indagini bibliografiche e di campo. Lo studio delle specie ornitiche è stato effettuato tramite l'inanellamento scientifico ed il censimento a vista.

## **Risultati e Discussioni**

L'area in esame è ubicata nel Comune di Gallipoli (Le), lungo il litorale ionico (Prov. di Lecce), e dista dalla costa circa un miglio, è interamente costituita da una superficie piatta di natura calcarea e raggiunge un'estensione di circa 48 ha (coordinate 40° 33' N ; 17° 58' E). Dalla Carta Geologica d'Italia, precisamente al Foglio denominato "Gallipoli", risulta che nell'area in esame l'impalcatura geologica è costituita da sedimenti marini pliocenico-pleistocenici, detti *Calcareni del Salento*, formati da calcari di tipo panchina e da calcareniti argillose giallastre, con potenza generalmente superiore al metro. Sono numerose le cave di estrazione della pietra, utilizzata in passato per costruire piccoli ricoveri sull'isola. Nel versante nord – ovest è presente una laguna di 3 ha. Originariamente il collegamento della laguna con il mare era regolato da flussi di marea, poiché la fascia di scogliera che la separa dal mare si eleva di pochi centimetri dallo stesso. L'apertura di un canale per l'accesso di imbarcazioni nell'area lagunare, ha reso la comunicazione tra i due "sistemi" costante. La laguna riceve periodici apporti di acqua marina, che vi penetra dopo aver attraversato da Sud a Nord l'isola durante le mareggiate. In tali condizioni viene allagata la porzione centrale dell'isola che risulta depressa e sottostante al livello del mare. Sono numerosi a tal riguardo i manufatti antropici di differenti periodi che testimoniano tale evento naturale.

Tutto ciò concorre, assieme all'aerosol marino, alla salificazione dell'intera area con ripercussioni sulle componenti biotiche presenti.

I dati impiegati per la caratterizzazione climatica della zona in esame, sono quelli rilevati dalla stazione termopluviometrica di Gallipoli (LE), posizionata ad una altitudine di 31,00 m s.l.m. Tali dati, relativi al quarantennio 1951-1990 e pubblicati sugli Annali Idrologici del Servizio idrografico, sono stati in seguito elaborati.

Sono stati esaminati i valori medi mensili delle temperature dell'aria massime, minime e diurne, nonché il numero dei giorni di non disgelo e di gelo, insieme a quelli estivi e tropicali. Grazie allo studio delle precipitazioni piovose basato sui totali mensili delle altezze di pioggia, espressi in mm, e sul numero di giorni piovosi che si sono verificati nel quarantennio preso in considerazione, si è potuta conoscere la distribuzione delle precipitazioni nel corso dell'anno e sono stati esaminati i principali caratteri pluviometrici relativi alle varie stagioni. Durante le stagioni meteorologiche si è rilevato che in autunno il clima è caratterizzato da temperature ancora abbastanza elevate che rendono la media stagionale superiore a quella annua. Si può allora dire che in autunno, nella zona considerata, il clima è mite. Per quanto riguarda l'inverno, lo studio della temperatura ha evidenziato un carattere temperato, con un totale dei giorni di gelo di 0,5. In primavera, il clima presenta nuovamente temperature abbastanza miti, durante l'estate,

infine il clima è relativamente caldo. Il numero dei giorni tropicali è 24,8, mentre quello dei giorni estivi è 83. Dall'analisi dei valori stagionali delle altezze di pioggia si deduce che la stagione maggiormente piovosa è l'autunno, mentre quella più siccitosa risulta l'estate. Durante l'inverno si registra il numero più elevato di giorni piovosi, ma caratterizzati da minore intensità, che invece è nettamente superiore durante l'autunno. L'estate risulta essere la stagione con il più basso numero di giorni piovosi. Il totale delle precipitazioni piovose annue è pari a 557,2 mm. Dall'esame del diagramma ombrotermico, tracciato con la metodologia proposta da WALTHER e LIETH (1967), riportato nella figura 1, risulta evidente che nella stazione considerata si ha un massimo assoluto di precipitazioni piovose nel mese di novembre. Tramite l'elaborazione dei dati relativi alle precipitazioni e alle temperature dell'aria sono stati determinati i valori degli indici climatici e bioclimatici più importanti ai fini della definizione del bioclima che caratterizza l'area oggetto di studio.

Per la determinazione del clima dell'area in esame si è ricorso alla metodologia proposta da EMBERGER (1930-1971), nonché all'*Indice di termicità* di RIVAS MARTINEZ (1995), previa verifica della *mediterraneità* del clima dell'area di studio, tramite l'utilizzo dell'*Indice agrico estivo* (I.i.e.) di GIACOBBE (1938). Tale indice è pari a:

$$I.i.e. = P_e/M \quad 1$$

dove  $P_e$  rappresenta il totale delle precipitazioni piovose estive e  $M$  rappresenta la media delle temperature massime del mese più caldo espresse in gradi Celsius, pertanto, nella stazione termopluiometrica di Gallipoli e quindi nelle zone limitrofe, I.i.e. risulta essere pari a circa 1,3. DAGET (1980) suggerisce che se  $I.i.e. < 5$  la stazione presenta un clima di tipo mediterraneo, con estate secca.

L'indagine, quindi, è proseguita passando alla diagnosi suggerita da EMBERGER (1971) ed al calcolo del *Quoziente pluviotermico*  $Q_2$ , pari a:

$$Q_2 = 2000 P / (M^2 - m^2) \quad 2$$

dove  $P$  rappresenta il totale annuo delle precipitazioni piovose, espresse in mm, che nell'area in esame ammontano a 557,2;  $M$  rappresenta la media delle temperature massime del mese più caldo mentre  $m$  esprime la media delle temperature minime del mese più freddo, entrambe espresse in kelvin. Il rapporto tra il modulo annuo delle precipitazioni piovose  $P$  e la differenza tra  $M$  ed  $m$ , assume un'importante valenza ecologica, in quanto tale differenza risulta essere tanto più piccola quanto più il clima è arido, così da permettere di quantificare l'influenza esercitata dall'aridità estiva sull'ecosistema considerato (TARTARINO, 1998). Nell'area oggetto di studio  $Q_2$  risulta pari a 92. Per la definizione del bioclima dell'area in esame si è utilizzata l'elaborazione del climagramma di EMBERGER (Figura 2), proposta da AKMAN (1971), che individua 10 piani bioclimatici e 6 varianti termiche invernali. Su tale climagramma è stato riportato il valore di  $Q_2$  corrispondente alla Stazione termopluiometrica di Gallipoli, che ricade nel Piano bioclimatico *sub-umido*, variante ad inverno *caldo*.

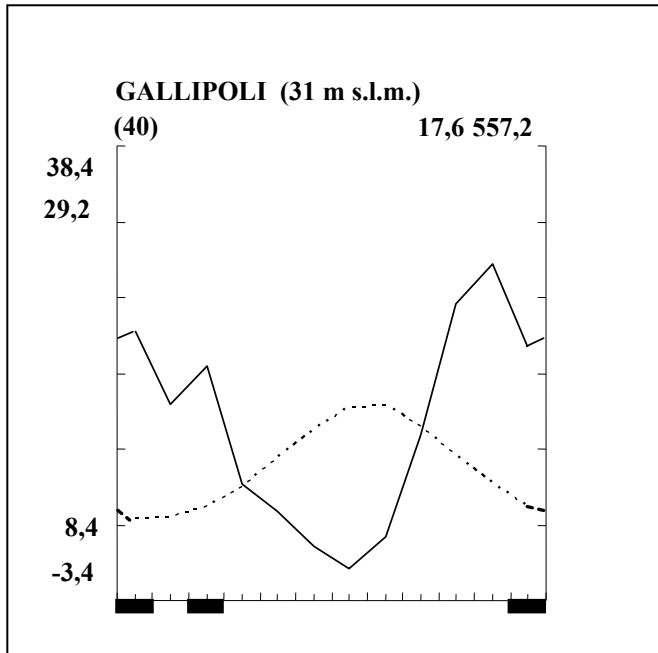


Figura 1 – Diagramma ombrotermico, tracciato con la metodologia proposta da WALTHER e LIETH (1967).

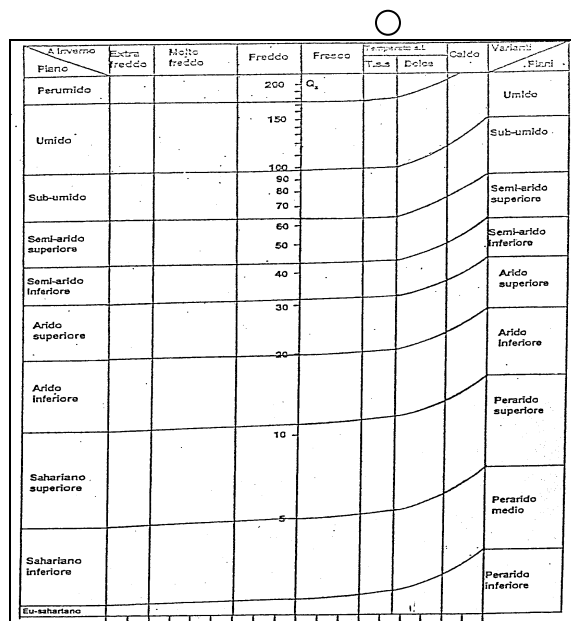


Fig. 2 – Climagramma di EMBERGER, secondo l'elaborazione proposta da AKMAN (1971).

Tra i vari indici proposti da RIVAS-MARTINEZ si è adottato l'*Indice di termicità* I.t.. Tale indice è misurato dalla somma dei valori della temperatura media annuale *T*, della temperatura media delle minime del mese più freddo *m* e della temperatura media delle massime del mese più freddo *M*, moltiplicata per 10:

$$I.t. = 10 ( T + m + M )$$

3

Tramite *I.t.* si misura l'intensità del freddo, fattore limitante per molte piante e comunità vegetali. Per la stazione meteorologica di Gallipoli si è ottenuto, tramite i dati forniti, un valore di tale indice pari a 392,0.

GENTILE (1990) ha individuato per la parte mediterranea del nostro Paese 6 piani altitudinali, secondo i quali l'area in esame rientra nel *Piano termomediterraneo* ( $350 < I.t. < 450$ ).

La vegetazione spontanea presente sull'isola di S. Andrea è rappresentata da comunità vegetali che ben si sono adattate ai continui cambiamenti ambientali dell'isola e variano in relazione alla geologia, distanza dalla linea di costa, variazioni del livello dell'acqua, durata dell'inondazione.

All'interno della laguna vivono piante marine della famiglia delle *Potamogetonacee*, in particolare *Cymodocea nodosa* e *Zostera noltii*, che formano una prateria continua, mentre nei fondali prossimi all'Isola sono presenti estese praterie di Posidonia (*Posidonia oceanica*). La maggior parte della vegetazione è costituita da vegetazione alofila ascrivibile alla classe *Arthrocnemetea* Br. Bl. Et R. Tx corr. Bol. 1957, con le specie *Arthrocnemum perenne*, *Arthrocnemum fruticosum*, *Halimione portulacoides*, *Limonium virgatum*, *Limonium serotinum*.

Lungo la costa la vegetazione è ascrivibile alla *Crithmo – Stativea* Br. Bl. 1947 con *Limonium japgicum*, raro endemismo salentino, con *L. virgatum* e *Crithmum maritimum* (SABATO, 1995). L'intera isola, pertanto, è ricoperta da una steppa salata a Salicornia radicante (*Arthrocnemum perenne*), Atriplice portulacoide (*Halimione portulacoides*) e Sueda fruticosa (*Suaeda fruticosa*); altre specie sporadicamente presenti sono il Tasso barbasso (*Verbascum thapsus*) ed il Papavero cornuto (*Glaucium flavum*) (Marchiori et al, 1998). Un tempo una piccola parte centrale dell'isola (circa 6000 m) veniva coltivata ad ortaggi dal custode del faro per il proprio fabbisogno; ancora oggi resistono alcune essenze introdotte dall'uomo come un filare di tamerici (*Tamerix gallica*, *Tamerix africana*) ed alcuni gruppi di *Opuntia* s.p. ornamentali.

Le specie animali adattate a vivere stabilmente, nonostante le condizioni estreme dell'isola sono poche, tra i mammiferi sono presenti il Ratto nero (*Rattus rattus*) ed il Topo selvatico (*Apodemus sylvaticus*). È presente una comunità di conigli selvatici probabilmente immessa intorno agli anni cinquanta a scopi venatori.

Tra i rettili sono presenti la Lucertola campestre (*Podarcis sicula*), la Tarantola muraiola (*Tarentola mauritanica*) ed il Biacco (*Coluber viridiflavus*). Grazie al Progetto Piccole Isole si è potuto verificare che la maggioranza delle specie ornitiche presenti nell'area è costituita da uccelli in transito migratorio che trova nell'isola un luogo tranquillo per riposare. Le poche specie nidificanti sono il Fratino (*Charadrius alexandrinus*); il Fanello (*Carduelis cannabina*); il Verzellino (*Serinus serinus*); la Calandrella (*Calandrella brachydactyla*); la Gazza (*Pica pica*); tra le specie coloniali vi è la Passera sarda (*Passer*

*hispaniolensis*); il Gabbiano reale; il Gabbiano corso (*Larus audouinii*).

Tra queste il Gabbiano reale è risultata la specie maggiormente diffusa, presente sull'isola con una colonia nidificante di circa 400 individui e più di 3000 che si aggregano durante la notte sull'isola in dormitori. Le sue colonie sono state osservate durante l'intero periodo di indagine e ne sono stati seguiti gli spostamenti, sia per la ricerca dei dormitori che per la scelta dei siti di nidificazione. Nelle zone interessate da tali spostamenti, nonché in vicinanza dei dormitori e dei nidi sono state effettuate le indagini per accertare se si fossero verificati a causa del carico di questo selvatico dei cambiamenti vegetazionali a livello della composizione specifica.

## Conclusioni

Grazie agli studi effettuati si è potuto constatare che le azioni di disturbo sulla vegetazione dovute al carico eccessivo dei gabbiani sul terreno, soprattutto in corrispondenza dei dormitori, sono essenzialmente di due tipi: la prima di tipo meccanico dovuta al calpestio dei circa tremila individui, che si aggregano sull'isola giungono da tutto il Salento, la seconda di tipo chimico – organico dovuta alla forte nitrificazione del terreno a causa della gran quantità di feci rilasciate sul suolo. Tali azioni causano gradualmente il degrado della vegetazione presente, che attraverso fasi successive arriva a scomparire del tutto, lasciando a nudo il terreno e concorrendo pertanto non poco all'erosione dello stesso ed alla desertificazione di alcune aree del sito, che non sono più in grado di accogliere la vegetazione. Nei punti dove la regressione vegetazionale è in atto la steppa salata lascia il posto dapprima a praterelli a *Frankenia hirsuta* e *Plantago crassifolia*, dopodiché arriva a scomparire del tutto. In tali aree si riconoscono, inoltre, specie infestanti delle coltivazioni, che normalmente invadono i terreni concimati, a testimoniare la forte nitrificazione del suolo, come ad es. *Amaranthus retroflexus*.

Considerata l'importanza naturalistica dell'area, che rappresenta, inoltre, l'unico sito di nidificazione, del versante ionico e adriatico d'Italia, della specie prioritaria Gabbiano corso (*Larus audouinii*), specie in competizione con il Gabbiano reale si auspica un'oculata gestione dell'area e del Gabbiano reale che miri a ridurre l'impatto negativo sugli ecosistemi, al fine di evitare che in altre aree dell'isola si verifichi il fenomeno di desertificazione con l'impovertimento della biodiversità attribuito al carico eccessivo di questa specie.

## Bibliografia

- [1] Marchiori S., Medagli P., Ruggiero L., 1998 – *Guida botanica del Salento* – Mario Congedo Editore, Galatina (Le).
- [2] Marzano Giacomo, 1998 – *Prima nidificazione di Gabbiano reale (Larus argentatus) in Salento* – Puglia vol. 68, n.1, Giugno, 1998.
- [3] Marzano Giacomo - *La migrazione primaverile dell'avifauna nell'ambito sud della provincia di Lecce, Puglia – Italy*. Dati preliminari anno 2001. III International Symposium on Wild Fauna, Ischia – Italy May 24-28 2003.
- [4] Sabato S., Marchiori S., Albano A., Medagli Piero, 1995 – *Contributo alla conoscenza della flora e della vegetazione dell'isola di S. Andrea (Le)*. – Università degli Studi di Lecce, Dip. di Biologia. Thalassia Salentina, n. 21, 1995.

# FOREST FIRE HAZARD MODEL DEFINITION FOR LOCAL LAND USER (TUSCANY)

Laura Bonora<sup>1</sup>, Maurizio Romani<sup>1</sup> and Elisabetta Checcacci<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ce.S.I.A., c/o Ibimet Via Madonna del Piano Edificio D, 50019 Sesto Fiorentino (FI). Tel 055 5225944, Fax 055 5226026, email: l.bonora@ibimet.cnr.it

**Abstract** – *Fire Risk Model aims to evaluate the probability that a forest fire can occur on the territory, expressed in terms of hazard level. The probability of ignition depends on a very large number of parameters, that should be considered and analysed simultaneously.*

*IBIMET Institute in collaboration with Tuscany Region elaborate an operative risk model based on considering time and spatial variability of each parameters. This is necessary in order to calculate two separated hazards: static and dynamic.*

*The static hazard model, refers to all factors that do not change or change very slowly with time. It is obtained by the combination of two other factors. The first one is the morphological factor that consider morphological features as topography (slope and aspect), land use and vegetation cover, stable in time and in space; the second one is the infrastructural factor, obtained considering any structure connected with the humans activities. Urban areas and road network have been considered in this case.*

*Thus, the Static (territorial) Hazard is calculated by using two sub-models: Intrinsic Hazard Model and Infrastructural Hazard Model, this structure permit to apply different weight modeling the different territorial parameters. The dynamic factor takes into account parameters showing short-term variations: climatic and microclimatic conditions and vegetation status.*

*The main meteorological parameters affecting the probability of ignition are: temperature, rainfall, day-since rain number and relative humidity. These parameters are combined to elaborate two important component: Thermal Hazard Factor (TFH), that is computed by means of the maximum air temperature analysis; and Drought Hazard Factor (DFH), that is computed taking into account the net rain and the days-since rain number.*

*Static and dynamic factor are interpolated to obtain the global risk index (GRI).*

*In Italy the majority of fires (more than 90 %) are due to human activities, statistically it can be evidenced that most of ignition points are concentrated close to urban areas and along the roads. For this reason in the model is introduced the social component and variable in order to adjust the global risk with the information of historical local ignition point dataset.*

*At the end of the elaboration we obtain the final fire risk index that can be show on a map with 1:10.000 scale or on a municipal level as the end land user asks.*

## Introduction

Different methodologies are commonly used to compute forest fire risk indices [2]. These indices quantify the level of risk, usually at a local scale, sometimes at a national level or even at a larger scale [5]. Forest fire risk indices point out stable conditions that

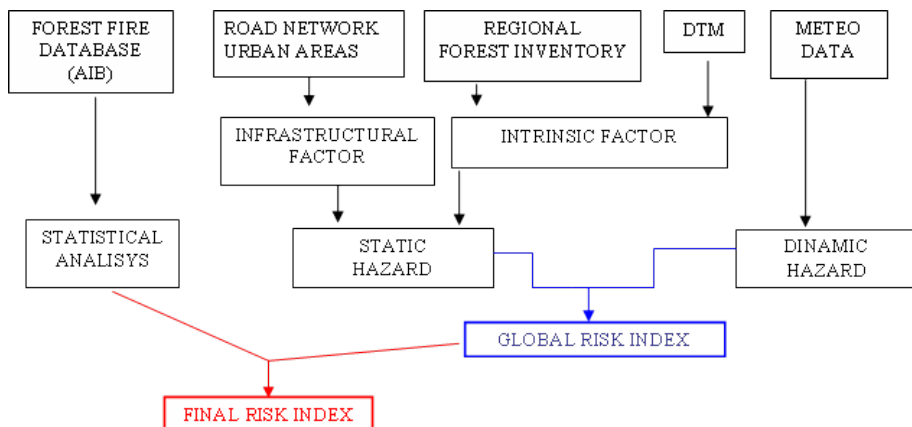
favour fire occurrence and behaviour (static indices) or focus on determining the probability of forest fire ignition and the capability of fire spread (dynamic indices) [7].

Forest fires are strictly related to land use and vegetation characteristics of the area where ignition has been affected. Ignition probability depends on a very large number of parameters, which should be analyzed simultaneously. Likewise, fire spread is heavily influenced by the characteristics of the territory, the meteorological factors and the fuel conditions.

In this paper the methodologies used to compute the Global Risk Index (GRI) developed to supply a decision support instrument in order to organize the forest fire fighting services of the Tuscany Region will be described.

## The structure of the Global Risk Index

The forest fire phenomenon is strictly related to many parameters, which should be considered and analysed simultaneously. The present model takes into account the most important parameters that characterize the Mediterranean ecosystems and affect the wild fires. These elements are divided and elaborated following the diagram 1. The inputs of the system, implemented for the Tuscany Region, are listed in the first line of the diagram: the DTM (digital terrain model) used was elaborated at 90 m, forestry regional inventory at 400 m and meteorological parameters derived from the national meteorological station networks. The regional ignition point database is used to evaluate the social component.



Scheme 1- Structure of the fire risk model

## Static hazard

In the static hazard all factors that do not change or change very slowly in time are grouped together. This hazard is subdivided into two components: *The Intrinsic Factor* and *The Infrastructural Factor*.

The Intrinsic Factor is obtained considering morphological features as topography (slope and aspect), land use and vegetation cover, that can be considered stable in time and in space. It is well known that the slope affects fire propagation and spreading by rolling of heated materials, and makes fire diffusion easier due to the contact of high part of canopy on the declivity. The aspect affects the water stress of the vegetation. Usually the aspect facing south has higher solar radiation and higher temperature than the aspect facing north.

On the basis of the test area features and according to the results of the forest fire database analysis, the following classes of relative hazards have been defined and assumed as default classes:

<u>Slope:</u>	<u>HAZARD LEVEL</u>	<u>Aspect:</u>
CLASS		CLASS
>45%	VERY HIGH	S-SW
25-45%	HIGH	W
15-25%	MODERATE	SE
5-15%	LOW	E
<5%	VERY LOW	FLAT SURFACE, N-NE,NW-N

The influence of slope and aspect have been weighted differently on the morphological hazard introducing a further multiplicative factor. The definition of their weight is based on a statistical analysis of the historical fire events in Tuscany (AIB), considering the irregular distribution of vegetation and the complex morphology of the landscape according to the experience of the operator of Regional fire fighting organization. The morphological hazard is then calculated with the following mathematical formula:

$$\text{Morphological hazard} = (\text{Slope} * 0.6) + (\text{Aspect} * 0.4) \quad 1$$

The Intrinsic Factor also considers the influence of vegetation on the fire ignition and its consequent behaviour. To have a less complex tool, this component is weighted according to an analysis of the vegetation status related only to the physiological phases in each different season (ex.: presence/absence of leaves, quiescence/metabolic activity status, etc.). The short-term evolutions of the vegetation status will be considered by weighting and taking into account the meteorological factors in the dynamic hazard.

Different types of land cover are defined by re-classifying the Forestry Regional Inventory in according with CORINE land cover classes [3]. The main groups of vegetation types introduced in the model are: Anthropic areas, Agricultural areas, Forest areas, and Damp zones. Each class is divided in sub-classes to point out the different stands features. To simulate the seasonal evolution of vegetation cover, a different set of hazard classes has been defined for each season and for each vegetation class.



In the Intrinsic Hazard, the influence of morphology and vegetation are weighted with different factors basing on practice evaluation and considering the experience of the operator of Regional fire fighting organization with the following formula:

$$\text{Intrinsic hazard} = (\text{vegetation hazard} * 0.6) + (\text{morphological hazard} * 0.4) \quad 2$$

The Infrastructural factor is obtained considering urban areas and road network; in particular it involves road network density per square kilometre and considers the distance from the urban areas. The relevance of these two components is due to the observation that in Tuscany, the majority of fires (more than 98 %) are due to human activities. Statistically it can be evidenced that most of ignition points are close to urban areas or along the roads, and they are probably caused by incidents or by criminal actions [8].

For the elaboration of the “road factor” a demographic function of a GIS program, called Density, is used; for each pixel of the shape of the road we have a different hazard level. These different values are then divided in five classes on the basis of Natural Breaks Jenkins [4] classifying as “very-high” the higher value detected and consequently as “very low” the minimum value detected.. The urban areas are defined and classified using the layer created by Tuscany Region. The hazard levels have been assigned on the basis of distance buffer from urban boundaries, using the same classification method applied to the road network. The Infrastructural Hazard is obtained using the following formula:

$$\text{Infrastructural Hazard} = (\text{road factor} * 0.6) + (\text{urban factor} * 0.4) \quad 3$$

Both weights are fixed considering the results of AIB statistical analysis that shows higher frequency of fires near the road than the urban areas.

Finally the Static Hazard is computed in raster format as a sum of the previous factors:

$$\text{Static Hazard} = (\text{Intrinsic Hazard} * 0.6) + (\text{Infrastructural Hazard} * 0.4) \quad 4$$

The multiplicative factor is higher for intrinsic hazard (0.6) because the morphological factors and the vegetation are strictly related to the fire risk ignition and its spread.

## Dynamic fire hazard

The dynamic factor takes into account all parameters showing short-term variations. The main factors are climatic and microclimatic conditions and vegetation status. The start and spread of a forest fire are strongly conditioned by the past and present meteorological situation and by the vegetation water content. It is well known that the

vegetation is more easy to burn when it is drier. Since the estimation of vegetation water content is difficult to obtain and since it is closely related to local meteorological conditions, this element is valued by meteorological variables [9].

The meteorological parameters affecting the probability of ignition considered in the model are:

- Temperature: High temperatures affect the evapotranspiration rate and increase the drying speed of the soil moisture and consequently the probability of ignition.
- Rainfall: The amount of rainfall affects the water balance of forest and agricultural ecosystems. The soil gains moisture from rainfall and loses water by evapotranspiration. Therefore, the vegetation, which represents the availability of fuel during the ignition, increases or decreases its humidity content in relation to the soil water content and atmospherical humidity.
- The number of days without rain: This factor is introduced in the model to classify, in a quick way, the fall in water levels in the ecosystem. Drought is an extremely important indicator for danger of wildfire occurrence. Statistically very intense fires can occur also on the 2nd or 3rd days after precipitation, because fuels reach a level of dryness and require significant humidity elevation to return to the moisture extinction point. The days without rain represent an estimation of the progressive water-loss of the ecosystem and this factor is weighted with the rainfall threshold.
- Rainfall threshold: is the millimeter of precipitation during a period. In the model different seasonal thresholds are defined to represent the quantity of water to reach the moisture extinction point.
- Global radiation: where direct measurement of solar radiation isn't available, an easy system to calculate the global radiation is to make an estimation by using an internal function of GIS system (Solar analyst).

Meteorological factors are combined by the model to elaborate two different meteo-related hazards: Thermal Hazard Factor (THF), computed by means of the maximum air temperature analysis and Drought Hazard Factor (DHF), which takes into account the net rain and the number of days without rain.

To determine the THF the distribution of the wildfire in relation to the maximum temperature values has been analysed. The thresholds to classify temperature hazard have also been defined.

This analysis is performed on the daily data and produce a seasonal index. Each daily temperature value is classified on the basis of the threshold value, according to the following rules:

<b>°C of T max</b>	<b>Value</b>
Tmax <1	0
Tmax >1 and Tmax<15	range between 0.1 and 1
Tmax >15 and Tmax<25	range between 1.1 and 2
Tmax >25 and Tmax<28	range between 2.1 and 3
Tmax >28	4

The range increases with a linear function and the daily THF index is summarised for each season to obtain the average value. The persistence of high temperatures has an important effect on the drying speed of fuels and on fire ignition.

The DHF is computed in two phases: rain net definition and rainy days definition. The rain net is not easy to define because a significant rain occurrence, related to the moisture extinction point, could change in function of many factors.

In this work a threshold using evapotraspiration computing for each day the following equation has been chosen and the values have been summarised for each season according to the equation:

$$SeasonalThreshold = \sum_{sd}^{ed} etp * 2 \quad 5$$

where **sd** and **ed** are the starting and ending day of the season.

Therefore net rainfall is calculated using an iterative sequence of condition on the daily rainfall value. The first step is the definition of the current day as dry or wet. It is a wet day (rainy day) when the value is greater than 0 and the day before is wet, or the value is greater than the threshold and the day before dry. A dry day is day without rain, or with a value greater than 0, but lower than the threshold.

The rainfall is cumulated for each rainy day until a dry day (rain = 0) or until the cumulated rainfall exceeds the threshold.

The “Day-since rain” expresses the number of days without rain before the current day. It is calculated using an iterative counter. The number of previous days since net rain in the previous month has been used to initialize the counter, then for each day without net rain or no-rain the counter is increased by one. If there are consecutive rainy days, the counter doesn’t increase until a no-rain day occurs. Then the days of counting start again. At the end of the calculation, the day since rain index will be evaluated following the scheme below:

Day-since rain = 0	Value = 0
0 < Day-since rain < 12	Value range between 1 and 3 according a linear function
Day-since rain >= 12	Value > 4

The THF and DHF are dimensionless and can be easily interpolated with the following formula:

$$\text{Meteorological Hazard Factor} = ((THF + DHF) / 2)$$

6

## Global index and Statistic information

The static and dynamic hazard are mathematically combined in the model to obtain the Global Risk Index (GRI).

$$\text{Global Risk Index} = (\text{Static Hazard} * 0.6) + (\text{Dynamic Hazard} * 0.4)$$

7

The multiplicative factor is higher for static hazard (0.6) because its component (morphological and vegetation) provide a real image of the areas that are stable for a long period. On the other hand the component of dynamic hazard are the results of the elaboration from measured data including some possible errors.

As a next step, the global index may be integrated with the statistic information elaborated from the AIB. The number of fires per year since 1984 to 2002 has been calculated for each Tuscany municipality. Then all this data has been normalized to redistribute all the values in five hazard classes, starting from the highest number of events.

Finally we obtain the Final Hazard Risk Index in raster format which can be superimposed on a topographic regional map.

The final risk can be visualised at two different levels: a raster layer with the Global Risk classes expressed for each pixels, or a Final Risk (global + statistic) which shows the risk for each Municipality. This difference depends on the data level aggregation of AIB that are organised for each municipality.

## Conclusions

At the Regional level, the results obtained with the Global Risk Index in summer and winter reflect the level of warning recorded by the Regional fire fighting organization. In fact, most of the Region has a “very high” or “high” global risk in summer (Table 1). For the summer season, this risk distribution is strictly related to the meteorological conditions, e.g. high temperature and low precipitation. Even in Winter, with low temperature and good rainfall, the percentage of areas classified “very high” by the system is, however, 15 %. This value is mainly due to some areas of the Apennine mountains in which the meteorological conditions and aspect increase the risk level during the winter.

The Global risk Index may be very helpful to estimate the probability of forest fire occurrence, but it does not provide information on forest fire extinction difficulties.

To plan the forest fire fighting accurately, GRI will be integrated with an operational difficulty index in fire fighting (ODIF); that resumes all the factors affecting fire fighting activity by air and by ground, and suggests the extinction efficiency of forest fires in a given area.

Table 1- Global risk percentage for hazard class (from very high to very low) in summer and winter.

	Winter	Summer
VERY HIGH	15%	37%
HIGH	11%	16%
MODERATE	21%	27%
LOW	35%	15%
VERY LOW	18%	5%

## References

- [1] Bovio G.. – Comportamento degli incendi boschivi estinguibili con attacco diretto Monti e Boschi (1993) 44, (4), 19-24.
- [2] Chuvieco, E., Salas, F.J., Carvacho, L., Rodriguez-Silva, F., *Integrated fire risk mapping*, in E. Chuvieco (ed.), *Remote Sensing of Large Wildfires*. New York: Springer-Verlag. (1999)
- [3] CORINE land cover - Technical Guide., Publication EUR 12585 of the European Commission, EG, DG Environment, Nuclear Safety, and Civil Protection. Luxembourg: Office for official publications of the European Communities. (1994)
- [4] Jenks G.F., Caspall F.C.- Error on Choroplethic maps: definition, measurement, reduction. *Annals of the Association of American Geographers*, (1971) 61, 217-244.
- [5] San-Miguel-Ayanz, J., Barbosa, P. M., Schmuck, G., Libertà, G.,- The European Forest Fire Information System (EFFIS), Joint International Workshop of EARSeL SIG on Forest Fires and the GOFCC/GOLD-Fire Program: Innovative Concepts and Methods in Fire Danger Estimation, Ghent (Belgium) on 5-7 June 2003.
- [6] San-Miguel-Ayanz, J., Methodologies for the evaluation of forest fire risk: from long-term (static) to dynamic indices, in *Forest Fires: Ecology and Control*, Anfodillo T. and Carraro, V. (Eds), *Forest Fires: Ecology and Control*, University degli Studi di Padova, (2002) . 117-132.
- [7] Sebastian-Lopez, A., San-Miguel-Ayanz, J., Libertà, G., An integrated forest fire risk index for Europe, 20th EARSeL SYMPOSIUM, *Remote Sensing in the 21st Century: A decade of Trans-European Remote Sensing Cooperation*, Dresden (Germany). 14-16 June 2000,
- [8] Tuscany Region., -Piano operativo antincendi boschivi 2004-2006. Regione Toscana, (2004) Giunta Regionale. Firenze.
- [9] Viegas X, Bovio G, Ferreira A, Nosenzo A, Sol B - Comparative study of various methods of fire danger evaluation in southern Europe. *International Journal of Wildland Fire* (2000) 9, 235-246.

# CONSERVAZIONE E RESTAURO DI UNA MACCHIA-FORESTA RETRODUNALE DI CORBEZZOLO E QUERCIA COCCIFERA NEL COMPRESORIO DEI LAGHI ALIMINI, OTRANTO (LE)

Cristina Rugge<sup>1</sup>, Antonio Longo<sup>2</sup>, Egidio Mallia<sup>3</sup>, Giacomo Marzano

<sup>1</sup> Riserva Statale Naturale Torre Guaceto (Br), e-mail: [cristinarugge@libero.it](mailto:cristinarugge@libero.it) ;

<sup>2</sup> via Contr. Nuova , Tuglie (LE), tel. 320 7409264 e-mail: [antoniolongo66@libero.it](mailto:antoniolongo66@libero.it);

<sup>3</sup> Parco Gallipoli Cognato Piccole Dolomiti Lucane, MT, e-mail: [info@parcogallipolicognato.it](mailto:info@parcogallipolicognato.it),  
e-mail: [egidiomallia@inwind.it](mailto:egidiomallia@inwind.it); Riserva Statale Naturale Torre Guaceto (Br) tel. 3286568300,  
e-mail: [giacomomarzano@libero.it](mailto:giacomomarzano@libero.it)

**Riassunto** – Gli autori riportano uno studio sulla conservazione di una macchia-foresta retrodunale nel Comprensorio dei Laghi Alimini, Otranto (Le).

**Abstract** – *The authors report a research on Mediterranean scrub's conservation on the coast of southern Salento (Alimini, Le).*

## Introduzione

L'ambiente naturale del Salento è stato per molto tempo sottoposto a diffusa ed intensa antropizzazione, ma la Penisola salentina ovunque dequalificata dalla speculazione edilizia e solcata in ogni direzione dalla fitta rete stradale "...in tempi remoti [...] era tutta coperta di boschi di querce..."[3]. L'aver preso coscienza della presenza di piccoli lembi, immagini *flash* di quello che era l'antico paesaggio silvano del Salento, ha invogliato l'elaborazione di questo studio, incentrato su una realtà relittuale, meritevole di notevole interesse e tanto importante in un contesto ormai fin troppo antropizzato. Tra le poche testimonianze sopravvissute a tale antropizzazione massiccia permane un'area di particolare importanza scientifica e naturalistica, rappresentata dalla macchia-foresta di Corbezzolo (*Arbutus unedo* L.) e Quercia coccifera (*Quercus coccifera* L.).

## Materiali e metodi

Tramite le indagini effettuate si è cercato dapprima di delineare l'ambiente fisico dell'entità, in seguito quello biologico, esaminando la vegetazione presente riferita agli aspetti fisionomici compositivi, nonché la fauna selvatica stanziale e migratoria che frequenta l'area. A mezzo di numerosi sopralluoghi è stata individuata e delimitata l'area di studio al fine di acquisire i dati dendrometrici e biometrici occorrenti alla definizione, in prima approssimazione, della funzionalità degli ecosistemi interessati.

I dati rilevati ed in seguito elaborati hanno permesso di definire i principali aspetti compositivi e strutturali, nonché le principali funzioni riconosciute ed attribuite all'area, così da poter ipotizzare gli interventi culturali da realizzare nel breve e medio periodo.

## Risultati e discussione

L'area in esame è ubicata nel territorio del comune di Otranto (LE), in particolare nel Comprensorio dei Laghi Alimini, a Nord di Otranto, in località "Serra degli Alimini", con esposizione prevalente a Nord-Est. Dalla Carta Geologica d'Italia, precisamente al Foglio 215, denominato "Otranto", risulta che nell'area in esame l'impalcatura geologica è costituita da sedimenti marini pliocenico-pleistocenici, detti *Calcareni del Salento*, presso il litorale, in vicinanza dei Laghi Alimini, i sedimenti si inclinano leggermente a Nord-Est e vengono a contatto con le *Sabbie di Uggiano*. I dati impiegati per la caratterizzazione climatica della zona in cui vegeta la macchia-foresta in esame, sono quelli rilevati dalla stazione termopluviometrica di Otranto (LE), posizionata ad una altitudine di 52,00 m s.l.m. ed ad una distanza di circa 10 km dall'area studiata, situata invece ad altitudine inferiore (da 5,00 a circa 23,00 m s.l.m.). Tali dati sono stati rielaborati al fine di definire il bioclima dell'area. Dall'esame del diagramma ombrotermico, tracciato con la metodologia proposta [8], si è rilevato che nella stazione considerata si ha un massimo assoluto di precipitazioni piovose nel mese di novembre, pari a 130 mm ed un massimo relativo di 78 mm nel mese di marzo. Per la determinazione del clima dell'area in esame si è ricorso alla metodologia proposta da EMBERGER (1930-1971), nonché all'*Indice di termicità* di RIVAS MARTINEZ (1995), previa verifica della *mediterraneità* del clima dell'area di studio, tramite l'utilizzo dell'*Indice igrico estivo* (I.i.e.) di GIACOBBE (1938) che nell'area in esame risulta I.i.e.= 2. Essendo l'*Indice igrico estivo* < 5, nell'area in esame il clima è di tipo *mediterraneo* e l'estate è secca. Per la diagnosi suggerita da EMBERGER (1971) si è calcolato il *Quoziente pluviotermico* Q2 risultato pari a 117. Sul climogramma di EMBERGER, elaborato secondo la proposta di AKMAN (1971) la Stazione termopluviometrica di Otranto ricade nel Piano bioclimatico *umido*, variante ad inverno *temperato dolce*.

Seguendo la proposta di RIVAS-MARTINEZ si è adottato l'*Indice di termicità* I.t., risultato pari a 362, secondo GENTILE (1990) pertanto l'area in esame rientra nel *Piano mesomediterraneo*.

Facendo riferimento alla descrizione dei suoli forestali italiani, proposta da DOWGIALLO (1998), basata sulla Carta dei suoli d'Italia [5], nonché ai profili aperti da chi scrive nella zona ove vegeta la formazione considerata, è stato individuato un "*Suolo bruno calcico*". In corrispondenza della macchia-foresta la costa si presenta alta massimo 5,00 m ed è formata da una serie di dune embrionali parzialmente consolidate da una vegetazione alofila (*Agropiron junceum*, *Calystegia soldanella*, *Diotis maritima*), succeduta da praterie ad *Ammophila arenaria* con piccoli gruppi sparsi di *Pancratium maritimum*. Nelle depressioni umide retrodunali sono presenti delle formazioni igrofile a prevalenza di *Juncus maritimus* e *Juncus acutus* e *Schoenus nigricans*. Sui cordoni dunosi retrostanti sono diffusi numerosi pulvini di *Juniperus oxycedrus* L. subspec. *macrocarpa*, *Juniperus phoenicea*, *Phillyrea latifolia*. A questa segue una fascia di circa 300,00 m occupata da rimboschimenti di Pino d'Aleppo, all'interno delle quali sono presenti numerose strutture turistiche.

Proseguendo verso l'interno s'incontra una macchia bassa ed intricata dell'altezza di circa 2,00 m, costituita da ilatro comune, Erica arborea (*Erica arborea*), Sparzio spinoso [*Calicotome spinosa* (Poir.) Link ], Mirto (*Mirtus communis* L.) e qualche esemplare di Leccio (*Quercus ilex* L.); nello strato erbaceo sono presenti il The siciliano

(*Prasium majus* L.), il Trifoglio stellato (*Trifolium stellatum* L.) e il Trifoglio irsuto (*Dorycnium hirsutum* [L.]Ser.). Verso l'entroterra, la macchia tende ad assumere la fisionomia di macchia-foresta, di altezza massima pari a circa 12,00 m e caratterizzata nello strato arboreo dalla Quercia coccifera (*Quercus coccifera* L.) e dal Corbezzolo (*Arbutus unedo* L.), qui presente anche con una forma ibrida con il Corbezzolo di Grecia (*Arbutus andrachne*), quale *Arbutus x andrachnoides* Link. Concorrono alla formazione dello strato arboreo non pochi elementi di Ilatro comune, Erica arborea, Oleastro (*Olea oleaster* Hoffm. Et Link.) ed Alaterno (*Rhamnus alaternus* L.), con Sorbo comune (*Sorbus domestica* L.). Lo strato arbustivo, incipiente, di altezza superiore ad 1,00 m è composto dal Lentisco (*Pistacia lentiscus* L.), dal Mirto, dalla Ginestrella comune (*Osiris alba* L.), dal Biancospino (*Crataegus monogyna* Jacq.) e dal Viburno tino (*Viburnum tinus* L.). Numerose sono le specie lianose di straordinarie dimensioni presenti, come Rosa di San Giovanni, Salsapariglia nostrana (*Smilax aspera* L.), Caprifoglio mediterraneo (*Lonicera implexa* Ait.) ed Edera (*Hedera helix* L.). Ai margini della macchia-foresta è presente Erica pugliese (*Erica manipuliflora* Salisb.), specie balcanica endemica del Salento [2]. La presenza di specie quali il Corbezzolo e l'Erica arborea indicatrici di terreni acidi molto probabilmente è da interpretarsi come il risultato di ripetuti incendi del passato. La macchia-foresta in esame viene considerata una formazione tipica del Salento, riferita all'*Arbutus-Quercetum calliprini* [2]. Per la delimitazione dell'ambiente biologico, con riferimento agli aspetti compositivi e strutturali della vegetazione, è stata delimitata un'area di studio circolare di 706 m<sup>2</sup>, al cui interno sono stati acquisiti dati dendrometrici e biometrici, elaborati per definire gli aspetti compositivi e strutturali, correlati in fine per definire la funzionalità dell'ecosistema. Dallo studio dei valori reali assoluti e percentuali ottenuti, riferiti rispettivamente al numero di alberi distinti per specie, nelle classi diametriche dell'ampiezza di 5 cm (Fig. n.1), all'area basimetrica ed a quella d'insidenza, distinte per specie, riferiti ad una superficie di 1 ha si evince che l'incidenza percentuale più significativa è da attribuirsi a due specie: al Corbezzolo ed alla Quercia coccifera.

Alberi	n. ha <sup>-1</sup>	1329
Area basimetrica	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	27,53
Area d'insidenza	m <sup>2</sup> x ha <sup>-1</sup>	10206,20

Entrambe le specie, infatti, considerate congiuntamente rappresentano rispettivamente circa il 94,5 % dell'area basimetrica totale ed il 95,5 % dell'area d'insidenza dell'intera comunità. Considerando l'intero popolamento della macchia-foresta d'indagine si è visto che esso è caratterizzato, nei parametri prescelti riferiti al numero di alberi, all'area basimetrica e a quella d'insidenza ad ettaro, dai valori reali riportati nel seguente prospetto.

Dall'esame di tali valori risulta che si tratta di una comunità alquanto densa, come evidenzia il numero di elementi per ettaro pari a circa 1330, l'area basimetrica superiore a 27 m<sup>2</sup>, nonché l'area d'insidenza, anch'essa riferita all'unità di superficie di 1 ha che supera i 10000 m<sup>2</sup>.



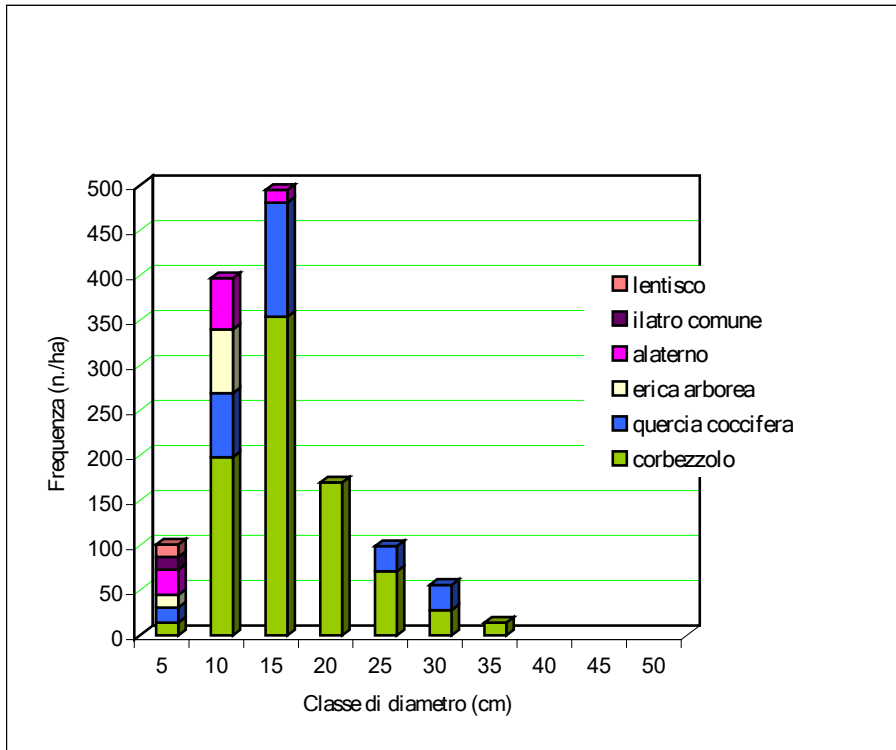


Figura. 1 – Ripartizione del numero di alberi ad ha della macchia-foresta di Corbezzolo e Quercia coccifera, “Serra degli Alimini”, distinta per specie, nelle classi diametriche dell’ampiezza di 5 000 cm.

## Conclusioni

Dagli studi effettuati si evince che un tempo, con molta probabilità, il comprensorio degli Alimini era caratterizzato dalla presenza di estese macchie-foreste, a prevalenza di Quercia coccifera, in alternanza con foreste di Leccio, circoscritte a microambienti contraddistinti da condizioni stazionali, per lo più di carattere pedo-geologico, che soddisfacevano il temperamento e le esigenze del Leccio e delle specie ad esso compagne. La notevole diffusione della Quercia coccifera, tipica del piano *mesomediterraneo* è da attribuire all’elevata elasticità di adattamento del ciclo ontogenetico della specie a quello bioclimatico [1]. Alla macchia-foresta di Corbezzolo e Quercia coccifera sono state riconosciute ed attribuite molteplici funzioni, tra cui quelle di ordine naturalistico (regimazione delle acque, difesa e miglioramento del suolo) e di qualificazione, nel senso silvano, della biodiversità. All’interno del biosistema considerato, infatti, la produttività e la presenza di numerose specie animali è da attribuire proprio all’alta biodiversità delle specie vegetali presenti. Tale biodiversità deve essere innanzitutto tutelata in quanto rappresenta una comunità di piante formatasi in conseguenza delle azioni

antropozoogeniche (incendi, pascolo, tagli) protrattesi per lungo tempo, pertanto attualmente si trova in uno stato di equilibrio precario. Ciò è da attribuirsi alle ceduzioni del passato principalmente rivolte ai prelievi di legna da ardere a carico delle specie che ne massimizzavano il prodotto quali il Corbezzolo, l'Ilatro comune e l'Erica arborea, risparmiando la Quercia coccifera perché di lento accrescimento. Tutt'oggi, però non si conosce quale fosse l'assetto originario né quale sarà l'evoluzione futura della macchia-foresta; pertanto, per questo tipo di formazione gli interventi selvicolturali a breve termine dovranno essere molto cauti e rivolti soprattutto alla conservazione dell'attuale assetto compositivo e strutturale. Attualmente la macchia-foresta, che per la sua natura di boscaglia si presenta di aspetto disordinato, si trova in una fase del tutto caotica per cui è difficile poter stabilire se è bene intervenire o lasciare inalterato lo stato attuale. Gli unici interventi da mettere in atto a breve termine possono essere rivolti all'eliminazione degli elementi secchi o seccaginosi ed all'allontanamento delle specie lianose morte di grosse dimensioni. I quali, infatti, concorrono a ridurre oltre misura la quantità di luce che può penetrare nella compagine, ostacolando in tal modo la rinnovazione delle specie componenti lo strato arborecente e la diffusione del sottobosco. È auspicabile, inoltre, l'istituzione di forme di protezione che concilino la conservazione dell'ambiente naturale con il turismo.

## Ringraziamenti

Si ringrazia in particolar modo il Dr. Tommaso Santochirico per il suo prezioso aiuto.

## Bibliografia

- [1] BIANCO P.; 1960. *Il ciclo fenologico di Quercus pubescens Willd., Q. trojana Webb, Q. coccifera L. e Q. ilex L. a San Michele di Bari*. N. Giorn. Bot. Ital., vol. LXVII: 328-331.
- [2] BRULLO S., MINISSALE P., SIGNORELLO P. e SPAMPINATO G.; 1986. *Studio fitosociologico delle garighe ad Erica manipuliflora del Salento (Puglia meridionale)*. Archivio botanico e biogeografico italiano n.62 Forli (Italia).
- [3] DE GIORGI C.; 1884. *Cenni di geografia fisica della provincia di Lecce*. Tipolitografia Ed. Sal.na, p.92, Lecce
- [4] MAINARDI M.; 1989. *I boschi nel Salento. Spazio e Storia*. Centro St. Doc. Camp. Sal. Conte; Lecce.
- [5] MANCINI F.; 1966. *Breve commento della Carta dei Suoli d'Italia*. Acc. It. Sc. For.; Firenze.
- [6] ROSSI D.; 1969. *Note illustrative della Carta geologica d'Italia. Foglio n. 215 Otranto*. Serv. Geol. It.; Roma.
- [7] RUGGE C., MARZANO G.; 2003. *Research on animal seed dispersal in Salento-Apulia*. III International Symposium on Wild Fauna. Ischia – Italy May 24 –28, 2003.
- [8] WALTER H. et LIETH H.; 1967. *Klimadiagramm-Weltatlas*. VEB Gustav Fisher Verlag; Jena.



# LE MACCHIE A GINEPRI DEL LITORALE BRINDISINO COMPRESO TRA PILONE E TORRE POZZELLE (PUGLIA)

Rocco Carella<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Libero professionista, Via Torre d'Amore 18, 70010 Bari-Ceglie  
Tel. +39/3899791022, e-mail: roccocarella@yahoo.it

**Riassunto** – Le macchie di ginepri sono fra le più importanti e rappresentative fitocenosi legate all'ambiente costiero che è possibile ammirare in Puglia. I ginepreti costieri vivono nel Mediterraneo sulle dune sabbiose e sulle paleo-dune del litorale e rappresentano un tipo vegetazionale particolarmente prezioso e vulnerabile, per questo annoverato nell'elenco degli *habitat prioritari* della direttiva CEE 92/43. Il lavoro in esame si riferisce alle macchie di ginepri residue del litorale brindisino compreso tra Pilon e Torre Pozzelle, una delle aree di maggiore diffusione delle fitocenosi considerate in Puglia. Le formazioni considerate si caratterizzano per la contemporanea presenza di due distinti ginepri, spiccatamente termofili: il ginepro ossicedro (*Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa*) ed il ginepro fenicio (*Juniperus turbinata* subsp. *turbinata*). L'impatto antropico ha reso i ginepreti puri piuttosto rari e localizzati nell'area, mentre più di sovente si osserva la presenza di *J. oxycedrus* subsp. *macrocarpa* e *J. turbinata* subsp. *turbinata* in formazioni miste con elementi sclerofilli mediterranei.

**Abstract** – *Junipers scrubs are one of the most typical and representative vegetational type of the littoral in Puglia. Littoral junipers coenoses live in the Mediterranean Basin on the coastal sand dunes and paleodunes; since very rare and precious vegetational type they are included in the priority habitat list of 92/43 EEC Directive. The presented paper is referred to the residual junipers scrubs of the littoral of Brindisi province, between Pilon and Torre Pozzelle, one of the most important area of natural distribution of this vegetational type in Puglia. The considered coenoses are characterized on the presence of two different termophilous junipers: the Large-berry juniper (Juniperus oxycedrus ssp. macrocarpa), and the Sabina (Juniperus turbinata subsp. turbinata). Cause to the anthropic impact pure junipers formations are quiet rare (Torre San Leonardo, Rosa Marina, Cala dei Ginepri), while more common is the presence of J. oxycedrus ssp. macrocarpa and J. turbinata subsp. turbinata in mixed coenoses with sclerophyllous Mediterranean elements.*

## Introduzione

La Puglia è una terra che si caratterizza per valori elevati di biodiversità. Le cause principali di una tale ricchezza sono ricercabili nella presenza di condizioni ambientali molto diversificate in senso bioclimatico ed ecologico, in un paesaggio estremamente variegato, nelle pregresse vicende biogeografiche. Uno degli ambienti più ricchi di diversità biologica è indubbiamente la fascia costiera che, nonostante gli errori e le contraddizioni che hanno caratterizzato la gestione di questo delicato spazio ecologico, conserva delle

situazioni ambientali di estremo pregio. Basti a tal proposito pensare alla presenza di stagni e laghetti del retroduna e dell'interduna, al gran numero di habitat di particolare interesse ai fini conservativi e di rarissime specie ornitiche e floristiche ad essi legati.

Le macchie costiere di ginepri sono fra le più importanti e rappresentative fitocenosi legate all'ambiente costiero che è possibile ammirare in Puglia. I ginepreti costieri sono un tipo vegetazionale particolarmente prezioso e vulnerabile e per questo annoverati nell'elenco degli *habitat prioritari* della direttiva CEE 92/43 (Marchiori et al. 2000). Le formazioni costiere con presenza di ginepri sono presenti, nel Mediterraneo, sulle dune sabbiose e sulle paleo-dune del litorale (Rivas Martínez et al., 2001). Il lavoro in esame si riferisce alle macchie di ginepri residue del litorale brindisino compreso tra Pilon e Torre Pozzelle, una delle aree di maggiore diffusione delle fitocenosi considerate in Puglia.

## Materiali e metodi

L'area di studio ricade interamente nel comune di Ostuni e rappresenta una porzione del litorale brindisino (fig. 1); il territorio rientra nel distretto biogeografico salentino. Al fine di raggiungere una più profonda comprensione delle caratteristiche ecologiche del territorio è stata svolta un'indagine bioclimatica basata sui dati di temperatura e precipitazioni osservati nella stazione termopluviometrica di Brindisi nel trentennio 1965-1994. Tali dati hanno rappresentato la base per l'elaborazione di due fra le più importanti elaborazioni bioclimatiche pensate per l'ambiente mediterraneo, l'analisi di Rivas Martínez (Rivas Martínez et al., 1999) ed il diagramma bioclimatico di Mitrakos (Mitrakos, 1980). L'analisi bioclimatica di Rivas Martínez è fondamentale per la comprensione delle potenzialità ecologiche della stazione, in particolare mediante l'individuazione del piano bioclimatico; il diagramma bioclimatico di Mitrakos consente di rilevare e quantificare l'intensità mensile dello stress da freddo (C) e dello stress da aridità (D) subiti dalla vegetazione nel corso dell'anno (Vita F., Carella R., 2003). Lo studio della vegetazione è avvenuto mediante ripetute escursioni nell'area, finalizzate all'individuazione di comunità interessate dalla presenza di ginepri. Nelle fitocenosi più rappresentative sono stati effettuati dei rilievi floristici, ponendo inoltre attenzione al carattere della abbondanza-dominanza ed al grado di associabilità (Pirola, 1970) delle varie specie presenti ed alle condizioni generali del popolamento (grado di copertura, caratteristiche strutturali, condizioni fitosanitarie, presenza di fenomeni di degrado, ecc.).

## Discussione

### *Aspetti bioclimatici*

La considerazione più evidente che emerge dall'analisi bioclimatica è il grande stress da aridità che la vegetazione in esame è costretta a sopportare, evidenziato dai valori assunti dall'indice D dell'analisi di Mitrakos (fig. 2).

In base ai valori assunti da  $T_p$ ,  $I_t$  ed  $I_c$ , *sensu* Rivas Martínez, la stazione è riferibile ad un orizzonte bioclimatico di transizione tra il *lower mesomediterranean* e l'*upper thermomediterranean*, sub-tipo *euoceanico*. I principali parametri ed indici climatici adoperati nell'elaborazione sono riportati in tab. 1.



Fig. 1 - L'area di studio.  
 Fig. 1 - The study area.

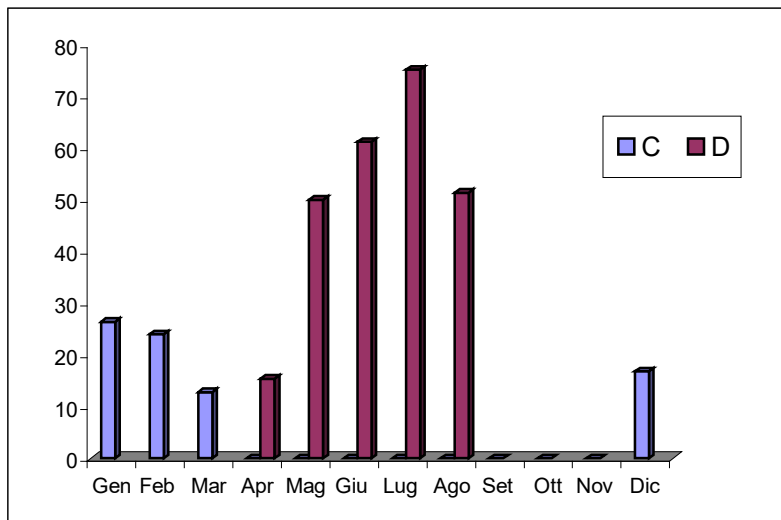


Fig. 2 - Diagramma bioclimatico di Mitrakos relativo alla stazione di Brindisi.  
 Fig. 2 - Mitrakos bioclimatic diagram, Brindisi Station.

Tab. 1 - Principali parametri climatici.  
 Tab. 1 - Main climatic parameters.

Stazione termopluviometrica, altezza sul mare	Brindisi, 28 m
Anni di osservazione	30 (1965-94)
Temperatura media annua	16.8°C
Precipitazioni medie annue	557.1 mm
Temperatura media del mese più freddo	9.7°C (I)
Temperatura media del mese più caldo	25.2°C (VIII)
Indice di termicità (It)	361
Indice di continentalità (Ic)	15.5
Tp	2014
WCS (Winter Cold Stress, analisi di Mitrakos)	67.2
YCS (Year Cold Stress, analisi di Mitrakos)	80.0
SDS (Summer Drought Stress, analisi di Mitrakos)	187.8
YDS (Year Drought Stress, analisi di Mitrakos)	253.2

### *Aspetti vegetazionali*

Le formazioni in esame si caratterizzano per la contemporanea presenza di due distinti ginepri, spiccatamente termofili: il ginepro ossicedro (*Juniperus oxycedrus* ssp. *macrocarpa*) (fig. 3) ed il ginepro fenicio (*Juniperus turbinata* subsp. *turbinata*) (fig. 4).



Fig. 3 - Particolare di *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* (Foto Rocco Carella).  
 Fig. 3 - Detail of *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* (Photo Rocco Carella).

La percentuale di presenza dei due ginepri all'interno delle cenosi considerate è piuttosto variabile e si osservano anche popolamenti in cui il ginepro fenicio appare dominante. Dal punto di vista ecologico le comunità in esame si collocano a ridosso delle formazioni della serie dunale e rappresentano la prima formazione di interesse forestale che

si incontra muovendosi dalla linea di costa verso l'interno. L'impatto antropico ha reso spesso questo schema puramente teorico e nella pratica si riscontrano profonde variazioni rispetto al modello di riferimento, ed in particolare una confusione nella composizione floristica e nella distribuzione delle distinte associazioni della serie dunale ed una lacunosità nella fascia litoranea di ginepri. Per quanto detto, ginepreti puri appaiono piuttosto rari e localizzati nell'area in esame mentre più di sovente si osserva la presenza di *J. oxycedrus* subsp. *macrocarpa* e *J. turbinata* subsp. *turbinata* in formazioni miste con *Quercus ilex*, *Calicotome villosa*, *Phyllirea latifolia*, *Rhamnus alaternus*, *Pistacia lentiscus*, *Myrtus communis*, *Smilax aspera*, *Lonicera implexa*, *Thymus capitatus*. Interessanti lembi di ginepreti puri si osservano nelle località Torre San Leonardo, Rosa Marina, Cala dei Ginepri. Le formazioni in esame possono interpretarsi come testimonianze della fascia di ginepri costieri che separava la vegetazione della serie dunale, dalle leccete termofile, in passato particolarmente diffuse nel distretto salentino (fig. 4).



Fig. 4 - Particolare di *Juniperus turbinata* subsp. *turbinata* (Foto Rocco Carella).  
Fig. 4 - Detail of *Juniperus turbinata* subsp. *turbinata* (Photo Rocco Carella).

## Conclusioni

Le macchie del litorale brindisino caratterizzate dalla presenza del ginepro ossicedro e del ginepro fenicio rappresentano uno degli habitat costieri pugliesi più importanti ai fini conservativi. La presenza di insediamenti turistico-residenziali sorti nell'area a stretto ridosso della linea di costa (Pilone 1, Pilone 2, Rosa Marina, Villanova, Costa Merlata) ha sensibilmente ridotto l'estensione originaria della fascia di ginepri, che allo stato attuale si mostra poco profonda verso l'interno e con evidenti e diffuse lacune nel suo sviluppo lungo il litorale. Si tratta pertanto di lembi residui che spesso mostrano una condizione generale ben lontana da valori accettabili di sostenibilità. Oltre alle minacce rappresentate dalla frammentazione spinta e da possibili appetiti legati ad un ulteriore sfruttamento residenziale dell'area, sulle macchie relitte di ginepri del litorale brindisino grava nei mesi estivi una intensa pressione antropica con conseguenti fenomeni di disturbo e degrado che si



traducono puntualmente in un impoverimento ed una banalizzazione della composizione floristica ed in profonde alterazioni strutturali. Si riproduce ancora una volta il triste e consueto scenario per l'ambiente mediterraneo, di un ecosistema di grande valore naturalistico e paesaggistico, ma fragile e gravemente minacciato. Urgenti e concrete forme di tutela e riqualificazione si rendono pertanto quanto mai necessarie.

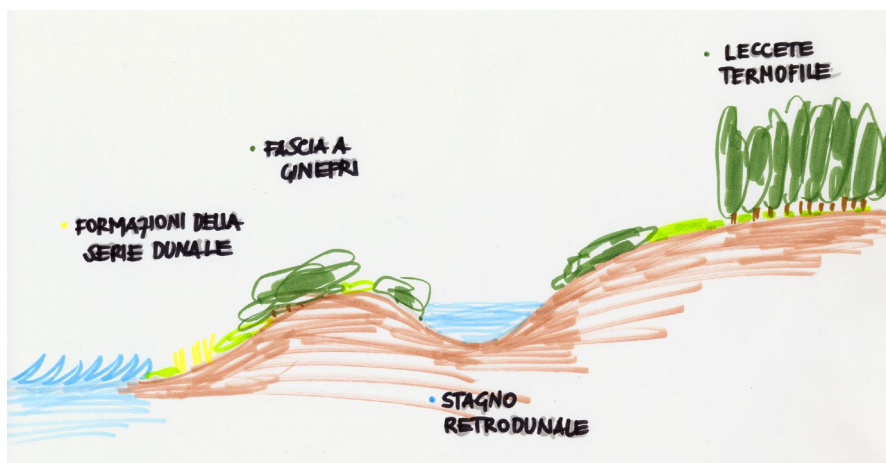


Fig. 4 - Schema della distribuzione della vegetazione spontanea originaria del litorale brindisino (Disegno di Mirella Carella).

Fig. 4 - Pattern of distribution of the original spontaneous vegetation in the littoral of Brindisi province.

## Bibliografia

- [1] Braun-Blanquet J., Roussine N., Negre (1952). *Les groupements Végétaux de la France Méditerranéenne*. C.N.R.S., Montpellier.
- [2] Marchiori S., Medagli P., Mele C., Scandura C., Albano A. (2000). *Piante ed habitat rari, a rischio e vulnerabili ella Puglia*. Chiers Options Méditerranéennes, (53): 167-178.
- [3] Mitrakos K. (1980). *A theory for Mediterranean plant life*. Acta Oecol. Plant. 1 (15):245-252.
- [4] Pignatti S. (2002). *Flora d'Italia, I-III*. Edagricole, Bologna.
- [5] Pirola A. (1970). *Elementi di fitosociologia*. Coop. Libreria Universit., Bologna.
- [6] Rivas-Martínez S., Sánchez-Mata D. & Costa M. (1999). *North American boreal and western temperate forest vegetation (Syntaxonomical synopsis of the potential natural plant communities of North America, II)*. Itinera Geobotanica (12):3-311.
- [7] Rivas-Martínez S., Fernández-González F., Loidi J., Lousã M &, Penas A. (2001). *Syntaxonomical checklist of vascular plant communities of Spain and Portugal to association level*. Itinera Geobotanica 14:5-341.
- [8] Vita F., Carella R. (2003). *Biologia Vegetale e Forestale, Volume terzo, Fitogeografia e Fitosociologia*. Edizioni Quadrifoglio, Bari.

## SESSIONE TERZA

# FONDALI, COPERTURE VEGETALI E QUALITÀ DELLE ACQUE

**Presidente: Luigi Alberotanza**  
**CNR ISMAR Sede di Venezia**

L'area costiera è uno spazio fondamentale del dominio marino nel quale per il suo mantenimento e la sua gestione si ha, o si dovrebbe avere il massimo impegno di ogni paese marittimo. Sono presenti interazioni tra un sistema naturale e l'uomo che sono del tutto bilaterali solo che quest'ultimo inquina; da cui la necessità di comprendere il funzionamento degli ecosistemi, la qualità dell'ambiente, poiché a gestione, in termini corretti di sforzo sostenibile, dipende strettamente da una profonda conoscenza dei suoi componenti, dinamiche, processi,...

Carter definisce: "...la zona costiera è quello spazio in cui gli ambienti terrestri influenzano quelli marini e viceversa. È variabile in ampiezza e può cambiare nel tempo. Normalmente non si possono delimitare i confini, più spesso dei gradienti o transizioni ambientali segnano tali limiti. In ogni località la zona costiera può essere caratterizzata secondo criteri fisici, biologici o culturali. Questi di fatto coincidono se non di rado..."; sintetizza così, in poche righe, la vasta complessità che è insita nelle aree costiere.

Una prima caratteristica riguarda i processi presenti e le rispettive piccole scale che si traducono in una elevata variabilità sia nello spazio sia nel tempo. Tal cosa incrementa i rischi e gli eventi scarsamente se non assolutamente prevedibili.

Un secondo aspetto riguarda il grande numero di *boundaries*: la costa, il fondale, le *plumes* fluviali,...etc. con comportamenti fisici, chimici, biologici, ecologici, etc. assai differenti.

Non si può dimenticare che oltre il 70 % della popolazione mondiale vive lungo le coste con tutte le conseguenze connesse alla antropizzazione, industrie, traffici, turismo,...etc.

Non ultimi vanno ricordati i rischi naturali presenti nei processi evolutivi connessi ai fenomeni di erosione e trasporto dei sedimenti con trasformazione dei fondali e delle linee di costa.

Sulle aree costiere esistono tutta una serie di direttive e normative comunitarie e che, in particolare, per la gestione delle acque richiedono la conoscenza di un certo numero di parametri che riguardano:

- ↑ i contenuti della colonna d'acqua;
- ↑ la dinamica costiera, le maree i fenomeni a mesoscala, correnti,...
- ↑ le caratteristiche dei fondali, le coperture vegetali, i sedimenti, la natura,...

Una particolare esigenza che è molto sentita da parte di chi opera in tali ambienti riguarda la definizione di *indici* necessari per dare, in maniera inequivocabile, tutti quegli

elementi necessari per la gestione. È evidente che i metodi tradizionali di prospezione e, quindi, di monitoraggio richiedono tempi, personale e costi spesso difficilmente reperibili per cui ben vengano tecnologie che permettono di acquisire i parametri marini con costi contenuti e complementari, o di supporto, alle misure dirette.

A tal riguardo le tecnologie di *Osservazione della Terra* dallo spazio presentano numerosi elementi di supporto sia per l'esplorazione e lo studio sia per le azioni di monitoraggio.

Si ricorda che l'elemento di osservazione è la superficie del mare e che il veicolo dell'informazione sono le onde elettromagnetiche. Gli strumenti di telerilevamento spaziale, sia da aereo sia da satellite, sono in grado di misurare, con caratteristiche di sinotticità, principalmente tre parametri della superficie e cioè: la rugosità (sistemi radar), la temperatura (radiometri all'infrarosso) ed il colore (radiometri nel visibile). Le grandezze derivabili sono, poi numerose, e riguardano sia gli aspetti dinamici e fisici della superficie sia di contenuti della colonna d'acqua, organici ed inorganici.

In questa sessione verranno illustrate alcuni interessanti sviluppi, non solo metodologici ma anche di modellistica, realizzati con queste tecnologie nell'ambito dello studio di alcuni componenti tipici delle aree costiere: vegetazione di fondo, contenuti della colonna d'acqua, evoluzioni della morfologia, ...etc.

Infine è spontanea la domanda se sia nella pubblica amministrazione sia nella ricerca qualche cosa si stia muovendo? Attualmente esistono dei segnali sia a livello di Ministero per l'Ambiente, sia di Amministrazioni Regionali di interesse a promuovere l'impiego di tali mezzi per le attività di monitoraggio costiero. D'altra parte, anche nel CNR, il Dpt. Terra e Ambiente è intenzionato a promuovere attività che affrontino varie problematiche non tralasciando il completamento dell'Atlante delle Coste Italiane (Liguria e Toscana già esistenti) estendendolo a tutta l'Italia. Anche l'Agenzia Spaziale Italiana sembra ben intenzionata a promuovere nuove missioni spaziali con sensori iperspettrali ed a supportare attività per lo sviluppo di "prodotti" particolarmente focalizzati al monitoraggio costiero sulla base di requisiti di utilizzatori finali quali, ad es. le Regioni, l'Autorità di Bacino, etc.

I primi otto lavori raccolti nella Sessione *Fondali, coperture vegetali e qualità delle acque* sono stati presentati oralmente, mentre i rimanenti nove sono stati presentati come poster. In particolare il lavoro *Costruzione di una libreria spettrale delle fanerogame della Laguna di Venezia* è stato giudicato primo classificato nella sessione poster in riferimento alla completezza, chiarezza e immediatezza dell'esposizione.

## CARATTERIZZAZIONE DELLE ACQUE COSTIERE LIGURI: DAL “BIANCO” AL “CORPO IDRICO DI RIFERIMENTO”

Rosa Maria Bertolotto<sup>1</sup>, Sonia Albanese<sup>1</sup>, Davide D’Arena<sup>2</sup>, Ruggero Della Penna<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ARPAL Direzione Scientifica, U.O. Promozione e coordinamento delle attività e dei servizi, Settore Ambiente marino costiero. E-mail: mare.ds@arpal.org; tel.: 010 6437277-276; fax: 010 6437204

<sup>2</sup>ARPAL Dipartimento Provinciale di Genova, U.O. Aree funzionali, Settore Qualità delle acque.

<sup>3</sup>ARPAL Dipartimento Provinciale di Genova, U.O. Laboratori e reti di monitoraggio, Settore Chimica analitica.

**Riassunto** – Sono presentati i dati di tre aree della rete di controllo relativa al Programma Ministeriale di monitoraggio marino costiero; tali aree rientrano nel registro dei siti destinati a formare la rete di intercalibrazione di cui all’All. V della direttiva 2000/60/CE.

Vengono prese in considerazione l’area di Imperia, a basso apporto terrigeno, e quella di Marinella (La Spezia), direttamente influenzata dalla foce del fiume Magra. Si confrontano tali aree con quella di “bianco”, localizzata al limite della Riserva Marina del Parco delle Cinque Terre. Si riportano i dati di temperatura e salinità; la trasparenza; le concentrazioni dei composti di azoto e fosforo e dei silicati; la classificazione delle acque in base all’indice TRIX.

Si discute il problema della definizione di un corpo idrico di riferimento per la rete di controllo regionale, in conformità con le linee di indirizzo della direttiva quadro sulle acque. I dati, infatti, mettono in evidenza come l’area di bianco, scelta all’inizio del Programma di Monitoraggio in quanto scarsamente sottoposta a pressioni antropiche, non sembra un corpo idrico di riferimento rappresentativo per un’area fortemente influenzata da un corso d’acqua come il Magra: si rende perciò necessaria una ridefinizione che possa rendere conto delle differenti tipologie costiere.

**Abstract** – *The paper presents the results of five years of environmental quality monitoring in three different coastal areas of Liguria region (Italy): Imperia, Marinella and Cinque Terre.*

*The three areas are part of a national Monitoring Program financed by the Italian Environment Ministry, and they belong also to the Intercalibration Sites Registry set by the Commission Decision in accordance with the Directive 2000/60/EC, Annex V.*

*Imperia gets low terrigenous sediment input, while Marinella (La Spezia) is strongly influenced by the Magra river estuary. A comparison is made between these areas and the proposed reference area, situated in the Marine Reserve of Cinque Terre, using water temperature, water salinity, water transparency, nitrogen, phosphorus and silicate concentrations and TRIX index classification.*

*The comparison points out that the reference area, with particularly low anthropogenic pressures, is not a correct ecological benchmark for areas strongly influenced by a river estuary. It would be advisable to define type-specific reference sites according to the different morphological and hydrodynamic characteristics of coastal areas.*

## Introduzione

Da giugno 2001 il Ministero dell'Ambiente coordina un progetto di monitoraggio dell'ambiente marino costiero, con lo scopo di valutarne la qualità ambientale ed individuarne le criticità. L'attività si sviluppa in parallelo in tutte le regioni italiane, con le stesse tempistiche e modalità al fine di favorire il più possibile una standardizzazione dei dati a livello nazionale. Il programma di monitoraggio riguarda sia aree ritenute critiche sia aree a basso impatto antropico, ed è in linea con le indicazioni riportate nella normativa nazionale di settore (D.Lgs 152/99<sup>1</sup>) [8]. La classificazione delle aree e la conseguente verifica del raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale prevista dalla normativa è effettuata mediante l'indice trofico TRIX.

Con l'emanazione della direttiva quadro sulle acque (Dir. 2000/60/CE) [7] viene fatto sancita la necessità di definire lo stato ecologico del sistema attraverso il confronto tra le aree oggetto del monitoraggio e un insieme di condizioni di riferimento (corpo idrico di riferimento) che riflettano condizioni naturali indisturbate per ciascuna tipologia costiera [4], rafforzando e superando il criterio presente nell'impianto del D.Lgs 152/99 di confronto con un'area di bianco, intesa solo come zona in cui sia minimizzato l'impatto antropico.

Si presentano i dati che fanno parte degli elementi di qualità raccomandati per la caratterizzazione fisico-chimica delle acque costiere [12] per tre aree dell'attuale rete di monitoraggio regionale che sono state inserite nel registro dei siti destinati a formare la rete di intercalibrazione di cui all'All. V della direttiva 2000/60/CE [6].

## Materiali e metodi

I dati riportati nel presente lavoro sono stati raccolti in tre differenti aree della costa ligure; ciascuna di esse è stata monitorata lungo un transetto perpendicolare a costa le cui stazioni sono state posizionate (fig. 1) in base ai criteri riportati nel D.Lgs 152/99. La distanza da costa delle stazioni e le relative profondità sono riportate in tab. 1. I rilevamenti si sono svolti ininterrottamente da giugno 2001 a marzo 2006 con frequenza quindicinale. Le metodologie di campionamento e analisi sono state indicate dal Ministero dell'Ambiente [10] che ha anche coordinato un programma di interlaboratorio tra le diverse regioni costiere. In particolare il campionamento di acqua è stato effettuato alla quota di -0,5 m; la misura della trasparenza è stata effettuata mediante disco di Secchi; i rilevamenti dei parametri chimico-fisici lungo la colonna d'acqua sono stati realizzati tramite sonda multiparametrica (IDROMAR IM52) garantendo le caratteristiche raccomandate. L'analisi dei nutrienti è stata effettuata tramite autoanalizzatore; i limiti di rilevabilità per i singoli composti sono (espressi<sup>2</sup> in  $\mu\text{M}$ ): 0,07 per  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$  e  $\text{NO}_3$ ; 0,02 per  $\text{PO}_4$ ; 0,16 per P-tot; 0,05 per Si. L'indice TRIX, individuato dalla normativa per definire lo stato di qualità delle acque marino costiere, riassume in un valore numerico una combinazione di Ossigeno disciolto, Clorofilla, Fosforo totale e Azoto inorganico disciolto, variabili che definiscono le condizioni di trofia e il livello di produttività delle aree costiere [1]. I valori di TRIX sono

---

<sup>1</sup> Il D.Lgs 152/99 è stato abrogato e sostituito dal D.Lgs 152/06, entrato in vigore il 29/04/06 (Supplemento ordinario alla G.U. n. 88 del 14 aprile 2006).

<sup>2</sup> Il simbolo M indica soluzione molare che corrisponde a una mole per litro di soluzione.

raggruppati in quattro classi alle quali viene associato uno stato di qualità ambientale [8, 13].

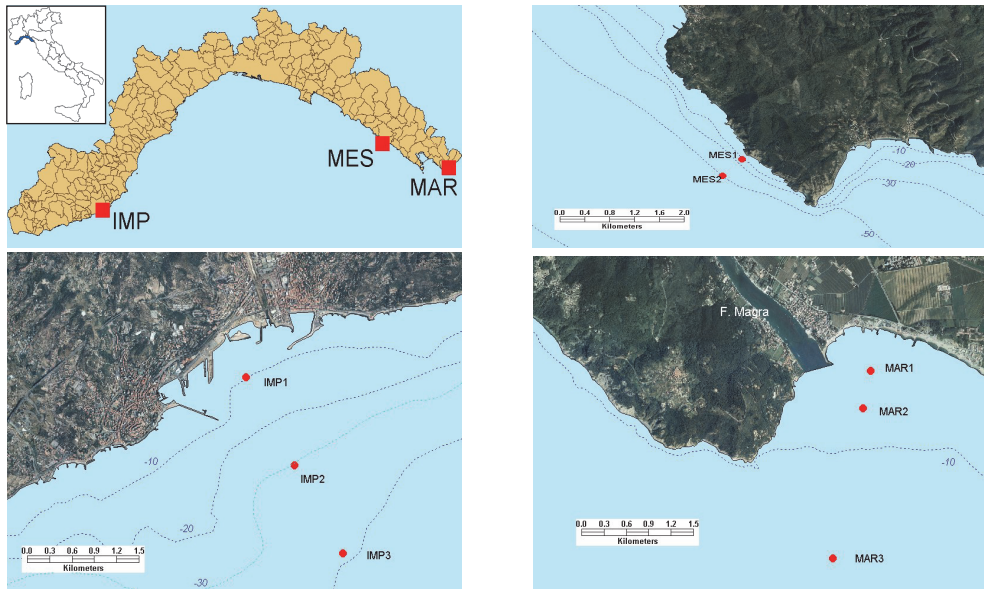


Figura 1 – Localizzazione delle aree di campionamento – *Sampling areas*

Tabella 1 - Caratteristiche delle stazioni di campionamento di ciascun transetto - *Typology of sampling stations*

Area	Codice stazione	Profondità fondale (m)	Distanza da costa (m)
Imperia	IMP1	8	100
	IMP2	30	1400
	IMP3	50	2700
Punta Mesco	MES1	23	100
	MES2	50	550
Marinella	MAR1	4	500
	MAR2	6	1000
	MAR3	14	3000

## Risultati

L'analisi della variazione temporale della temperatura e della salinità allo strato 0 – 1 m nelle tre aree mette in evidenza due situazioni ben distinte. Da una parte il transetto di Imperia ( $12,08 < T < 28,08$  °C,  $35,66 < s < 38,99$  psu) e il transetto di Punta Mesco ( $11,60 < T < 27,71$  °C,  $31,52 < s < 38,69$  psu). Dall'altra il transetto di Marinella ( $9,75 < T < 28,08$  °C,  $12,15 < s < 38,59$ ) che mostra una marcata diminuzione dei valori minimi, soprattutto di salinità (fig. 2).

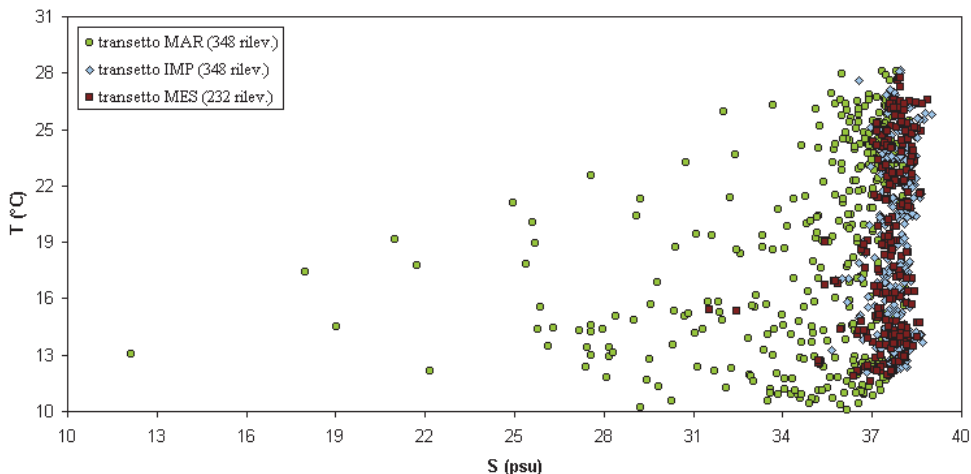


Figura 2 - Diagramma a dispersione T-s; rilevamenti superficiali  $-T$  vs  $s$ : *superficial surveys*.

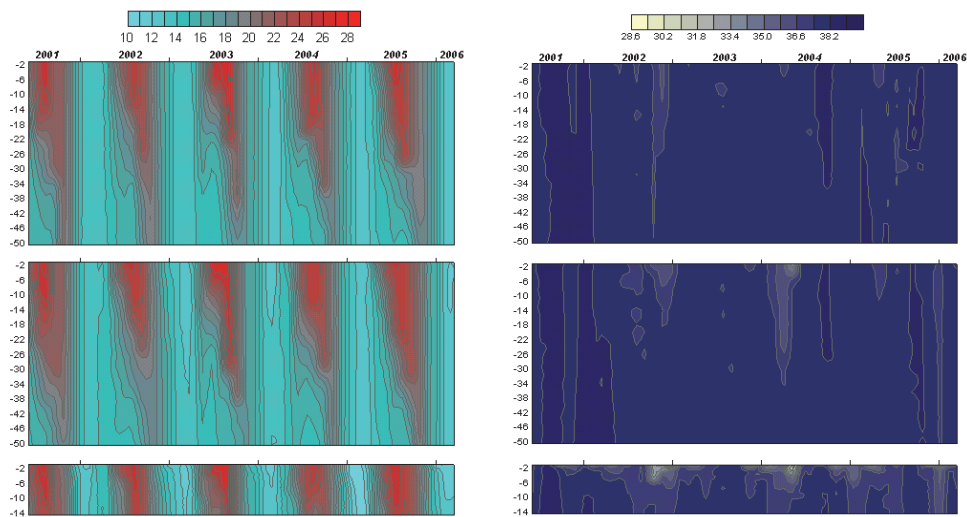


Figura 3 - Variazioni temporali di T (sinistra) e s (destra) nelle stazioni di largo (dall'alto in basso:IMP3,MES2,MAR3) - *Temporal variations of T (left) and s (right) in offshore stations*.

In fig. 3 sono riportate le variazioni di temperatura e salinità lungo la colonna d'acqua delle stazioni di largo; l'interpolazione è stata effettuata con il metodo del Kriging.

Il 2003 è risultato l'anno in cui sono state raggiunte le temperature maggiori e per un periodo di tempo consistente: a settembre sono state registrate  $T > 25$  °C fino ad una quota di -18 m ad IMP3 e fino a -25 m a MES 2, mentre a MAR3 si è avuta una  $T > 26$  °C

lungo tutto il profilo. Le Temperature più basse si sono registrate a MAR3 (9,47 °C a -14 m) contro 12,02 °C a IMP3 (-50 m) e 11,60 °C a MES2 (-0,5 m). Per quanto riguarda la salinità, ad Imperia si riscontrano poche variazioni (tra 34,92 e 39,99 psu). A MES si sono registrati valori massimi confrontabili con IMP (38,86 psu) ma minimi inferiori (31,52); in particolare si possono notare due periodi in cui tali minimi sono risultati concomitanti a quelli registrati a Marinella, sebbene in quest'area i valori siano più bassi (< 26,00 psu) e più frequenti. I dati di trasparenza (tab. 2) risentono della morfologia dei fondali: le stazioni con profondità confrontabili presentano dati molto simili (IMP2 e MES1; IMP3 e MES2; IMP1 e transetto MAR ). Medie e mediane sono maggiori a IMP1 mentre lungo il transetto MAR queste due grandezze non sono superiori a metà della colonna d'acqua.

Tabella 2 - Misure di trasparenza (fondo = disco di Secchi visibile appoggiato sul fondale) - *Transparency measurements ("fondo" = Secchi disk visible on sea bottom).*

	trasparenza (m)			
	<i>fondale</i>	range	media	mediana
<b>IMP1</b>	8,0	(2 - fondo)	6	7
<b>IMP2</b>	30,0	(4 - 25)	13	12
<b>IMP3</b>	50,0	(7 - 28)	15	15
<b>MES1</b>	23,0	(3 - 22)	12	12
<b>MES2</b>	50,0	(4 - 28)	13	13
<b>MAR1</b>	4,0	(1 - fondo)	2	2
<b>MAR2</b>	6,0	(1 - fondo)	3	3
<b>MAR3</b>	14,0	(1 - 11)	5	5

Tabella 3 - Concentrazioni di nutrienti (lr = min. lim. rilevabilità) - *Nutrients concentrations (lr=under detection limit)*

	NO2 (µM)			NO3 (µM)			NH3 (µM)		
	range	media	mediana	range	media	mediana	range	media	mediana
<b>IMP1</b>	(lr - 6,00)	0,34	0,29	(lr - 10,00)	0,29	0,29	(lr - 21,71)	0,53	0,07
<b>IMP2</b>	(lr - 0,71)	0,28	0,29	(lr - 9,21)	0,14	0,14	(lr - 22,86)	0,79	0,14
<b>IMP3</b>	(lr - 0,64)	0,27	0,25	(lr - 14,79)	0,21	0,21	(lr - 21,29)	0,62	0,14
<b>MES1</b>	(lr - 1,57)	0,30	0,29	(lr - 8,43)	0,18	0,18	(lr - 3,50)	0,34	0,14
<b>MES2</b>	(lr - 1,57)	0,29	0,29	(lr - 7,36)	0,14	0,14	(lr - 1,93)	0,32	0,14
<b>MAR1</b>	(lr - 1,64)	0,42	0,43	(lr - 36,50)	2,25	2,25	(lr - 14,07)	2,34	1,07
<b>MAR2</b>	(lr - 26,29)	0,64	0,43	(lr - 38,29)	3,40	3,40	(lr - 15,64)	3,03	1,57
<b>MAR3</b>	(lr - 13,21)	0,45	0,36	(lr - 34,07)	1,93	1,93	(lr - 10,79)	1,28	0,57

	PO4 (µM)			P tot (µM)			Si (µM)		
	range	media	mediana	range	media	mediana	range	media	mediana
<b>IMP1</b>	(lr - 7,58)	0,31	0,10	(lr - 7,61)	0,58	0,26	(0,18 - 21,00)	1,93	1,04
<b>IMP2</b>	(lr - 7,45)	0,23	0,10	(lr - 8,84)	0,47	0,26	(0,06 - 20,96)	1,64	0,86
<b>IMP3</b>	(lr - 1,81)	0,15	0,06	(lr - 3,42)	0,38	0,24	(0,06 - 182,43)	4,68	0,82
<b>MES1</b>	(lr - 8,13)	0,24	0,10	(lr - 11,74)	0,49	0,26	(0,07 - 15,43)	1,58	0,89
<b>MES2</b>	(lr - 5,61)	0,17	0,08	(lr - 8,71)	0,44	0,23	(0,07 - 21,07)	2,61	0,89
<b>MAR1</b>	(lr - 5,94)	0,28	0,16	(lr - 6,97)	0,59	0,34	(0,13 - 114,54)	17,70	8,21
<b>MAR2</b>	(lr - 2,81)	0,25	0,16	(lr - 3,48)	0,49	0,39	(0,05 - 92,86)	23,71	12,13
<b>MAR3</b>	(lr - 12,35)	0,33	0,10	(lr - 13,81)	0,61	0,32	(0,11 - 74,96)	11,06	4,55

In tabella 3 si riportano le statistiche relative alle concentrazioni di nutrienti. I valori medi maggiori (a parte i composti del fosforo) si riscontrano a MAR (soprattutto i silicati sono di un ordine di grandezza maggiore che altrove); questa tendenza è confermata



anche dalle mediane, superiori anche per PO<sub>4</sub> e P totale. Meno lineare è l'andamento dei valori massimi che, essendo legati ad episodi saltuari, mostrano maggiore variabilità.

Le medie dell'indice TRIX (fig. 4) sono confrontabili per i transetti di IMP e MES, sempre classificati come stato elevato, mentre MAR presenta valori che ricadono nella classe “buono”; i minimi sono stati riscontrati ovunque durante il IV anno di monitoraggio.

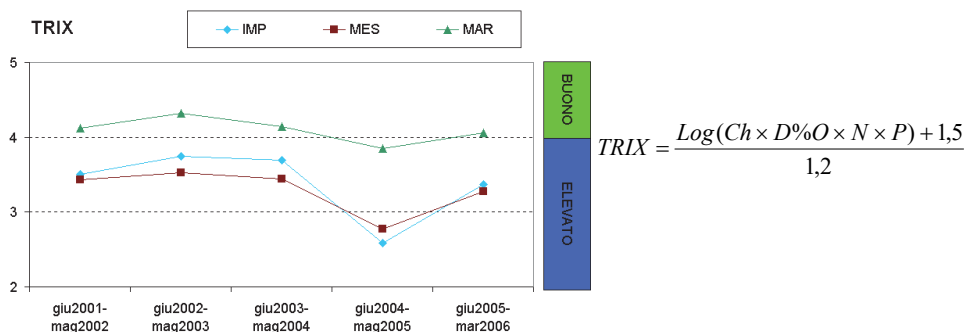


Figura 4 - Medie annuali<sup>3</sup> dell'indice TRIX - *Annual averages of trophic index TRIX*

## Discussione

Gli apporti terrigeni del fiume Magra si risentono lungo tutto il transetto di Marinella condizionandone sia la struttura della colonna d'acqua sia le concentrazioni di nutrienti disciolti. L'analisi dei dati superficiali di temperatura e salinità (fig. 2) evidenzia la sovrapposibilità delle distribuzioni per Imperia e Punta Mesco mentre Marinella si distacca nettamente presentando anche una dispersione molto elevata, soprattutto per quanto riguarda la salinità: l'apporto terrigeno comporta una marcata diminuzione dei valori minimi come riportato anche in studi passati [9]. Tali valori non sono usuali per le acque costiere liguri ma rientrano normalmente nelle zone estuarine [2]. Per quanto riguarda la struttura della colonna d'acqua (fig. 3), si è riscontrato, in modo omogeneo nelle tre aree, un trend di temperature che ha visto i suoi massimi nel 2003, come per altro riportato per tutto il bacino del Mediterraneo [11]. A partire dal 2003 è inoltre emersa una diminuzione del periodo di omogeneità "invernale" della colonna d'acqua, associata alla diminuzione dei valori minimi di temperatura. Questa tendenza non appare evidente nelle stazioni MAR in quanto tale area è nettamente discriminata dalle altre dagli apporti di acqua dolce, che si rilevano con continuità interessando circa 6 m della colonna d'acqua anche ad una distanza di 3 km da costa (fig. 2). Un input di acque fluviali significativo e sempre presente nel tempo viene evidenziato anche dall'analisi dei dati di trasparenza (tab. 2), che mostrano come nell'area di MAR, a parità di fondale con altri siti (IMP1), esista una cronica riduzione della trasparenza delle acque; tale dato è ancora più evidente se considerato unitamente alle concentrazioni di nutrienti del transetto (tab. 3), in particolar modo dei

<sup>3</sup> La media del quinto anno di monitoraggio è calcolata sui dati disponibili (10 mesi di attività)

silicati e dei nitrati, parametri che risentono più degli altri dell'apporto terrigeno. Per quanto riguarda i nitrati, sono state calcolate le differenze accoppiate tra le stazioni costiere IMP e MAR rispetto al "bianco" MES (IMP1-MES1 e MAR1-MES1); non trattandosi di distribuzioni normali, è stato applicato il test non parametrico di Wilcoxon per verificare l'ipotesi di uguaglianza delle due serie. Dai risultati emerge che MAR1 è fortemente differenziata da MES1 ( $p=0,000$ ), essendo caratterizzata da valori decisamente maggiori, come è evidente dall'istogramma riportato in figura 5; anche IMP1 risulta differenziata da MES1, ma con un minore livello di confidenza ( $p=0,048$ ). Effettuando lo stesso test con le serie MAR2-MAR1, si ottiene una differenziazione con un livello di confidenza maggiore ( $p=0,029$ ) rispetto a IMP1-MES1: si riscontra dunque una variabilità maggiore in uno stesso transetto fortemente influenzato da un apporto fluviale, rispetto a due stazioni appartenenti a corpi idrici diversi.

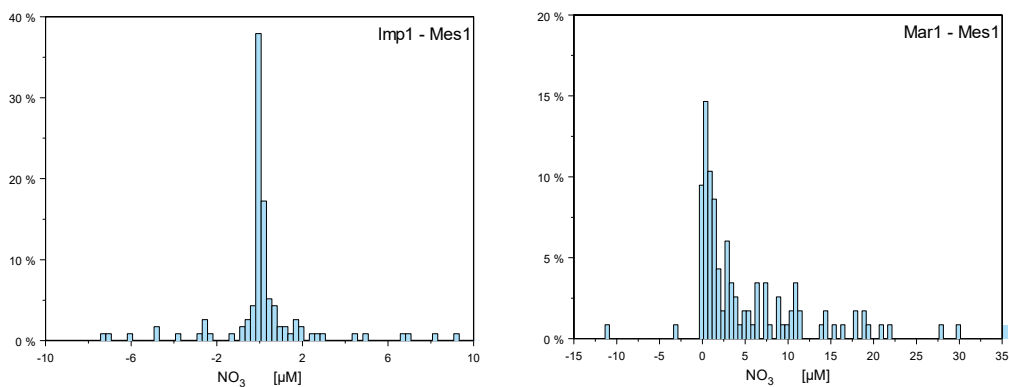


Figura 5 - Differenza delle c° di NO<sub>3</sub> tra le stazioni costiere - Istogrammi di frequenza - NO<sub>3</sub> concentration: differences between coastal station - Histograms of frequency

Secondo la classificazione con il TRIX (fig. 4) Marinella presenta difficilmente uno stato *elevato*. Essendo i nutrienti i fattori causali più rappresentativi per tale indice [2], sarebbe opportuno applicare un fattore correttivo per la classificazione di un'area fortemente influenzata da un corso d'acqua per cui gli standard di riferimento possano essere più elevati rispetto a zone a basso apporto terrigeno (Borja *et al.* [3]).

## Conclusioni

Dall'esame dei dati riportati risulta che la stazione di "bianco", non sembra un corpo idrico di riferimento rappresentativo per aree come quella di Marinella, fortemente influenzata da un apporto fluviale. Come definito nell'ambito dei gruppi di lavoro per l'implementazione della direttiva quadro sulle acque, la scelta delle condizioni di riferimento non può prescindere dall'individuazione delle tipologie costiere di appartenenza: mentre Imperia e Punta Mesco appartengono alla stessa tipologia costiera "costa rocciosa-fondale profondo", Marinella è

assegnata alla tipologia “costa sabbiosa–fondale basso”. Mentre può essere più semplice reperire corpi idrici di riferimento per la prima tipologia, risulta più complicato per tipologie caratterizzate da una presenza fluviale, dal momento che le zone di estuario sono normalmente anche densamente antropizzate. Dal momento che si ritiene preferibile individuare corpi idrici di riferimento realmente esistenti anziché definirne di virtuali, ad es. tramite dati storici [4], sarebbe opportuno poter individuare le condizioni di riferimento per i singoli elementi di qualità piuttosto che per un unico corpo idrico. La fissazione di condizioni di riferimento condivise è ancora un discorso aperto a livello europeo [5] ed è auspicabile che tale tematica sia recepita anche nella normativa nazionale (revisione del D.Lgs 152/06).

## Bibliografia

- [1] APAT – *Gli indicatori trofici per le acque marino costiere*. Rapporti 26/2002.
- [2] APAT – “*Metodologie per il rilevamento e la classificazione dello stato di qualità ecologico e chimico delle acque, con particolare riferimento all’applicazione del decreto legislativo 152/99*”. Relazioni finali (2005).
- [3] Borja A., Franco J., Valencia V., Bald J., Muxika I., Belzunce M.J., Solaun O. – *Implementation of the European water framework directive from the Basque country (northern Spain: a methodological approach*, Mar. Poll. Bull. (2004) 48, 209 - 218.
- [4] Casazza G., Silvestri C., Spada E. – *Implementation of the European Water Directive for coastal waters in the Mediterranean*, Proc. of the 6<sup>th</sup> Int. Conference on the Mediterranean Coastal Environment. MEDCOAST 03.
- [5] Casazza G., Lopez y Royo C., Spada E., Silvestri C. – *Science and Policy Integration: Ecological Classification of Mediterranean coastal waters*, Proc. of the 7<sup>th</sup> Int. Conference on the Mediterranean Coastal Environment. MEDCOAST 05.
- [6] *Decisione della Commissione Europea del 17/08/05*; G.U.C.E. L 243/1 del 19/09/2005.
- [7] *Direttiva 2000/60/CE del parlamento e europeo e del consiglio del 23/10/00*; G.U.C.E. L 327/1 del 22/12/00.
- [8] *D.Lgs 152/99*; Supplemento ordinario alla G.U. n. 246 del 20 ottobre 2000.
- [9] ENEA - *Sistema informativo e di monitoraggio marino costiero della provincia della Spezia*. (1999).
- [10] Ministero dell’Ambiente– *Programma di monitoraggio per il controllo dell’ambiente marino-costiero (2001-2003) Metodologie analitiche di riferimento*. ICRAM (2001).
- [11] Sparnocchia S., Schiano M.E., Picco P., Bozzano R., Cappelletti A. - *The anomalous warming of summer 2003 in the surface layer of the Central Ligurian Sea (Western Mediterranean)*, Ann. Geophys. (2006) 24, 443 - 452.
- [12] Vincent C., Heinrich H., Edwards A., Nygaard K., Haythornthwaite J. - *Guidance on typology, reference condition and classification systems for transitional and coastal waters*. (2002). Produced by: CIS Working Group 2.4 (Coast), European Commission.
- [13] Vollenweider R.A., Giovanardi F., Montanari G., Rinaldi A. – *Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a Trophic Scale, Turbidity and generalized Water Quality Index*, Environmetrics. (1998) 9, 329 - 357.

# DEFINIZIONE DELLO STATO DI QUALITÀ DELLE ACQUE DELLA LAGUNA DI VENEZIA MEDIANTE INDICI DI VALUTAZIONE MACROFITOBENTONICI

Daniele Curiel, Andrea Rismondo, Andrea Pierini, Daniele Mion  
SELC Soc Coop, Via dell'Elettricità 3d, 30175 Marghera-Venezia,  
Tel. 041 5384817, Fax. 041 5384757, e-mail: curiel@selc.it

**Riassunto** – Durante un programma di monitoraggi eseguito nella Laguna di Venezia, sono state condotte indagini sulle macroalghe e sulle fanerogame marine analizzando il fitobenthos di substrato molle e duro. Per caratterizzare lo stato di qualità delle acque della Laguna sono stati applicati gli indici EEI (Ecological Evaluation Index) e l'Indice Rhodophyta/Chlorophyta. L'indice EEI pone la Laguna di Venezia in una classe di qualità che varia da moderata (bacino di Treporti) a buona (bacini di Lido, Malamocco e Chioggia), con un giudizio complessivo buono mentre l'Indice Rhodophyta/Chlorophyta pone la Laguna e i quattro bacini nella classe di qualità moderata.

**Abstract** – *In the framework of a monitoring program of Venice Lagoon biological quality, macroalgae and marine seagrasses have been surveyed from 2002 to 2004. The investigation has been carried out by sampling phytobenthos in soft and hard substrate stations, with the aim to assess the quality status of the lagoon waters. EEI (Ecological Evaluation Index) and R/C Index (Rhodophyta/Chlorophyta Index) were applied. EEI suggests a quality level from moderate (Treporti basin) to good (Lido, Malamocco e Chioggia basins), but good on a general scale. The R/C Index meets a moderate quality level for the whole lagoon*

## Introduzione

Per rispondere alle richieste della EC Water Framework Directive (WFD) sulla qualità delle acque di transizione, la comunità scientifica ha in questi ultimi anni proposto alcuni indici di valutazione ambientale basati sulle comunità fito-zoobentoniche [1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14].

Le varie proposte derivano dal fatto che la WFD prevede diversi elementi di qualità per definire lo Stato Ecologico (es. macroalghe, zoobenthos, fitoplancton), ma non fornisce indicazioni sulla metodologia per giungere all'identificazione dei cinque livelli richiesti (elevato, buono, moderato, scarso, cattivo). Complessa appare l'individuazione di un indice biologico per gli ambienti di transizione, sia perché sono pochi i metodi sino ad ora proposti, sia perché con il termine "di transizione" sono comprese in Mediterraneo le Lagune di Venezia e di Grado-Marano, le Valli di Comacchio, le Lagune di Lesina e di Orbetello, cioè ambienti molto diversi tra loro. Inoltre, spesso gli indici proposti sono stati elaborati per le acque costiere e non specificatamente per le acque di transizione dove, oltre agli elementi biologici, hanno un ruolo determinante gli usi e le finalità economiche, le

differenze morfologiche e l'antropizzazione.

In questo lavoro sono stati valutati due indici che prendono in esame le comunità macrofite: l'Indice EEI (Ecological Evaluation Index) proposto da Orfanidis et al. [9] e l'Indice Rhodophyta/Chlorophyta (R/C) elaborato appositamente per la Laguna di Venezia [3, 8, 12] che ha anche una buona correlazione con i parametri chimico-fisici e trofici delle acque. I campionamenti sono avvenuti nel corso d'indagini eseguite per conto del Magistrato alle Acque attraverso il suo concessionario Consorzio Venezia Nuova [4].

## Materiali e metodi

I campionamenti delle comunità vegetali sono stati eseguiti sull'intera superficie lagunare (circa 31,000 ha) ad esclusione dei canali e delle aree vallive, tra i piani mesolitorale e infralitorale superiore sino a 2 m di profondità. Queste quote sono quelle maggiormente esposte agli effetti delle modifiche ambientali delle acque superficiali e segnalate per interesse anche nella Direttiva Habitat 92/43/EEC (Natura 2000 code 1170).

Nei substrati mobili sono state campionate 90 stazioni ognuna con 5 repliche casuali della superficie di 1,5 m<sup>2</sup>, mentre nelle 80 stazioni dei substrati duri è stata grattata una superficie rettangolare della larghezza di 0,20 m e dell'altezza di 1,00 m tra le quote di +0,20 m e -0,80 m rispetto al livello medio mare. In laboratorio è stata eseguita la determinazione delle specie e valutata l'abbondanza calcolando il ricoprimento specifico.

Per l'Indice EEI, sono state considerate le macroalghe e le fanerogame marine suddividendo le specie in due gruppi in relazione al loro Stato Ecologico (SE I - specie con strategie all'equilibrio, con talli perennanti e presenti negli stadi maturi delle successioni ecologiche; SE II - specie opportuniste, con talli annuali o a ciclo continuo). L'Indice R/C, trae spunto dal rapporto Rhodophyta/Phaeophyta (n. alghe rosse/n. alghe brune) riproposto recentemente da Giaccone e Catra [5] quale metodo di valutazione ambientale. Non essendo applicabile agli ambienti di transizione per la scarsa presenza o assenza delle Phaeophyta, è stato modificato quale rapporto Rhodophyta/Chlorophyta.

Il valore dei due indici è stato calcolato per ogni stazione riportando per EEI la sommatoria dei ricoprimenti dei due gruppi ecologici ad una matrice di riferimento (Figura 1), mentre per l'Indice R/C si è fatto riferimento ad una scala di valori tarata con indagini svolte in questa ultima decade lungo la fascia costiera, le aree di bocca di porto e della Laguna (Figura 1). Gli indici sono poi stati calcolati come valore complessivo per l'intera Laguna e separatamente per i 4 bacini. Per una lettura dei trend generali, i valori degli indici delle singole stazioni sono stati anche spazializzati utilizzando il software ESRI ArcGIS.

## Risultati

Nei campionamenti eseguiti sui substrati mobili sono stati identificati 117 taxa algali suddivisi in 63 Rhodophyta, 2 Chrysophyta, 25 Phaeophyta e 27 Chlorophyta. Oltre alle macroalghe, oggetto principale di questa indagine, nelle 90 stazioni esaminate sono stati rinvenuti anche taxa appartenenti alle Spermatophyta (fanerogame marine) quali *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson, *Nanozostera noltii* (Hornemann) Tomlinson et

Posluzny [= *Zostera noltii*] e *Zostera marina* Linnaeus. Nelle 80 stazioni di substrato duro sono stati rinvenuti 89 taxa algali suddivisi in 49 Rhodophyta, 1 Chrysophyta, 15 Phaeophyta e 24 Chlorophyta. Nel complesso dei due campionamenti sono stati rilevati in totale 124 taxa macroalgali, 66 Rhodophyta, 2 Chrysophyta, 27 Phaeophyta, 66 Rhodophyta e 3 fanerogame marine.

Nei substrati mobili (Tabella 1) gli indicatori strutturali presi in esame segnalano in media la presenza di 16,2 taxa per stazione, un ricoprimento del 2÷3% e una biomassa umida di 42 g m<sup>-2</sup>. La Dominanza Quantitativa, indica che solamente *Ulva laetevirens* Areschoug, *Vaucheria* sp.pl. e in parte *Chaetomorpha linum* (O.F. Müller) Kützing si presentano in quantità significative. Nei substrati duri (Tabella 2) sono stati rilevati in media 18,7 taxa per stazione con un ricoprimento medio delle macroalghe del 29 % che nel complesso è inferiore a quello della componente zoobentonica incrostante. L'abbondanza è data in prevalenza delle Chlorophyta del genere *Ulva laetevirens* ed *Ulva intestinalis* Linnaeus e dalle Rhodophyta del genere *Polysiphonia* sp.pl. e da *Rhodymenia ardissoni* J. Feldmann. Le Phaeophyta hanno valori di ricoprimento significativi solamente in alcune stazioni con *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar, *Dictyota dichotoma* (Hudson) J.V. Lamouroux var. *intricata* (C. Agardh) Greville e *Fucus virsoides* J. Agardh.

In relazione all'Indice EEI (Tabella 3 e Figura 2), le macrofite rinvenute nei substrati mobili (117 macroalghe e 3 fanerogame marine) sono state ripartite nel numero di 110 nello SE II e 10 nello SE I. Sulla base della sommatoria della copertura totale delle specie dei due stati ecologici, per ogni stazione è stata determinata la relativa classe di qualità (moderato, buono, ecc.). Nel complesso delle 170 stazioni di campionamento nessuna ricade nella classe cattiva, 13 nella classe scarsa, 134 nella classe moderata, 12 nella classe buona e 11 nella classe elevata. La maggior parte delle stazioni rientra nella classe moderata essendo il ricoprimento totale delle specie appartenenti alla tipologia SE I (specie perennanti e stabili) quasi sempre inferiore all'intervallo 0÷30 %, mentre quello delle specie appartenenti al SE II (specie opportunistiche e annuali) risulta spesso compreso nell'intervallo 0÷30 % per la scarsa copertura delle specie "infestanti". Solo in presenza di fanerogame marine, la sommatoria dei ricoprimenti delle specie SE I raggiunge l'intervallo 30÷60 % o quello superiore, portando l'indice ad un livello buono o elevato.

Per la determinazione dell'indice R/C (Tabella 3 e Figura 3) sono state prese in esame le macroalghe appartenenti alle Divisioni Rhodophyta e Chlorophyta: 90 per i substrati mobili (27 Chlorophyta e 63 Rhodophyta) e 73 per i substrati duri (24 Chlorophyta e 49 Rhodophyta). Nel complesso delle 170 stazioni di campionamento 10 appartengono alla classe cattiva, 51 alla classe scarsa, 63 alla classe moderata, 26 alla classe buona, 11 nella classe elevata e 2 risultano prive di valore. La maggior parte delle stazioni si pongono quindi nella classe scarsa e moderata essendo il valore del rapporto compreso tra 0,5 e 1,5.

Tabella 1 - Parametri strutturali di sintesi rilevati nei substrati mobili  
*Tabella 1 - Structural parameters of synthesis noticed in the soft substrata*

	LAGUNA	Bacino Treporti	Bacino Lido	Bacino Malamocco	Bacino Chioggia
N. taxa totale	117	42	39	44	31
N. taxa medio/stazione	16,2	9,7	13,5	18,7	20,9
Ricoprimento % medio/stazione	3	1	3	14	3
Biomassa umida media (g/m <sup>2</sup> )/stazione	42,2	8,3	35,7	57,9	58,6
Indice diversità medio (Shannon)	1,02	0,66	1,00	1,06	1,33

Tabella 2 - Principali parametri strutturali di sintesi rilevati nei substrati duri  
*Tabella 2 - Structural parameters of synthesis noticed in the hard substrata*

	LAGUNA	Bacino Treporti	Bacino Lido	Bacino Malamocco	Bacino Chioggia
N. taxa totale	89	61	60	68	51
N. taxa medio/stazione	18,7	18,5	17,3	20,9	17,0
Ricoprimento % medio/stazione	19	15	24	26	7
Biomassa umida media (g/m <sup>2</sup> )/stazione	280,6	200,8	424,9	336,2	88,9
Indice diversità medio (Shannon)	1,86	1,97	1,78	1,91	1,70

Tabella 3 – Valori degli Indici EEI e R/C per l'intera Laguna e per i quattro bacini  
*Tabella 3 – EEI and R/C values for the whole Lagoon and for the four basins*

	LAGUNA	Bacino Treporti	Bacino Lido	Bacino Malamocco	Bacino Chioggia
Ecological Evaluation Index (EEI)	Buono	Moderato	Buono	Buono	Buono
Indice Rhodophyta/Chlorophyta (R/C)	Moderato	Moderato	Moderato	Moderato	Moderato

## Discussione

Il confronto con lavori di altri ambienti estuariali indica che la Laguna di Venezia ha una composizione macroalgale ricca e diversificata. Un aggiornamento della flora macroalgale della Laguna segnalata negli ultimi 20-30 dei substrati duri e molli rileva che sono presenti oltre 270 taxa [13].

I due indici presi in esame forniscono una raffigurazione della Laguna di Venezia in accordo con i recenti studi fatti sulle macroalghe dei substrati mobili e duri nei quali si osservano due principali gradienti, uno diretto da sud verso nord e uno dai litorali verso la gronda lagunare, lungo i quali si verifica una graduale riduzione della biodiversità [4]. I settori lagunari posti tra le bocche di Chioggia e di Malamocco sono quelli con la maggior diversità e la maggiore complessità nella struttura della comunità. I settori lagunari posti nei bacini di Lido e di Treporti hanno, nel complesso, una comunità più semplificata nel numero di specie o nella struttura. Questa differenziazione è dovuta all'estrema varietà di habitat presenti in questi settori della laguna (aree di bordo canale, bassifondi, velme, paludi, chiari, gengive, aree vallive) e differenti situazioni morfologiche (tipologia dei

sedimenti, batimetria, idrodinamismo e caratteristiche chimico-fisiche delle acque). Inoltre, ad eccezione di alcune stazioni di gronda, anche gli indici biologici confermano che non sono presenti condizioni ambientali fortemente critiche che danno luogo a proliferazioni macroalgali ed anossie.

Gli indici R/C e EEI apparentemente forniscono un giudizio complessivo della laguna differente in quanto l'Indice R/C include la laguna nella classe moderata mentre l'Indice EEI la pone nella classe buona. Rispetto ad una soglia di riferimento Restoration-Sustainability, l'Indice EEI individua un maggior numero di stazioni sotto la soglia della sostenibilità (86 %) rispetto a quella dell'Indice R/C che ne individua il 72 %. Anche a livello di bacini i due indici forniscono un giudizio diverso in quanto solo il bacino di Treporti rientra per ambedue gli indici nella classe moderata. Per gli altri tre bacini (Lido, Malamocco e Chioggia), l'Indice EEI li pone nelle classi buona mentre per l'Indice R/C nelle classi moderata. La valutazione inferiore dell'Indice R/C deriva dal fatto che, addentrandosi della laguna verso le zone marginali, le alghe appartenenti alle Chlorophyta che sono nella maggior parte ubiquiste e ad ampia diffusione rimangono costanti in numero, mentre le Rhodophyta, ecologicamente più esigenti, si riducono in numero per la maggiore trofia e torbidità dell'acqua.

L'Indice R/C, anche se più severo nel giudizio, dà però una raffigurazione della Laguna più vicina alle analisi ecologiche fatte valutando il numero di taxa, gli indici di diversità o la cluster analysis. Presenta inoltre una maggiore capacità di discriminare le aree, riuscendo ad evidenziare due gradienti. L'Indice EEI fornisce invece una raffigurazione più uniforme dei vari ambiti lagunari, assegnando alle stazioni prevalentemente la classe moderata, cioè intermedia per la scarsa presenza o l'assenza soprattutto nelle aree interne della laguna delle macroalghe tipiche di crisi distrofiche e riconducibili allo SE II (es. le Ulvales). Infatti, rispetto ai decenni precedenti [3], limitate risultano la copertura e la biomassa delle specie che davano luogo alle proliferazioni algali. La Dominanza Quantitativa, è attualmente data solamente da *Ulva laetevirens*, *Vaucheria* sp.pl. e *Chaetomorpha linum*.

I due indici concordano inoltre nell'assegnare lo stato ecologico più elevato al settore lagunare compreso tra le bocche di Malamocco e di Chioggia dove sono presenti oltre l'80% delle praterie a fanerogame marine della laguna [10]. Un accurato confronto sul giudizio espresso da questi due indici (buono-moderato), che tiene conto anche della posizione in cui i valori numerici si collocano all'interno delle singole classi di qualità evidenzia che la diversa valutazione è in realtà più apparente che reale. Infatti, nella classe moderata dell'Indice R/C il valore numerico si pone in una posizione intermedia mentre, nella classe buona dell'Indice EEI il valore numerico si pone al limite inferiore della classe, tra le classi moderata-buona.

## Conclusioni

I due indici macroalgali danno una raffigurazione della Laguna di Venezia in accordo con le valutazioni ecologiche basate sul numero di specie, abbondanza, cluster analysis; essi concordano inoltre nell'assegnare un giudizio complessivo relativamente simile, che appare differenziato solamente per la presenza di classi di valutazione discrete. Ambedue gli indici individuano uno stato di qualità superiore nei due bacini meridionali



rispetto a quelli settentrionali, caratterizzati da una maggiore antropizzazione e minore differenziazione morfologica. L'Indice R/C denota però una maggiore capacità di discriminare le differenti condizioni ecologiche, evidenziando anche la presenza di un gradiente, dai litorali alla gronda lagunare, inteso alla riduzione della biodiversità.

Questi due indici sono un primo passo verso le richieste della WFD, ma hanno in parte il difetto di includere nel loro giudizio di Stato Ecologico anche le variazioni indotte dal naturale confinamento delle lagune (salinità, idrodinamismo). Procedendo dalle bocche verso la gronda, il gradiente di confinamento naturale esprime una riduzione della diversità biologica, alterando in parte il giudizio degli indici. Come anche riporta la WFD, il giudizio di qualità finale dovrebbe però derivare da un confronto tra quanto rilevato e una condizione di riferimento (Reference Condition). Negli ambienti di transizione, soprattutto se estesi come quelli della Laguna di Venezia, la condizione di riferimento cui raffrontare la comunità bentonica non è unica, ma diversa a seconda delle zone (zone di bocca di porto, bassifondi, velme, paludi, zone di gronda) rendendo più complessa l'analisi comparata e la definizione del reale stato di qualità del corpo idrico.

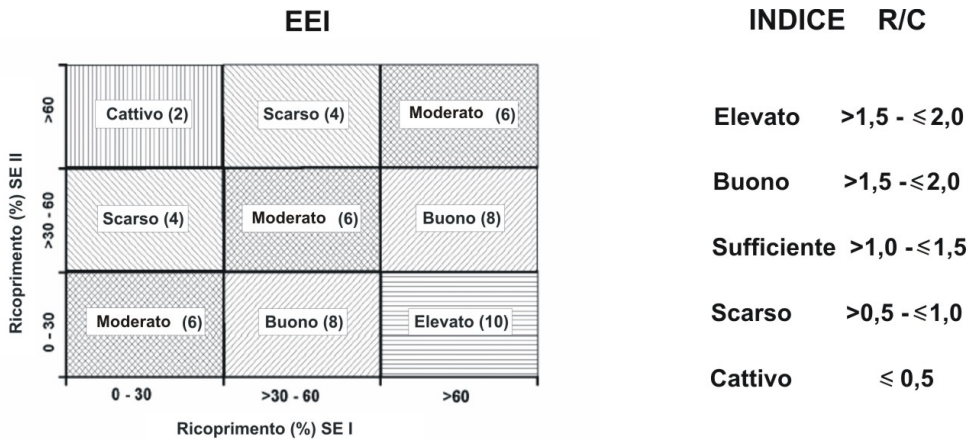


Figura 1 – Matrice proposta da Orfanidis et al., [9] per la valutazione dell'indice EEI e intervalli delle classi per l'indice Rhodophyta/Chlorophyta.

Figura 1 – Matrix proposed by Orfanidis et al., [9] for the evaluation of the EEI and of the classes for the Rhodophyta/Chlorophyta Index.

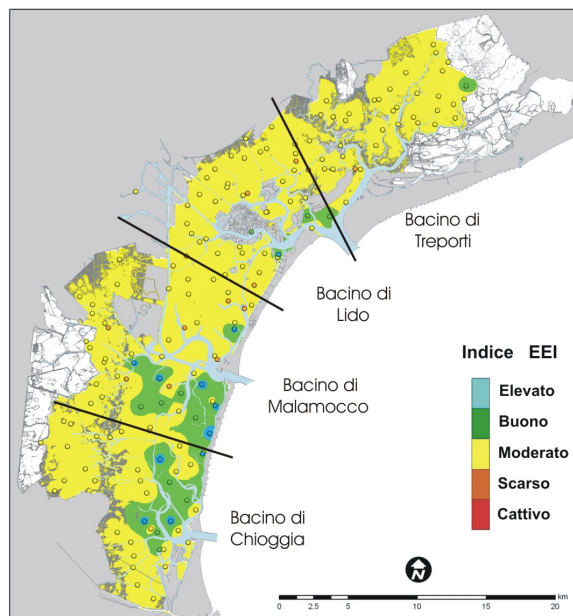


Figura 2 – EEI: valori puntuali e trend generale per la Laguna (ESRI ArcGIS).  
 Figura 2 - EEI: station values and general trends for the Lagoon (ESRI ArcGIS).

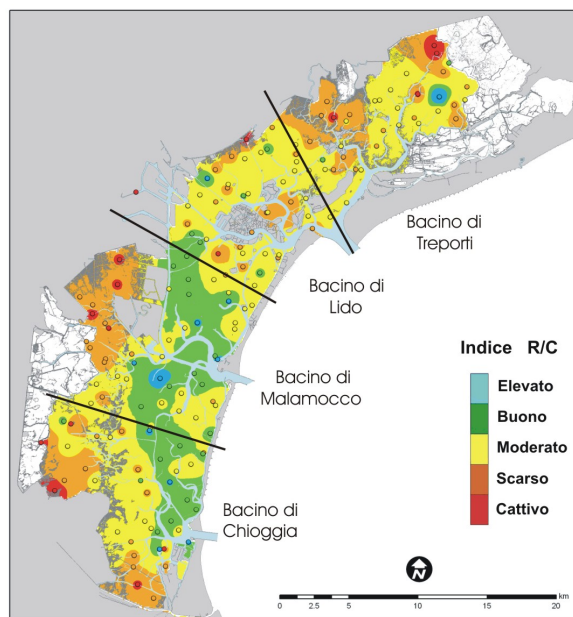


Figura 3 – R/C: valori puntuali e trend generale per la Laguna (ESRI ArcGIS).  
 Figura 3 – R/C: station values and general trends for the Lagoon (ESRI ArcGIS).

## Bibliografia

- [1] Borja A., Franco J., Perez V. - *A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom within european estuarine and coastal environments*. Mar. Pollut. Bull. (2000) 40 (12), 1100-1114.
- [2] Breber P., Cilenti L., Pagliani T., Savino B., Spada A., Strada R., Scirocco T. - *La valutazione della qualità ambientale delle lagune*. Ambiente (2001) 6, 42-46.
- [3] Curiel D., Scattolin M., Gentilin S., Marzocchi M. - *Le macroalghe dei substrati duri delle isole della Laguna di Venezia*. Lav. Soc. Ven. Sc. Nat. (2004) 29, 47-57.
- [4] Curiel D., Rismondo A., Dri C., Miotti C., Checchin E., Gentilin S., Marzocchi M. - *Indici di valutazione ambientale della Laguna di Venezia basati sulle comunità fitobentoniche*. Informatore Botanico Italiano (2005) 37(1), 568-569.
- [5] Giaccone G., Catra M. - *Rassegna sugli indici di valutazione ambientale con macroalghe pere definire lo stato ecologico delle acque costiere del Mediterraneo*. SIBM – Atti del seminario “La direttiva sulle acque 2000/60/CE: quali indicatori biologici?” (2004) 11(1), 57-67.
- [6] Izzo G., Signorini A. - *Sviluppo di un metodo generale per la valutazione della qualità ecologica di un ecosistema lagunare*. Atti XI Convegno S.It.E (Sabaudia), Settembre 2001, 12-14.
- [7] Marchini A., Occhipinti A. A. - *La comunità macrobentonica della Sacca di Goro (Adriatico settentrionale) analizzata tramite un modello a logica fuzzy*. Atti Ass. It. Ocean. Limnol. (2004) 17, 71-80.
- [8] Marzocchi M., Curiel D., Scattolin M. - *Variazioni del fitobenthos di substrato duro della Laguna di Venezia tra il mare e la terraferma*. Boll. Mus. civ. St. nat. Venezia (2003) 54, 5-17.
- [9] Orfanidis S., Panayotidis P., Stamatis N. – *An insight to the ecological evaluation index (EEI)*. Ecol. Indic. (2003) 3, 27-33.
- [10] Rismondo A., Curiel D., Scarton F., Mion D., Caniglia G. - *A New Seagrass Map for the Venice Lagoon. Sixth Conference on the Mediterranean Coastal Environment*. MEADCOAST 7-11 October, Ravenna, Italy 2003, 2: 843-852.
- [11] Simboura N., Zenetos A. - *Benthic indicators to use in Ecological Quality classification of mediterranean soft bottom marine ecosystem, including a new Biotic Coefficient*. Med. Mar. Sci. (2002) 3-2, 77-112.
- [12] Sfriso A., La Rocca B., Godini E. - *Inventario di taxa macroalgali in tre aree della laguna di Venezia a differente livello di trofia*. Lav. Soc. Ven. Sc. Nat. (2002) 27, 85-99.
- [13] Sfriso A., Curiel D. - *Check list of the macroalgae recorded in the Lagoon of Venice since the early '80s. Comparison with the previous studies*. ECSA 41st International Conference “Measuring and managing changes in estuaries and lagoons” - Venice, 15-20 October 2006 (in press).
- [14] Torras X., Pinedo S., Garcia M., Mangialajo L., Ballesteros E. - *Assessment of coastal environmental quality based on littoral community cartography: methodological approach*. Proceedings of Second Mediterranean Symposium on Marine Vegetation. Reports. 12-13 December Athens, 2003. UNEP/MAP/RAC/SPA.

# ANALISI INTEGRATE PER LA DEFINIZIONE DELLA QUALITÀ DEGLI AMBIENTI DI TRANSIZIONE

Alessandro Sarretta<sup>1</sup>, Stefano Guerzoni<sup>1</sup>, Davide Tagliapietra<sup>1</sup>, Veronica Zanon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Istituto di Scienze Marine, CNR Castello 1364/A, 30122 Venezia

041 2404735, Fax. 041 5204126, e-mail: [alessandro.sarretta@ismar.cnr.it](mailto:alessandro.sarretta@ismar.cnr.it)

**Riassunto** – Nell’ambito delle attività del progetto speciale “Osservatorio Naturalistico della Laguna” il Comune di Venezia, in collaborazione con ISMAR-CNR e altre istituzioni scientifiche veneziane, ha raccolto e validato i dati di studi e monitoraggi svolti negli ultimi anni, sia nella laguna che nel bacino scolante.

Il data-base ha prodotto una cartografia descrittiva che ha analizzato il clima, la geologia, l'idrologia della laguna, la sua flora e fauna, l'azione dell'uomo sul territorio (inquinamento, trasformazioni territoriali, ecc.) insieme agli ambiti di tutela. Verranno descritti i metodi e i risultati di una suddivisione della laguna in aree omogenee utilizzando dati geomorfologici, idrodinamici e di salinità. L’integrazione dei diversi tematismi ha quindi permesso di evidenziare alcuni “tipologie” di habitat costieri utilizzabili per scopi applicativi diversi, come: (i) valutazione ambientale strategica; (ii) valutazioni di incidenza per i siti della rete Natura 2000; e (iii) applicazione della Direttiva Europea sulle Acque (WFD 2000/60).

***Abstract** – The Lagoon of Venice is a multifaceted and complex ecosystem. Studying it requires integration of data and contributions from various disciplines, supplied by several research institutes. The Natural Sciences Observatory (NSO) of the Lagoon, a special project promoted by the Venice City Council, was established to collect and organise the resulting information and make it available for consultation and use by both scientific institutions and the public. To achieve this aim, the NSO has prepared an “Atlante della Laguna” (Atlas of the Lagoon), a visual-aids instrument, simple to use by technicians, administrators and the public. The on-line Atlas will be the most up-to-date database about environmental information on the geosphere, biosphere and anthroposphere. The comparison of different tables allowed to produce specific integrated analyses useful for different purposes, as: (i) strategic environmental assessment; (ii) assessment of plans/projects significantly affecting Natura 2000 sites, (ii) landscape and urban planning support; and (iv) Water Framework Directive (2000/60) application.*

## Introduzione

Il numero di enti che studiano la Laguna di Venezia è considerevole: istituti di ricerca come il Consiglio Nazionale delle Ricerche, le Università di Venezia e Padova, pubbliche amministrazioni come il Comune di Venezia, la Provincia di Venezia, la Regione Veneto, lo storico Magistrato alle Acque, e – non da ultimi – gli Enti concessionari per le opere pubbliche come il Consorzio Venezia Nuova. A questi si aggiungono istituzioni

internazionali come l'UNESCO e le molte altre università italiane e straniere che la studiano in maniera meno sistematica. Questo fa della Laguna di Venezia uno degli ambienti più studiati al mondo. Nonostante ciò, molte delle interessantissime elaborazioni rimangono nei circuiti di chi le ha prodotte, generando una sorta di “laguna dei dati sommersi”.

Il modello concettuale<sup>1</sup> che “precede” la stesura delle carte e dei tematismi è ancorato a tre capisaldi di riferimento:

- (i) l'approccio integrato tra ambiente terrestre e marino, che a livello mondiale ha trovato elaborazione in termini scientifici e sintetici nell'acronimo LOICZ (Land Ocean Interaction in the Coastal Zone, interazione terra-mare nella fascia costiera)<sup>2</sup>;
- (ii) la gestione integrata delle zone costiere (GIZC), così come è stata ridefinita per il Mediterraneo<sup>3</sup>;
- (iii) la proposta di riconoscimento della laguna di Venezia come sito Ramsar<sup>4</sup>, ancora in via di approvazione.

La realizzazione dell'Atlante è stata dettata dall'interesse che gli studi sistematici portati avanti da decine di studiosi sulla Laguna di Venezia potessero trovare una sintesi e una chiave di lettura omogenea. Tale interesse si riflette anche nella necessità di creare una piattaforma comune di informazioni condivise e pubblicamente accessibili, che possa costituire il punto di partenza per ogni discussione in materia di ambiente in laguna.

L'occasione è stata l'istituzione dell'Osservatorio Naturalistico della Laguna: struttura creata intorno al 2002 dalla Giunta comunale di Venezia, un progetto speciale proposto dall'assessorato all'Ambiente a cui contribuirono altri quattro assessorati: Legge Speciale, Pubblica Istruzione, Urbanistica e Cultura (Museo Civico di Storia Naturale).

## Materiali e Metodi

### La struttura dell'Atlante

Il corpus dell'Atlante è costituito dalle tavole e dalle schede descrittive che le accompagnano. Ogni carta tematica è affiancata da una o più schede esplicative, con testo illustrativo di approfondimento, grafici, foto. Ogni carta documenta la fonte, il tipo di elaborazione dei dati e ogni altra informazione utile riguardo la sua stesura.

L'uso di scale e cartografia omogenee è stato uno dei criteri guida: la maggior parte delle carte è rappresentata alla scala 1:150000, in modo da rappresentare l'intera

---

<sup>1</sup> F. Farinelli, 2004, p. 77-82

<sup>2</sup> LOICZ II Inaugural Open Science Meeting, “*Coasts and Coastal People-Scenarios of Change and Response*”, 27-29 June, Egmond aan Zee, Netherlands.

<sup>3</sup> CAMPNET Resolution VIII.4 on Integrated Coastal Zone Management (ICZM). Valencia, Spain, 18-26 November 2002.

<sup>4</sup> La Convenzione di Ramsar (firmata a Ramsar in Iran il 2 febbraio 1971), ad oggi sottoscritta da più di un centinaio di paesi e con oltre 900 *Zone Umide* individuate nel mondo, rappresenta il primo trattato internazionale moderno per la tutela delle *Zone Umide*, sostenendo i principi dello sviluppo sostenibile e della conservazione delle biodiversità.

laguna a piena pagina. Alcune mappe sono alla scala 1:300000 e 1:600000 per un inquadramento territoriale o per confronti temporali. L'indicazione chiara del numero di stazioni utilizzate e del metodo di interpolazione, i crediti degli autori e una scheda esplicativa breve completano la struttura dell'opera.

Si possono distinguere tre principali tipi di mappe:

- a) carte descrittive: sono il maggior numero degli elaborati, definibili come carte "di base" e sono state concepite con l'intento di fornire un quadro documentale il più possibile completo dell'ambiente lagunare (morfologia, mappatura delle specie vegetali e animali presenti, ecc.);
- b) carte di pianificazione e di valutazione: riportano l'analisi dei vincoli, le pianificazioni vigenti, gli strumenti di tutela ambientale in vigore sul territorio lagunare (es. SIC e ZPS, aree blu, concessioni di pesca, vincolo paesaggistico, ecc.);
- c) carte di analisi integrate: sono in numero volutamente minore, costituiscono esempi di come le informazioni contenute nei primi due tipi cartografici possano costituire la base di partenza per la realizzazione di nuove elaborazioni.

## Il GIS

Le mappe riportate sono state ottenute utilizzando il software ArcGis 8.3 e 9, munito dell'estensione specifica "Geostatistical Analyst" per le elaborazioni con il metodo kriging. Le mappe prodotte attraverso l'interpolazione di dati puntuali sono state ottenute utilizzando il metodo IDW (Inverse Distance Weighted) come tecnica di interpolazione matematica, e il metodo "ordinary kriging" come tecnica di interpolazione geostatistica. Il metodo IDW fornisce una previsione dei valori delle variabili nei punti non campionati, ipotizzando che la vicinanza dei valori misurati in due punti sia inversamente proporzionale alla distanza spaziale tra loro. Il modello che quasi sempre ha approssimato in modo migliore la distribuzione dei punti dei semivariogrammi dei vari parametri chimici è stato quello esponenziale.

## **Risultati**

### Batimetria e granulometrie

Lo studio della batimetria lagunare si è basato sull'analisi e l'elaborazione dei dati, forniti al Servizio Informativo del Magistrato alle Acque di Venezia, derivanti da tre campagne batimetriche (1970, 1990, 2000). Dal confronto delle mappe batimetriche dei tre periodi (vedi es. di batimetria del 2000 in Figura 1) si sono ottenute mappe delle differenze batimetriche, molto utili per evidenziare le aree con livelli diversi di sedimentazione ed erosione e quelle di stabilità (Figura 2).

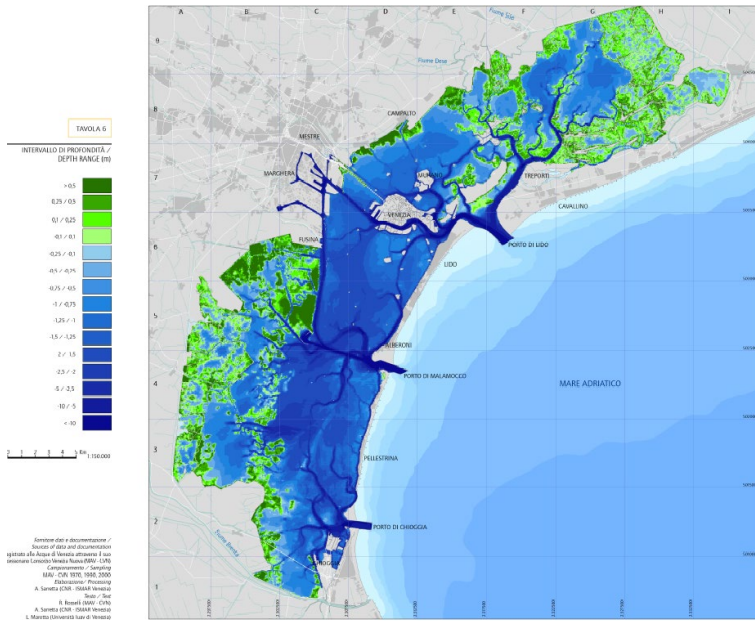


Figura 1 – Mappa della batimetria dell'anno 2000.

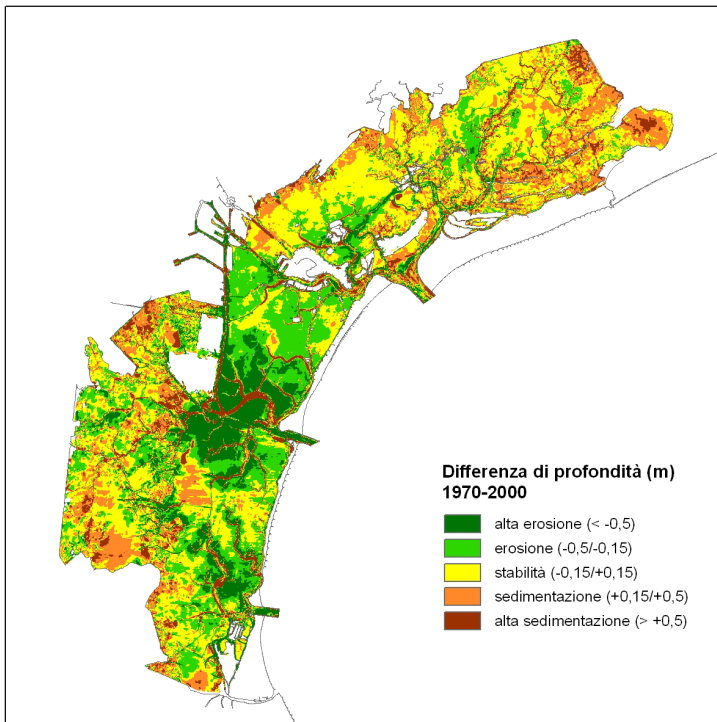


Figura 2 – Mappa delle differenze batimetriche tra il 1970 e il 2000.

Dalla Figura 2 risulta evidente la differenza tra la parte centro-sud della laguna, in evidente erosione, e quella settentrionale molto più stabile e in parziale sedimentazione.

L'elaborazione e il confronto incrociato dei dati attraverso strumenti GIS ha permesso lo studio delle relazioni presenti tra determinate caratteristiche nei sedimenti e la corrispondente batimetria, nonché tra i fenomeni di erosione e sedimentazione e variazioni nei parametri che descrivono i sedimenti.

E' stata quindi elaborata una metodologia semplice ed efficace per la classificazione automatica delle tipologie dei sedimenti (Sarretta et al., in stampa) attenendosi alla classificazione proposta da Shepard (1954) (Figura 3).

Si è quindi visto che le profondità medie in aree caratterizzate dalla medesima tipologia sedimentaria tendono ad aumentare con l'aumentare delle dimensioni dei granuli (Figura 4), evidenza contraria a quanto accade in piattaforma continentale. Infatti in laguna i fattori che influenzano l'energia al fondo e la granulometria dei sedimenti sono molto più complessi e meno lineari che in mare aperto.

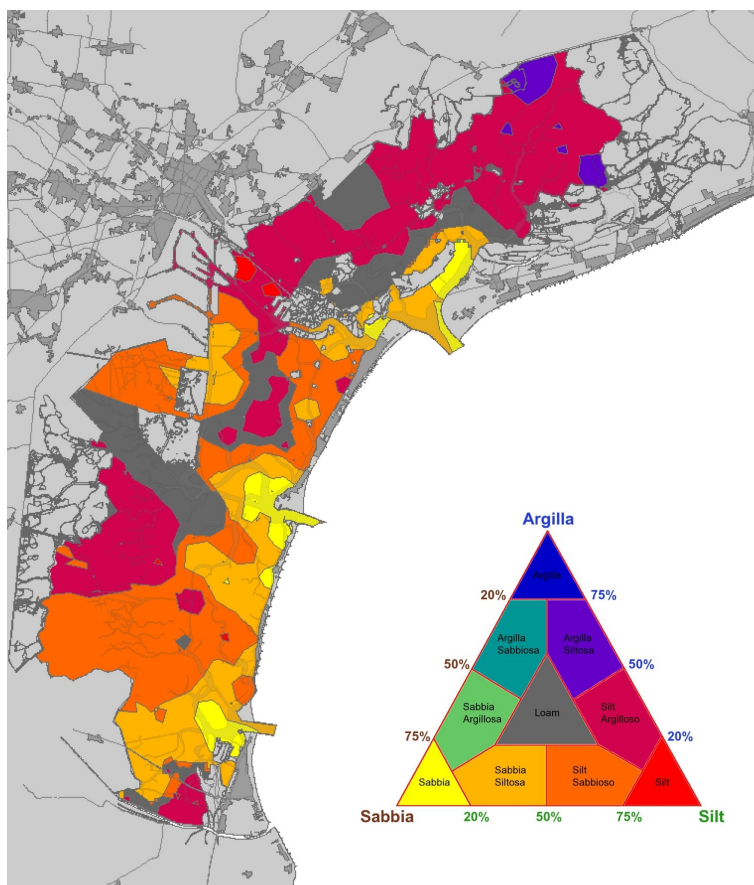


Figura 3 – Mappa delle tipologie di sedimento secondo Shepard (dati 1970).



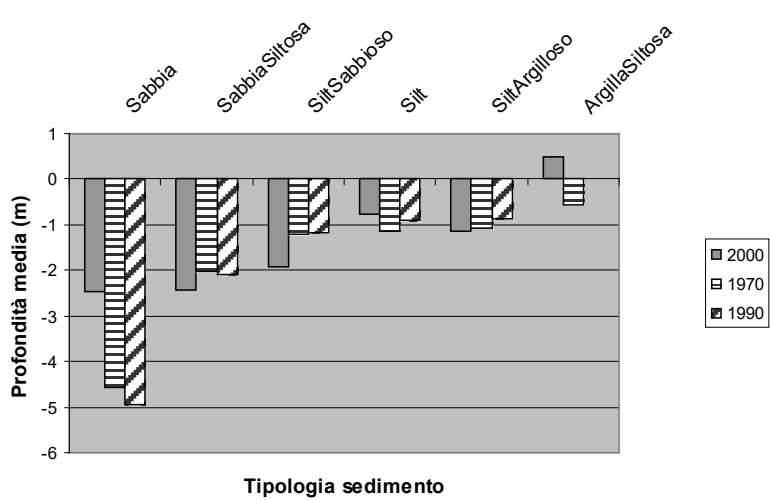


Figura 4 – Variazione nel tempo della profondità media per tipologia di sedimento.

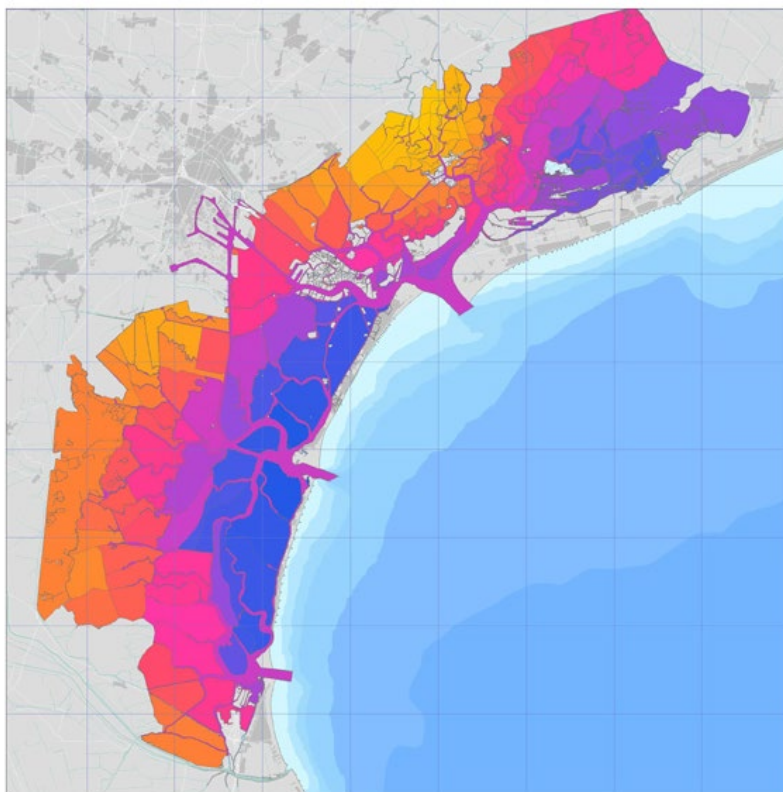


Figura 5 – Mappa del confinamento, risultato dell'analisi geostatistica.

### Le analisi integrate

La carta delle *patch* è stata realizzata sovrapponendo la morfologia con la salinità, la dimensione dei granuli di sedimenti con la carta del tempo di transito (Figura 5). La carta delle *patch* corrisponde in questo caso alla carta dei geotopi e rappresenta il confinamento all'interno della laguna di Venezia, che risulta suddivisa in tre zone .

Per la laguna di Venezia l'approccio dell'ecologia del paesaggio ha una grande potenzialità per le analisi, le valutazioni e la pianificazione ambientale, poiché permette di valutare quanto siano profondi i cambiamenti tra l'ecotopo e l'uso del suolo, valutarne quindi le perdite di funzioni e strutture, definire i piani necessari per recuperare i valori ecologici perduti e proteggere quelli presenti.

## **Conclusioni**

La laguna di Venezia è un ambiente molto complesso nel quale l'applicazione delle direttive europee e nazionali può essere facilitata dall'uso integrato di mappe tematiche. Ad esempio, la Direttiva 2000/60 richiede che vengano fissate le condizioni idromorfologiche e fisico-chimiche tipiche per gli standard di qualità ambientale (All. 2, 1.3), per la progettazione del monitoraggio di sorveglianza (All. V, 1.3.1) e per la selezione dei siti (All. V, 1.3.2). Infine la suddivisione della laguna di Venezia in sub-aree omogenee, cioè zone lagunari presenti in punti diversi della laguna ma appartenenti alla stessa classe, sono da considerarsi 'corpi d'acqua' (water bodies) confrontabili per i parametri abiotici. Questo aspetto è una delle raccomandazioni della Direttiva per descrivere con accuratezza lo stato di qualità e confrontarlo con gli obiettivi di qualità<sup>5</sup>.

## **Bibliografia**

- [1] European Community - *Directive of the European Parliament and of the Council 2000/60/EC, Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy*. (2000).
- [2] Farinelli F. – *Sui tipi non cartografabili*. In *Italia – Atlante dei tipi geografici*. (2004) Istituto Geografico Militare, Firenze.
- [3] Shepard F.K. - *Nomenclature based on sand-silt-clay ratios*. *Journal of Sedimentary Research*, (1954) 24: 151-158.
- [4] Sarretta A., M. Masiol, E. Molinaroli (in press) - *Development of map algebra algorithms for mapping grain-size distribution of sediments*. *Earth Surface Processes and Landforms*.

---

<sup>5</sup> "... the identification of water bodies is, first and foremost, based on geographical and hydrological determinants. The main purpose of identifying "water bodies" is to enable the status to be accurately described and compared to environmental objectives...." COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (2000/60/EC) Guidance Document No 2 Identification of Water Bodies.



# VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE NELL'AREA TOSCANA ATTRAVERSO L'UTILIZZO INTEGRATO DI MISURE, OSSERVAZIONI REMOTE E MODELLISTICA DEI PROCESSI BIOGEOCHIMICI: APPLICAZIONE ALLA PESCA

Alberto Ortolani<sup>1</sup>, Carlo Brandini<sup>1</sup>, Roberto Costantini<sup>1</sup>, Graziano Giuliani<sup>1</sup>,  
Fabio Maselli<sup>1</sup>, Carolina Santini<sup>2</sup>, Cecilia Silvestri<sup>3</sup>

<sup>1</sup>CNR – Istituto di Biometeorologia Sede di Firenze, Laboratorio LaMMA,  
Via Madonna del Piano, 10 – 50019 Sesto Fiorentino (FI), Tel. 055 44830 48, Fax. 055 444083,  
e-mail: ortolani@lamma.rete.toscana.it

<sup>2</sup>Fondazione per il Clima e la Sostenibilità, Firenze.

<sup>3</sup>Cypraea p.s.c.a.r.l., Roma.

**Riassunto** – Un sistema prototipale di osservazione e modellizzazione di parametri marini di interesse per la pesca è stato sviluppato nell'ambito del progetto “MoMa – Acqua come strumento di lavoro” cofinanziato dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali e dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio. L'obiettivo era quello di sviluppare e valutare le componenti necessarie ad un sistema per la previsione della quantità e della qualità del pescato in tre aree test, prima fra tutte la Toscana. Osservazioni satellitari e *in situ*, modelli oceanografici e biogeochimici sono stati impiegati per conoscere i parametri ambientali costieri, potenzialmente critici in primo luogo per la produttività ittica, ma in prospettiva anche per le caratteristiche di qualità. Sono state infine operate alcune analisi di correlazione fra i dati ambientali ed i valori di pescato che mostrano le possibili applicazioni di un tale sistema per la conoscenza delle potenzialità produttive delle aree costiere. Il progetto nel suo complesso ha operato inoltre analisi di laboratorio sul pescato per la valutazione diretta dei parametri di qualità (alimentari e quindi anche ambientali); tale componente non verrà comunque dettagliata nel presente lavoro.

**Abstract** – *In the framework of the project “MoMa – Water as working tool”, a prototype system has been developed for retrieving and modelling marine parameters of interest for fishery. The project was co-founded by the Italian Ministry for Agriculture and Forestry policies and Ministry for the Protection of Environment and Territory. The objective was the development and testing of a system aimed at forecasting amount and quality of fish, in three test sites, Tuscany as first. Satellite and in-situ observations, ocean and bio-geo-chemical models have been used in order to retrieve coastal environmental parameters, candidate to be critical for fishery, firstly for the amount of catches, but in perspective also for fish quality characteristics. Finally, correlation analyses were carried out between environmental data and fishery results and they show the possible applications of such a system in the knowledge of productivity capability of coastal areas. The project made also laboratory analyses on fish samples, for a direct evaluation of (fish and thus environment) quality properties, but this part is not threaten in the present work.*

## Introduzione

Lo sviluppo di un sistema per la valutazione della qualità delle acque (parametri chimici e biotici, sedimenti sospesi, ecc.) è motivato dalla crescente richiesta di dati ambientali per molteplici applicazioni, quali lo studio del trasporto o *drift* superficiale di flottanti (particelle sospese, oli inquinanti, ecc.), oppure lo studio delle catene alimentari che stanno alla base dei cicli di riproduzione dei pesci o delle biomasse algali.

La conoscenza delle caratteristiche dinamiche dell'ambiente marino costiero è alla base della gestione ottimale delle coste, che ha un valore sia in prospettiva ecologica sia produttiva, essendo turismo e pesca risorse economiche vitali per i nostri territori.

La pesca è un'attività che si basa sul prelievo di risorse naturali e collettive e che necessita quindi di un controllo e di una gestione finalizzata a garantire la tutela delle risorse. Per la gestione della pesca è importante considerare la capacità portante ambientale, definibile come il numero di catture che una certa area può sopportare senza risentire di impatti significativi sulle risorse. Per una gestione sostenibile della risorsa ittica non bisogna considerare solo le attività di prelievo e cattura, ma anche le variazioni dell'ecosistema marino dovute alle attività antropiche e alle dinamiche naturali della disponibilità di nutrienti, che possono influenzare le relazioni trofiche all'interno dell'ecosistema, fino a modificare la composizione e l'abbondanza delle specie presenti.

La produttività ittica, quindi, dipende da diversi fattori, tra cui il prelievo della risorsa da parte dell'uomo ed i processi fisici, chimici e biologici. Capire come i fattori ambientali influiscono sulla risorsa ittica permette di gestire meglio le pressioni sugli *stock*. La variabilità dei processi oceanografici lungo la fascia costiera può spiegare la variabilità delle catture del pescato. Diversi sono gli studi sulle correlazioni tra le variabili chimico-fisiche e i cambiamenti a lungo termine degli ecosistemi; limitati sono invece gli studi sui meccanismi di risposta a breve termine.

In quest'ottica, il progetto ha voluto utilizzare un approccio innovativo, attraverso l'utilizzo di osservazioni satellitari e di simulazioni modellistiche per evidenziare le relazioni tra le forzanti ambientali e la produttività ittica con risposta a breve termine.

## Metodologia

L'idea alla base del progetto era quella di sviluppare alcune componenti prototipali su aree test e di indagarne le relazioni. Tali componenti si possono schematizzare in:

- componente osservativa, basata su dati satellitari ricalibrati con misure *in situ*, per avere misure omogenee e sufficientemente continue nello spazio e nel tempo;
- componente modellistica, nelle quali simulazioni con modelli marini (sia per la parte idrodinamica sia per quella biogeochimica) sono state realizzate a partire da dati globali e dalle osservazioni satellitari, per la ricostruzione dei profili dei parametri osservabili da satellite e di quelli non osservabili ma potenzialmente critici nello sviluppo delle specie ittiche;
- misure di pescato, basate sulle quantità sbarcate nelle aree test e su campagne specificatamente realizzate dal progetto;

- analisi di qualità operate in laboratorio su campioni di pescato nelle aree test, per la misura del potenziale accumulo di inquinanti (sia in prospettiva alimentare sia come indicatore ambientale).

Tre sono state le aree test (Figura 1) che corrispondono approssimativamente alle aree costiere toscana, nord adriatica (Veneto ed Emilia) e pugliese. Il periodo di analisi ha riguardato l'arco temporale 2001-2005. A questo fa eccezione la componente modellistica sviluppata solo per l'area toscana per l'anno 2005. Anche l'analisi di qualità sul pescato ha riguardato il solo anno 2005, ma non approfondiremo tale componente in questo lavoro.

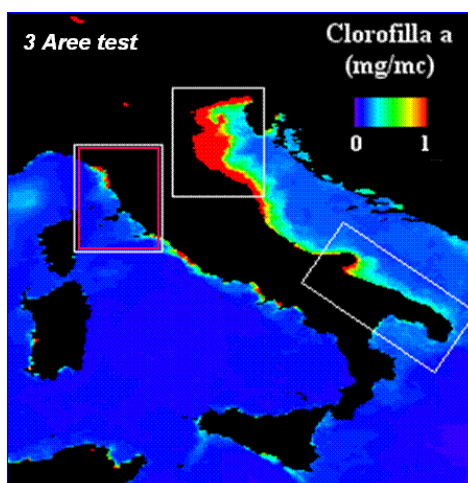


Figura 1 – Aree test (l'immagine è di clorofilla-a da satellite non localmente ricalibrata).  
*Test areas (image of satellite chlorophyll-a non locally re-calibrated).*

Le specie di pesce considerate sono state due, acciuga e triglia, non solo per la loro importanza economica, ma per i diversi cicli biologici e i diversi *habitat*, che ne fanno specie rappresentative di condizioni in qualche modo “complementari”.

Fra i parametri ambientali osservabili da satellite, sono stati elaborati clorofilla-a e temperatura superficiale del mare (SST). La clorofilla è infatti correlata all'abbondanza del fitoplancton dal quale dipende l'abbondanza dello zooplancton, alimento quest'ultimo di molte specie ittiche. La temperatura, può invece influenzare la popolazione ittica sia direttamente, sulle condizioni di crescita, sulla sopravvivenza larvale ecc., sia indirettamente, potendo determinare la stratificazione della colonna d'acqua e quindi una riduzione dell'*upwelling* di nutrienti.

La componente modellistica si è invece concentrata sulla ricostruzione dei profili di temperatura del mare a partire dai valori superficiali e sul calcolo di vari parametri fisici, chimici e biologici, come prima indagine sulle potenzialità di tale strumento nella conoscenza delle condizioni ambientali che influiscono sui cicli vitali, ma in prospettiva anche sull'accumulo di sostanze eventualmene tossiche, in specie di interesse economico.

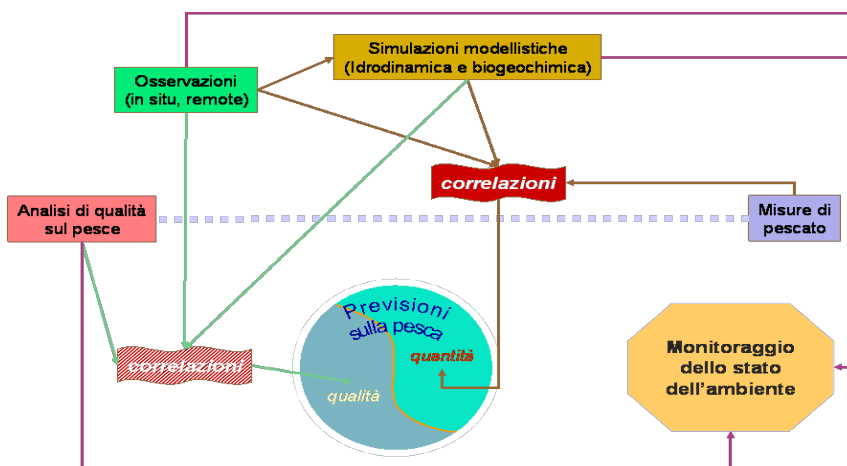


Figura 2 – Schema delle relazioni fra le componenti del progetto MoMa. - *Scheme of the component links in the MoMa project.*

La ricerca di correlazioni fra tali componenti (Figura 2) aveva come obiettivo la realizzazione di un sistema sia per la conoscenza approfondita delle condizioni ambientali sia per la previsione delle potenziali quantità e qualità di pescato reperibili dal territorio.

I limiti di tempo e risorse del progetto non hanno consentito lo sviluppo dell'analisi di correlazioni funzionali alla qualità del pescato. Per le restanti parti sono stati prodotti alcuni risultati interessanti, che vanno comunque considerati preliminari e quindi oggetto di approfondimenti in analisi future.

## Componente osservativa

La disponibilità di ampie serie temporali e la solidità degli algoritmi di elaborazione sono stati due criteri fondamentali nella scelta dei dati satellitari da utilizzare per ricavare mappe di clorofilla e SST.

Per la clorofilla si è partiti da prodotti Aqua MODIS di livello 2, ossia elaborazioni con l'algoritmo OC3M, distribuite dalla NASA [1]. Per ricalibrare l'algoritmo di stima della clorofilla-a sono state utilizzate misure da campionamenti ARPA, per l'intervallo di tempo 2001-2004, in vari punti all'interno delle aree test. Le correlazioni fra valori da satellite e misure *in situ* sono risultate generalmente elevate, ma l'algoritmo OC3M sovrastima molto la clorofilla nei nostri mari (per vari motivi quali limiti intrinseci, calibrazioni effettuate altrove, presenza talvolta di grandi quantità di sedimenti non correttamente interpretata) ed i coefficienti di ricalibrazione da applicare sono variati da circa 0.2 (per il nord Adriatico) a circa 0.5 (per le altre aree). In Figura 3 è riportato un diagramma di dispersione fra valori misurati *in situ* e stime satellitari (non ricalibrate) per la Toscana.

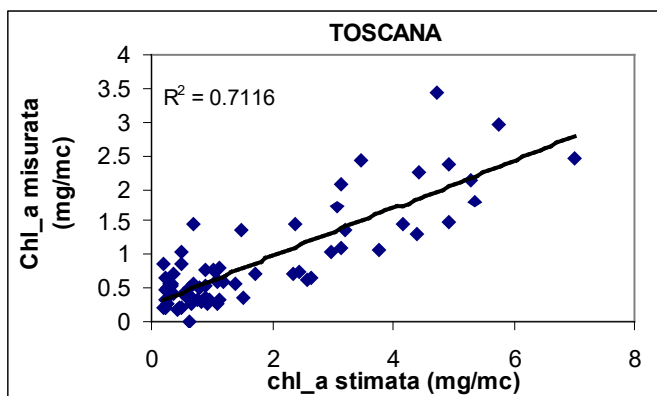


Figura 3 – Diagramma di dispersione i valori di clorofilla misurati *in situ* e quelli satellitari corrispondenti, per la Toscana. - *Scatter plot of in-situ chlorophyll measurements vs. satellite ones for Tuscany.*

Per la SST sono stati utilizzati prodotti NOAA AVHRR elaborati con algoritmo *split-window*, avendo presente che i valori ottenuti si riferiscono alla temperatura di sottosuperficie, che può presentare dinamiche anche diurne molto maggiori di quella misurata ad esempio da boe oceanografiche (a profondità maggiori di mezzo metro).

L'utilizzo di tali osservazioni satellitari ha garantito anche risoluzioni spaziali consistenti con la precisione delle misure di pescato. A livello temporale in questo lavoro siamo partiti da medie mensili, che risultano sufficientemente accurate allo scopo.

## Componente modellistica

Per le simulazioni oceanografiche è stato utilizzato il modello ROMS (Marine Rutgers University) [2]. Le simulazioni hanno prodotto campi 3D di correnti, temperatura e salinità e sono state realizzate con due livelli di *nesting*, il primo per l'area nord tirrenica e ligure ed il secondo per la sola zona costiera toscana, rispettivamente a 4 e 1.5 km di risoluzione orizzontale e 20 livelli verticali, con dati MFSTEP per condizioni al contorno, SST da satellite e forzanti atmosferiche prodotte da simulazioni col modello WRF, inizializzato con dati globali GFS.

In ROMS è presente un modulo biogeochimico basato sul modello teorico di Fasham [3], che considera come nutriente il solo azoto. A livello esplorativo sono state realizzate anche mappe di elementi chimici e nutrienti utilizzando la catena rappresentata in Figura 4, dove sono state integrate le informazioni satellitari. In Figura 5 è riportato un esempio di mappa di zooplancton, parametro che direttamente entra nella catena alimentare di molte specie ittiche.

Ciò che si è osservato è che la corretta stima delle condizioni iniziali e al contorno dei nutrienti può portare a stime previsionali essenzialmente corrette per la distribuzione spaziale di fondamentali parametri biotici, quali fitoplancton e zooplancton.



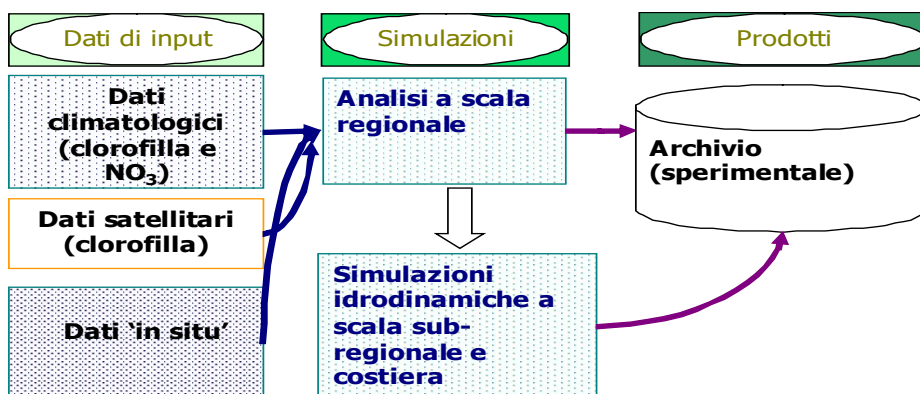


Figura 4 – Catena di modelli per le simulazioni del modello di Fasham (biogeochimico) integrato nel modello idrodinamico ROMS. - *Model chain for the Fasham (bio-geo-chemical) model run integrated in ROMS.*

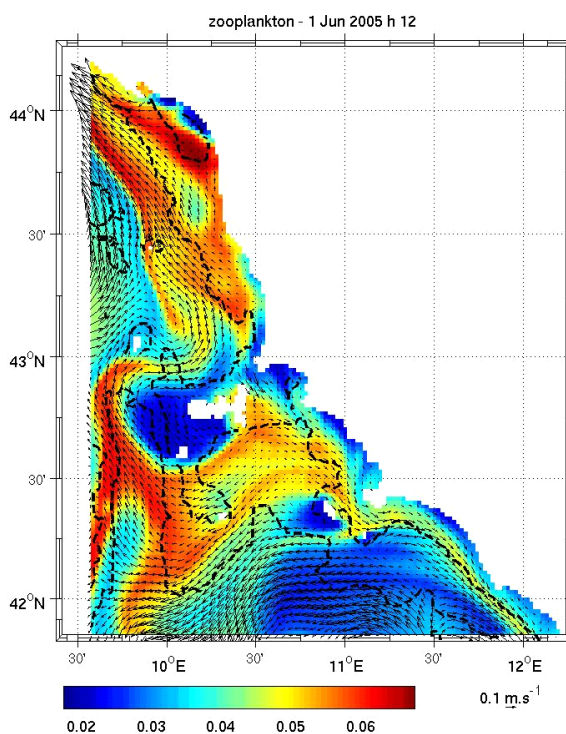


Figura 5 – Esempio di prodotto del modello biogeochimico: mappa di zooplancton per la costa toscana. - *Example of output for the bio-geo-chemical model: zooplankton map for the coastal area of Tuscany.*

## Dati di pescato ed analisi di correlazione

I principali dati di pescato analizzati sono quelli medi mensili dei quantitativi di sbarcato per le specie *Engraulis encrasicolus* (acciuga) e *Mullus barbatus* (triglia di fango). L'analisi statistica è stata effettuata applicando un modello misto di misure ripetute (*mixed model*), che tiene conto della dipendenza reciproca delle osservazioni. La scelta del metodo è dovuta al fatto che i dati sono osservazioni di una stessa unità (l'area di studio) in tempi diversi, quindi correlate a causa della comune area di riferimento. Il modello è stato applicato per studiare l'effetto ritardato (a vari intervalli) della concentrazione di clorofilla sulle acciughe e di temperatura sulle triglie, in considerazione dei diversi cicli di vita e *habitat*, rispettivamente breve e di superficie per l'acciuga, più lungo e di fondo per la triglia.

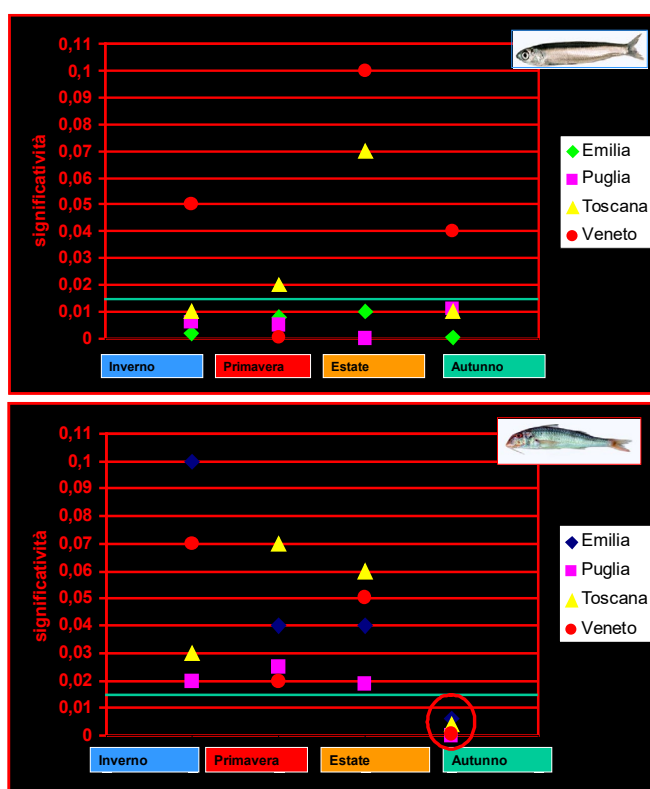


Figura 6 – Significatività stagionale per le correlazioni fra pescato e parametri ambientali. In alto correlazione fra acciughe e clorofilla-a con ritardo di 12 mesi. In basso correlazione fra triglie e SST con ritardo di 3 mesi. I valori sotto 0.01 sono altamente significativi. *Seasonal significance for correlation between fishery and environmental parameters. On the top, correlation between anchovies and chlorophyll-a, with lag-time of 12 months. On the bottom, correlation between mullets and SST, with lag-time of 3 months. Values below 0.01 are highly significant.*

Per l'acciuga le correlazioni più significative si sono ottenute con la clorofilla dell'anno precedente, con variabilità stagionale a seconda delle regioni (Figura 6 in alto). Tali differenze si possono spiegare considerando il diverso apporto dei fiumi principali nelle varie regioni, come sorgente di nutrienti, nei periodi di massima portata.

Per la triglia le correlazioni più significative si sono riscontrate con tre mesi di *lag-time*, fra le temperature estive e lo sbarcato autunnale (Figura 6 in basso), spiegabile nella relazione diretta fra reclutamento della specie e temperature nel periodo di massimo accrescimento.

## Conclusioni

La complessità degli obiettivi del progetto MoMa implicano tempi di sviluppo e validazioni su set di dati certamente più ampi di quelli impiegati. I risultati che possiamo individuare sono preliminari, ma comunque significativi soprattutto in prospettiva futura.

Le variabilità spaziali e temporali di clorofilla e SST osservate possono essere correlate alla variabilità del pescato anche in un'ottica di previsione. Tali variabilità si evidenziano con campionamenti come quelli forniti oggi dai satelliti, utilizzando necessariamente calibrazioni locali a partire da misure *in situ*.

I dati satellitari sono anche indispensabili per l'integrazione con la modellistica oceanografica, la quale può dare un contributo fondamentale, ancora in buona parte da esplorare, a questo tipo di analisi, perché permette la ricostruzione di grandezze non direttamente osservabili, su tutta la massa d'acqua e a varie scale.

Il sistema sviluppato, per quanto prototipale, risponde comunque alla necessità di informazioni complesse per il proseguimento di ricerche nel settore e per le possibili applicazioni operative correlate alla pesca e, in generale, alla qualità delle acque marine e costiere del Mediterraneo.

## Ringraziamenti

Ringraziamo il personale di Terranova Web Systems, del CIRSPE e di Umara Dimora per il supporto fornito durante tutta la fase di svolgimento del lavoro.

## Bibliografia

- [1] Clark D.K., (1997) - *MODIS ATBD for Bio-Optical Algorithms-Case 1 Waters* - NOAA-NESS Washington, Ver. 1.2, 50 p.
- [2] Ezer, T., H.G. Arango and A.F. Shchepetkin - *Developments in terrain-following ocean models: intercomparisons of numerical aspects* -. Ocean Modelling (2002), 4, 249-267.
- [3] Fasham, M.J.R., Ducklow, H.W. , McKelvie S.M. - A nitrogen-based model of plankton dynamics in the oceanic mixed layer. *Journal of Marine Research* (1990), 48, 591-639.

# CLASSIFICAZIONE DELLA VEGETAZIONE SOMMERSA DELLA LAGUNA DI VENEZIA TRAMITE DATI IPERSPETTRALI DA AEREO E DA SATELLITE

Luigi Alberotanza<sup>1</sup>, Ivan Barbaro<sup>1</sup>, Federica Braga<sup>1</sup>, Rosa Maria Cavalli<sup>2</sup>, Stefano Pignatti<sup>3</sup>, Stefania Salviato<sup>1</sup>, Federico Santini<sup>2</sup>, Angelo Zandonella<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CNR–Istituto di Scienze Marine, San Polo 1364, 30125 Venezia Tel. 0415216842,

<sup>2</sup>CNR–Istituto Inquinamento Atmosferico LARA, Roma

<sup>3</sup>CNR–Istituto Metodologie Analisi Ambientali, Potenza

**Riassunto** – Nel 2001 sono state condotte diverse campagne d'acquisizione di dati con sensori iperspettrali sia remoti che in situ finalizzate alla mappatura della vegetazione sommersa della laguna di Venezia. Le campagne di misura in situ sono state condotte con uno spettroradiometro portatile FieldSpec (350 ÷ 2500 nm) e con la camera spettrale SpectraScan PR-750 (380 ÷ 780 nm), mentre i dati remoti sono stati acquisiti sia con il sensore MIVIS aerotrasportato che con il sensore HYPERION della missione EO-1 su piattaforma satellitare. Sia i dati in situ che i dati remoti sono stati opportunamente pre-processati per ottenere un data set congruente espresso in valori di riflettanza. Le indagini periodiche in situ sono state utilizzate per la definizione di aree di training sulle immagini su cui addestrare gli algoritmi di classificazione. Le risposte spettrali così derivate sono state utilizzate per produrre della vegetazione sommersa dai dati remoti. L'algoritmo applicato, Subpixel Spectral Analytical Process, assume che lo spettro di un pixel singolo è composto da una frazione di materiale di interesse e da una frazione di background.

In termini di riconoscimento della vegetazione sommersa le mappe tematiche prodotte presentano un buon accordo con le verità al suolo anche se le due tipologie di dati iperspettrali offrono una diversa affidabilità nel riconoscimento ed identificazione delle diverse specie. Un'analisi comparativa dei vari prodotti in funzione della risoluzione spaziale e spettrale del sensore è presentata.

*Abstract - Since 2001 some spectral data acquisition campaigns were conducted by means of remote sensing hyperspectral (HYPERION and MIVIS) and field sensors aimed at mapping the submerged vegetation of Venice Lagoon. The field measurements were acquired by means of the two spectroradiometers. A significant pre-processing work was carried out both on field and remote sensing data in order to have an homogeneous data set. The periodical field surveys were used for defining training areas based on images to be referred to the classification algorithms. The spectral responses thus derived were exploited to produce maps related to submerged vegetation starting from the remote data. The algorithm applied, the Subpixel Spectral Analytical Process Method, assumes that every pixel contains a fraction of the material of interest, and the remainder contains the background. In terms of recognition of the submerged vegetation, the produced thematic maps show a good agreement with the ground truths provide a different possibility to*

*recognize and identify the various species. A comparative analysis of the several outputs is presented as function of different spectral and spatial resolution images.*

## **Introduzione**

Il monitoraggio della vegetazione sommersa costituisce un aspetto funzionale al controllo dei processi eutrofici che possono avvenire nelle acque interne, nelle acque di transizione ed in quelle costiere. In particolare la vegetazione sommersa della laguna di Venezia costituisce un bio-indicatore molto sensibile alle situazioni di stress ambientale che possono richiedere un intervento da parte delle autorità preposte al controllo dell'ambiente. Variazioni rilevanti della vegetazione sommersa, infatti, possono sottointendere a emergenze ambientali quali:

- fioriture algali, fra cui quelle potenzialmente tossiche;
- crescita anomala della vegetazione sommersa;
- gli scarichi inquinanti;
- gli sversamenti accidentali d'idrocarburi.

In particolare in un ambiente lagunare come quello di Venezia, lo studio della vegetazione sommersa è di particolare importanza perché: rappresenta un bio-indicatore relativo alla generale salute dell'ambiente lagunare (es. eutrofizzazione, qualità acqua), ha delle forti implicazioni sulla morfologia del fondale e, quindi, sulla dinamica delle correnti; consente un miglior utilizzo delle specie che hanno un valore economico.

Per questi motivi, le autorità locali hanno pianificato periodiche mappature delle coperture della vegetazione sommersa durante i diversi stati fenologici della vegetazione che viene realizzata con mezzi convenzionali (osservazioni in situ) e tramite l'interpretazione di foto aeree. Le carte tematiche così prodotte sono utilizzate per localizzare le aree del fondale in disequilibrio su cui eseguire i ripopolamenti di fanerogame e per programmare l'attività di rimozione selettiva delle macro alghe bentoniche.

Nel corso del tempo, sia sensori satellitari, che multispettrali e LIDAR da aereo, sono stati utilizzati per migliorare ed automatizzare il riconoscimento delle specie sommerse. In particolare MSS ed il dato Landsat TM sono stati usati in procedure di classificazione automatica (definizione di rapporti tra bande fino all'utilizzo di reti neurali) della vegetazione sommersa [1]. L'utilizzo dei dati remoti ha consentito di riconoscere in automatico l'insieme della copertura della vegetazione sommersa (biomassa), identificando talvolta le grandi estensioni d'Ulva rigida che nel corso dell'anno può essere estremamente diffusa, ma non a discriminare tra le varie specie presenti in laguna. Le principali cause di questi modesti risultati sono funzione di: bassa risoluzione spaziale e spettrale dei dati satellitari; dalla presenza di biocenosi di vari tipi d'alghe all'interno del pixel (pixel misti); dalla elevata torbidità dell'acqua soprattutto nel bacino settentrionale della laguna ed infine dalla variazione dello spessore della colonna d'acqua in funzione delle maree.

L'avvento di sensori ad alta risoluzione spettrale sia su piattaforma aerea che satellitare, ha fornito un nuovo impulso all'utilizzo di tecniche di classificazione (riconoscimento ed identificazione) della vegetazione sommersa in quanto la maggior risoluzione spettrale dei dati ha permesso l'utilizzo di tecniche di *processing* basate sulle caratteristiche spettrali della vegetazione.

Il presente articolo si pone l'obiettivo di verificare l'operatività dei dati iperspettrali da aereo e da satellite nella mappatura delle specie vegetali sommerse della laguna di Venezia. Nella prima parte del lavoro sono descritte le caratteristiche spettrali delle diverse specie di vegetazione sommersa presente nella laguna ottenute dall'analisi della libreria spettrale costruita ad hoc [2], [3] e [8]. Vengono di seguito descritti i due scanner iperspettrali usati e la catena di pre-processamento applicata ai dati. Dopo una descrizione dell'algoritmo di classificazione usato sono presentati i prodotti tematici e nelle discussioni vengono analizzate le potenzialità dei due sensori.

## **Caratteristiche spettrali della vegetazione sommersa**

Le fanerogame marine sono piante acquatiche superiori dotate di foglie, fiori e apparato radicale. In laguna, esse occupano le zone dei bassifondi (aree adiacenti ai canali, con quota del suolo inferiore al livello medio del mare) ed alcune aree normalmente sommerse (dette velme) che emergono solo in particolari condizioni di marea.

Le specie di fanerogame, caratteristiche della laguna di Venezia, sono tre: *Zostera marina* L., *Nanozostera noltii* Hornem. e *Cymodocea nodosa* (Ucria) Asch. che formano sia popolamenti puri che misti.

In corrispondenza di aree individuate all'interno dell'area lagunare sono state eseguite misure spettrali in situ delle tre specie e di altri target complementari come macroalghe e fondale puro, nelle diverse condizioni di forzanti ambientali.

L'analisi dei dati ha evidenziato la rilevante variabilità delle risposte spettrali fortemente influenzate dai fattori ambientali e dalle caratteristiche fenologiche delle piante [6], [7]. In questo processo gioca un ruolo importante la forzante mareale e la variazione dei diversi parametri ambientali che caratterizzano la colonna d'acqua.

I dati raccolti hanno contribuito alla costruzione della libreria spettrale sulla Laguna di Venezia, strumento indispensabile per la taratura e la validazione di un sistema di mappatura della vegetazione sommersa basato sull'utilizzo di immagini da aereo e da satellite.

## **I dati iperspettrali**

Per mappare la distribuzione areale della vegetazione sommersa della laguna di Venezia sono stati utilizzati sensori iperspettrali sia su piattaforma aerea che satellite.

La ripresa aerea è stata realizzata con il sensore MIVIS (*Multispectral Infrared Visible Imaging Spectrometer*) il 26 luglio 2001 alle 9:36 GMT acquisiti da una quota di 4000 m s.l.m. corrispondenti ad una risoluzione al suolo di 8 m con una *swath* di 5600 m. La ripresa MIVIS interessa il bacino settentrionale fino all'abitato di Chioggia sorvolando l'area caratterizzata da macro alghe bentoniche del bacino settentrionale e centrale e la prateria di fanerogame del bacino meridionale. Lo spessore della lama d'acqua nel bacino meridionale era di circa 50 cm.

L'acquisizione satellitare è stata realizzata il 7 giugno 2001 con il sensore Hyperion alle 9:45 GMT installato sulla piattaforma EO-1. Lo *swath* della scena è di 7.5 km con una risoluzione del pixel di 30 m. La scena interessa parte orientale del bacino

settentrionale, ricopre la città di Venezia ed interessa il bacino meridionale includendo la città di Chioggia. Lo spessore della colonna d'acqua nel bacino meridionale era di 80 cm a causa della marea entrante.

Le principali caratteristiche dei suoi sensori ed il relativo rapporto segnale-rumore (SNR) sono riassunte in tabella 1.

Tabella 1 – Caratteristiche dei sensori iperspettrali.

*Table 1 – Hyper-spectral sensors technical specifications.*

Sensore	Regioni Spettrali	Risoluzione Spaziale ( $\mu\text{m}$ )	Range Spettrale ( $\mu\text{m}$ )	SNR	Risoluzione Spaziale (m)
Hyperion	VNIR (70 ch.)	0.01	0.400-1.000	161/1	30
	SWIR (172 ch.)		0.900-2.500	40/1	
MIVIS	VNIR (28ch.)	0.02 (VIS) 0.05 (NIR)	0.43-0.83 (VIS) 1.15-1.55 (NIR)	300/1	8
	SWIR (64ch.)	0.09	1.983-2.478	600/1	
	TIR (10ch.)	0.34-0.54	8.180-12.700	100/1	

Entrambi i data set sono stati sottoposti ad una simile (funzione delle caratteristiche del sensore) catena di pre-processamento che ha permesso la produzione di immagine di riflettanza e il *geocoding* delle immagini. La fase di *processing* dei dati finalizzata alla realizzazione delle carte tematiche della vegetazione sommersa, ha utilizzato un classificatore spettrale di tipo *unmixing* applicato alle sola regione spettrale del Visibile (VIS). L'algoritmo assume che lo spettro del singolo pixel sia composto da una frazione del materiale di interesse (es. una tipologia di vegetazione sommersa), e di background. Il background si assume corrispondente alle altre tipologie di vegetazione e a loro combinazioni con o senza lo spettro del sedimento del fondale. La definizione degli spettri del background è ovviamente condotto anche sulla base di un criterio soggettivo derivato dalla conoscenza dell'ecosistema lagunare. L'algoritmo *Subpixel Spectral Analytical Process* (SSAP) identifica il materiale d'interesse più abbondante nel pixel sottraendo iterativamente una frazione degli spettri di backgrounds. Il background e la frazione residua che determinano lo spettro residuale più vicino ad uno degli *endmember* selezionati, viene scelto come rappresentativo della composizione del pixel immagine. L'output di questa procedura è una serie d'immagini (*fraction maps*) che rappresentano l'abbondanza di ogni materiale d'interesse.

Il classificatore è stato addestrato definendo su ogni *data set* delle *training area* delle principali macro alghe bentoniche (*Ulva rigida*, *Gracilaria confervoides*, *Chaetomorpha aerea*) e fanerogame (*Zostera marina*, *Zostera noltii*, *Cymodocea nodosa*). La delimitazione di queste aree di interesse è stata condotta sulle immagini MIVIS ed Hyperion utilizzando le informazioni raccolte dalle campagne in situ condotte nel 2001 dal CNR ISMAR e dalle carte tematiche prodotte dalle autorità locali.

Per i dati MIVIS (8 m/pixel) è stato possibile identificare settori dell'immagine caratterizzate da popolazioni pure della vegetazione sommersa. In particolare, la firma spettrale dell' *Ulva rigida* è stata estratta nell'area del canale di Campalto, mentre campioni

di *Gracilaria confervoides* sono state identificate nell'area antistante l'aeroporto Marco Polo. Popolazioni pure, per l'estrazione della firma spettrale, di *Cymodocea nodosa* sono state identificate sull'immagine MIVIS vicino al Forte S. Felice a Chioggia, mentre la *Zostera noltii* è stata selezionata lungo la dorsale del canale di Rocchetta.

Il maggior spessore della colonna d'acqua nel bacino meridionale, durante l'acquisizione, ha reso maggiormente difficile il riconoscimento sull'immagine di popolazioni pure; infatti l'aumento dello spessore della colonna d'acqua può determinare un incremento dello *scatterin*, provocato dal particolato in sospensione, quindi una perdita d'informazione spettrale [4]. Questo scarso dettaglio spettrale delle signature delle alghe pure e la ridotta risoluzione spaziale dell'Hyperion (30 m/pixel) ha determinato una minore accuratezza delle mappe tematiche.

## Analisi delle carte tematiche

La procedura di classificazione sopra descritta è stata applicata ad entrambi i *data set* (MIVIS ed Hyperion) al fine di ottenere delle carte tematiche confrontabili della copertura della vegetazione sommersa della laguna. Per ogni specie si sono prodotte mappe corrispondenti all'abbondanza frazionaria del materiale d'interesse in termini di percentuale. Sono state quindi realizzate sia carte tematiche delle popolazioni pure delle macro alghe bentoniche e delle fanerogame, che mappe di distribuzione delle popolazioni miste.

L'accuratezza delle carte tematiche è stata stimata con il solo confronto visivo con le carte prodotte dalle autorità locali con mezzi tradizionali (osservatore su barca) per l'area del bacino antistante la città di Chioggia [9]. Tali carte di verità a mare delimitano solo gli affioramenti di vegetazione e non forniscono una percentuale di abbondanza, utile per la completa validazione delle mappe ottenute.

Le carte tematiche di abbondanza dell'*Ulva rigida* e la carta di sintesi delle macro alghe derivate dai dati MIVIS evidenziano un buon accordo con le carte di verità a mare identificando le stesse biocenosi sia per le alghe bentoniche che per le praterie di fanerogame. La figura 1 rappresenta la distribuzione delle alghe bentoniche pure e miste di una porzione dell'immagine MIVIS e la relativa la carta delle verità al suolo e evidenzia una buona corrispondenza delle due distribuzioni.

La stessa carta derivata dai dati Hyperion (figura 2) non è in grado di descrivere la stessa variabilità delle specie vegetali. La risposta spettrale misurata dal sensore (colonna d'acqua più vegetazione sommersa) consente solo il riconoscimento della popolazione di *Ulva* pura, "*Chaetomorpha* e *Gracilaria*" ed "*Ulva* e *Chaetomorpha*".

Ugualmente le mappe per le praterie di fanerogame presentano un accordo assai modesto con le carte di verità, giustificabile ipotizzando la maggior percentuale di particolato in sospensione che determina una forte alterazione della risposta spettrale della vegetazione sommersa.



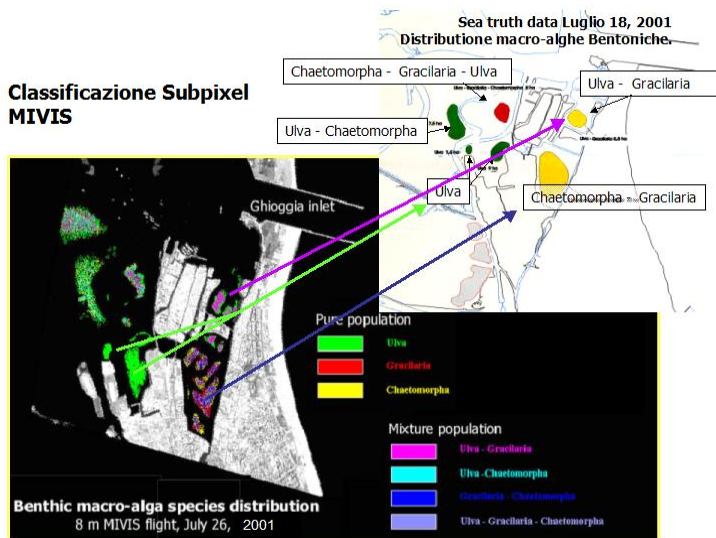


Figura 1 – Carta di distribuzione percentuale delle alghe bentoniche derivata da dati MIVIS. In alto a destra carta di verità a mare.  
*Figure 1 – benthic macro-alga species distribution map derived from MIVIS data. Sea truth data are reporter in upper-right side of the figure.*

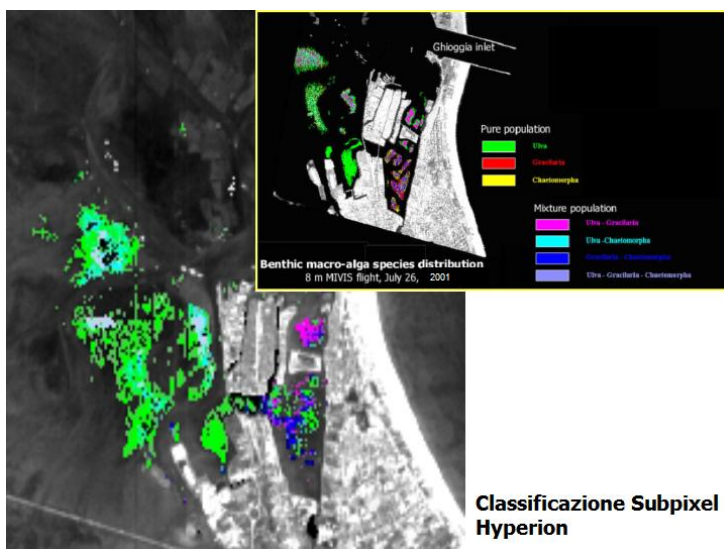


Figura 2 – Carta di distribuzione delle alghe bentoniche derivata dai dati Hyperion. In alto a destra carta ottenuta con MIVIS.  
*Figure 2 – benthic macro-alga species distribution map derived from Hyperion data. MIVIS map are reported in the upper-right side of the figure.*

## Conclusioni

L'algoritmo SSAP, basato sulle differenze tra gli spettri puri ed il background, così come definiti dall'operatore e derivati da mixture dei pixel puri, rappresenta un nuovo approccio algoritmico per risolvere la classificazione spettrale delle specie di vegetazione sommersa nella laguna.

Si è verificato che i dati iperspettrali MIVIS sono in grado di identificare le diverse popolazioni (specie) di alghe e fanerogame presenti nella laguna. Le caratteristiche spettrali e spaziali del sensore sono consone a discriminare sia i pixel puri che i pixel misti.

Si è appurato, inoltre, che i dati di Hyperion a disposizione riescono a caratterizzare le popolazioni pure di alghe bentoniche (*Ulva*) e di fanerogame (localmente) mentre la distribuzione delle popolazioni miste non è soddisfacente.

La discordanza nella accuratezza delle mappe è connessa sia al differente spessore della colonna d'acqua al momento delle riprese, che alla diversa risoluzione spaziale dei due sensori (MIVIS 8 m, Hyperion 30 m). Il primo parametro influisce sulla capacità di estrarre gli spettri significativi della vegetazione sommersa, mentre il secondo è legato alla maggiore presenza di pixel misti più difficilmente classificabili.

Questo lavoro evidenzia come sia necessario affiancare a questo studio un modello bio-ottico di trasferimento radiativo che descriva i costituenti della colonna d'acqua, e quindi permetta un miglior *retrieval* delle firme spettrali della vegetazione sommersa. L'applicazione di un modello bio-ottico rappresenta, quindi, un passo necessario per la generalizzazione della applicazione dei dati remoti iperspettrali e per la sua applicazione anche in acque non limpide.

## Ringraziamenti

Si ringrazia il Magistrato alle Acque di Venezia per aver gentilmente offerto la cartografia delle verità al suolo della vegetazione sommersa.

## Bibliografia

- [1] Alberotanza L., Canossi I., Pavanati M., Ramasco C., Zibordi G. - *Spettri di riflettanza di superfici naturali: metodologia di misura ed applicazione ad acque lagunari*, Riv. it. Teleril. (1993) 2, 17-20.
- [2] Alberotanza L., Canossi I., Pavanati M., Ramasco C., Zibordi G. - *Spettri di riflettanza di superfici naturali: metodologia di misura ed applicazione ad acque lagunari*, Riv. it. Teleril. (1993) 2, 17-20.
- [3] Alberotanza L., Ferro Milone G., Pavanati M., Ramasco C. - *Procedura sperimentale per la calibrazione di pannelli di riflettanza standard*, ISDGM-CNR (1997), Technical report.
- [4] Dekker A.G., Hoogenboom H.J., Goddijn L.M., Malthus T.J.M. - *The relation between inherent optical properties and reflectance spectra in turbid inland waters*, Rem. Sens. Rev. (1997) 15, 59-74.

- [5] Flink P., Lindell T., Ostlund C. - *Statistical analysis of hyperspectral data from two Swedish lakes*, Sci. Total Env. (2001) 268, 155-169.
- [6] Fyfe S. K. – *Statistical and temporal variation in spectral reflectance: are seagrass species spectrally distinct?*, Limnol. Oceanogr. (2003) 48, 464-479.
- [7] Pavanati M., Ramasco C., Alberotanza L. - *Optical characterisation of water in the Venice lagoon*, Atti dell'Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, (1998) Tomo CLVI, 211-228.
- [8] Price J. C. - *How unique are spectral signatures?*, Rem. Sens. Env. (1994) 49, 181-186.
- [9] Rismondo A., Curiel D., Scarton F., Mion D. e Caniglia G. – *A new seagrass map of the Venice lagoon*, Proceeding of the 6<sup>th</sup> International Conference of the Mediterranean Coastal Environment, in MEADCOAST 03, 7-11 october 2003, Vol. 2, 843-852.

# INDICATORI DI STATO TROFICO E QUALITÀ AMBIENTALE DEGLI AMBIENTI MARINI COSTIERI: UNA PROSPETTIVA BENTONICA

Antonio Pusceddu, Roberto Danovaro

Dipartimento di Scienze del Mare, Università Politecnica delle Marche  
Via Brezze Bianche – 60131 Ancona, Tel. 0712204335, Fax 0712204650,  
Email: a.pusceddu@univpm.it

**Riassunto** – Nell’ambito di un progetto finanziato dal Ministero dell’Ambiente e coordinato da APAT (PR/1), sono stati elaborati nuovi indicatori di stato trofico e qualità ambientale degli ambienti marini costieri basati su quantità e composizione biochimica della materia organica sedimentaria e sulla ricchezza di taxa della meiofauna. Lo studio è stato condotto in tre regioni (Veneto, Campania e Friuli), nei transetti utilizzati per le attività di monitoraggio delle ARPA. Il confronto del nuovo indicatore di stato trofico con l’indice TRIX ha evidenziato che i due indici possono fornire giudizi contrastanti. L’indicatore di qualità ambientale basato sul numero di taxa ha identificato le differenze tra aree soggette ad impatto antropico ed aree ad elevata qualità. L’indicatore di stato trofico e quello di qualità ambientale sono tra loro correlati: i valori più bassi di qualità ambientale si riscontrano in condizioni di carico organico eccessivo.

*Abstract* – In the framework of a national project funded by the Italian Ministry for the Environment and aimed at identifying new descriptors of ecological and trophic state of aquatic ecosystems, sediment samples were collected along coastal transects and analysed for quantity and biochemical composition of sediment organic matter and meiofaunal biodiversity. The new indicator of benthic trophic state, based on a combination of quantity and biochemical characteristics of the sediment organic matter has been compared with the TRIX indicator. Such a comparison provided evidence that the two indicators may provide opposite rankings. The indicator of sediment quality based on the meiofaunal taxa richness identified clearly impacted areas and was significantly correlated with the indicator of trophic state.

## Introduzione

L’eutrofizzazione è generalmente considerata come un meccanismo “input-response”, nel quale la crescita di biomassa algale, stimolata dall’aumento di nutrienti, può portare a distrofia. Tale approccio era insito anche nell’indice TRIX (Dlgs 152/99), calcolato a partire dalle concentrazioni di N, P, clorofilla-a e della percentuale di saturazione dell’ossigeno in acqua. L’eutrofizzazione è però un processo ecosistemico che induce risposte a differenti livelli di organizzazione gerarchica [1]. La valutazione dello stato trofico può basarsi sui flussi di C organico da ed al sistema [6] e tale approccio può

essere esteso ai sedimenti utilizzando come descrittori la quantità e la composizione biochimica della materia organica sedimentaria [3].

Il degrado dei fondi marini è stato spesso evidenziato mediante il monitoraggio delle comunità biologiche del benthos. Gli organismi utilizzati appartengono prevalentemente alla macrofauna, ma, negli ultimi anni, la meiofauna ha acquistato un ruolo crescente come indicatore dello stato della qualità dell'ambiente marino [5].

Al fine di definire nuovi descrittori di stato trofico e qualità ambientale dei sedimenti marini costieri, campioni di sedimento sono stati raccolti in tre aree costiere ed analizzati per quantità e composizione biochimica (proteine, carboidrati, lipidi e fitopigmenti) e ricchezza di taxa della meiofauna. Gli indicatori risultanti sono stati confrontati con l'indicatore TRIX e successivamente validati in aree impattate da reflui di agricoltura *off-shore*.

## Materiali e Metodi

Lo studio è stato condotto lungo le coste di Veneto, Campania e Friuli. I campioni sono stati raccolti mediante benna Van Veen nel luglio 2003 (Campania), nell'aprile 2004 (Veneto) e nel settembre 2004 (Friuli) lungo 12 transetti ortogonali alla costa, ciascuno di tre stazioni (costa, intermedia, largo) situate a opportune distanze crescenti in accordo con il D. Lgs. 152/99. Le stazioni coincidono con quelle monitorate mensilmente dalle ARPA delle tre regioni per la definizione dello stato di qualità delle acque costiere. I primi 2 cm di sedimento sono stati posti in capsule Petri e congelati a -20 °C fino all'analisi. Per l'analisi della meiofauna i primi 2 cm sono stati preservati con formalina (4 % in acqua di mare) e colorati mediante Rosa Bengala.

Le concentrazioni di clorofilla-a (Chl-a), proteine, carboidrati e lipidi sedimentari sono state determinate secondo i protocolli riportati in Pusceddu et al. (2004) [8]. La concentrazione di carbonio organico biopolimerico (BPC) è stata calcolata come somma di equivalenti di carbonio di proteine, carboidrati e lipidi, usando rispettivamente 0.49, 0.4 e 0.75  $\mu\text{g C } \mu\text{g}^{-1}$  come fattori di conversione [4]. Il contributo dei fitopigmenti al carbonio organico è stato stimato mediante un fattore di conversione di 40  $\mu\text{g C } \mu\text{g Chl-a}^{-1}$  [7]. L'estrazione degli organismi della meiofauna dal sedimento mediante l'uso di setacci e centrifugazioni in gradiente di densità ed il conteggio sono stati condotti secondo Danovaro et al. (2003) [2]. L'abbondanza della meiofauna è stata normalizzata a 10 cm<sup>2</sup> e per ciascun campione è stato rilevato il numero di taxa. Le concentrazioni di nutrienti inorganici, clorofilla-a e tenore d'ossigeno per il calcolo dell'indice TRIX sono stati messi a disposizione dall'ARPA Veneto e dalla Stazione Zoologia A. Dohrn.

Le differenze tra aree, transetti e stazioni sono state studiate per mezzo di un'analisi della varianza (ANOVA).

## Risultati

L'analisi della varianza ha rivelato per tutte le variabili differenze significative tra le tre aree, con i valori nei sedimenti della regione Campania significativamente più alti di quelli nel Friuli e Veneto (Fig. 1). Le concentrazioni alla foce del fiume Sarno (in

media > 20 mg C g<sup>-1</sup>) erano tra le più elevate mai riscontrate in letteratura. Per la presenza di input fluviali (e.g. Piave), le concentrazioni di C biopolimerico nei sedimenti del Veneto sono elevati se confrontati con quelli riportati per aree più oligotrofe (e.g. Mar Ligure, [4]).

Le concentrazioni di BPC e fitopigmenti sono significativamente correlate (Fig. 2), suggerendo il ruolo fondamentale degli input di origine primaria nelle aree di studio.

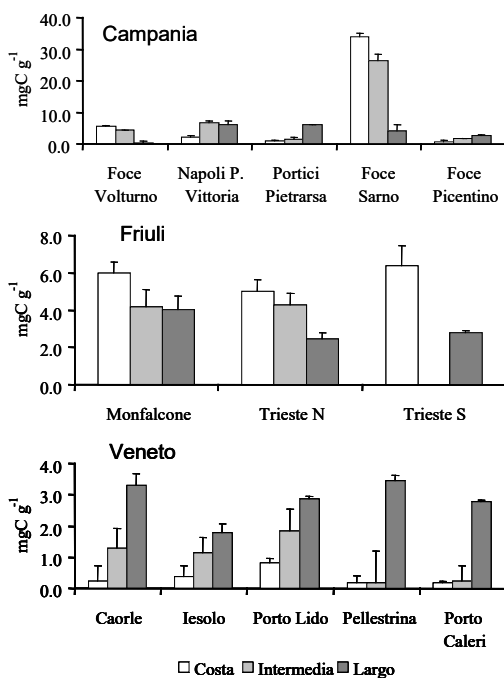


Fig. 1 – Concentrazioni di C biopolimerico nei sedimenti.

Fig. 1 – Biopolymeric C concentrations in the sediments.

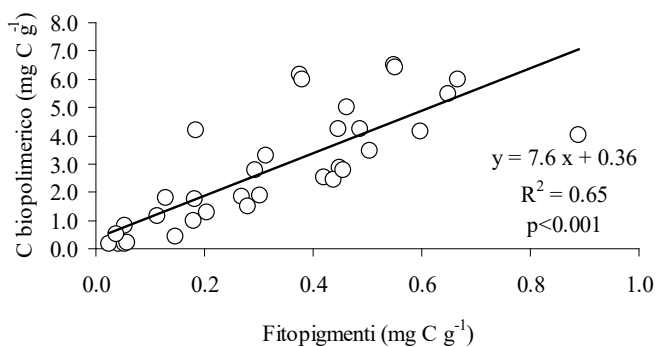


Fig. 2 – Correlazione tra fitopigmenti e C biopolimerico nei sedimenti.

Fig. 2 – Correlation between phytopigment and biopolymeric C in the sediments.

Il contributo della frazione autotrofa al C biopolimerico (in media 14 %, range 4 ÷ 34 %) è risultato correlato negativamente con le concentrazioni di C biopolimerico (Fig. 3), che suggerisce un crescente ruolo della frazione detritale (non vivente) o eterotrofa al crescere dell'accumulo di C biopolimerico nei sedimenti.

Anche per il numero di taxa l'ANOVA ha messo in evidenza differenze significative tra aree, transetti e stazioni: il numero dei taxa varia tra 7 e 12 in Campania, tra 4 e 9 in Veneto e tra 6 e 10 nel Friuli (Fig. 4).

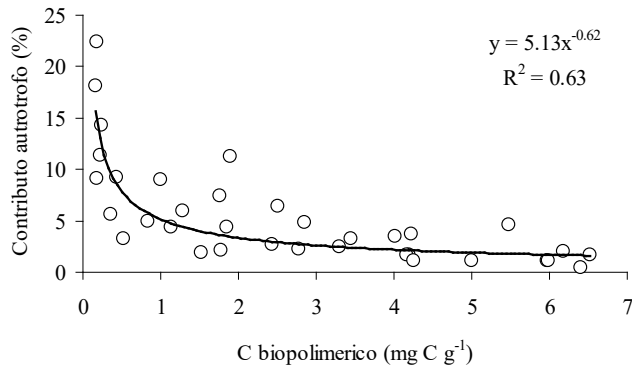


Fig. 3 – Relazione tra frazione autotrofa e concentrazioni di C biopolimerico.  
 Fig. 3 – Relationship between autotrophic fraction and concentration of BPC.

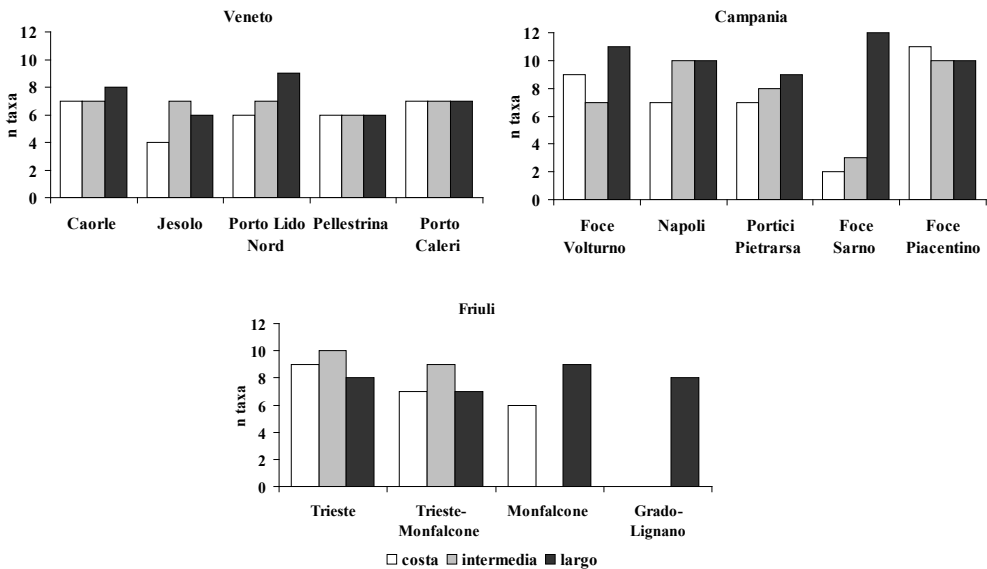


Fig. 4 – Ricchezza di taxa della meiofauna nelle aree di studio.  
 Fig. 4 – Meiofaunal taxa richness in the studied areas.

## Discussione

Il nuovo indicatore di stato trofico che tiene conto: 1) delle concentrazioni di C biopolimerico nei sedimenti; 2) della sua frazione di origine autotrofa. A tali variabili è attribuito un punteggio (da 1 a 3): la somma dei punteggi, variando da 2 a 6, permette di identificare 5 categorie di stato trofico (Tab. 1).

Il TRIX non è correlato con il nuovo indicatore (Fig. 5), ed in alcuni casi i due indici forniscono una classificazione contrastante.

Tab. 1 – Il nuovo indicatore di stato trofico.

Tab. 1 – The new indicator of trophic state.

C biopolimerico		
Concentrazione (mg C g <sup>-1</sup> )	Punteggio	Stato trofico
<1	1	Oligotrofico
1-5	2	Mesotrofico
5-10	3	Eutrofico
Contributo autotrofo		
% (del C biopolimerico)	Punteggio	Stato trofico
>15	1	Oligotrofico
1-15	2	Mesotrofico
<1	3	Eutrofico

Valore dell'indice	Stato trofico
2	Ultra-oligotrofico
3	Oligotrofico
4	Mesotrofico
5	Eutrofico
6	Iperotrofico

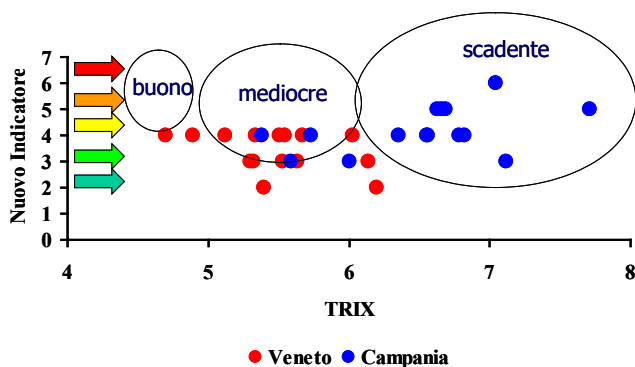


Fig. 5 – Relazione tra TRIX e nuovo indicatore.

Fig. 5 – Relationship between the TRIX and the new indicator.



Le informazioni relative alla diversità della meiofauna in termini di ricchezza di taxa, sono molto utili per avere informazioni sullo stato di salute di un ecosistema. Recentemente, è stata proposta una classificazione della qualità ambientale dei sedimenti marini sulla base del numero di taxa della meiofauna (Tab. 2; [2]).

Applicando tale classificazione è stato possibile discriminare chiaramente le tre aree in termini di distribuzione dello stato di qualità ambientale (Fig. 6).

Tab. 2 – Numero di taxa meiobentonici come indicatore di qualità ambientale.

Tab. 2 – *Environmental quality assessment an meiofaunal taxa number.*

<b>Forte impatto</b>	<b>Impatto moderato</b>	<b>Sufficiente</b>	<b>Buono</b>	<b>Ottimo</b>
<4 taxa	4-7 taxa	8-11 taxa	12-15 taxa	>16 taxa
Nematodi Copepodi Policheti	Tutti i precedenti e: Chinorinchi Oligocheti Gastrotrichi Anfipodi Bivalvi Ostracodi Cumacei Isopodi	Tutti i precedenti e Tanaidacei	Tutti i precedenti e altri	Altri

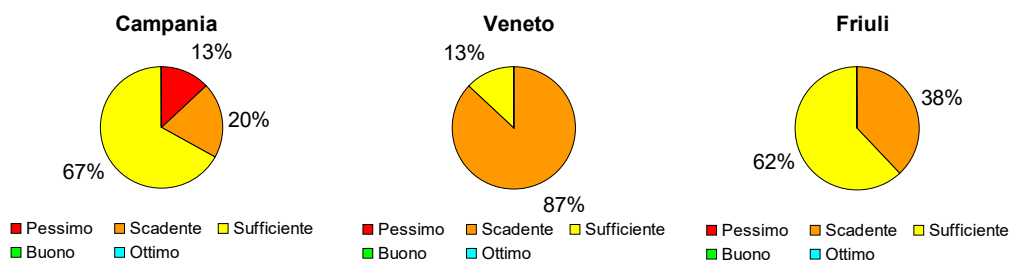


Fig. 6 – Stato di qualità ambientale delle aree di studio.

Fig. 6 – *Environmental quality of the sediments.*

Il DLgs 152/99 attribuisce all'indice TRIX la possibilità di discriminare in termini qualitativi lo stato trofico. Tuttavia, questo approccio ha mostrato alcuni limiti nella sua applicazione estensiva in quanto non necessariamente un ambiente ricco di nutrienti è caratterizzato da una scarsa qualità ambientale, così come un ambiente povero di nutrienti è necessariamente privo di ogni impatto e con elevata qualità ambientale.

I nuovi indicatori messi a punto nel nostro studio sono tra loro correlati (Fig 7). In

particolare, il numero minimo di taxa si osserva sia in condizioni di carenza di risorse (freccia blu), sia in presenza di carichi organici eccessivi (freccia rossa), così che l'indicatore di stato trofico contiene una certa quantità di informazione circa lo stato di qualità ambientale dei sedimenti.

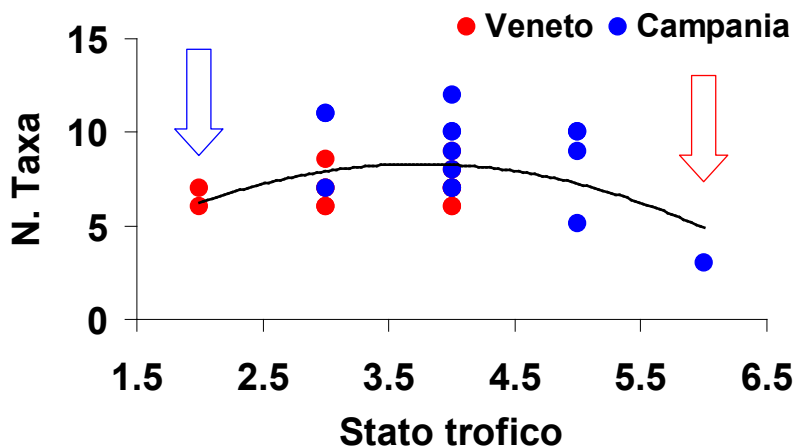


Fig. 7 – Relazione tra stato trofico e qualità ambientale nei sedimenti.

Fig. 7 – Relationship between trophic state and environmental quality indicators.

I risultati di questo studio hanno permesso di individuare e validare due nuovi indicatori: il primo utile alla valutazione dello stato trofico ed il secondo capace di valutare la qualità ambientale degli ambienti marini costieri mediterranei. L'indicatore di stato trofico si basa sul concetto ecologico di arricchimento organico come indicatore dello stato trofico dell'intero sistema ed è basato sulla quantità ed origine del materiale organico nei sedimenti. Le variabili scelte (composizione biochimica in termini di lipidi, proteine e carboidrati e contenuto di fitopigmenti) costituiscono uno strumento di valutazione dell'arricchimento organico più sensibile della quantità totale di carbonio organico nei sedimenti. Le soglie di attribuzione dei punteggi per l'indicatore di stato trofico sono state basate sul giudizio esperto ottenuto da una metanalisi condotta su oltre 100 siti differenti localizzati in Mediterraneo ed in tutti gli oceani del globo, con informazioni normalizzate per profondità di campionamento e latitudine (dati non mostrati).

L'indicatore di qualità ambientale basato sul numero di taxa meiobentonici è stato testato con successo e risulta utilizzabile entro la batimetria dei 200 m (entro la platea continentale) su tutti i tipi di sedimenti mobili.

L'applicazione dei nuovi indicatori nella fase sperimentale in campo ha permesso di discriminare le differenze tra aree di campionamento e, all'interno di queste, tra diverse stazioni. La definizione definitiva delle soglie e la standardizzazione delle classi di stato trofico e qualità ambientale potrà essere migliorata grazie ad una applicazione su scala nazionale.

Questi due nuovi indicatori hanno tutte le caratteristiche per entrare a far parte dell'implementazione della Dlgs 152/2006 in quanto: a) recepiscono lo spirito della Direttiva Acque della Comunità Europea; b) integrano gli indicatori attualmente in uso (e.g., TRIX) perché prendono in considerazione il comparto bentonico; c) sono stati validati su un data set mondiale con particolare riferimento al quadro ambientale italiano e mediterraneo; d) permettono di ottenere informazioni sintetiche che rispecchiano le effettive condizioni ambientali; e) sono altamente sensibili alle variazioni di stato trofico e qualità ambientale; f) sono facilmente applicabili ed utilizzabili dagli operatori delle ARPA; g) sono rapidi ed a basso costo.

La qualità dell'informazione, la semplicità delle operazioni di campionamento e la relativa facilità delle metodiche analitiche dei nuovi indicatori di stato trofico e qualità ambientale degli ambienti marini costieri ed il loro costo estremamente contenuto suggeriscono che questi possano entrare rapidamente nel bagaglio operativo di tutte le ARPA.

## Ringraziamenti

I campionamenti sono stati possibili a grazie alla collaborazione del personale dell'ARPA Veneto, del Laboratorio di Biologia Marina di Trieste e della Stazione Zoologica A. Dohrn. Gli autori sono grati al personale della EcoTechSystems s.r.l., spin-off dell'Università Politecnica delle Marche per parte delle analisi.

## Bibliografia

- [1] Cloern J.E. - *Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem*, Mar. Ecol. Progr. Ser. (1998) 210, 223-253.
- [2] Danovaro R., Gambi C., Mirto S., Sandulli R., Ceccherelli V.U. - *Meiofauna*, Biol. Mar. Medit. (2003), 10, 61-108.
- [3] Dell'Anno A., Mei M.L., Pusceddu A., Danovaro R. - *Assessing the trophic state and eutrophication of coastal marine systems: a new approach based on the biochemical composition of sediment organic matter*, Mar. Poll. Bull. (2002) 44, 611-622.
- [4] Fabiano M., Danovaro R., Frascchetti S. - *A three-year time series of elemental and biochemical composition of organic matter in subtidal sandy sediments of the Ligurian Sea (northwestern Mediterranean)*, Cont. Shelf Res. (1995) 15, 1453-1469.
- [5] Mirto S., La Rosa T., Gambi C., Danovaro R., Mazzola A. - *Nematode community response to fish-farm impact in the western Mediterranean*, Environ. Poll. (2002) 116, 203-214.
- [6] Nixon S.W. - *Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns*, Ophelia (1995) 41, 199-219.
- [7] Pusceddu A., Sarà G., Armeni M., Fabiano M., Mazzola, A. - *Seasonal and spatial changes in the sediment organic matter of a semi-enclosed marine system (W-Mediterranean Sea)*, Hydrobiologia (1999) 397, 59-70.
- [8] Pusceddu A., Dell'Anno A., Fabiano M., Danovaro R. - *Quantità e composizione biochimica della materia organica nei sedimenti marini*, Biol. Mar. Medit. (2003) 10, 43-60.

# STIMA DELLE PROPRIETÀ BIO-OTTICHE DELLE ACQUE COSTIERE DA DATI IPERSPETTRALI. IL CASO DELLA SACCA DI GORO

J. Barbaro<sup>(1)\*</sup>, S. Salviato<sup>(1)</sup>, F. Braga<sup>(1)</sup>, L. Alberotanza<sup>(1)</sup>,  
G. Angonese<sup>(2)</sup>, S. Bencivelli<sup>(2)</sup>

<sup>1</sup>ISMAR-CNR, San Polo 1364, 30124 Venezia

<sup>2</sup>U.O.P.C. Acque Costiere ed Economia Ittica, Provincia di Ferrara, Ferrara

\*e-mail: jvan.barbaro@ve.ismar.cnr.it, tel.: 041-5216840, Fax: 041-2602340

**Riassunto** - È stata messa a punto una libreria di proprietà bio-ottiche al fine di misurare i parametri di qualità dell'acqua della Sacca di Goro (laguna salmastra, delta del Po) mediante telerilevamento con modello di trasferimento radiativo. Tale libreria comprende informazioni relative al comportamento spettrale del substrato, alle proprietà ottiche inerenti e apparenti, e alle concentrazioni delle componenti otticamente attive lungo la colonna d'acqua.

La libreria così costruita fornisce una conoscenza preliminare dell'ambiente indagato e della sua variabilità spaziale e temporale. Inoltre costituisce il primo fondamentale passo per la costruzione e l'utilizzo di modelli di trasferimento radiativo. Questa libreria è, infatti, attualmente utilizzata per parametrizzare, calibrare e validare un modello bio-ottico semianalitico di trasferimento radiativo che serve per le indagini sullo stato ecologico della Sacca di Goro.

***Abstract** – A bio-optical property library has been provided to measure the water quality parameters for the Sacca di Goro (brackish lagoon, Po delta) by means of remote sensing with radiative transfer model. Such a library covers information about the spectral behaviour of substrate, inherent and apparent optical properties and about concentrations of the optically active components along the water column.*

*This library supplies a preliminary knowledge of the enquired environment and of its variability in space and time. Moreover it constitutes the first fundamental step for the construction and use of radiative transfer models and is at present used to parameterize, calibrate and validate a bio-optic semianalytic radiative transfer model useful to investigate the ecologic state of the Sacca di Goro.*

## Introduzione

Lo studio e la gestione di un ambiente lagunare deltizio sono complessi e articolati, e risultano ulteriormente complicati quando la sua evoluzione è stata e continua ad essere fortemente condizionata da importanti attività antropiche. Per fornire risposte utili alla programmazione degli interventi gestionali di tale ambiente, servono strumenti conoscitivi e di controllo in grado di valutarne, in tempi brevi e con risorse finanziarie limitate, lo stato qualitativo e di seguirne l'evoluzione nel tempo.

Il telerilevamento da satellite e da aereo è oggi uno strumento ad elevati livelli Di operazionalità per l'esplorazione e la conoscenza degli ambienti acquatici [6]. Grazie alla capacità di realizzare indagini su aree molto estese in modo sinottico e con alta frequenza temporale (anche quindicinale) e alla relativa semplicità e velocità d'elaborazione dei dati, il telerilevamento fornisce quella conoscenza sulla condizione ecologica e sulla tendenza evolutiva che permette una più approfondita analisi dello stato di salute dell'ambiente e dell'efficacia degli interventi predisposti per il suo mantenimento o recupero.

L'utilizzo di tecniche di telerilevamento per la misura delle variabili ambientali delle acque costiere è subordinato alla costruzione di un modello di trasferimento radiativo per il bacino indagato [2]. Una volta determinato il modello migliore per lo scopo, è necessario parametrizzarlo, calibrarlo e validarlo in modo specifico.

Il frequente ripetersi nella Sacca di Goro di un'eccessiva proliferazione algale e dei conseguenti fenomeni di anossia comporta uno stravolgimento dell'intero ecosistema lagunare, con ripercussioni economiche anche rilevanti [9]. Appare dunque evidente l'importanza del monitoraggio delle diverse specie algali e delle caratteristiche di qualità dell'acqua. Considerando che questi parametri si evolvono rapidamente a livello temporale e spaziale, il loro studio con tecniche di telerilevamento rappresenta una soluzione vantaggiosa.

Per questa laguna si vuole sviluppare un metodo per stimare, da dati iperspettrali remoti, i parametri caratteristici della massa d'acqua (concentrazione della clorofilla, dei solidi sospesi e della sostanza organica disciolta) e per classificare la vegetazione sommersa e il fondale. Questo lavoro costituisce l'indispensabile attività sperimentale volta alla creazione di un database specifico delle proprietà ottiche e di qualità dell'acqua per l'ambiente lagunare della Sacca di Goro e alla costruzione della sua libreria spettrale e bio-ottica. Tale database sarà utilizzato per la calibrazione e validazione di un opportuno modello di trasferimento radiativo lungo la colonna d'acqua. Essendo la prima volta che una tale indagine viene svolta per la Sacca di Goro, il lavoro ha un carattere preliminare.

## Materiali e metodi

La Sacca di Goro è una laguna deltizia sita nella parte meridionale del delta del Po, con un'estensione di circa 25 km<sup>2</sup> e una profondità media di 1,5 m, con un'ampiezza di marea di 0,8 m. I principali apporti di acqua dolce sono il Po di Goro a Nord-Est e il Po di Volano a Sud-Ovest, ciascuno per 350 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> per anno; lo scambio con il mare avviene attraverso due bocche larghe circa 1 km e profonde 3 ÷ 4 m. La salinità oscilla tra 5 e 35 psu, con una media di 23 psu; il tempo di residenza medio è di 24 giorni. La Sacca è sfruttata per l'allevamento di *Tapes philippinarum* con una produzione annua di 15000 t. La laguna è soggetta ad eutrofizzazione antropica, che causa una produzione abbondante di macroalghe nella zona orientale, soprattutto *Ulva* sp. e *Cladophora* sp., e di fitoplancton nella parte centrale. La crescita delle macroalghe causa periodicamente distrofia e anossia estiva.

L'attività sperimentale in campo ha avuto lo scopo di caratterizzare le proprietà bio-ottiche delle acque della Sacca. Mancando lavori pregressi sulle proprietà bio-ottiche di queste acque, la tempistica delle campagne e la localizzazione delle stazioni di campionamento sono stati scelti in base ad esperienze in altre lagune.

Data la preliminarità di questa indagine, si è optato per una frequenza mensile delle campagne, che è un buon compromesso tra la necessità di acquisire dati e il costo/sforzo di ciascuna campagna. Poiché l'interesse ultimo di questo studio sono le fioriture algali, si è deciso di eseguire le campagne da giugno fino a ottobre. Poiché l'acquisizione in campo dei dati radiometrici è strettamente dipendente dalle condizioni meteorologiche, le campagne sono state effettuate in condizioni atmosferiche abbastanza stabili, con illuminazione sufficiente e omogenea e con mare non eccessivamente mosso. Quando possibile, si è cercato di far coincidere le campagne di misura con i passaggi dei satelliti Quick Bird e Hyperion, in modo da avere una corrispondenza temporale tra le immagini acquisite e le misure in campo.

Per modellare con sufficiente accuratezza il trasferimento radiativo subacqueo è stato necessario individuare e studiare i diversi tipi di corpi d'acqua (sub-aree con proprietà bio-ottiche omogenee) che costituiscono la zona di studio. La suddivisione della Sacca in sub-aree è stata decisa in base all'analisi di dati bio-chimici pregressi, all'idrografia ed ecologia della zona. Per ognuna delle sette sub-aree, è stata individuata una stazione rappresentativa (georeferenziata), per le attività di ciascuna campagna.

I protocolli sperimentali adottati per eseguire le misure ed elaborare i dati sono quelli previsti per le campagne SeaWIFS [5]. Si sono misurate, con profili ascendenti e discendenti lungo la colonna d'acqua, le proprietà bio-ottiche inerenti (IOP): attenuazione e assorbimento (con la sonda AC-9 della WET Labs) e *backscattering* (con la sonda Hydrosat-6 della Hobi Labs Inc.). Da queste misure si sono ricavati i coefficienti di attenuazione, assorbimento, *scattering* e *backscattering* necessari per parametrizzare il corpo d'acqua. Attraverso profili discendenti della sonda Ramses (Trios), con la misura della radianza ascendente e dell'irradianza discendente, si è caratterizzato il campo di luce incidente la superficie e lungo tutta la colonna d'acqua. La caratterizzazione della riflettanza della superficie dell'acqua e della vegetazione emersa è stata ricavata con le relative misure di radianza [1] eseguite con la sonda PR-650 SpectraScan della Photo Research. Si sono eseguite misure con sonda multiparametrica (sonda CTD della Idronaut) delle proprietà standard della colonna d'acqua: temperatura, profondità, salinità, ossigeno, pH, potenziale redox. Inoltre, si sono eseguite misure con il disco di Secchi per una caratterizzazione indicativa del sito e si sono rilevati i dati meteo-climatici. Infine si sono prelevati campioni d'acqua per le analisi di laboratorio: concentrazione della clorofilla (Chl-a) e di altri pigmenti (metodo fluorimetrico), concentrazione dei solidi sospesi (TSM - metodo gravimetrico), concentrazione della sostanza organica disciolta (CDOM), coefficienti di assorbimento della clorofilla-a, del CDOM e del tripton (metodo spettrofotometrico).

Sono state acquisite due immagini satellitari iperspettrali Hyperion della Sacca da utilizzare per l'estrazione di mappe di qualità dell'acqua. Le immagini sono state corrette per il contributo atmosferico e l'interfaccia aria-acqua con il programma WOMBAT, basato su MODTRAN4. Il modello utilizzato per l'estrazione delle mappe è il modello semianalitico SAMBUCA sviluppato da Environmental Remote Sensing Group, del CSIRO-Land and Water di Canberra – Australia [10].

## Risultati

Dai campionamenti eseguiti è stato possibile costruire una libreria di parametri bio-ottici e di qualità dell'acqua specifica per la Sacca di Goro nel periodo estivo.

Tale libreria ha permesso di caratterizzare la variabilità spaziale e temporale dei parametri di qualità dell'acqua e dei coefficienti bio-ottici (Fig.1). Un primo risultato è la conferma della scelta delle sub-aree in cui è stata suddivisa la Sacca: ciascuna stazione mostra un comportamento peculiare e caratteristico che permette di distinguerla chiaramente dalle altre.

Dai dati si sono calcolate le proprietà ottiche inerenti specifiche (SIOP) (Fig. 2), cioè i parametri essenziali per descrivere le proprietà ottiche della colonna d'acqua. Dalle misure della radianza sul fondo si è ricavata la libreria spettrale di firme dei diversi substrati (Fig. 3)

È stato poi possibile identificare gli intervalli entro cui possono variare i parametri bio-ottici e di qualità dell'acqua. Questi limiti costituiscono gli intervalli entro cui far variare i parametri dei modelli di trasferimento radiativo quando li si inverte per costruire le mappe tematiche dalle immagini satellitari.

Con questi risultati è stato possibile parametrizzare il modello SAMBUCA per poterlo utilizzare in questo ambiente lagunare. Messo a punto il modello, lo si è calibrato utilizzando un'immagine Hyperion, costruendo le prime mappe di qualità dell'acqua: clorofilla-a, sostanza organica disciolta (CDOM) e particolato sospeso escluso il fitoplancton (tripton) (Fig. 4).

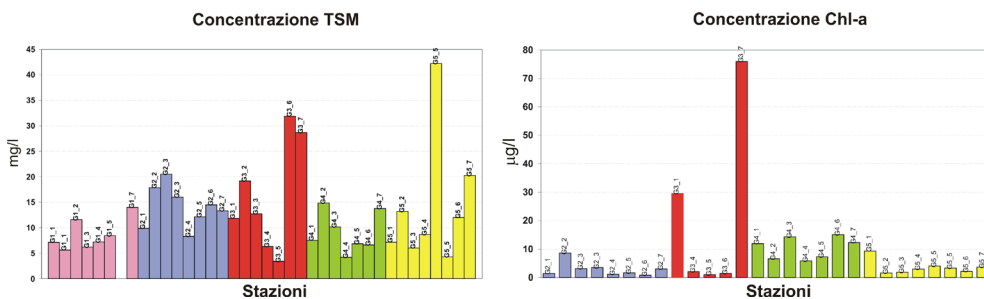


Figura 1 - Andamento della concentrazione di TSM e Chl-a per ciascun mese (giugno-ottobre: colori diversi) e stazione (colonne: 1-7); non si hanno dati di clorofilla per il primo mese.  
 Figure 1- TSM and Chl-a concentration along with the months (June-October: various colour) and station (columns: 1-7); there are no chlorophyll data for the first month.

## Discussione e conclusioni

Con questa ricerca si è costruita la prima libreria di parametri bio-ottici e di qualità dell'acqua specifica per la Sacca di Goro; essa costituisce il primo fondamentale passo per qualsiasi lavoro di telerilevamento che utilizzi modelli di trasferimento radiativi per la costruzione di mappe tematiche della Sacca (qualità dell'acqua, tipologia dei fondali e di copertura vegetale, batimetria, linea di costa, ...).

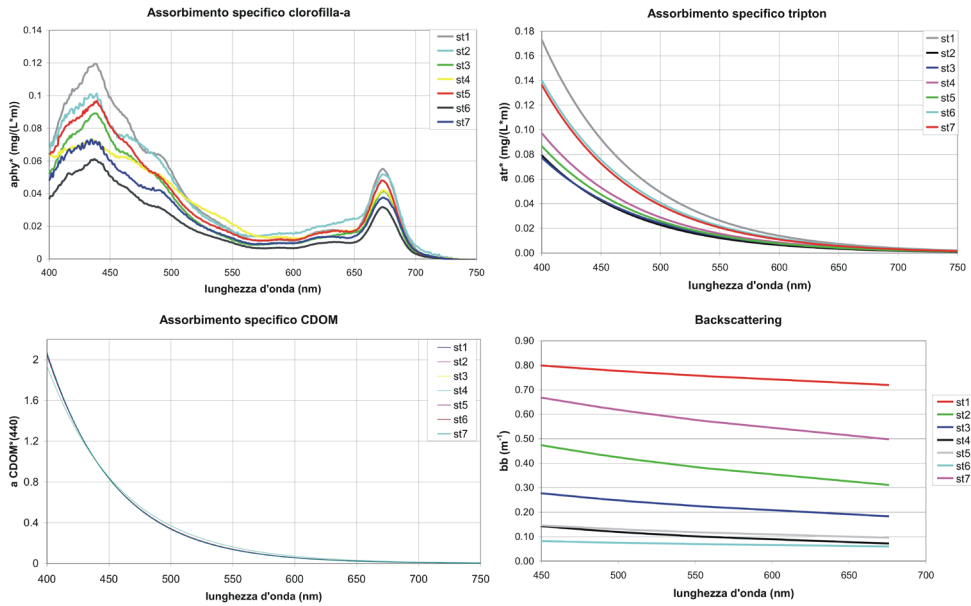


Figura 2 - Caratterizzazione delle SIOP nel mese di settembre per tutte le stazioni.  
 Figure 2 - September SIOPs for all the stations.

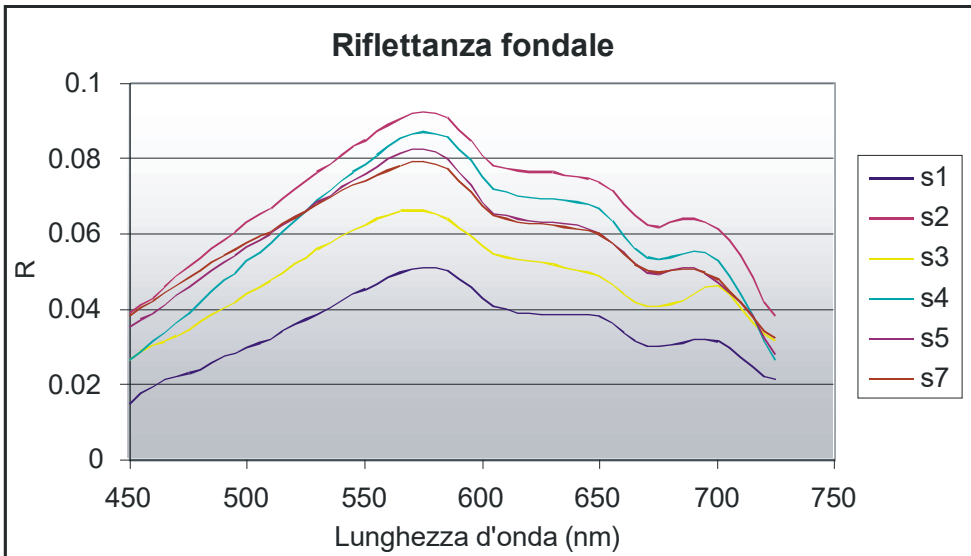


Figura 3 - Firma spettrale del fondo nelle 7 stazioni di campionamento.  
 Figure 3 - Substratum spectral signatures for the 7 stations.



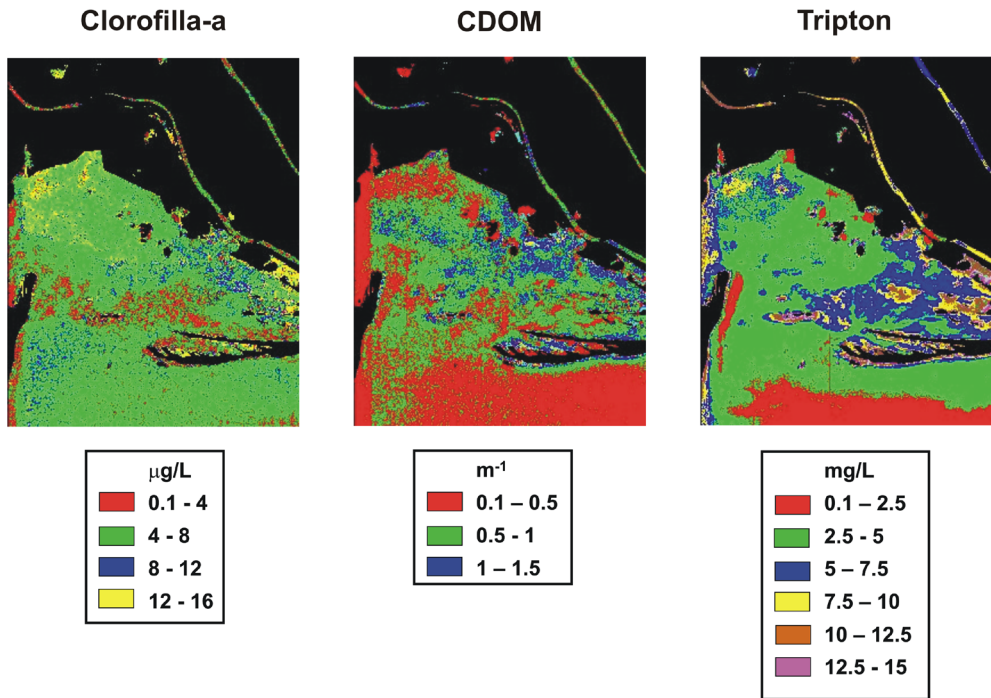


Figura 4 - Mappa simulata per la distribuzione di clorofilla, CDOM e Tripton.  
 Figure 4 - Simulated map for the distribution of Chlorophyll-a, CDOM and Tripton.

In Italia è la prima volta che per una laguna viene costruita una libreria con tutti questi parametri bio-ottici rilevati per l'intero periodo estivo. Per la laguna di Venezia sono state eseguite campagne di questo tipo in occasione di campagne finanziate e organizzate dal Natural Environment Research Council, nel 2004 e nel 2005 (dati non pubblicati); tuttavia in entrambe i casi le campagne sono durate una sola settimana, in corrispondenza del sorvolo del sensore iperspettrale CASI aviotrasportato. Lavori simili, a livello nazionale, sono stati eseguiti per altri ambienti quali lo stretto di Sicilia (dati non pubblicati), zone costiere [11] o acque interne [4]. Al livello internazionale esistono molti lavori di questo tipo [6,7,10], ma pochi riguardano ambienti lagunari [2]. In tutti questi casi non è però possibile eseguire una comparazione dei risultati con quanto rilevato per la Sacca di Goro; le acque di questa laguna, infatti, sono molto torbide, con il disco Secchi sempre minore di 70 cm, e molto stratificate. Qualche comparazione è possibile con i lavori eseguiti per le acque interne dei laghi scandinavi [8] o olandesi [3]. Tuttavia in questi casi non si riscontra una stratificazione così marcata e quasi sempre la colonna d'acqua è discretamente omogenea.

Nonostante la diversità degli ambienti indagati e la difficoltà a comparare i risultati, quello che emerge è l'efficacia di questo approccio per l'analisi ecologica degli ambienti acquatici costieri, di transizione o interni. Inoltre appare chiara l'importanza delle

librerie bio-ottiche quale strumento fondamentale per l'utilizzo di modelli di trasferimento radiativi, per la loro parametrizzazione, calibrazione e validazione.

Nell'ottica di costruire mappe tematiche da immagini iperspettrali satellitari, la libreria è stata utilizzata per parametrizzare e calibrare il modello semianalitico di trasferimento radiativo SAMBUCA, fornendo una prima mappa di qualità dell'acqua qualitativamente accettabile, ma non ancora corretta per l'aspetto quantitativo. Molto resta ancora da fare per ottenere mappe più precise nella distribuzione spaziale e corrette nella determinazione analitica, tuttavia è da rilevare come l'approccio sia molto interessante e prossimo ad essere operativo. In ambienti meno complessi questa metodologia è già operativa e fornisce mappe tematiche precise e puntuali [2,4,6,10].

In futuro, sarà necessario migliorare ulteriormente la parametrizzazione del modello e per alcuni versi perfezionare lo stesso per le condizioni di particolare torbidità e stratificazione riscontrate in Sacca. Sarà inoltre opportuno eseguire altre campagne per confermare negli anni la libreria qui costruita e per completare la libreria spettrale dei fondali. Infine, sarà necessario sviluppare delle strategie per ridurre il rumore delle immagini Hyperion, o disporre di immagini iperspettrali migliori.

## Ringraziamenti

Il presente lavoro rientra nelle attività del progetto "Contributi alla conoscenza e gestione ambientale della Sacca di Goro mediante il telerilevamento", promosso dalla Provincia di Ferrara - U.O.P.C. Acque Costiere ed Economia Ittica – con il CNR-ISMar di Venezia.

Si ringrazia inoltre il gruppo di ricerca Environmental Remote Sensing Group, CSIRO-Land and Water di Canberra – Australia, e in particolare il Dr A. Dekker e il Dr V. Brando per l'utilizzo del loro modello SAMBUCA e per il supporto fornito.

## Bibliografia

- [1] Alberotanza L., Canossi I., Pavanati M., Ramasco C., Zibordi G. - *Spettri di riflettanza di superfici naturali: metodologia di misura ed applicazione ad acque lagunari*, Riv. it. Teleril., (1993) 2, 17-20.
- [2] Brando V. E. and Dekker A. G. - *Satellite hyperspectral remote sensing for estimating estuarine and coastal water quality*, IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens., (2003) 41,1378–1387.
- [3] Dekker A.G., Hoogenboom H.J., Goddijn L.M., Malthus T.J.M. - *The relation between inherent optical properties and reflectance spectra in turbid inland waters.*, Rem. Sens. Rev., (1997) 15, 59-74.
- [4] Giardino C., Strombeck N., Brando V. E., Candiani G., e Dekker A. - *Assessment of chlorophyll-a and tripton concentrations in Lake Garda (Italy) using Hyperion data*, Rem. Sens. Envir., (2005), Submitted.
- [5] Mueller J.L., Austin R.W. - *Ocean Optics Protocols for Sea WiFS Validation*, Revision 1. NASA Tech. Memo. 104566, Vol. 25 (1995).

- [6] Oubelkheir K., Dekker A. G., Clementson L., Brando V. E., Webster I., Ford P. e Radke L. *Bio-optical characterisation of Australian ocean, coastal and estuarine waters*, Ocean Optics XVII, (2004) Freemantle, Australia.
- [7] Rong-Rong L., Yoram J. K., Bo-Cai G. e Curtiss O. D. - *Remote Sensing of Suspended Sediments and Shallow Coastal Waters* IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens., (2003) 41, 3, 559-566.
- [8] Strombeck N. - *Water Quality and Optical Properties of Swedish Lakes and Coastal Waters in Relation to Remote Sensing*, (2001) PhD thesis, Acta Universitatis Upsaliensis, Uppsala.
- [9] Viaroli P., Azzoni R., Bartoli M., Giordani G., Taje' L. - *Evolution of the trophic conditions and dystrophic outbreaks in the Sacca di Goro lagoon (Northern Adriatic Sea)*, in Faranda F.M., Guglielmo L., Spezie G. (Eds.), *Structure and processes in the Mediterranean ecosystems* (2001), Springer Verlag Italia, Milano, 467-475.
- [10] Wettle M. - *Monitoring coral reef bleaching from space: a feasibility study using a physics-based remote sensing approach*, (2005) PhD thesis, The University of Hull.
- [11] Giuseppe Z., Ois Berthon J.-F., Bulgarelli B., D'Alimonte D., Van Der Linde D., Melin F. e Cristina Targa C. - *Ocean colour validation activities at the Acqua Alta Oceanographic Tower in the northern Adriatic Sea*, Int. J. Rem. Sens., (2004) 25, 7-8, 1533-1537.

# RADIONUCLIDES AND TRACE METALS IN MACROALGAE FROM UNCONTAMINATED AREAS IN THE BLACK SEA COAST

Alexander Strezov<sup>1</sup>, Tzvetana Nonova

Bulgarian Academy of Sciences, Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy, Blv.

Tzarigradsko shosse 72, Sofia 1784, Bulgaria

<sup>1</sup>Corresponding author. Tel.: +359-2-7144 637; fax: +359-975-1639

**Abstract** - The concentrations of radionuclides and trace metals (Cd, Cr, Cu, Pb and Zn) were measured in specimens of Green, Red and Brown Black sea macroalgae and baseline concentrations for the contaminants in macroalgae were established in clean areas. The organisms were collected at eleven coastal sites along the Bulgarian Black Sea coast in areas practically uninfluenced by anthropogenic activities. In order to gain a more complete picture of both the environmental conditions of the experimental area and the bioaccumulation patterns of the selected organisms, radionuclide and heavy metal concentrations were determined in coastal areas by gamma spectroscopy and atomic absorption analysis at the same stations.

The picture of bioavailable nuclide and metal loads in the different sites of the selected area are compared with similar macrophytes from the Mediterranean area. The metal concentrations recorded at the selected stations generally fall in the range of the lowest values available in the literature and may be considered as useful background levels to which to refer for intraspecific comparison within the Black Sea and the Mediterranean area.

Implications in biomonitoring of the observed accumulation patterns, in the period 1996 - 2005 are discussed.

**Keywords:** Radionuclides, Trace metals, Biomonitoring, Black Sea, Mediterranean Sea.

## Introduction

Radionuclide and heavy metals are the major part of anthropogenic fallout pollutants in the Black Sea marine ecosystems. Massive amount of industrial effluents is transported by the big rivers that enter the Black Sea (Danube, Dnyepr, Dnester, etc) as well. The complex analysis of pollutant concentrations is a major concern for modern ecology in obtaining reliable information about the type and quantities of substances entering the marine environment.

Marine macroalgae are important factor for heavy metals and nuclides accumulation in marine ecosystems (Haritonidis & Malea, 1999; Rainbow, S., 1995; Holm 1994, Topcuoglu, S., 1998). Radionuclides affect the living organisms both as heavy metals and by their radiation. They participate in radionuclide and heavy metal transfer to the biosphere and man as elements of the food chain of marine biota.

The ecological conditions at the Black Sea littoral zone vary depending on the location and depth. The seasonal change in macrophytic species is determined by the

season, temperature and light regime. Some algae species are adaptive to contamination but some species react quickly to the environmental changes especially to the chemical contaminants (Green *Chlorophyta* and brown *Phaeophyta*). This leads to difficulties in interpretations of results and necessity of determination of organisms - biomonitors.

The ability for radionuclide and HM accumulation in algae depends on the physico-chemical form of the examined radionuclides and the properties of the cell surface, which vary among the different species. Nevertheless, the determination of correlation between the accumulation capacity of different types of sediments and algae species is important for the study of radionuclide impact on marine ecosystems.

The contamination of a certain ecosystem is a stress factor, whose consequences depend on various parameters - conaminant type, degree of stress impact (time, intensity etc.), counter reaction of the most sensitive component of the system. Physiological changes are possible due to the antropogenic influence, that can lead to decrease in growth rate of some organisms or disturbance in their reproducibility.

Radionuclides affect the living organisms both by their radiation and as heavy metals and are transferred along the food chain to the environment and man.

A monitoring program has been utilized since 1991 measuring technogenic and natural radionuclide and heavy metal content in marine environmental samples from the Bulgarian Black Sea coast and to obtain data for nuclide and toxic metal accumulation in sea bottom sediments and algae along the whole coast.

## Materials and methods

The algae species, collected by hand from the rocky substrate, were rinsed in clear sea water to remove the attached particulate material.

The radionuclide and heavy metal content was determined in bottom sediments and ten macroalgae species (five green: *Ulva rigida*, *Cladophora vagabunda*, *Enteromorpha intestinalis*, *Chaetomorpha gracilis* and *Bryopsis plumosa*; two brown: *Cystoseira crinita* and *Cystoseira barbata*; three red: *Ceramium rubrum*, *Callithamnion corymbosum* and *Corallina officinalis*) from eleven sampling locations for eight consecutive years from 11 reference locations. Radionuclides were measured by low level gamma spectroscopy while for heavy metals (HM) in algae Atomic Absorption spectrometry (AAS) was applied. ETAAS (Perkin – Elmer Zeeman 3030 with graphite furnace) was the method to determine Pb and Cd and flame AAS (Pye Unicam SP 1950 atomic absorption spectrophotometer with air – acetylene flame) was used for Fe, Mn and Cu. Certified reference material NIES-CRM-3 (*Chlorella*) was run with each sample series. The sample treatment, procedures and measurements are described elsewhere (Strezov, 1999, 2003).

Quality assurance and accuracy were checked by means of two certified materials: NIES-CRM-3 (*Chlorella*) and IAEA /V-10 Hay powder with each sample series.

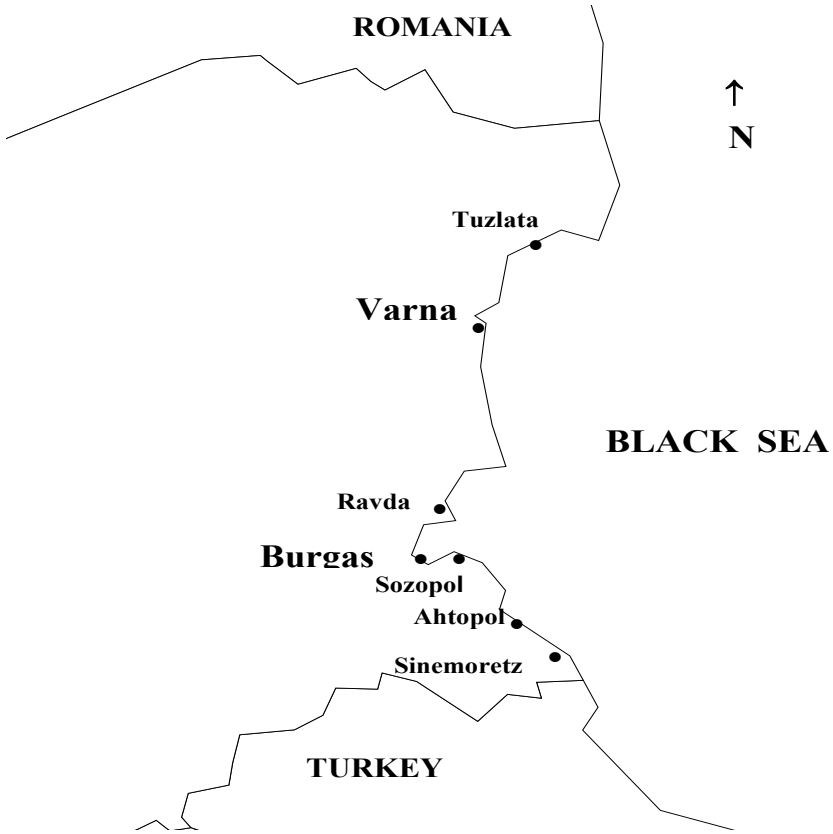


Fig. 1. Diagram of sampling locations.

## Results and discussion

### *Radionuclide Content in Black Sea Algae*

Samples were collected during the period 1996 - 2002 and the obtained data for natural and technogenic radionuclides.  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  concentrations are presented on Fig. 2.

The obtained data are based on the results of sampling campaigns 1998 to 2000 and they are in conformity with those obtained earlier. The sediment samples were taken in the same manner as before and the values for the technogenic and natural radionuclides are compared with those obtained earlier.

The measured concentrations of artificial and natural gamma emitters in algae depend on the alga species. The obtained range for  $^{137}\text{Cs}$  in algae is  $1.2 \div 26 \text{ Bq/kg}$ . The average values for the natural nuclides are  $^{238}\text{U}$  - 13 Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  - 6 Bq/kg and for  $^{226}\text{Ra}$  - 8 Bq/kg. The measured natural nuclides in the species *Bryopsis plumosa* are with two orders of magnitude higher than other species at the same location.

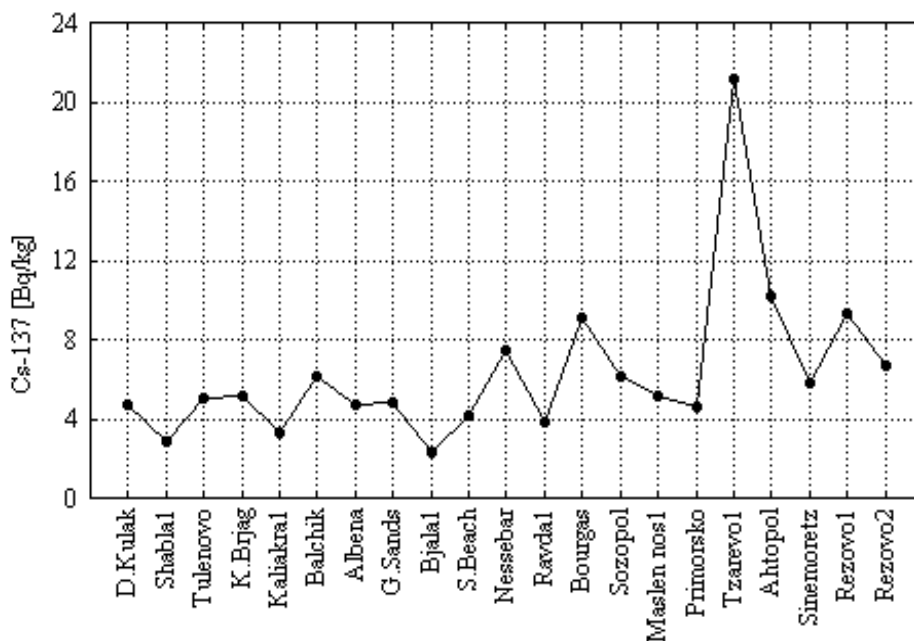


Fig. 2. Cesium content in sand sediments along the Bulgarian Black Sea coast.

As it seen from the data on Fig. 2 there is no serious contamination with  $^{137}\text{Cs}$  along the whole Black Sea coast. Significant differences in Cs-137 concentrations were found among different species growing under similar environmental conditions at same

locations, suggesting that uptake does not follow physical levels but influenced by allometric parameters and physiological mechanisms. Cs-137 content in collected seaweeds follows the descending order: *Ceramium rubrum* > *Cladophora vagabunda* > *Cystoseira barbata* > *Cystoseira crinita* > *Enteromorpha intestinalis* > *Ulva rigida* > *Callithamnium corymbosum* > *Corallina officinalis* > *Chaetomorpha gracilis*. A comparison of the stations studied indicated that the accumulation degree is also dependent on the geomorphology of the specific area. Higher levels are obtained in the northern part of the Black Sea basin due to current circulation originating from the outflow of the rivers Danube, Dnyepyr and Dniester, also at the south part of the Black sea coast. It is concluded that the general dispersion of Cs-137 results from the water circulation regime within the Black Sea and there is no serious contamination along the Bulgarian Black Sea coast but Chernobyl impact in the west region of the Black Sea is decreasing with time.

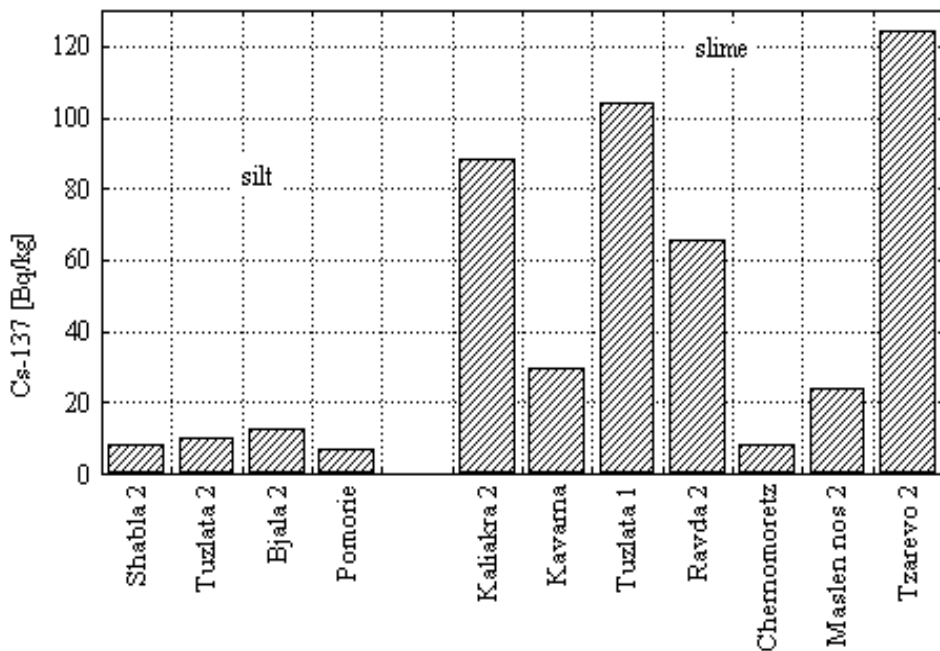


Fig. 3. Caesium content in slime and silt sediments along the Bulgarian Black Sea coast.

Depending on the shore locations,  $^{137}\text{Cs}$  concentrations in top-layer sediments vary between 4 and 80 Bq/kg – the highest obtained values are for slime sediments – Kaliakra, Kavarna, Tzarevo, Chernomoretz and for Bjala (silt). The Cs content at all other locations along the coast is close to the background level. The same is true for cities – Varna, Burgas, Sozopol etc, resorts – Albena, Golden Sands, Sunny Beach, Primorsko etc.

$^{137}\text{Cs}$  content has been measured by Topcuoglu (1998) and the values  $3.8 \div 9.8$  Bq/kg for Green, Red and Brown species are in conformity with those obtained by us.



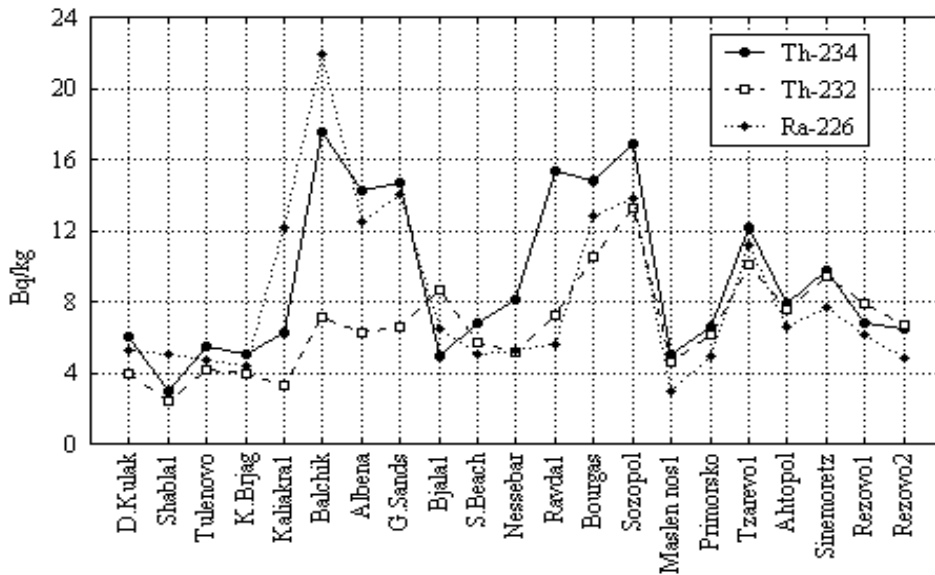


Fig. 4. Natural nuclide content along the Bulgarian Black Sea coast.

Romanian authors (Bologa 1998) report  $^{137}\text{Cs}$  content in the range  $2 \div 18$  Bq/kg close to those obtained by us. They also report the high radionuclide content in the green *Bryopsis plumosa* species, which is studied in the present paper.

The determined natural nuclide content for  $^{238}\text{U}$  is in range  $(6 \div 55$  Bq/kg), for  $^{226}\text{Ra}$   $(4 \div 42$  Bq/kg), and for  $^{232}\text{Th}$   $(4 \div 56$  Bq/kg). The highest natural nuclides content is determined for slime sediment types while the lowest is at Albena, Shabla, Pomorie and Chernomoretz.

Biota accumulate radioactive nuclides to different extent and in many cases they sorb the dissolved in sea water substances containing these contaminants.

As a whole the radionuclide content in all studied algae species is low (except *Bryopsis plumosa*).  $^{137}\text{Cs}$  levels were low in all algae samples and  $^{137}\text{Cs}$  content is presented on Fig. 4.

The Cs content in *Ulva rigida* species is in the range  $1.5 \div 8$  Bq/kg, in *Ceramium rubrum* –  $10 \div 17$  Bq/kg and in *Cystoseira barbata* –  $5 \div 9$  Bq/kg. Higher Cs concentrations, 26 Bq/kg were found in alga *Ceramium* from Tuzlata – 96. Mean values measured in different seasons are presented on Fig. 5.

Highest quantities are measured in the period 1994 – 1996 ( $\approx 10$  Bq/kg) after which a decrease is observed (till values  $4.5 \div 5$  Bq/kg).

Comparing the ability to accumulate  $^{137}\text{Cs}$  algae can be arranged as follows: *Clad. vagabunda* > *C. rubrum* (over 10 Bq/kg) > *Cyst. barbata* > *Cyst. crinita* ( $6.5 \div 7$  Bq/kg) > *Ent. intestinalis* > *Callith. corymbosum* (5 Bq/kg).

The natural isotopes concentrations are higher than technogenic ones and the highest concentrations of natural nuclides are obtained in the green algae.

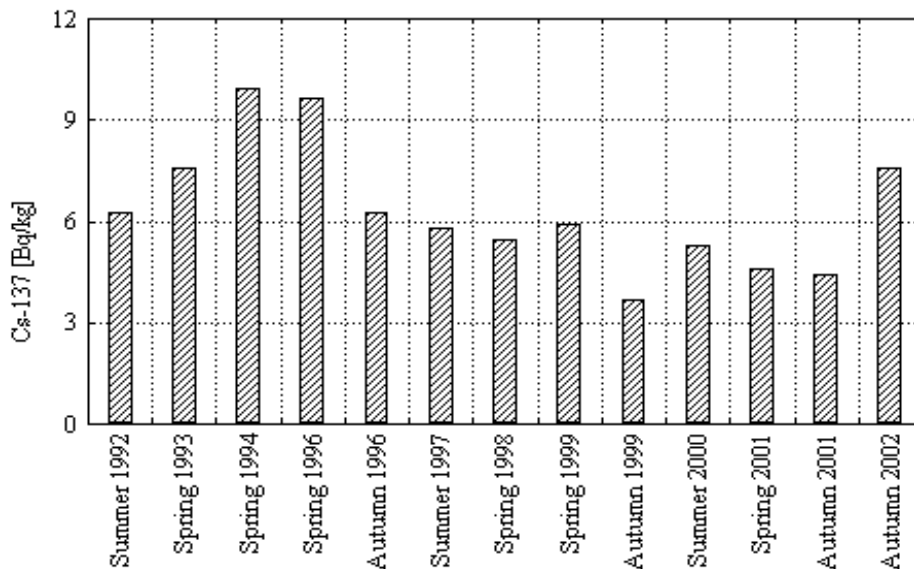


Fig. 5. Cs-137 content in macrophytes for the period 1992 – 2002.

$^{226}\text{Ra}$  is found to the higher extent comparing to other nuclides in the analyzed macrophytes reaching in some species  $70 \div 100$  Bq/kg. The measured  $^{210}\text{Pb}$  values are in the interval  $10 \div 30$  Bq/kg. Comparatively low are the  $^{228}\text{Ac}$  and  $^{208}\text{Tl}$  – around 5 Bq/kg. The different levels of nuclide accumulation are presented on Fig. 6.

As it is seen from these data,  $^{226}\text{Ra}$  is readily sorbed in *Green Chaetom. gracilis*, *Ulva rigida*, *Clad. vagabunda* u *Clad. coleothrix*. *Red Callith. corymbosum*, *C. rubrum* and brown species - *Cyst. crinita*, accumulate more  $^{210}\text{Pb}$  than other species.

The highest measured natural nuclide concentrations are determined in the green alga *Bryopsis plumosa* (Fig. 7). As it is seen from these data the nuclide content differs with three orders of magnitude compared to the other algae species collected from the same site. This fact shows that *Bryopsis plumosa* seems to extract natural nuclides from U series and Th ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ac}$  and  $^{210}\text{Pb}$ ) from the sea water up to 1000 Bq/kg level. This phenomenon makes *Bryopsis plumosa* extremely interesting species to be studied for natural radionuclides at other sites at the Black Sea coast. Similar values for *Bryopsis plumosa* are reported by Dovlete (1992) at the Romanian Black Sea Coast.

In conclusion the obtained data show that there is no serious contamination with radionuclides which is normal as there is no nuclear facility at the Bulgarian coast to release nuclides into the environment.

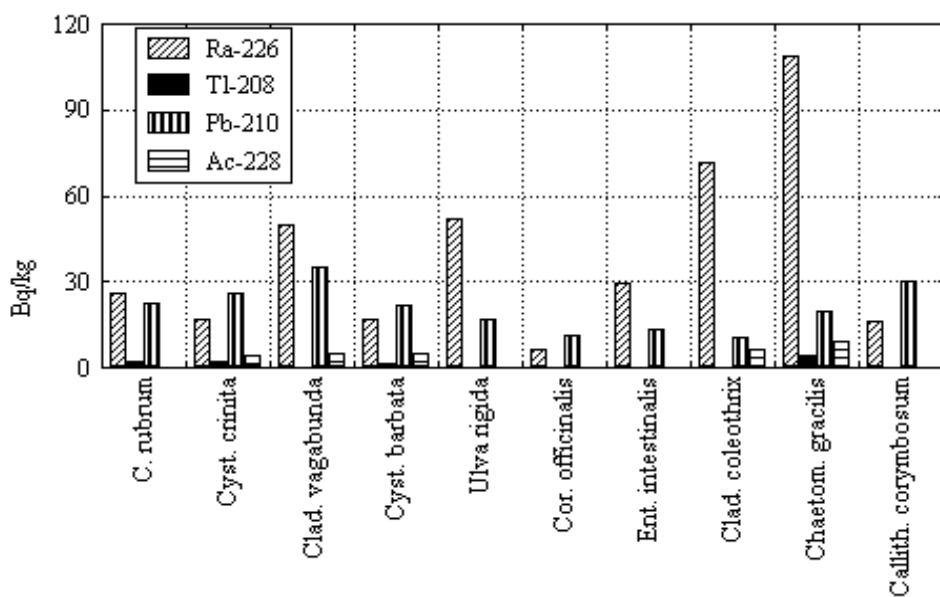


Fig. 6. Natural nuclide content in Black Sea macroalgae.

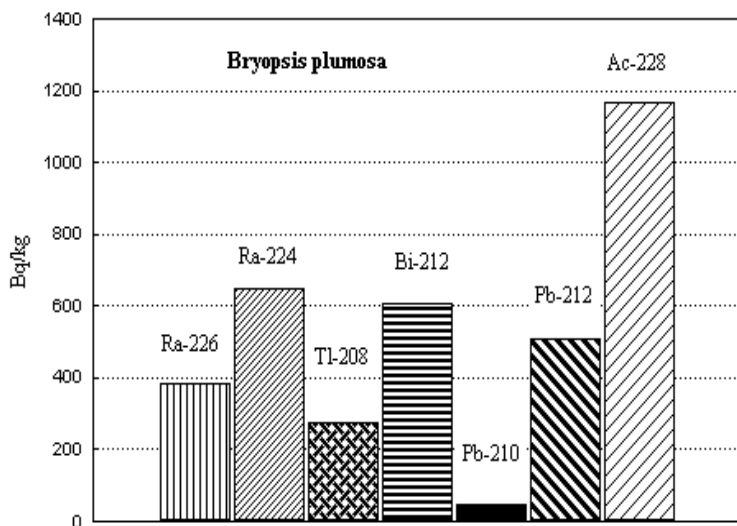


Fig. 7. Radionuclide content in green *Bryopsis plumosa*.

### Heavy metal content on macrophytes and sediments

To obtain the full picture about the anthropogenic impact on marine ecosystems the concentrations of heavy metals should be also considered in the assessment.

Samples for heavy and toxic metal content data were collected for macroalgae from eight different sites from the Bulgarian Black Sea coastal zone (Fig. 1) in the period 1993 - 2002.

The content of Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd and Cr is determined in twelve wide spread Black Sea macroalgae – three red (*Ceramium rubrum*, *Corallina officinalis*, *Callithamnion corymbosum*), two – brown (*Cystoseira crinita* and *Cystoseira barbata*) and eight green (*Ulva rigida*, *Ulva lactuca*, *Cladophora vagabunda*, *Clad. coleothrix*, *Chaetomorpha gracilis*, *Enteromorpha intestinalis*, *Ent. compressa* and *Bryopsis plumosa*).

The obtained results are in the range of our previous studies [5-7] and the degree of accumulation in the different species can be arranged in the following order:

$$\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Cd}.$$

This comes to confirm the established dependence of biosorption of trace metals and their functions in the organism. The elements Fe and Mn take part in the synthesis of certain enzymes while the other HM form stable complexes with proteins, phosphates, lipids etc.

Iron (Fe) content is the highest in algae having the ability to bind with the lipids. The measured values are between 55 ÷ 2600 µg/g except in *Ent. Intestinalis* and *Chaetom. gracilis* algae from Rossenetz and Tuzlata in summer 1997 and 2000 when higher (4000 ÷ 4900) values are obtained.

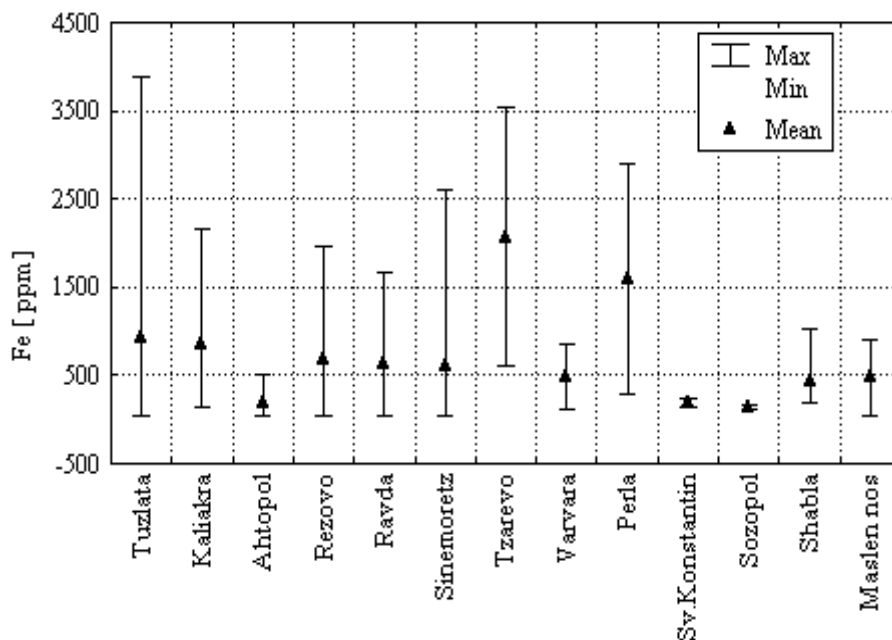


Fig. 8. Fe content in macrophytes.

The Mn values vary in the range  $10 \div 300 \mu\text{g/g}$  and high concentrations ( $433 \div 566 \mu\text{g/g}$ ) are determined in the green *Clad. vagabunda* from Tuzlata (Spring 1999), and red algae *Callith. corymbosum* from Rezovo Summer 2000. The three locations with high Mn – Shabla, Tuzlata Kaliakra and Rezovo are clearly seen on Fig. 9.

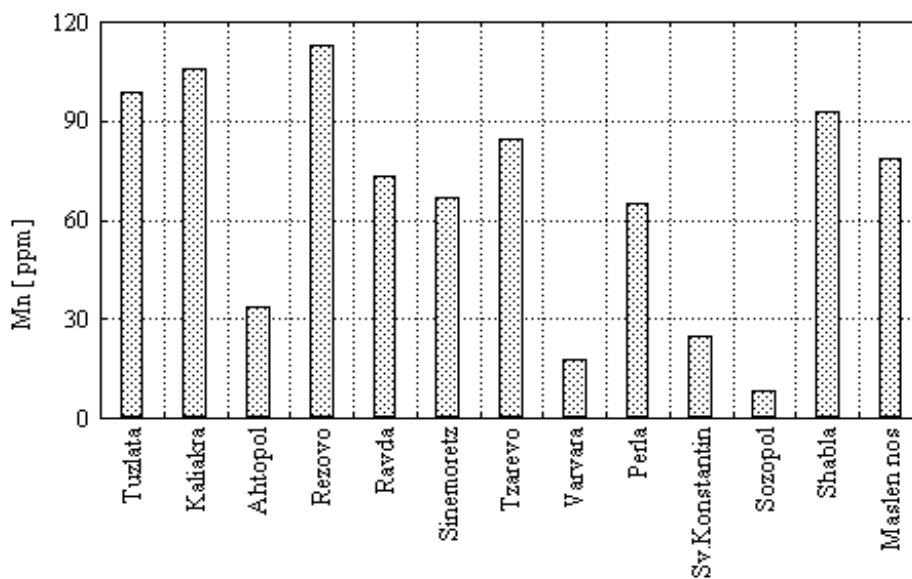


Fig. 9. Mn content in Black Sea algae.

On Fig. 10 are presented the Fe and Mn data for the whole investigation period 1991 – 2002. There is no clear seasonal dependence of these HM or tendency of increase or decrease in the studied algae.

The elements Zn and Cu belong to the biologically important heavy metals. Usually these HM are found in trace quantities and take part in the biological circle in extreme low concentrations. The raise in Zn and Cu content above certain level can lead to harmful effects on biota.

Cu content in algae from Black Sea ecosystems vary from 1 till  $100 \mu\text{g/g}$ . Cu concentration in different locations rises in the following order: Sozopol < Shabla < Tuzlata < Maslen nos < Kaliakra < Ahtopol < Ravda < Sinemoretz < Rezovo < Tzarevo < Varvara < Perla < St. Konstantin.

Zn is also determined in Black Sea algae from eleven locations during seven years period. Zn content is in the interval  $9 \div 78 \mu\text{g/g}$ , the highest values measured at Varvara, Perla and Tzarevo ( $40 \div 60 \mu\text{g/g}$ ) and Rezovo ( $75 \mu\text{g/g}$ ). The changes in the Zn and Cu concentrations are presented on Fig. 11.

The determination of Cr, Pb and Cd in algae is also important for the marine monitoring as these elements have mainly anthropogenic origin. Pb exists in marine water mainly in form of organic complexes while Cd is toxic to biota even in trace quantities.

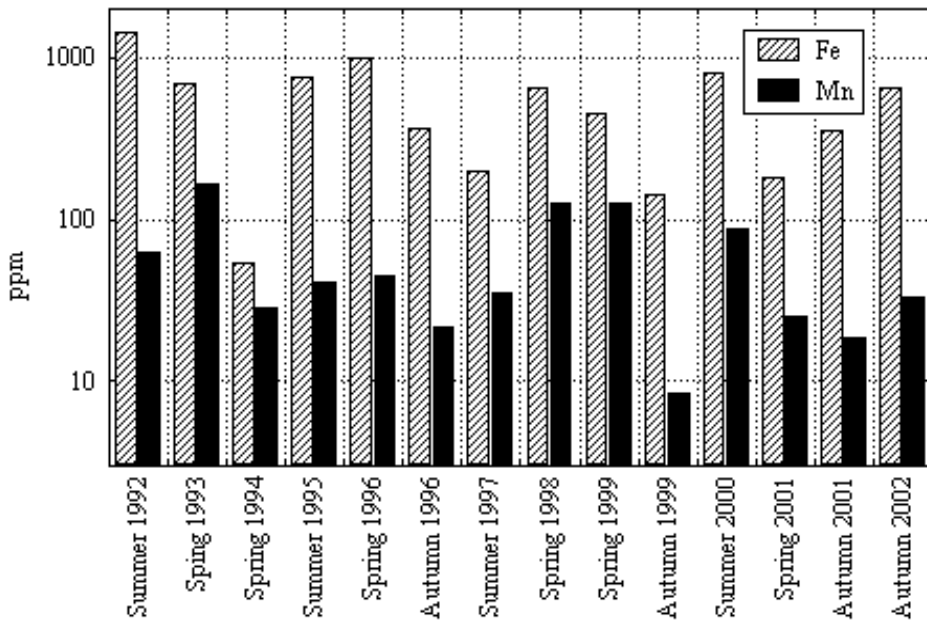


Fig. 10. Fe and Mn content in algae during the period 1992 – 2002.

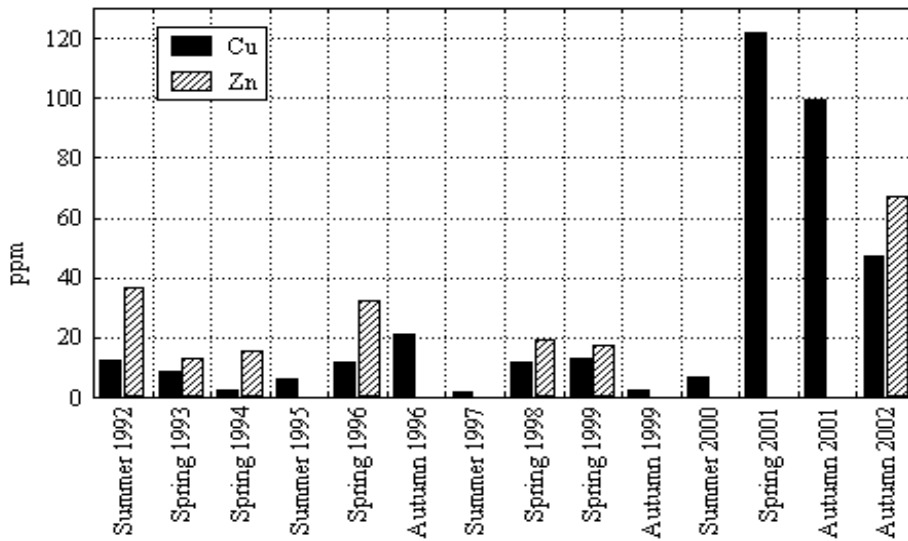


Fig. 11. Zn and Cu content in algae during the period 1992 – 2002.

These HM in algae were measured in narrow interval concentrations  $0.5 \div 16 \mu\text{g/g}$  for Cr,  $0.2 \div 8.5 \mu\text{g/g}$  for Pb and  $0.06 \div 3.2 \mu\text{g/g}$  for Cd.

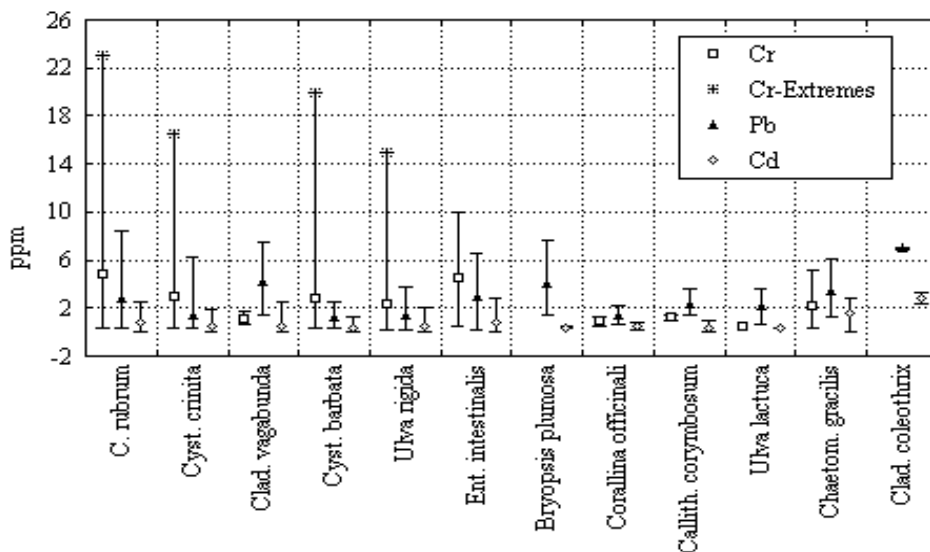


Fig. 12. Cr, Pb and Cd content in Black Sea algae.

On Fig. 12 are presented the HM accumulation values in different species - *Cer. rubrum* (red) and *Ent. intestinalis* (green) accumulate Cr, *Clad. vagabunda*, *Clad. coleothrix*, *Bryopsis plumosa* u *Chaetom. gracilis* (green) accumulate Pb, while *Clad. coleothrix* – Cd. This is due to the different genetic features of the species and also the efforts of each alga to survive at the environmental conditions of the habitat within one and same species. There is however a possibility for similar behavior of different species due to similarity in genetic, structural and physiological features. This is observed for green *Ulva rigida* and brown *Cyst. crinita* and *Cyst. barbata*.

The status of Bulgarian Black sea coast can be estimated based on the obtained data for HM in algae from different locations (Fig. 13).

Using the levels of Cr the regions can be divided in three groups – with values below  $2 \mu\text{g/g}$  (Tzarevo < St. Konstantin < Varvara < Maslen nos < Shabla < Kaliakra < Tuzlata), from 2 till  $4 \mu\text{g/g}$  (Sozopol < Perla < Sinemoretz < I) and above  $4 \mu\text{g/g}$  (Rezovo and Ravda). Values above  $0.5 \mu\text{g/g}$  for Pb are registered at Ravda < Maslen nos < Sozopol < Shabla < Kaliakra < Tuzlata < Tzarevo. The order of increase in Cd content above  $0.5 \mu\text{g/g}$  for Bulgarian locations is: Ravda < Tuzlata < Perla < Shabla < Kaliakra. These results show that Pb and Cd content is higher at the northern part of the shore while Cd is higher at the southern (Ahtopol, Sinemoretz and Rezovo).

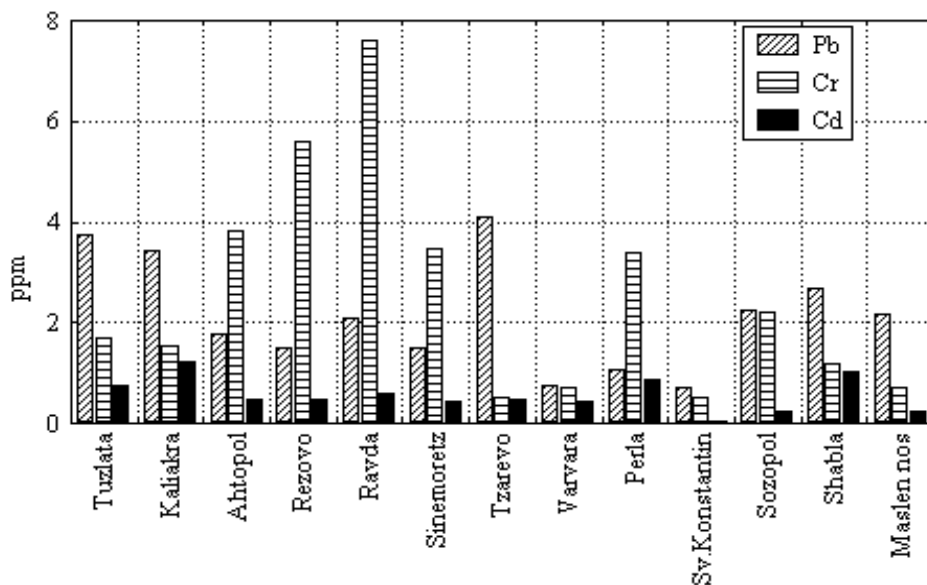


Fig. 13. HM content in algae at different Black Sea locations.

The following values of HM were measured in Mediterranean algae (\*-Campanella et al, \*\* Haritonidis et al) and in Black Sea ones:

Element µg/g	Mediterranean Macrophytes*	Black Seamacrophytes		
		Brown	Green	Red
Cd	0.29	0.38	0.83	0.68
Cr	9.3	3.1	10	4.9
Cu	12.9	6.0	6.3	9.3
Pb	14.7	1.6	2.6	1.9
Zn	50	18.5	19	18

Element	Mean value ± SE	Range	Mean value ± SE	Range
	Mediterranean**		Black Sea	
<b>Fe</b>	385 ± 37.9	121 – 1018	430 ± 90	111 – 998
<b>Mn</b>	194 ± 32.2	27.0 – 783	35 ± 8	9 – 108
<b>Zn</b>	26.1 ± 2.3	6.3 – 54.7	16 ± 3	7 – 32
<b>Cu</b>	4.7 ± 0.3	2.5 – 8.2	5.6 ± 0.9	2.2 – 10.9
<b>Cd</b>	0.24 ± 0.05	0.02 – 1.40	0.8 ± 0.2	0.3 – 2.1
<b>Cr</b>	4.78 ± 1.09	0.53 – 28.4	1.8 ± 0.4	0.5 – 3.2



## Conclusions

- 1) Sorption of nuclides and HM depends on the sediment and macroalgae type.
- 2) Green algae *Bryopsis plumosa* strongly accumulates nuclides from  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  natural series.
- 3) The accumulation in different algae species the heavy metals can be arranged in the following order:



- 4) A decrease in radionuclide and HM content in sediments and macroalgae from Black Sea ecosystems is observed for the period 1991-2004.
- 5) No serious contamination with nuclide and HM contaminants is observed in the studied zone at Bulgarian Black Sea coast.

## References

- [1] Haritonidis, S. & Malea, P., (1999). Bioaccumulation of metals by the green alga *Ulva rigida* from Thermaikos Gulf, Greece. *Environmental Pollution*, **104**, 365-372.
- [2] Topcuoglu S., Esen N., Egilli E., Gungor N and Kut D. (1998) Trace Elements and  $^{137}\text{Cs}$  in Macroalgae and Mussels from the Kilyos in Black Sea, *Int. Symposium on Marine Pollution Monaco 1998*, IAEA SM-354 pp. 283.
- [3] Rainbow, P.S., (1995). Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment, *Marine Pollution Bulletin*, **31**: 183-192.
- [4] Holm E., Ballestra S., Lopez J.J., Bulos A., Whitehead N.E., Barci-Funel G., Ardisson G. (1994). Radionuclides in Macro Algae at Monaco following the Chernobyl accident. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **177** (1), 51-75.
- [5] Strezov A., Stoilova T., Jordanova & Petkov (1999). Determination of Caesium and Natural Radionuclide Concentrations in Sediments, Algae and Water, *Wat. Sci. Tech.* **39**, 21-26.
- [6] Alexander Strezov, Tzvetana Nonova, (2003) Monitoring of Fe, Mn, Cu, Pb and Cd Levels in Two Brown Macroalgae from the Bulgarian Black Sea Coast, *International J. Environmental Analytical Chemistry* **83**, (12) 1046 – 1054.
- [7] Bologa A., Patrascu V. and Cuingioglu E., (1998). Distribution of Total Beta Radioactivity, Sr-90 and Cs-137 Content in the Romanian and NW Black Sea 1994-1995, *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, **35**, 234-235.
- [8] Dovlete C. and Osvath I. (1992) Radium and Its Daughters in *Bryopsis plumosa* *Radiation Protection Dosimetry*, **45** 301-302.
- [9] Campanella L., Conti M., Cubadda F., Sucapane C. (2001). Trace metal in seagrass, algae and molluscs from an uncontaminated area in the Mediterranean, *Env. Pollu.*, **111**, 117-126.
- [10] Malea P, Haritonidis S., 2000. Use of the green alga *Ulva rigida* C. Agardh as an indicator species to reassess metal pollution in the Thermaikos Gulf, Greece, after 13 years, *J. Appl. Phycology*, **12**, 169-176.

# MESSA A PUNTO DI TECNICHE SEMIEMPIRICHE E DI INVERSIONE DEI DATI REMOTI PER LA STIMA QUANTITATIVA DEI PARAMETRI DI QUALITÀ DELL'ACQUA. RISULTATI PRELIMINARI DELLE CAMPAGNE DI MISURA SPERIMENTALI NELLA LAGUNA DI VENEZIA

Luigi Alberotanza<sup>1</sup>, Jvan Barbaro<sup>1</sup>, Federica Braga<sup>1</sup>, Rosa Maria Cavalli<sup>2</sup>,  
Stefania Salviato<sup>1</sup>, Stefano Pignatti<sup>3</sup> e Federico Santini<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CNR ISMAR, San Polo 1364, 30125 Venezia

<sup>2</sup>CNR IIA-LARA, Via Fosso del Cavaliere 100, 00133 Roma

fax 0649934211 federico.santini@lara.rm.cnr.it

<sup>3</sup>CNR–Istituto Metodologie Analisi Ambientali, Potenza

**Riassunto** - Il controllo dei parametri di qualità delle acque, lo studio delle praterie di fanerogame ed il monitoraggio dell'equilibrio biologico dell'ecosistema lagunare è da diversi decenni oggetto di numerose ricerche. Nel corso degli anni sono state condotte numerose campagne di misura a mare ed in laguna durante le quali sono stati raccolti set molto ampi di dati: grandezze radiometriche superficiali e lungo la colonna d'acqua, spettri delle varie tipologie di vegetazione, profili colonnari degli spettri di assorbimento e back-scattering del corpo d'acqua, campioni per le analisi di laboratorio. Queste campagne sono state svolte in diversi periodi dell'anno, in coincidenza con l'acquisizione di immagini satellitari (Hyperion) ed aeree (CASI, MIVIS, ATM), per campionare i diversi stati dell'ecosistema lagunare.

Al fine di integrare tutto l'insieme dei dati disponibili sono in fase di elaborazione dei modelli utili al rilevamento dei parametri di qualità dell'ambiente specifici per acque lagunari e costiera partendo da dati remoti. In particolare sono in fase di sperimentazione modelli semiempirici basati sulla fisica del trasferimento radiativo in acqua e in fase di messa a punto tecniche di inversione ottimali per tali modelli. In una prima fase di validazione queste tecniche basate sono state utilizzate per derivare informazioni sui parametri otticamente attivi dell'acqua a partire da misure ottiche superficiali. Ulteriori affinamenti delle tecniche (modelli semiempirici e di inversione) sono allo studio per ottenere mappe tematiche dei parametri di qualità dell'acqua a partire da dati remoti.

**Abstract** – On the Venice lagoon, many sea and lagoon campaigns were done with the aim to measure the radiometric characteristics of the water bodies and to characterize the spectral behaviour of the different species of the submerged vegetation. These data were further processed to identify the most significant spectral regions useful to discriminate the different submerged vegetation species. Such information were used to produce thematic maps of the submerged vegetation, by applying a classification technique on MIVIS and Hyperion data. The correctness of the maps are related to the spatial resolution of the images and their inherent SNR.

## Introduzione

Il monitoraggio dei parametri di qualità delle acque rappresenta una fase fondamentale per il controllo dello stato di salute degli ambienti lagunari e costieri. In particolare sta diventando prioritario definire modelli e procedure che consentano, in maniera speditiva, la costruzione di carte sinottiche dei parametri di qualità per l'osservazione su larga scala di fenomeni potenzialmente dannosi. Per questo motivo negli ultimi anni si pone particolare attenzione, grazie anche all'aumento della risoluzione spaziale e spettrale dei sensori installati su piattaforme satellitari ed aeree, allo sviluppo di modelli utili al monitoraggio a partire da dati remoti.

Il presente studio si propone di mettere a punto un modello biofisico e sviluppare una procedura di inversione basata su modelli semiempirici per il rilevamento delle abbondanze dei principali costituenti (fitoplancton, sostanza organica disciolta e particolato in sospensione) e il monitoraggio dell'equilibrio biologico della laguna di Venezia.

## Le campagne di misura

La definizione del modello bio-ottico e la definizione dei parametri del modello semiempirico si avvalgono di diverse campagne di misura, sia aeree che marine, per la raccolta di ampi e completi set di dati. In particolare nel luglio 2005 è stata eseguita una campagna di misura in coincidenza con una campagna aerea eseguita in collaborazione con i colleghi inglesi del Southampton Oceanographic Centre (SOC) e dell'Airborne Remote Sensing Facility (ARSF) operanti nell'ambito NERC. Sono state eseguite varie strisciate con due diversi sensori: il Daedalus 1260 Airborne Thematic Mapper (ATM) e il sensore iperspettrale ITRES Research Compact Airborne Spectrographic Imager (CASI-2). L'ATM registra simultaneamente 11 bande: 8 nel visibile e vicino infrarosso, 2 nell'infrarosso medio e 1 nell'infrarosso termico con diverse risoluzioni spettrali. Il CASI-2 è uno spettrometro a immagini che funziona in modalità pushbroom ed esegue misurazioni in un range spettrale compreso fra i 405 e i 945 nm.

Durante il passaggio dell'aereo sono state eseguite, in corrispondenza di undici stazioni posizionate in vari punti strategici per abbracciare la maggiore variabilità dei Parametri Otticamente Attivi, le seguenti misure:

- profili lungo la colonna d'acqua della radianza ascendente  $L_u(z,\lambda)$  e dell'irradianza discendente  $E_d(z,\lambda)$  ottenuti utilizzando i radiometri prodotti dalla SATLANTIC;
- profili sottomarini del coefficiente totale di attenuazione  $c(z,\lambda)$  e assorbimento  $a(z,\lambda)$  in nove bande spettrali mediante la sonda ac-9 della e del coefficiente di *back-scattering* ( $b_b$ ) con la sonda HydroScat-6;
- misure di radianza emergente al di sopra della superficie dell'acqua mediante i radiometri portatili SpectraScan PR-650 e Fieldspec FRPro;
- dati ancillari quali temperatura, salinità, disco Secchi, pressione atmosferica, umidità relativa, velocità del vento, copertura nuvolosa e stato del mare;
- prelievi di campioni d'acqua lungo la colonna per la misura in laboratorio della concentrazione dei solidi sospesi (TSM), materia organica disciolta (CDOM) e della clorofilla e dei relativi profili ottici spettrali.

Per la metodologia di misura adottata con la diversa strumentazione, l'analisi dei campioni e il trattamento dei dati si è fatto riferimento *all'Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation* (Rev.4 vol.1-6) della NASA.

## Metodo

Sviluppare un modello per il rilevamento di informazioni sulla composizione del corpo idrico da remoto significa individuare le leggi che relazionano una grandezza osservabile a distanza (quale la riflettanza di *remote sensing*) alle caratteristiche intrinseche del corpo d'acqua e dei suoi costituenti.

Per fare ciò sono necessari due step:

- in primo luogo si deve definire un modello bio-ottico per il corpo idrico; vale a dire identificare le proprietà ottiche inerenti delle sostanze che si possono trovare nei corpi idrici e studiarne la variazione con le relative abbondanze.
- In seconda istanza è necessario definire un modello per il trasferimento radiativo per individuare le leggi che collegano le proprietà inerenti di un corpo idrico con le proprietà apparenti misurabili alla superficie [6].

**Modello Bio-Ottico:** la quantità di sostanze normalmente presenti in un corpo idrico è enorme. Considerarle tutte per avere una descrizione completa è impossibile e inutile. Quello che si fa è di individuare un certo numero di classi di sostanze che includano i principali responsabili della qualità delle acque e che siano otticamente rilevanti. Fra queste sostanze rientrano senz'altro il fitoplancton che può essere ricondotto alla misura della clorofilla in esso presente e la sostanza organica disciolta (costituita essenzialmente da prodotti della degenerazione del fitoplancton e dello zooplancton) che presenta caratteristiche ottiche molto evidenti. Per completare il quadro bisogna tenere conto di tutto il particolato in sospensione diverso dal fitoplancton. Vale a dire del particolato minerale e del detrito organico che vengono assimilati in un'unica classe detta Tripton (Trp).

L'ipotesi di base è che le proprietà ottiche dell'acqua pura e delle sostanze in essa disciolte si combinino linearmente. Nel caso delle classi prese in considerazione si ha pertanto:

$$a(\lambda) = a_0(\lambda) + C_{Chl} a^*_{Chl}(\lambda) + C_y a^*_y(\lambda) + C_{Trp} a^*_{Trp}(\lambda);$$

1

$$b_b(\lambda) = b_{b0}(\lambda) + C_{Chl} b^*_{b,Chl}(\lambda) + C_{Trp} b^*_{b,Trp}(\lambda)$$

dove  $a_0$  e  $b_{b0}$  sono rispettivamente i coefficienti di assorbimento e *back scattering* dell'acqua pura, l'indice Chl è stato utilizzato per indicare il fitoplancton, la lettera y (*yellow substance*) per indicare la sostanza disciolta (conosciuta anche come CDOM – *colored dissolved organic matter*). La lettera C indica la concentrazione mentre l'asterisco posto come apice indica che si sta trattando con profili ottici per unità di concentrazione. Come si può osservare la sostanza disciolta non possiede proprietà di *scattering*.

Gli spettri di assorbimento delle classi considerate sono stati ricavati da misure di laboratorio operate direttamente su campioni rilevati in situ.

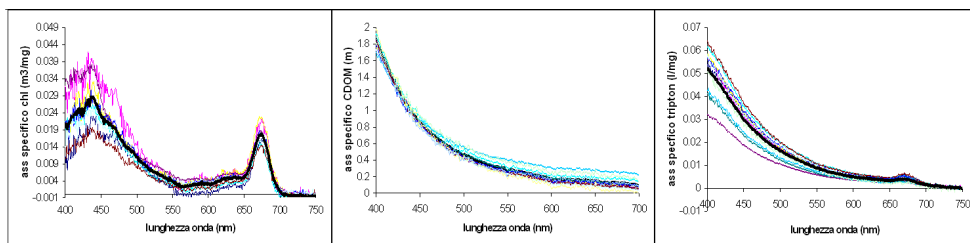


Figura 1 - Spettri di assorbimento specifici per tutte le stazioni di misura relative alla campagna effettuata sulla laguna di Venezia nel maggio 2004 e con i relativi (curva in grassetto) spettri medi.

Figure 1 – Absorption specific spectra collected during the measurement campaign of on the Venice Lagoon (May 2004) and their related mean spectra (bold line).

In figura 1 sono riportati gli spettri di assorbimento specifico delle varie sostanze per tutte le stazioni di misura operate nel maggio 2004 e il relativo valore medio (in grassetto).

Va osservato che l'assorbimento della sostanza disciolta (CDOM) risulta in pieno accordo con valori di letteratura rilevati in altre acque complesse ([4], [7]) e rappresentabili con l'espressione analitica:

$$a_{CDOM}^*(\lambda) = a_{chl}(\lambda_0) \exp[-y(\lambda - \lambda_0)] \quad 2$$

con  $\lambda_0 = 440$ ,  $y = 0.014$ .

Per quanto riguarda gli spettri di *back scattering* della clorofilla e del particolato in sospensione sono stati utilizzati gli andamenti:

$$b_{chl}^*(\lambda) = 0.0002 \left( \frac{550}{\lambda} \right)^{0.7} \quad 3$$

$$b_{Trp}^*(\lambda) = 0.008 \left( \frac{550}{\lambda} \right)^{1.3}$$

che tengono conto del fatto che il tripton contiene anche particelle minerali più piccole (rispetto a quelle del fitoplanton) che determinano un *backscattering* maggiore e una dipendenza più forte dalla frequenza [3].

Per l'assorbimento e il *back scattering* dell'acqua, infine, sono stati utilizzati i valori di Pope e Fry [5].

I profili sono stati validati con le misure degli spettri di assorbimento e *back-scattering* dell'intero corpo d'acqua operate direttamente in situ a sullo strato più superficiale dell'acqua con gli strumenti ac-9 e Hydrolight, vedi figura 2.

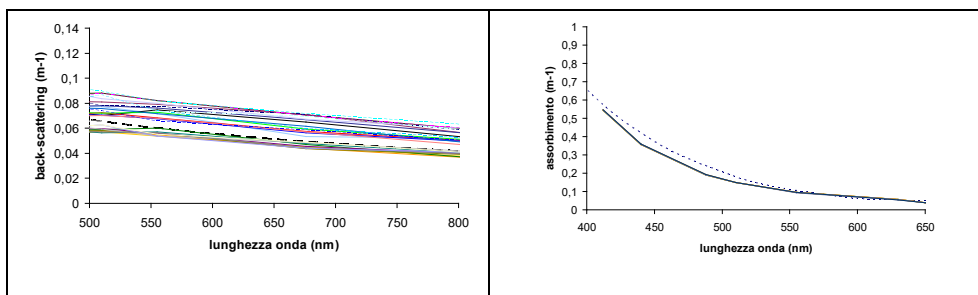


Figura 2 - Confronto fra gli spettri di assorbimento (primo riquadro) e *back-scattering* (secondo riquadro) dell'intero corpo idrico operate sul campo e quelli (curve in grassetto) ottenuti con il modello ottico definito per la laguna. Gli spettri raffigurati si riferiscono allo strato d'acqua più superficiale della seconda stazione della campagna operata nel maggio 2004 (vedi tabella 1).

*Figure 2 – Comparison between collected and simulated optical spectra of the whole water-body. Absorption is reported in the first panel. Back-scattering is reported in the second panel. Spectra refers to the surface layer of the second station of the 2004 campaign (table 1).*

**Modello Analitico semplificato:** definito un modello bio-ottico bisogna stabilire le relazioni fra le proprietà ottiche e le grandezze tele-rilevabili. La grandezza elettromagnetica dalla quale si vogliono dedurre le informazioni sulle concentrazioni dei composti è la riflettanza di remote sensing  $Rrs$ , ottenibile dai dati di campagna e dalle immagini remote. Il modello proposto, che si rifà a quello utilizzato da Brando e Dekker [2], mette pertanto in relazione tale grandezza con le proprietà ottiche del corpo d'acqua. Omettendo per semplicità di trattazione le dipendenze spettrali:

$$Rrs = \frac{I \cdot f}{Q} \cdot \frac{b_b}{a + b_b} \quad 4$$

dove  $I$  rappresenta una quantità che dipende principalmente dalla superficie aria acqua,  $f$  è il fattore anisotropo e tiene conto della disomogeneità del campo elettromagnetico,  $Q$  è un fattore di conversione che mette in relazione la radianza ascendente al di sotto della superficie con la relativa irradianza.

Il fattore complessivo  $F = If/Q$ , a causa delle ipotesi restrittive che si sono imposte per definire il modello analitico (vedi [3]), ha una relazione con le proprietà ottiche del corpo idrico e con la riflettanza di remote sensing più complessa di quelle che potrebbero determinare i singoli fattori  $I$ ,  $f$  e  $Q$ . Tale fattore va pertanto definito, caso per caso, in relazione alla zona specifica sotto osservazione. In questo lavoro si utilizza il fattore  $F$  per affinare il più possibile il modello analitico con un modello numerico che risolve le equazioni del trasferimento radiativo (HydroLight). Tale Modello, che non può essere

invertito in modo diretto, mantiene una complessità e un rigore fisico molto elevato e ci consente di ottenere i valori più corretti per il parametro F in funzione della geometria di illuminazione e dei parametri ottici specifici della scena sotto osservazione. Si sono pertanto operate oltre seicento simulazione della  $R_{rs}$  facendo variare le concentrazioni nei range riscontrati sul campo ed utilizzando i profili definiti nel paragrafo precedente. Attraverso una regressione polinomiale di secondo grado si sono ottenuti i seguenti coefficienti per il fattore F:

$$F = 0.040 + 2.7 * R_{rs} - 42 * R_{rs}^2 \quad 5$$

Considerando, a questo punto, le proprietà ottiche definite nel precedente paragrafo ed operando qualche passaggio matematico, vedi [1], si può ridurre la (4) a una forma matriciale:

$$h = AC \quad 6$$

dove la matrice A e il vettore h hanno elementi che dipendono esclusivamente dal campo misurato e dai profili ottici, mentre C (vettore delle concentrazioni  $C_i$ , con  $i$  indice dei composti considerati) rappresenta l'unica incognita del sistema

**Inversione del modello:** il grande vantaggio dell'utilizzo di modelli analitici, o semiempirici, consiste nella possibilità di invertirli analiticamente ottenendo uno strumento potente per l'analisi di grosse quantità di dati.

Visto che le componenti del vettore C sono le uniche incognite della relazione (6), il modello presentato può essere invertito scegliendo un numero di bande pari al numero di componenti considerati. Questo procedimento determina chiaramente la perdita di molti dati, soprattutto se si sta lavorando con dati multi o Hyper spettrali. La scelta che si opera in questo lavoro è di cercare le soluzioni che minimizzano una funzione errore definita come una distanza fra i valori della osservabile misurata  $R_{rs}$  e quelli ottenuti tramite il modello in funzione delle concentrazioni dei vari composti  $R_{rs}^*$ .

$$ERR = \sum_i^N (R_{rs_i} - R_{rs_i}^*)^2 \quad 7$$

dove la sommatoria va estesa a tutte le bande che si ritengono utili.

## Risultati

Per valicare il modello bio ottico e l'intera procedura di inversione si è applicato il procedimento ai dati rilevati in situ con l'ASD e si sono confrontate le concentrazioni ottenute con i valori misurati in laboratorio.

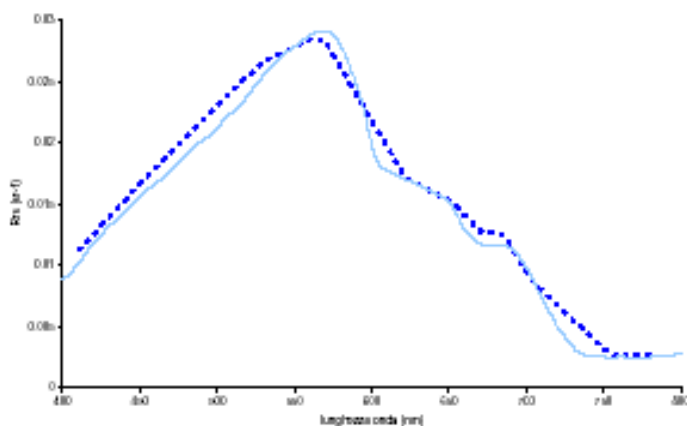


Figura 4 – Spettro misurato (linea continua) e spettro simulato (linea tratteggiata) della radianza di remote sensing relativi alla stazione n.2 della campagna del 2004.  
*Figure 4 – Remote sensing measured and simulated (broken line) spectra related to the second station of the 2004 campaign.*

In figura 4 sono riportati Gli spettri misurati e gli spettri ottenuti con il modello in relazione alle concentrazioni che minimizzano la (7) per la stazione n.2 (vedi tabella 1), mentre nella tabella 1 sono riportati i valori delle concentrazioni misurate e ricavate del modello inverso per tutte le stazioni di misura della campagna del 2004. Nell'ultima colonna della stessa tabella è riportato un'indice di somiglianza RMS% fra gli spettri misurati e quelli simulati ottenuto normalizzando la (7) rispetto ai valori misurati e riportando, per comodità di lettura, ad un valore percentuale.

Tabella 1 – indice di somiglianza RMS% (ultima colonna) e concentrazioni dei composti misurati e ricavati tramite il modello inverso.  
*Table 1 – measured and model-retrived compunds concentration. RMS% (latest column).*

stazione	chl (mg/m <sup>3</sup> )	chl modello (mg/m <sup>3</sup> )	CDOM (m <sup>-1</sup> )	CDOM modello (m <sup>-1</sup> )	Trp (g/m <sup>3</sup> )	Trp modello (g/m <sup>3</sup> )	RMS%
1	3.46	4.20	0.27	0.23	6.16	6.00	5
2	1.60	2.01	0.31	0.27	6.19	6.45	6
3	2.99	3.40	0.36	0.30	6.69	7.32	4
4	4.25	4.01	0.32	0.30	5.30	5.65	5
5	10.11	13.22	0.54	0.50	20.17	23.90	7
6	4.03	3.65	0.32	0.35	5.12	4.40	12
7	0.80	1.10	0.37	0.46	11.01	10.01	3
8	3.47	3.35	0.41	0.40	6.33	6.43	4
9	0.41	0.76	0.20	0.18	5.97	6.78	2
10	4.90	5.30	0.22	0.20	6.66	9.00	9
11	2.17	1.99	0.19	0.16	2.72	3.98	5



## Discussione e conclusioni

In questo lavoro è stato descritto un procedimento per il rilevamento dei parametri di qualità di acque complesse e definito un modello bio-ottico specifico per la laguna di Venezia attraverso misure dirette operate sul campo. Le procedure di validazione operate attraverso confronto fra i dati simulati e le grandezze misurate hanno dimostrato la robustezza e l'affidabilità del modello. Tali caratteristiche fanno sperare nell'applicabilità di tale procedimento su vasta scala ai fini del monitoraggio dell'ambiente lagunare e dell'equilibrio biologico. Risultati in questa direzione sono attesi dall'integrazione dei suddetti modelli con le tecniche di classificazione ampiamente utilizzate in quest'area per la mappatura delle fanerogame ed altre alghe sommerse. A tale scopo sono attese le carte sinottiche delle abbondanze dei composti relative alle immagini CASI (attualmente in fase di pre-elaborazione) rilevate durante la campagna di misura del luglio 2000.

## Bibliografia

- [1] Alberotanza L., Azzaro F., Braga F., Cavalli R.M., Pignatti S., Salviato S., Santini F. - *Definizione di un modello bio-ottico per le acque dello stretto di Messina*, atti conferenza ASITA, Roma, Dicembre 2004, 51-56.
- [2] Brando E., Dekker G. - *Satellite Hyperspectral Remote Sensing for Estimating Estuarine and Coastal Water Quality*, IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, (2003), 41, 1378-1387
- [3] Curtis D. Mobley - *Light and Water. Radiative Transfer in Natural Waters*, (1994), Academic Press, London U.K.
- [4] Morel A - *Light and marine photosynthesis: a spectral model with geochemical and climatological implications*, Prog. Oceanogr. (1991) 26(6), 263.
- [5] Pope R.M., Fry E.S. - *Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water, II. Integrating cavity measurements*, Applied Optics, (1997) 36, 8710-8723.
- [6] Preisendorfer - *Hydrologic Optics, Vol. I. Introduction*, (1976), U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration, Environment Research Laboratory, Honolulu
- [7] Prieur L., Sathyendranath S. - *An optical classification of coastal and oceanic waters based on specific absorption curves of phytoplankton pigments, dissolved organic matter and other particulate materials*, Limnol. Oceanogr. (1981) 26(4): 671-689

# COSTRUZIONE DI UNA LIBRERIA SPETTRALE DELLE FANEROGAME MARINE DELLA LAGUNA DI VENEZIA

Jvan Barbaro<sup>1</sup>, Stefania Salviato, Federica Braga e Luigi Alberotanza

ISMAR-CNR, Venezia

<sup>1</sup>ISMAR-CNR, San Polo 1364, 30124 Venezia, e-mail: jvan.barbaro@ve.ismar.cnr.it, tel.: 041-5216840, Fax: 041-2602340

**Riassunto** - Si presenta la costruzione della prima libreria spettrale delle fanerogame e di macroalghe presenti nella laguna di Venezia, strumento importante per la costruzione di mappe di distribuzione della vegetazione sommersa con tecniche di telerilevamento.

La libreria è composta da 250 firme diversificate per: genere, stato vegetativo, contributo della colonna d'acqua e dei parametri ancillari (copertura nuvolosa, stato della superficie dell'acqua). Si è potuto evidenziare che con le firme spettrali raccolte *in situ* è possibile discriminare le tre specie di fanerogame e alcune macroalghe presenti nelle acque lagunari.

Rispetto ad altre librerie spettrali, questa ha il vantaggio di considerare come proprietà intrinseca della firma i contributi della colonna d'acqua e degli altri parametri che influenzano la riflettanza della vegetazione sommersa.

**Abstract** – *The first seagrass spectral library of the Venice lagoon is presented.*

*The library consists of 250 signatures, differentiated by: genus, vegetative state, influence of water column and ancillary parameters (cloudy covering, water surface state, turbidity and suspended particulate). Starting from in situ taken spectral signatures, it is then possible to discriminate the Venice lagoon seagrass species.*

*Respect to other spectral libraries, in this one the contributes of water column and other parameters influencing seagrass reflectance are considered as intrinsic property of spectral signatures.*

## Introduzione

Le fanerogame marine rivestono un ruolo ecologico importante nelle acque di transizione poiché stabilizzano il fondale e ne limitano l'erosione, determinano un'attenuazione meccanica dell'azione energetica delle onde e forniscono riparo e nutrimento ad una moltitudine di altri organismi. Costituiscono, pertanto, un fondamentale bioindicatore dell'ecosistema lagunare e della sua trasformazione e rientrano, per questo, come variabile sostanziale in diversi indici di stato trofico ambientale.

Mappe della loro distribuzione sono ottenute generalmente mediante rilevamenti eseguiti a vista a bordo di piccole imbarcazioni o interpretazione di foto aeree [11]; solo recentemente si sono incominciate ad utilizzare immagini satellitari per produrre mappe qualitative della vegetazione acquatica sommersa [3]. Il telerilevamento consente di realizzare indagini su aree molto estese in modo sinottico e con alta frequenza temporale

(anche quindicinale); i dati, inoltre, possono essere acquisiti in modo relativamente semplice e veloce, elaborati in tempi brevi, ottenendo informazioni sempre aggiornate.

Un'elevata risoluzione spettrale e spaziale dei sensori satellitari può permettere di riconoscere la vegetazione a livello di specie, a condizione che queste siano spettralmente distinguibili [10]. Le fanerogame e le macroalghe hanno risposte spettrali molto simili e la loro riflettanza è governata da numerosi fattori fisici e fisiologici che variano per una stessa specie a seconda della stagione e del sito. Nelle acque costiere, inoltre, il fitoplancton, il materiale sospeso, le sostanze disciolte e il fondale contribuiscono fortemente alla risposta spettrale misurata, come anche gli organismi epifiti. Risulta dunque di fondamentale importanza determinare se le differenze spettrali osservate siano non solo statisticamente significative ma soprattutto consistenti [5].

Per costruire con immagini satellitari mappe di copertura vegetale che garantiscano il riconoscimento tassonomico (almeno al livello di genere) è importante, pertanto, disporre di una libreria spettrale specifica e dettagliata, che contenga, per ciascun target, un insieme di firme rappresentativo della diversa risposta spettrale in funzione della stagione, della tipologia del fondale e del variare delle condizioni ambientali.

Scopo di questo lavoro è quello di determinare se sussistono differenze consistenti nelle risposte spettrali tra le specie di fanerogame e macroalghe presenti in laguna di Venezia e di costruirne la prima libreria spettrale estesa.

Inoltre, non esistendo in letteratura un protocollo specifico per tali rilevamenti, si è dovuto preliminarmente definire un'adeguata metodologia sperimentale.

## Materiali e metodi

In laguna di Venezia sono presenti tre specie di fanerogame: *Zostera marina* L., *Nanozostera noltii* Hornem. e *Cymodocea nodosa* (Ucria) Asch., che formano praterie sia pure che miste.

Le campagne di misura sono state eseguite nel periodo primavera-estate 2002 e 2003 in corrispondenza di parcelle di 100 m<sup>2</sup> (Fig. 1).

Nel primo anno le parcelle erano così caratterizzate: 3 parcelle pure a copertura totale (100 %) di *C. nodosa*, *Z. marina* e *N. noltii*; 1 parcella con copertura mista di *C. nodosa* e *Z. marina*; 2 parcelle pure di *C. nodosa* e *Z. marina* con copertura discontinua (50 %). Nel secondo anno, invece, si sono studiate le tre parcelle pure ed altre costituite solo da macroalghe o substrato nudo.

Nel corso di ogni singola campagna, e per ognuna delle parcelle identificate, sono stati effettuati rilievi ad intervalli orari, per un ciclo di otto ore, in modo da includere un minimo o un massimo di marea; inoltre, si sono effettuati campionamenti singoli in zone particolarmente significative. Si sono eseguite misure di riflettanza spettrale, parametri ancillari (radiazione disponibile per la fotosintesi PAR, torbidità, profondità, fluorescenza, materiale solido sospeso, direzione ed intensità della corrente) e misure periodiche delle caratteristiche fenologiche e di crescita delle fanerogame.

La riflettanza sopra l'acqua è stata ricavata dalla misura della radianza emergente dalla superficie confrontata con quella simultaneamente rilevata su un pannello di riferimento (posta nelle stesse condizioni di orientamento e illuminazione) con caratteristiche ottiche note [1]. Si è utilizzato uno spettroradiometro da campo (PR-650

SpectraScan della Photo Research), a 101 canali tra 380 e 780 nm, con larghezza di banda di 8 nm, accuratezza  $\pm 2$  nm, risoluzione spettrale 4 nm e un *Field-of-view* di  $1^\circ$ . Per le misure di radianza si è fatto riferimento al protocollo del *Sea Viewing Wide Field of View Sensor* (SeaWiFS) [8]. I pannelli utilizzati in campagna erano periodicamente calibrati in laboratorio con apposita procedura [2].

Al fine di ridurre l'errore, per ogni singolo rilievo sono stati acquisiti almeno cinque spettri di radianza, in rapida successione, in modo da poter trascurare la differenza relativa tra gli angoli zenitali solari. Particolare attenzione è stata prestata nell'evitare i riflessi del sole e del cielo (dovuti alle increspature superficiali) adottando la geometria di misura coerente con la bibliografia:  $40^\circ$  rispetto al nadir e  $90^\circ$  rispetto all'azimut del sole [6, 7, 13].

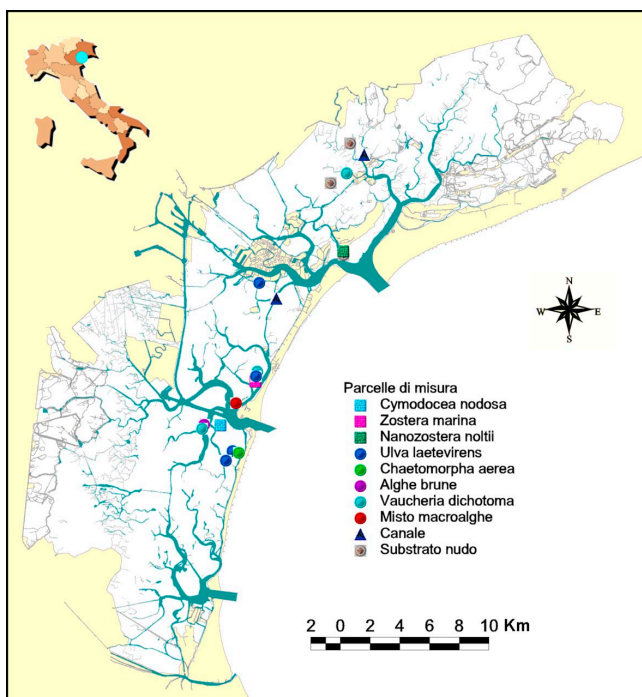


Figura 1 – Mappa dei siti. - *Site map*.

I difetti di posizionamento e allineamento del radiometro e del pannello sono stati stimati acquisendo 50 misure di radianza del pannello, riposizionando ogni volta lo strumento; l'errore era contenuto entro il 2 %.

Per ciascuno dei 773 profili di riflettanza misurati, si è costruito un vettore con i suoi parametri ancillari specifici: ora, profondità, altezza della colonna d'acqua, torbidità, particolato sospeso totale, fluorescenza, PAR, copertura del cielo, vento, stato della superficie dell'acqua e stato vegetativo della pianta (compreso l'eventuale epifitismo).

Si è analizzato l'errore di misura e si sono considerati validi i dati con un errore inferiore al 10 %, nella porzione centrale dello spettro misurato. Dei dati validi si sono

considerati solo i canali tra 440 e 740 nm; le due code, infatti, risentono molto del rumore dello strumento e di quello associato alla metodologia di misura presentando errori superiori al 10 %.

Data la notevole variabilità nell'altezza assoluta dei profili misurati nelle stesse condizioni, si è scelto di calcolare, per ciascuna firma, il corrispondente profilo normalizzato rispetto al canale 664 nm. In questo modo ci si è concentrati soprattutto sul confronto tra le forme dei profili, superando la variabilità intrinseca a questo tipo di misure. Si sono calcolate le derivate fino al quarto ordine. Ed infine si è proceduto all'analisi discriminante attraverso le tecniche di Cluster analysis [10], Factor analysis [9, 4] analisi dei gruppi e analisi delle derivate quarte [12]. Per ciascun gruppo di profili simili identificati, si è calcolata la media dei corrispondenti profili misurati, ricavando il profilo caratteristico virtuale rappresentativo del gruppo. Inoltre, mediante l'analisi dei vettori dei parametri ambientali, si è associata a ciascuna firma virtuale il corrispondente vettore (medio) di condizioni ambientali. Le 250 firme virtuali così ottenute formano la libreria spettrale.

## Risultati

L'analisi dei dati raccolti ha evidenziato un'estrema variabilità nella risposta spettrale di ciascun target. Diversi fattori influenzano la radianza emergente dall'acqua e possono parzialmente o totalmente mascherare il segnale della vegetazione sommersa. I principali sono: lo spessore della colonna d'acqua; la torbidità; la densità di vegetazione; il substrato; lo stadio di crescita, stato di salute e ciclo stagionale delle fanerogame.

Lo spessore della colonna d'acqua è variabile e dipende dalla profondità e dall'ampiezza di marea, dal ciclo vegetativo della pianta, e dalle correnti che influenzano il portamento delle foglie (Fig. 2 A).

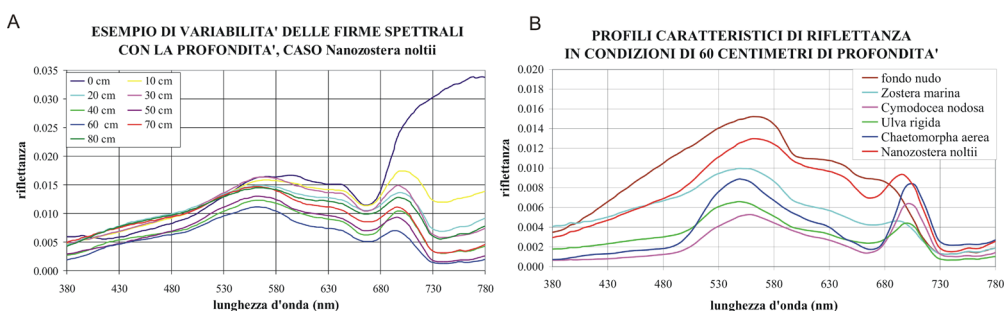


Figura 2 A) Variabilità della firma in funzione della profondità. – *Signature variability with depth*. B) Firme spettrali nelle stesse condizioni. – *Target spectral signatures in similar environmental condition*.

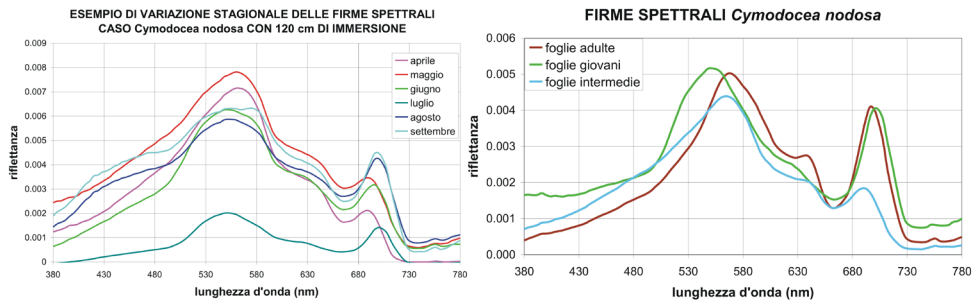


Figura 3 A) Variabilità della firma in funzione del mese. – *Signature variability with months.* B) Variabilità della firma in funzione dello stato vegetativo – *Signature variability with vegetative growth.*

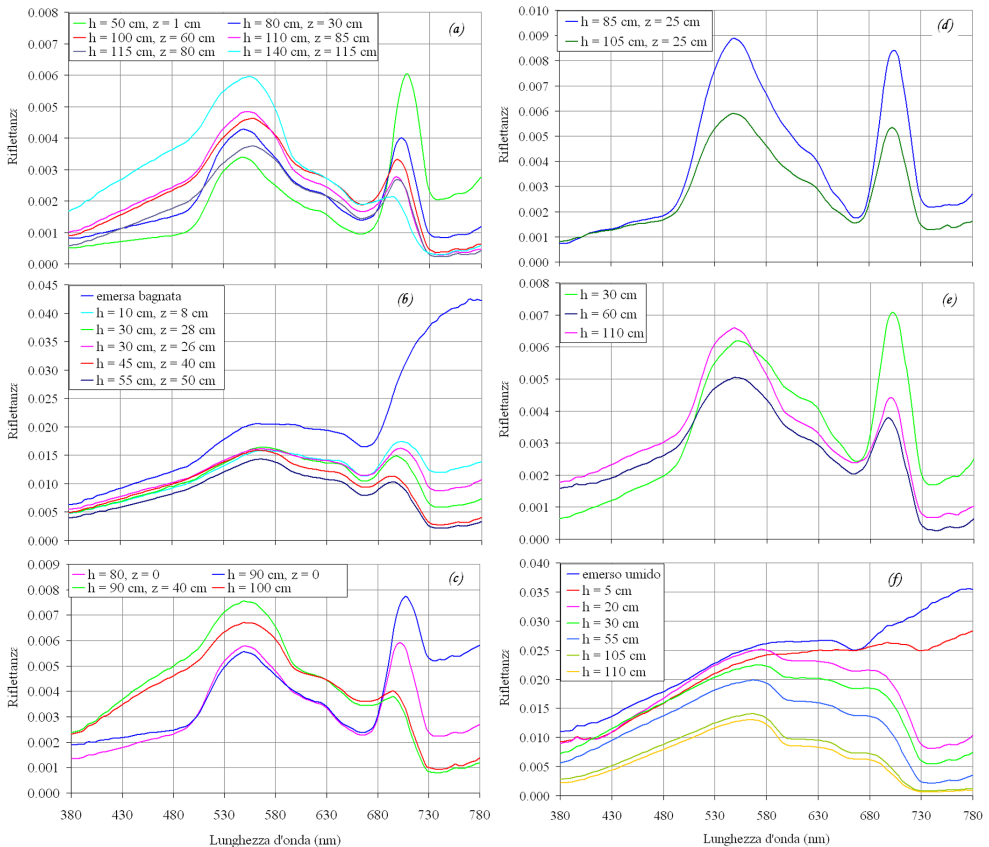


Figura 4 – Firme della libreria spettrale (h profondità, z spessore della colonna d’acqua). – *Signatures of the spectral library (h depth, z water column extent)* a) *Cymodocea nodosa*, b) *Nanozostera noltii*, c) *Zostera marina*, d) *Chaetomorpha aerea*, e) *Ulva laetevirens*, f) *Bare substratum*.

L'aumento dello spessore d'acqua comporta, in genere, un'attenuazione del segnale, in particolare nella regione del rosso e del vicino infrarosso.

La torbidità dell'acqua è dovuta principalmente: ai sedimenti risospesi dalle correnti, dallo stress del vento e dall'attività di pesca; alle sostanze organiche disciolte e in sospensione; al fitoplancton. La torbidità è responsabile dell'aumento della radianza spettrale misurata (aumento della luce riflessa). Tale segnale risulta talvolta dominante rispetto a quello dovuto ad altre componenti, e tende a mascherare o nascondere la presenza di piante sommerse.

Data la limitata profondità dei fondali, la radianza emergente dalla superficie è influenzata anche dal contributo dovuto alla riflessione da parte del fondale. La sua influenza varia principalmente in funzione della sua natura. Quanto il fondale contribuisca al segnale rilevato, dipende dalla densità di copertura vegetale.

Un ruolo significativo nella modifica della risposta spettrale è apportato sia dalle caratteristiche fenologiche che dalle condizioni di crescita (Fig. 3).

Con la costruzione della libreria spettrale (Fig. 4) si è potuto evidenziare come sia possibile distinguere spettralmente i diversi target, tenendo presente il contributo delle principali forzanti ambientali (Fig. 2 B).

## Discussione

È la prima volta che un lavoro così sistematico viene effettuato per una laguna, con la raccolta di oltre 770 firme spettrali di target acquatici e la costruzione di una libreria spettrale di 250 firme, che tengono conto delle modifiche apportate alle firme dalla presenza della colonna d'acqua. L'analisi finora condotta ha evidenziato, infatti, la rilevante variabilità delle riposte spettrali che sono fortemente influenzate dai fattori ambientali e dalle caratteristiche fenologiche delle piante e dove la forzante mareale e la variazione dei componenti della colonna d'acqua giocano un ruolo importante.

In letteratura esistono altri lavori di questo tipo ma riguardano la raccolta di firme pure soltanto a contatto del target [12], talvolta persino estratti dall'acqua [5]. In questi casi, le librerie ottenute sono utili solo se utilizzate all'interno di algoritmi di trasferimento radiativo con modelli bio-ottici; tali procedure sono però molto più onerose in termini di misure da effettuare e di calcolo per l'estrazione delle mappe, seppur più coerenti fisicamente. Se ben costruiti, inoltre, possono essere più precisi e più facilmente esportabili. Il vantaggio del nostro lavoro, tuttavia, risiede nella rapidità e semplicità della sua applicazione per l'estrazione delle mappe; questa libreria, inoltre, può essere immediatamente utilizzata nelle procedure di riconoscimento nate per applicazioni terrestri, senza dover ricorrere a quelle più sofisticate necessarie per gli ambienti acquatici.

Lo svolgimento di attività di campionamento *in situ* è limitata dalla mancata definizione di una normativa metodologica. La procedura qui adottata si basa su un protocollo per la validazione dei dati SeaWiFS e su ulteriori aggiornamenti. Tuttavia, nessuno di questi fa riferimento all'acquisizione di firme spettrali di vegetazione sommersa in ambienti complessi e dinamici come quelli lagunari, in cui il segnale rilevato è fortemente influenzato dal contributo del fondale e della colonna d'acqua. È ragionevole pensare, quindi, che la procedura di misura adottata possa essere ridiscussa ed ulteriormente migliorata. L'approssimazione più rilevante è il trascurare le deviazioni dal comportamento

lambertiano dei target misurati; nel caso dell'acqua, ciò costituisce un limite significativo. Eventuali correzioni richiederebbero l'utilizzo di modelli complessi (quando disponibili) e fortemente dipendenti dalle caratteristiche degli oggetti osservati e dalle condizioni di acquisizione.

## Conclusioni

Aspetto fondamentale di questo lavoro è l'aver evidenziato la possibilità di discriminare i diversi target lagunari a partire da misure iperspettrali di riflettanza con la costruzione della prima libreria spettrale sulla Laguna di Venezia, di 250 firme, inoltre, costituisce un concreto contributo allo sviluppo metodologico per lo studio e la costruzione di librerie spettrali per ambienti di transizione.

In futuro, sarà necessario migliorare il calcolo della riflettanza, correggendo gli errori dovuti allo stato dell'interfaccia acqua-aria, e il processo analitico, introducendo un modello bio-ottico del corpo d'acqua. Infine, resta ancora da dimostrare se la discriminazione ottenuta con misure *in situ* sia possibile anche con misure eseguite con sensori satellitari.

## Ringraziamenti

Il lavoro di campagna rientra nelle attività svolte nell'ambito del progetto "Monitoraggio ambientale della laguna di Venezia", promosso dal Magistrato alle Acque di Venezia. L'analisi dei dati rientra nel progetto di ricerca CNR/ASI n° I/R/156/02.

## Bibliografia

- [1] Alberotanza L., Canossi I., Pavanati M., Ramasco C., Zibordi G. - *Spettri di riflettanza di superfici naturali: metodologia di misura ed applicazione ad acque lagunari*, Riv. it. Teleril., (1993) 2, 17-20.
- [2] Alberotanza L., Ferro Milone G., Pavanati M., Ramasco C. - *Procedura sperimentale per la calibrazione di pannelli di riflettanza standard*, ISDGM-CNR (1997), Technical report.
- [3] Alberotanza L., Barbaro J., Braga F., Pignati S., Salviato S., Santini F. - *Classificazione della vegetazione sommersa della Laguna di Venezia usando dati iperspettrali da aereo e da satellite*, Atti convegno Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo, Sassari, ottobre 2006, in referaggio.
- [4] Flink P., Lindell T., Ostlund C. - *Statistical analysis of hyperspectral data from two Swedish lakes*, Sci. Total Env., (2001) 268, 155-169.
- [5] Fyfe S. K. - *Statistical and temporal variation in spectral reflectance: are seagrass species spectrally distinct?* Limnol. Oceanogr., (2003) 48, 464-479.
- [6] Hooker S.B., Lazin G., Zibordi G., McLean S. - *An evaluation of above- and in-water methods for determining water-leaving radiances*, J. Atmos. Oceanic Technol., (2002) 19 (4), 486-515.



- [7] Mobley C.D. - *Estimation of the remote-sensing reflectance from above-surface measurements*, Appl. Opt., (1999) 38(36), 7442-7455.
- [8] Mueller J.L., Austin R.W. - *Ocean Optics Protocols for Sea WiFS Validation*, Revision 1. NASA Tech. Memo. 104566, Vol. 25 (1995).
- [9] Pavanati M., Ramasco C., Alberotanza L. - *Optical characterisation of water in the Venice lagoon*, Atti dell'Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, (1998) Tomo CLVI, 211-228.
- [10] Price J. C. - *How unique are spectral signatures?*. Rem. Sens. Env., (1994) 49, 181-186.
- [11] Rismondo A., Curiel D., Scarton F., Mion D. e Caniglia G. - *A new seagrass map of the Venice lagoon*, Proceeding of the 6<sup>th</sup> International Conference of the Mediterranean Coastal Environment, in MEADCOAST 03, 7-11 october 2003, Vol. 2, 843-852.
- [12] Wettle, M., Ferrier, G., Lawrence, A. J., and Anderson, K. - *Fourth derivative analysis of Red Sea coral reflectance spectra*. International Journal of Remote Sensing, (2003) 24, 3867-3872.
- [13] Zibordi G., Hooker S.B., Berthon J.F., D'Alimonte D. - *Autonomous Above-Water Radiance Measurements from an Offshore Platform: A Field Assessment Experiment*, J. Atmos. Oceanic Technol., (2002) 19(5), 808-819.

## INTERREG IIIB MEDOCC “POSIDONIA”: UN’OPPORTUNITÀ DI CONFRONTO E COLLABORAZIONE

Rosa Maria Bertolotto<sup>1</sup>, Cecilia Cuneo<sup>1</sup>, Paolo Moretto<sup>1</sup>, Veronica Parodi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ARPAL Direzione Scientifica, U.O. Promozione e coordinamento delle attività e dei servizi, Settore Ambiente marino costiero. E-mail: mare.ds@arpal.org; tel.: 010 6437277-276-275 fax: 010 6437204

**Riassunto** – Il presente lavoro illustra un quadro delle principali attività svolte nell’ambito del progetto Interreg IIIB MedoCC “Posidonia”.

Il progetto, con periodo di svolgimento da aprile 2005 ad aprile 2007, ha come obiettivo lo scambio di esperienza e di conoscenze relativi alle metodologie di studio della fanerogama marina *Posidonia oceanica*, quale indicatore della qualità ambientale dell’ambiente marino costiero.

Nel progetto sono coinvolti tre paesi della comunità del Mar Mediterraneo: Francia, Italia e Spagna. Sono stati istituiti tre gruppi di lavoro, due dei quali coinvolgono ARPAL: Cartografia, Monitoraggio e Bioindicatori, ciascuno con diversi obiettivi.

Attraverso riunioni e campagne in mare i partner hanno potuto applicare e confrontare le diverse tecniche di indagine impiegate per cartografare e monitorare una prateria. Lo scambio di esperienze permetterà di stendere un documento conclusivo, che raccoglierà i contributi di tutti i partner e sarà destinato sia agli amministratori gestionali (Comuni, Regioni, autorità locali), sia a studiosi scientifici che hanno come principale obiettivo la protezione e la tutela delle biocenosi a *Posidonia oceanica*.

**Abstract** – *The project, lasting 24 months, focuses on the exchange of experiences and knowledge on the study methodologies of Posidonia oceanica, a seagrass that can act as quality indicator for coastal marine environment.*

*Three Mediterranean countries participate to the project: France, Italy and Spain, with three workgroups with different objectives: cartography, monitoring and bioindicators. ARPAL is part of the first two groups.*

*Meetings and sea campaigns have been organized, in which different techniques have been used and different approaches to mapping and monitoring P.oceanica meadows have been compared.*

*At the end of the project, a conclusive document will be issued aiming both to local authorities, marine reserve or coastal area managers and to scientists who care for protection and conservation of Posidonia oceanica.*

## Introduzione

Le praterie sommerse di *Posidonia oceanica* costituiscono uno tra i popolamenti più importanti, più studiati e più rappresentativi del piano infralitorale del Mediterraneo [1]. La *Posidonia* riveste un importante ruolo dal punto di vista ecologico [5], sedimentario ed economico, grazie al particolare accrescimento delle radici e dei rizomi, che stabilizzano i fondali e grazie all'azione frenante delle foglie che riducono l'idrodinamismo proteggendo così le coste dall'erosione [4]. Inoltre, grazie alla sua eccezionale sensibilità all'inquinamento e alle modificazioni di origine naturale o antropica in atto nell'ambiente, la *Posidonia* diventa un ottimo indicatore della qualità delle acque marine costiere [10].

In questo contesto si inserisce così la necessità di monitorare e salvaguardare questo prezioso patrimonio di biodiversità del Mediterraneo. Il progetto Interreg IIIB Medocc "Posidonia", che ha un periodo di svolgimento compreso da aprile 2005 ad aprile 2007, ha appunto come obiettivo lo sviluppo, la validazione ed il confronto delle diverse metodiche impiegate dai maggiori esperti per lo studio e il monitoraggio delle praterie di *Posidonia oceanica*. Attraverso incontri su campo e riunioni a tavolino si è potuto e si potranno, operare scambi di esperienze, proporre ed elaborare nuove strategie.

## Materiali e metodi

Il capo fila del progetto è l'istituto francese IFREMER che si avvale della collaborazione del gruppo d'interesse scientifico GIS-Posidonie. I paesi coinvolti sono tre, rappresentati ognuno da diversi partner (tab.1).

Tabella 1 – Elenco dei partner partecipanti al progetto e relativo gruppo di lavoro.  
*Directory of the partners participants to the project and the workgroups.*

Stato	Partner	Gruppo di lavoro
Francia	Regione PACA <sup>1</sup>	Cartografia
	Università di Corsica (EQEL <sup>2</sup> )	Bioindicatori
Italia	ARPAL <sup>3</sup>	Monitoraggio e Cartografia
	ENEA <sup>4</sup>	Cartografia
Spagna	Università di Barcellona	Bioindicatori

È inoltre prevista la partecipazione di un sesto partner, rappresentato dal PNUE<sup>5</sup>/RAC/SPAM<sup>6</sup> con sede a Tunisi.

<sup>1</sup> Regione Provenza e Costa Azzurra

<sup>2</sup> Equipes Ecosystèmes Littoraux

<sup>3</sup> Agenzia Regionale Protezione Ambiente Ligure

<sup>4</sup> Ente per le Nuove Tecnologie l'Energia e l'Ambiente

<sup>5</sup> Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente

<sup>6</sup> Centro di Attività regionale per le Aree Specialmente Protette

L'attività del progetto è articolata in tre gruppi di lavoro, due dei quali coinvolgono ARPAL:

- gruppo di lavoro Cartografia;
- gruppo di lavoro Monitoraggio;
- gruppo di lavoro Bioindicatori.

Il gruppo Cartografia, coordinato dall'Ifremer e da GIS Posidonie, ha previsto campagne in mare, dove i partner hanno applicato diversi metodi per la mappatura cartografica delle praterie. Il principale obiettivo del gruppo è dunque quello di mettere a confronto le diverse metodiche e i differenti approcci impiegati dai vari partner per rappresentare cartograficamente i posidonieti.

Le metodologie applicate in campo, in occasione delle due campagne svoltesi a Saint Raphaël ed Imperia, sono diverse. Sono stati condotti rilevamenti con *Side Scan Sonar* (fig.1), sonar a scansione laterale che trasmette un segnale acustico che si propaga nell'acqua e sul fondale. Le rugosità del fondo ed ogni oggetto presente sul fondale riflettono il segnale incidente nella direzione del sonar che lo amplifica e lo invia al processore di dati [2].

Sono state effettuate riprese georeferite con videocamera subacquea ed interfaccia su pc (fig. 2). In questo caso sono stati realizzati filmati con videocamera subacquea visibili in tempo reale su un monitor situato sull'imbarcazione. Conoscendo il percorso effettuato dall'imbarcazione e la durata delle riprese si può associare ad ogni sequenza di filmato la posizione geografica corrispondente. L'ENEA ha applicato la microcartografia di dettaglio con sistema DGPS subacqueo (fig. 3), ovvero il rilevamento della prateria attraverso la trasmissione di segnali da parte di un operatore subacqueo a tre boe, disposte in superficie, che definiscono la posizione. Sono state condotte ispezioni visive e sopralluoghi nel corso di immersioni subacquee con eventuale valutazione del limite inferiore tramite l'impiego di "corpi morti" (balises) posti sul fondo (fig. 4). Infine sono state scattate fotografie in quota da miniaerei telecomandati (fig. 5).

Il gruppo Monitoraggio, coordinato da ARPAL, si è dedicato al confronto dei parametri descrittori di posidonia e delle varie metodiche di campionamento impiegate nei vari studi di monitoraggio. Il gruppo sta producendo un manuale di gestione, relativo alla normativa vigente nei tre paesi partner (Francia, Italia e Spagna) sulla tutela dei posidonieti e ai criteri adottati dalle autorità competenti per autorizzare opere ed attività potenzialmente impattanti le praterie. Inoltre è stato creato un forum su web come eventuale strumento di discussione.

Il gruppo Bioindicatori, è coordinato dall'università di Barcellona ed ha come obiettivo l'individuazione ed il confronto delle sostanze bioindicatrici più caratteristiche, ovvero quelle sostanze impiegate per valutare la qualità di un ambiente e, soprattutto, per mettere in evidenza, quasi immediatamente, le modificazioni in atto. Per esempio, tra le sostanze prese in considerazione ci sono il saccarosio contenuto nei rizomi di Posidonia, indicatore della trasparenza delle acque, il fosforo e l'azoto che sono invece buoni indicatori del livello di eutrofizzazione.

Il presente lavoro riassume i principali risultati e relative discussioni dei due gruppi di lavoro che vedono coinvolta ARPAL.

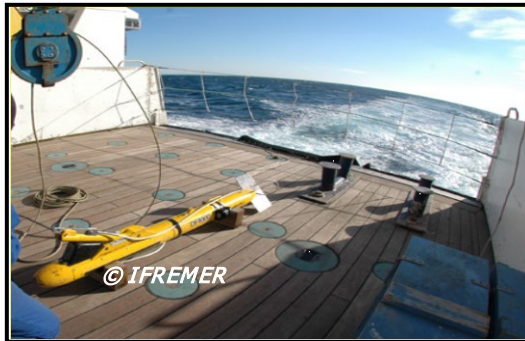


Figura 1 – Side Scan Sonar utilizzato per il rilevamento.  
*Side Scan Sonar used for the survey.*



Figura 2 – Videocamera subacquea utilizzata per le riprese sottomarine.  
*Underwater videcamera.*

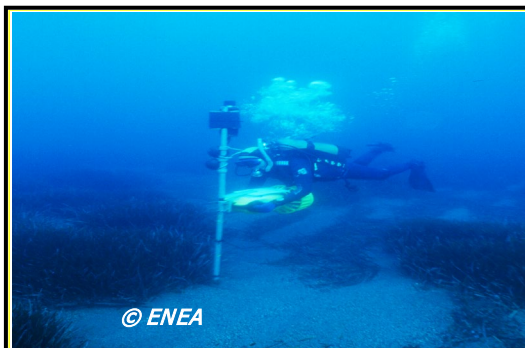


Figura 3 – Tecnica di microcartografia applicata da un operatore subacqueo.  
*Microcartography applied from underwater operator.*



Figura 4 – Monitoraggio del limite inferiore marcato con balises.  
*Monitoring of the lower depth limit with balises.*



Figura 5 – Miniaerei telecomandati utilizzati per la fotografia aerea.  
*Miniairplane operate by remote control used for the air photograph.*

## Risultati

Il gruppo di lavoro Cartografia ha realizzato una prima campagna (Posidonia 1) a Saint Raphael dal 27 novembre al 1 dicembre 2005 e una seconda campagna (Posidonia 2) a Imperia dal 2 al 6 maggio 2006. In queste occasioni i partner hanno assistito all'impiego del *Side Scan Sonar*, che ha permesso di ottenere i sonogrammi di una zona della regione PACA che non era mai stata esplorata da un sonar e di cui non si disponeva una cartografia recente. Sono state realizzate, inoltre, più riprese videosubacquee, in particolar modo in quei punti che presentavano maggiori difficoltà di interpretazione utilizzando il *Side Scan Sonar*.

Sono state condotte immersioni subacquee che hanno permesso di conoscere e confrontare direttamente su campo le metodiche impiegate da ciascun partner per caratterizzare e monitorare le praterie. È stato così possibile paragonare la precisione di posizionamento delle tre tecniche di acquisizione utilizzate nelle due campagne (sonar, video e operatore subacqueo).

Il gruppo di lavoro Monitoraggio sta portando a conclusione il manuale di gestione, strumento che ha come principale scopo la messa a confronto dei diversi criteri utilizzati dai soggetti pubblici competenti per valutare gli eventuali impatti che potrebbero incidere su un posidonieto. Le opere e i relativi impatti presi in considerazione nel manuale sono: rifacimenti delle spiagge, costruzione di opere costiere (porti, riempimenti...), scarico di materiale proveniente da lavori di dragaggio, scarico di rifiuti liquidi, presenza di impianti di maricoltura, pesca marittima. Per ciascuno tipo di impatto il manuale presenta una scheda tecnica che riporta la descrizione dell'impatto, la normativa di riferimento, ovvero le norme che disciplinano l'impatto e i criteri di valutazione dell'impatto, ovvero i principi adottati da parte dell'autorità competente per emanare l'autorizzazione delle opere o attività potenzialmente impattanti.

Per quanto riguarda il forum, l'obiettivo principale è quello di fornire una possibilità di confronto tra i partner sulle differenti metodiche impiegate in uno studio di monitoraggio di posidonia. Nel corso dell'anno di attività appena trascorso, tutti i partner hanno partecipato alla discussione in rete, scambiando e confrontando proprie opinioni ed esperienze. Tra i soggetti proposti è risultata di maggior interesse e quindi, di maggior discussione, una lista in cui sono elencati tutti i parametri che si possono utilizzare in uno studio di monitoraggio della Posidonia; per ogni parametro sono stati proposti otto criteri di valutazione che hanno preso in considerazione la variabilità stagionale del parametro, la ripetibilità e la distruttività del campionamento, il tempo da impiegare in immersione e in laboratorio per misurare il parametro, la relazione con la degradazione della prateria. È stato così possibile preparare un documento di sintesi in cui sono stati descritti i principali commenti ed opinioni proposti dai diversi partner e le criticità emerse nei confronti.

## Discussioni

Le attività di cartografia svoltesi sino ad ora hanno permesso di confrontare le diverse metodiche impiegate dalle differenti scuole di lavoro. Le principali discussioni hanno riguardato la comparazione tra le informazioni ottenute dall'utilizzo del *Side Scan Sonar* e le informazioni provenienti dalle osservazioni rilevate in immersione, anche attraverso la microcartografia (ENEA). Le due tecniche sono ritenute complementari in quanto il *Side Scan Sonar* permette di descrivere velocemente (per esempio, in soli due minuti di registrazione) il limite inferiore di una prateria anche nell'arco di 200 m, ma con una definizione dell'ordine dei metri; le osservazioni effettuate da un operatore subacqueo richiedono più tempo, ma forniscono informazioni a maggior definizione, dell'ordine dei decimetri e dei centimetri. L'impiego del *Side Scan Sonar* permette di descrivere in maniera piuttosto precisa la morfologia di una prateria, evidenziando la presenza di elementi particolari, quali rocce isolate, oltre ad eventuali elementi di discontinuità (chiazze di matte o di sabbia nel mezzo della prateria). D'altra parte le immersioni permettono di rilevare quei parametri, quali il ricoprimento della prateria (stima della copertura di fondale ricoperto da posidonia viva), la densità dei fasci (numero di fasci al metro quadrato), lo scalzamento della prateria (percentuale di rizomi scalzati dal fondo), di notevole importanza in uno studio di monitoraggio di posidonia. Dunque entrambe le tecniche impiegate nelle due campagne sono risultate utili per descrivere in maniera dettagliata e precisa una prateria di *Posidonia oceanica*. È ancora previsto, comunque, un tavolo di

confronto che si terrà a Tolone a fine novembre. In quell'occasione si preciseranno, in via definitiva, i vantaggi e le criticità emerse durante l'impiego delle diverse tecniche cartografiche di indagine.

Per quanto riguarda le attività di monitoraggio, il manuale di gestione è concluso per la parte francese ed italiana, mentre è in attesa dell'ultimo contributo da parte della regione Catalogna. Analizzando i contributi degli altri due paesi, la situazione dal punto di vista normativo è forse più chiara in Italia rispetto alla Francia. Infatti, benché non esista una specifica normativa di riferimento, la tutela delle biocenosi a *Posidonia oceanica* in Italia, è presa in considerazione sia nell'ambito dei monitoraggi ambientali previsti per il controllo della qualità dell'ambiente marino costiero, sia nell'ambito delle procedure di autorizzazione di opere costiere che potrebbero impattare le praterie. Il D.P.R. 357/97 [6] recepisce la Direttiva Habitat 92/43/CE [9], la quale identifica la *Posidonia oceanica* un habitat prioritario da salvaguardare e la inserisce nella lista dei Siti di Importanza Comunitaria (SIC). In particolar modo poi, in Liguria la Delibera di Giunta Regionale 773 del 16/7/2003 [7] definisce i criteri per la valutazione degli impatti su una prateria, da utilizzarsi qualora occorra eseguire un'opera e fornisce eventuali prescrizioni tecniche per una realizzazione dell'opera sostenibile dal punto di vista ambientale. Tali criteri, insieme alla Delibera di Giunta Regionale 1533 del 2/12/2005 [8], rappresentano lo strumento utilizzato in Liguria per la formulazione del parere nell'ambito di uno Studio di Impatto Ambientale e di una Valutazione di Incidenza.

In Francia, ed in particolar modo nella regione PACA, non esiste alcuna normativa mirata a proteggere in maniera esplicita le praterie. Ci si avvale perciò dell'accordo Ramoge, firmato nel 1976, per la prevenzione e la lotta all'inquinamento dell'ambiente marino costiero e del manuale "*Preservation et Conservation des herbiers à Posidonia oceanica*" [3] che propone diverse raccomandazioni a seconda delle attività che si andranno a fare.

L'attività del forum può ritenersi conclusa poiché ha visto la partecipazione e lo scambio di esperienze di tutti i partner. In un primo momento l'obiettivo del forum sembrava essere quello di definire quali e quanti parametri impiegare in un programma di "*Surveillance*". In realtà nel corso del forum sono emerse numerose criticità, sono state affrontate numerose discussioni e numerosi sono stati i punti in cui i partner non si sono trovati d'accordo. In particolar modo si è discusso sulla necessità o meno di utilizzare le medesime metodiche per misurare i parametri da parte delle diverse scuole di studio (per esempio accordarsi sulla taglia del quadrato da impiegare per il calcolo della densità dei fasci). Tuttavia, benché l'esigenza di impiegare le stesse metodiche sia condivisa da tutti, ogni scuola di pensiero tende a mantenersi allineata con i metodi utilizzati in passato, meglio conosciuti e, soprattutto, maggiormente applicati e valutati.

## Conclusioni

Il progetto IIIB Medocc "Posidonia" ha permesso sino ad ora ai diversi gruppi di lavoro di confrontarsi, conoscere ed elaborare nuove strategie da impiegare per lo studio ed il controllo delle praterie di *Posidonia oceanica*.

La conclusione del progetto è fissata per il mese di aprile 2007. Sino a questa data sono previsti ancora incontri e scambi di esperienze tra i tre gruppi di lavoro per poter



confrontare i risultati e giungere così all'elaborazione di documenti che illustreranno i lavori svolti.

Tutti i contributi dei vari partner saranno poi integrati per la realizzazione di un documento finale, che sarà utilizzato non solo come strumento gestionale, ma anche come strumento da consultare nell'ambito di ricerche scientifiche volte alla protezione della risorsa "Posidonia".

Il documento sarà dunque utile non solo per l'intera comunità scientifica che si occupa di posidonia, ma anche per i soggetti che propongono o autorizzano progetti che possono avere ripercussioni sulla fascia costiera.

## Bibliografia

- [1] Augier H. (1986). *L'herbier à Posidonia oceanica, son importance pour le littoral méditerranéen, sa valeur comme indicateur biologique de l'état de santé de la mer, son utilisation dans la surveillance du milieu, les bilans écologiques et les études d'impact*. Vie Marine, 7 : 85-113.
- [2] Bianchi C.N., Ardizzone G.D., Belluscio A., Colantoni P., Diviacco G., Morri C., Tunesi L. (2003). *La cartografia del benthos*. Biologia Marina Mediterranea, 10: 367-394.
- [3] Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L. (2006). *Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica*. Ramoge pub. : 1-102.
- [4] Buia M.C., M.C. Gambi, M. Dappiano (2003). *I sistemi a fanerogame marine*. Biologia Marina Mediterranea, 10 : 145-198.
- [5] Cinelli F., E. Fresi, C. Lorenzi, A. Mucedola (1995). *La Posidonia oceanica. Un contributo per la salvaguardia del principale ecosistema marino del Mediterraneo*. Rivista Marittima: 1-271.
- [6] *Decreto del Presidente della Repubblica 357 del 8/9/97; S.O. alla G.U. n° 248 del 23 ottobre 1997.*
- [7] *Delibera di Giunta Regionale 773 del 16/7/03; B.U.R.L. n°31 del 30/7/2003.*
- [8] *Delibera di Giunta Regionale 1533 del 2/12/05; B.U.R.L n°52 del 28/12/2005.*
- [9] *Direttiva 92/43/CEE del Consiglio del 21/5/92 ; GUCE L 206 del 22/7/1992.*
- [10] Pergent G., C. Pergent-Martini, C.F. Boudouresque (1995). *Utilisation de l'herbier a Posidonia oceanica comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances*. Mésogée, 54: 3-27.

# ANALISI DEI PARAMETRI DI QUALITÀ DELL'ACQUA PER IL CONTROLLO DELLA PROLIFERAZIONE DELLE MACROFITE

Rosa Maria Cavalli<sup>1</sup>, Giovanni Laneve<sup>2</sup>, Stefano Pignatti<sup>3</sup> e Federico Santini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CNR–Istituto Inquinamento Atmosferico LARA

<sup>2</sup>Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, Centro di Ricerca Progetto San Marco, Roma

<sup>3</sup>CNR–Istituto Metodologie Analisi Ambientali, Potenza

**Riassunto** – I bacini interni e le acque costiere sono sempre più frequentemente teatro di fenomeni di proliferazione di vegetazione acquatica (macrofite e algale). Tali eventi mettono in crisi gli equilibri biologici e le attività produttive che spesso costituiscono un importante fonte di reddito per le popolazioni che vivono nelle aree limitrofe.

Il presente studio si propone di osservare, tramite dati remoti, l'estensione della vegetazione sia sommersa che ripariale e di determinare i parametri di qualità delle acque al fine di individuare possibili indicatori ambientali predittivi di eventi parossistici (fioritura). Le immagini remote sono state utilizzate sia per produrre carte tematiche delle varie specie vegetali presenti sia per derivare i parametri di qualità dell'acqua. Le prime carte sono state ottenute tramite algoritmi di classificazione supervisionati, mentre la stima delle concentrazioni dei costituenti primari dell'acqua (fitoplancton, sostanza organica disciolta e particolato in sospensione) è realizzata attraverso l'inversione di un modello analitico semplificato basato sulla relazione di Gordon, vedi [1], [2] e [5].

Tali metodologie, basandosi sull'utilizzo di procedure standard di classificazione e sull'inversione di modelli analitici sono indipendenti dal sito (fatto salvo la necessità di disporre di misure spettrali *in situ*) e sono perfettamente esportabili a qualsiasi area costiera del Mediterraneo.

Analisi delle mappe di distribuzione della vegetazione e mappe di qualità dell'acqua sono analizzate per evidenziare eventuali correlazioni. La validazione della metodologia d'indagine è stata realizzata utilizzando dati sperimentali ed immagini remote di un bacino interno del Kenia.

**Abstract** – *The paper deals with the set up of a methodology to identify the growing dynamics of the riparial vegetation along the shorelines by using remote sensing data. Knowledge of the ecosystem status is derived by correlating the water quality parameters abundance maps of the aquatic vegetation. Different satellite data were processed to derive thematic maps of the vegetation distribution and to estimate the principal water components (i.e. phytoplankton, organic dissolved matter and suspended matter). The methodology and the processing algorithms have been tested on the shoreline sector of the kenyan part of the lake Victoria.*

*Since the classification process is based on spectral characteristics of the vegetation, and the primary water constituent assessment are based on the application of radiative transfer of the light in water, this methodology can be considered fully independent by the site, therefore can be applied everywhere in the Mediterranean coastlines.*

## Introduzione

Il monitoraggio delle acque è un'attività essenziale per il controllo dei parametri di qualità dell'ambiente. In particolare nelle acque interne o di transizione (tipicamente classificate come acque di Caso2), dove è possibile una proliferazione di macrofite lungo la linea di costa, le mappe delle concentrazioni dei componenti e della distribuzione della vegetazione sono un utile mezzo per monitorare la colonna d'acqua. Lo studio prende lo spunto dal progetto ‘*Application of Hyperspectral techniques on multispectral ETM+ data for macrophyte quantification*’ condotto dal Centro di Ricerca Progetto San Marco (CRPSM) dell'Università di Roma “La Sapienza” [4].

La metodologia di studio di questo fenomeno è stata messa a punto in maniera indipendente dalle caratteristiche del sito in modo da poter essere applicata su qualsiasi sito interessato da fenomeni di fioritura algale. La procedura utilizza dati sperimentali per la configurazione degli algoritmi di classificazione e per la validazione dei prodotti di output derivati dai dati satellitari. In particolare le misure in campo hanno interessato le caratteristiche spettrali della vegetazione ripariale e la misura della *water leaving radiance* secondo i protocolli di misure *in situ* del SeaWiFS.

Questa ricerca è stata condotta a partire dal 2004, a seguito di un'abnorme proliferazione di giacinti d'acqua (*Eicchornia crassipes*) avvenuta nel golfo di Winam del lago Vittoria (Kenya) nel 1989, che ha avuto anche importanti riflessi sull'economia delle popolazioni rivierasche. Un primo tentativo di quantificarne l'estensione fu fatto nel 1994 quando si stimò che tali piante coprivano 270 ha di lago. A partire da allora furono condotti studi annuali, ma il 1998 vide una vera e propria esplosione del fenomeno e l'estensione dei giacinti fu stimata in 17218 ha (USGS 2002) pari al 4.2 % del golfo di Winam (parte kenyota del lago). La comparsa del principale macrofita – il giacinto d'acqua – nelle acque della parte keniana del Lago Vittoria è stata riportata per la prima volta nel 1989. Studi fondamentali sull'estensione dei giacinti d'acqua attraverso immagini telerilevate del lago (Schouten, 1998; USGS 2000; 2002) hanno comunque evidenziato 3 possibili sorgenti di errore nella stima quantitativa:

- i) errore di confusione con altre specie di piante, quando un tipo di materiale può essere identificato erroneamente con un'altro. Altre macrofite presenti nell'area di studio includono l'Hippograss (*Vossia cuspidata*) e Papyrus (*Cyperus papyrus*) nonché piante flottanti quali Nile cabbage (*Pistia stratiotes*), Water lily (*Nymphaea caerulea*), e Water fern (*Azolla sp.*). Vi è quindi la possibilità che ciascuna di queste macrofite oppure elevate concentrazioni di alghe siano classificate come giacinti;
- ii) errore legato alla risoluzione, che costituisce il classico problema dei “pixel misti” nei dati remoti, che porta a classificare come giacinti d'acqua pixel interessati da una combinazione di water hyacinth e altre piante acquatiche o vegetazione rivierasca oltre a combinazioni con *open water*;
- iii) un errore di definizione, che si riferisce alla densità degli stessi. Infatti, due pixel occupati da giacinti e classificati come tali possono essere caratterizzati da una differenza di biomassa di *water hyacinth*.

Il presente articolo si pone l'obiettivo di verificare, su un sito caratterizzato da acque di Caso2, l'utilità dei dati satellitari multispettrali nella mappatura delle diverse specie di vegetazione ripariale e di confrontarle con i parametri di qualità dell'acqua. Nella prima parte del lavoro sono descritte le caratteristiche spettrali delle diverse specie di

vegetazione e i risultati delle tecniche di classificazione.

Nella seconda parte si utilizza un modello analitico semplificato basato sulla relazione di Gordon [5] per la stima dei parametri di qualità dell'acqua. L'analisi dei risultati e le possibili correlazioni tra i diversi prodotti tematici sono descritte nelle discussioni e nelle conclusioni.

## Mappatura vegetazione

L'immagine utilizzata per discriminare le coperture vegetali è una immagine ETM+ del lago Vittoria acquisita il 17/12/1999. L'immagine in radianza è stata classificata con un classificatore parametrico che ha permesso di stimare l'estensione delle 5 unità principali (vedi fig. 1). Queste corrispondono a due tipologie d'acqua (basso ed alto contenuto di sedimenti), vegetazione flottante o ripariale, terra ed altro. Questa operazione di segmentazione dell'immagine ha permesso di definire la maschera della vegetazione acquatica (1281 ha) su cui condurre le successive elaborazioni.

Per poter distinguere le varie specie di vegetazione, sebbene alcuni studi sulle caratteristiche spettrali delle macrofite siano stati già stati realizzati in passato, è stato necessario utilizzare come spettri di riferimento le misure ottenute, durante una campagna, con il Field Spec Fr Pro (350 ÷ 2500 nm) ricampionate alla risoluzione spettrale del sensore ETM+. Avendo a disposizione la risposta spettrale della vegetazione si è applicato l'algoritmo Spectral Angle Mapper (SAM) alle riflettanze della immagine ETM+. Tale algoritmo ha la peculiarità di classificare il pixel in funzione della distanza angolare dello spettro del pixel rispetto a quello di riferimento indipendentemente dalla diversa *brightness* del pixel, così da minimizzare gli effetti residui dovuti alla correzione atmosferica ed al fenomeno del *sun glint*. In particolare, per considerare la diversa biomassa presente nel pixel, sono state simulate delle classi spettrali sintetiche combinando linearmente lo spettro dei giacinti e lo spettro dell'acqua misurata *in situ*. Sono state, quindi, definite 2 classi aggiuntive composte da 70 % e 50 % di giacinti con il complementare a 100 % dallo spettro dell'acqua. L'applicazione dell'algoritmo SAM con 8 specie di vegetazione e le 10 classi spettrali ha permesso di mappare la distribuzione delle varie specie così come riportato in Tab. 1.

Tabella 1 – Percentuali (1281 ha totali) di composizione della vegetazione flottante nel Golfo di Winam.

Table 2 – Floating vegetation composition in Winam Gulf.

<b>Macrofite</b>	<b>Abbondanza %</b>
Giacynt 100 %	13.26
Giacynt 70 %	0.42
Giacynt 50 %	28.42
Water lily	36.67
Hippograss	0.04
Hornworts	1.49
Nilo cabbage	15.12
Reeds	0.03
Water fen	3.23
Papyrus	1.29

LAKE VICTORIA KENYA: SAMPLED SITES 20-23 JAN 2004

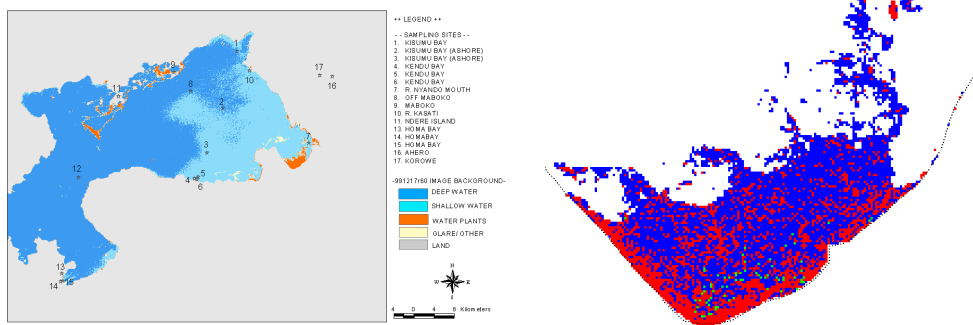


Figura 1 – Classificazione della immagine ETM+ a 5 classi (figura a sinistra). Diversa densità di vegetazione alla foce del fiume Nyando (figura a destra).  
 Figure 1 – 5 class ETM+ image classification (left). Density distribution vegetation map in proximity to Nyando mouth (right).

Alla foce del fiume Nyando, dove le praterie di Giacinto sono particolarmente estese, l’algoritmo di classificazione riesce a discriminare tra i pixel con diversa biomassa. È possibile, infatti, discriminare tra una copertura al 100 % di giacinti (color rosso nella immagine a destra di fig. 2) lungo la costa e più al largo da pixel costituiti da 70 % (verde) o 50 % (blu) di giacinti. Questo a conferma che le praterie hanno una diversa densità dovuta alla mobilità interna della prateria connessa ai venti dominanti o alle correnti.

## Mappe qualità dell’acqua

Le mappe di qualità dell’acqua del golfo di Winam sono state determinate utilizzando modelli basati sul trasferimento radiativo, che consentono l’estrazione di parametri bio-fisici dei corpi d’acqua a partire da dati remoti. Tali modelli offrono la possibilità di fornire informazioni di tipo quantitativo sulla composizione del corpo d’acqua stabilendo delle relazioni fra le proprietà ottiche dei vari componenti e il campo elettromagnetico rilevato. Questa metodologia richiede la definizione di un modello analitico semplificato che consente di stabilire una relazione invertibile fra: le proprietà ottiche inerenti specifiche dei componenti il corpo d’acqua (*Specific Inherent Optical Properties - SIOP*); le concentrazioni dei componenti disciolti in acqua e la radianza di *remote sensing*. Il modello, avendo validità per le acque prese in considerazione, richiede di essere addestrato con i profili spettrali delle proprietà ottiche dei vari componenti che possono essere derivati dalle informazioni di letteratura ([3], [6], [7]) o dall’analisi in laboratorio dei campioni d’acqua (vedi tabella 2 per i campioni della baia di Winam). I profili sono stati validati attraverso simulazioni di un modello numerico per la soluzione delle equazioni del trasferimento radiativo (*sw. Hydrolight*).

L’inversione del modello analitico, così definito, determina le concentrazioni delle sostanze disciolte in funzione delle radianze misurate in remoto (sensori satellitari). Questa procedura, applicata sui dati satellitari MERIS del 27/1/2004 ha consentito di produrre

mappe di clorofilla (fig. 3A), sostanza disciolta organica (CDOM) (fig. 3B) e sedimento disciolto (frazione minerale) (fig. 3C). A causa della copertura nuvolosa che interessava l'immagine MERIS la mappa della clorofilla mostra dei valori fuori scala alla foce del Nyando, inficiando purtroppo una completa analisi dei dati. Le mappe dei costituenti, comunque, presentano una intrinseca congruità sia spaziale che numerica con i dati di calibrazione di tabella 2.

Tabella 2 – analisi chimiche dei campioni d'acqua prelevati.

Table 2 – water samples chemical laboratory analysis results.

Misure della baia di Winam del 19 – 23.01.2004			
Stazione	Chl a [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	Yellow sub [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	TSS [ $\text{mg}/\text{l}$ ]
1 Kisumu bay	17.2	2.71	246
2 Kisumu bay	10.76	1.16	246
3 Nyonde river mouth	9.91	2.32	200
4 Kendu bay	15.23	8.08	86.67
5 Kasat river mouth	29.06		433.33
6 Maboko river mouth	15.78		93.33

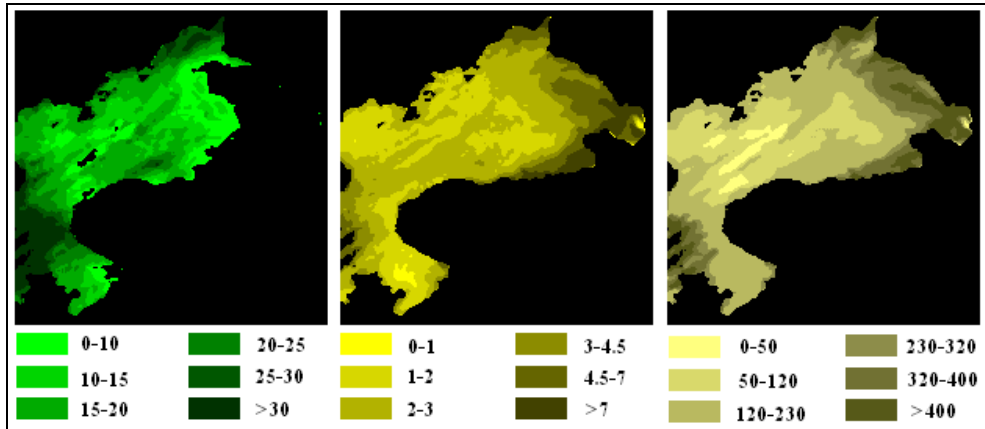


Figura 3 – Mappe di Clorofilla ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), CDOM ( $\text{m}^{-1}$ ) e TSM ( $\text{g}/\text{m}^3$ ).

Figure 3 – Chlorophyll ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), CDOM ( $\text{m}^{-1}$ ) and TSM ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) maps.

## Discussione

Confrontando le carte tematiche della distribuzione della vegetazione e quella dei costituenti della colonna d'acqua è possibile osservare che la maggiore concentrazione delle macrofite si localizza all'interno della baia alla foce del fiume Nyando. Le acque del fiume hanno delle caratteristiche molto diverse da quelle del lago, in particolare sono caratterizzate da una forte concentrazione sia di sedimenti che di sostanza gialla e da una

bassa concentrazione di fitoplancton (anche se il *retrieving* di questo parametro è affetto da elevati errori residui). L'elevata concentrazione di sedimenti nel lago è anche confermato da fonti FAO (1997) che riportano che l'indice di trasparenza Secchi (*water clarity/quality*) è diminuito dal valore di 5 m degli anni '30 a meno di 1 m degli anni '90.

Le carte delle concentrazioni dei composti fanno supporre che le correnti della baia siano in senso antiorario connesse all'immissione delle acque del Nyando ed osservando l'andamento della dispersione delle acque del fiume Kasati (a sud dell'abitato di Kisumu). L'andamento allungato NE-SW della vegetazione flottante nella parte settentrionale della baia (prossimità isola Ndere) sembrerebbe essere a supporto di detta ipotesi. Nella parte meridionale del golfo di Winam, invece, sembra esserci una mancanza di circolazione che comporta ad una lenta miscelazione delle acque del fiume con conseguente assenza di plume.

La comparazione delle carte della vegetazione e delle proprietà ottiche delle acque della baia farebbe supporre che la proliferazione della vegetazione avviene nel settore meridionale del golfo e che sia connessa all'immissioni delle acque dei fiumi al elevato trasporto solido (parte meridionale del golfo di Winam). In particolare, nella baia del fiume Nyando si localizza l'area di proliferazione principale della vegetazione che a causa dei venti e delle correnti si frammenta (come testimoniato dalla diversa biomassa connessa ad ogni singolo pixel) e viene trasportata all'interno della baia.

## Conclusioni

La procedura di classificazione dell'immagine ETM+ ha reso possibile la mappatura della biomassa che interessa la baia di Winam portando ad una stima della copertura di vegetazione flottante in 1281 ha. L'applicazione di tecniche di riconoscimento spettrale applicate ai dati ETM+ ha ugualmente permesso di discriminare tra le varie coperture vegetali e di verificare che il sensore satellitare multispettrale consente di stimare la compattezza della formazione vegetale attraverso la densità di vegetazione contenuta nel pixel (vedi Fig.1).

L'inversione del modello analitico semplificato e la sua applicazione ai dati MERIS ha fornito mappe dei costituenti dell'acqua che evidenziano come la vegetazione è concentrata nell'aree dove un immissario, il fiume Nyando, sfocia nel lago e determina un aumento delle concentrazioni di CDOM e di sedimenti. Probabilmente la scarsa circolazione delle acque della baia dove sfocia il fiume rappresenta un habitat ottimale nel quale la vegetazione può formarsi.

La metodologia, messa a punto per il golfo di Winam, basandosi su parametri bio-geofisici e su modelli fisici di trasferimento, costituisce un ottimo *test bench* per l'utilizzo del telerilevamento per lo studio dei fenomeni che conducono all'abnorme fioritura della vegetazione acquatica. Queste procedure di elaborazione, una volta messe a punto per l'area di studio tramite campagne di misura *in situ*, applicate rutinariamente ad immagini satellitari ad alta frequenza temporale sono in grado di definire l'evoluzione del fenomeno e a supportare la definizione di indicatori predittivi.

## Bibliografia

- [1] Alberotanza L., Azzaro F., Braga F., Cavalli R.M., Pignatti S., Salviato S., Santini F. - *Definizione di un modello bio-ottico per le acque dello stretto di Messina*, atti conferenza ASITA, Roma, Dicembre 2004, 51-56.
- [2] Brando E., Dekker G. - *Satellite Hyperspectral Remote Sensing for Estimating Estuarine and Coastal Water Quality*, IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, (2003), 41, 1378-1387
- [3] Curtis D. Mobley - *Light and Water. Radiative Transfer in Natural Waters*, (1994), Academic Press, London U.K.
- [4] I. dawo C., Laneve G. - *Hyperspectral Analysis of Multispectral ETM+ Data: SMA Using Spectral Field Measurements in Mapping of Emergent Macrophytes*. IGARSS Conference. Alaska, Settembre 2004.
- [5] Gordon H. R., Brown O. B., Jacobs M. M. - *Computed relationships between the inherent and apparent optical properties of a flat homogeneous ocean*. Applied Optics, (1975) 41 (14), 417 – 427.
- [6] Morel A - *Light and marine photosyntetis: a spectral model with geochemical and climatological implications*, Prog. Oceanogr. (1991) 26(6), 263.
- [7] Pope R.M., Fry E.S. - *Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water, II. Integrating cavity measurements*, Applied Optics, (1997) 36, 8710-8723.





# LASERSCANNER, INTERFEROMETRIA ACUSTICA E SIDE SCAN SONAR INTEGRATI PER UNA FEDELE RAPPRESENTAZIONE DELLE COSTE IN 3D

Andrea Faccioli<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Codevintec Italiana srl, via Labus, 13 20147 Milano, tel 02.4830.2175, fax 02.4830.2169,  
[info@codevintec.it](mailto:info@codevintec.it)

**Riassunto** - Laser Scanner e Interferometria acustica subacquea sono lo stato dell'arte del rilievo ambientale. Rilievi batimetrici con Multibeam Interferometrico SEA; correzione dell'assetto con sistema di posizionamento e compensazione di moto CodaOctopus; zone emerse rilevate con Laser Scanner Optech. Il prodotto finale è un modello 3D dell'area **sopra e sotto il livello dell'acqua**, composto da batimetria e topografia, cui si possono applicare immagini da fotocamera digitale per una visione 3D a colori.

*Abstract - Laser Scanner and interferometric bathymetry are the cutting edge of environmental survey technology. Bathymetric surveys with SEA Interferometric Wide Swath Sonar; attitude correction by CodaOctopus sensor; areas above sea level acquired with Optech Laser Scanner. The final product is a single 3D model made up of bathymetry and above water surface topography, to this it is possible to add on it digital camera images for a 3D photorealistic view of the surveyed area.*

## Introduzione

I rilievi sono stati condotti nell'autunno del 2005. Si è usata la seguente strumentazione:

- un Multibeam Interferometrico SEA SWATHplusII;
- la correzione dell'assetto è stata effettuata con il sistema di posizionamento e compensazione di moto F-180 di CodaOctopus; in alcuni casi è stato utilizzato il sistema di posizionamento e assetto già disponibile a bordo delle barche ospitanti e utilizzato con sistemi Multibeam tradizionali;
- le zone emerse sono state rilevate con un Laser Scanner Terrestre Optech ILRIS-3D.

Entrambi gli strumenti (Laser Scanner e Multibeam Interferometrico) insieme ai punti forniscono anche dati di intensità di segnale, utile per fornire un'immagine tridimensionale in bianco e nero dell'area investigata. Per il Laser Scanner si tratta di una pseudo foto basata sulla risposta all'infrarosso dei vari materiali rilevati; per lo SWATHplus l'intensità è generata da una vera e propria immagine side scan.

La similitudine dei dati forniti in uscita dai due sistemi (nuvola di punti completa di valore di intensità) ha reso possibile l'integrazione dei due rilievi mediante il software commerciale Polyworks; tale software permette l'allineamento di differenti riprese mediante la localizzazione di punti omologhi presenti in entrambe le nuvole di punti.

Il prodotto finale è un unico modello 3D composto dalla batimetria e dalla topografia in superficie, a cui è anche possibile applicare immagini da fotocamera digitale per una visione fotorealistica in 3D dell'area investigata. Il risultato è un modello tridimensionale comprendente sia la parte immersa che la parte in superficie (Fortezza di Livorno, Canal Grande a Venezia, Pontelagoscuro sul PO).

## **Il sistema batimetrico**

SwathPus di SEA è un sistema batimetrico che si basa sul principio della interferometria, tecnica moderna ed innovativa soprattutto nel campo delle misure in mare. Le sue caratteristiche principali sono:

- Copertura fino a 10 - 15 volte la colonna d'acqua, particolarmente indicato per rilevare in acque poco profonde.
- Apertura del fascio (campo visivo) di 300°, utilizzabile per rilievi di coste, banchine e canali fino al pelo d'acqua.
- Peso e dimensioni ridotti per una facile installazione anche su piccole imbarcazioni.
- Immagini Side Scan coincidenti con la batimetria.

Lo stesso sistema sonar fornisce inoltre visualizzazioni integrate di batimetria 3D e immagini Sidescan. I DTM ottenuti (completi delle tre coordinate XYZ e dell'ampiezza del segnale A) possono essere interrogati, visualizzati, scambiati e stampati sia con il software SwathPlus che con qualsiasi altro software di trattamento dati da nuvola di punti, come ad esempio Polyworks, utilizzato per il trattamento dati da Laser Scanner. L'elaborazione può essere eseguita direttamente sulla Workstation di acquisizione oppure su un altro PC su piattaforma Windows.

Eventualmente l'elettronica di bordo è disponibile anche in un alloggiamento stagno separato, per essere controllata a distanza da un semplice PC portatile con connessione Ethernet (soluzione utile per rilievi su piccole imbarcazioni aperte).

E' stato inoltre utilizzato un sistema di misura della velocità del suono in acqua Valeport miniSVS. Questo strumento è stato posizionato sulla testa del sonar in modo da ottenere valori di SoS (*Speed of Sound*) in tempo reale. I dati dello SWATHplus possono comunque essere corretti con valori di SoS anche in postelaborazione.

## **Sensore di posizionamento**

I rilievi sono stati georeferenziati in tempo reale utilizzando un sensore di posizionamento F-180 di CodaOctopus. E' un sistema, sviluppato inizialmente per le gare di Formula Uno che integra una coppia di antenne GPS ed un sensore di moto per ottenere in un'unica soluzione sia la posizione che l'assetto in 3D dell'imbarcazione.

Le antenne GPS possono essere utilizzate autonomamente ottenendo un'accuratezza nel posizionamento migliore di 1 m (grazie a EGNOS), oppure corrette in differenziale DGPS o RTK (se presente l'opzione) per una precisione che può spingersi fino a pochi centimetri.

Nella versione doppia frequenza RTK il sistema fornisce inoltre informazioni sulla quota piuttosto accurate, che possono essere utilizzate per determinare l'effetto della marea

in tempo. Durante il periodo dei test era a nostra disposizione solo la versione singola frequenza che ha costretto l'uso di un secondo ricevitore GPS per il posizionamento (Thales Z-Max doppia frequenza RTK), mentre l'F180 è stato utilizzato solo per le misure di assetto, *pitch*, *roll*, *heading* e *heave*.

## **Laser scanner terrestre**

Il Laser Scanner Optech ILRIS-3D è stato utilizzato per le scansioni 3D delle aree emerse. Integra un PC con sistema operativo Linux embedded, un display LCD VGA a largo formato, un sistema di comunicazione WiFi e Ethernet e memorizzazione dei dati su chiavetta USB rimovibile. L'interfaccia utente è molto simile a quella di una macchina fotografica: si definiscono l'area da rilevare e la risoluzione di acquisizione. Lo strumento rileverà tutto quello che vede fino ad una distanza di 1000 m e oltre, con una precisione modellata di pochi millimetri. La risoluzione è di 20 mrad, che si traduce, a distanze di 100 m, in un punto ogni 2 mm.

## **Software di elaborazione dati integrati**

Il software Polyworks di Innovmetric ha permesso l'allineamento delle nuvole di punti generate dai due strumenti (Laser Scanner e Interferometrico) in modo semi-automatico, individuando semplicemente tre o più punti comuni ai due rilievi. Il software effettua una ricerca automatica dei punti omologhi nelle due scansioni generando una rototraslazione nello spazio allineando la seconda nuvola di punti alla prima. Il risultato ottenuto potrà poi essere esaminato, ispezionato e infine salvato in diversi formati grafici.

## **Installazione e calibrazione**

SWATHplus è stato posizionato a prua utilizzando gli accessori forniti a corredo con la strumentazione (eccetto per il rilievo al Lido di Venezia dove l'imbarcazione presentava già un proprio supporto montato a prua). Le antenne GPS sono state posizionate trasversalmente all'imbarcazione con distanza variabile tra 0,77 m e 3 m a seconda dell'imbarcazione utilizzata. Dovendo operare in acque poco profonde la testa del sonar è stata montata ad una profondità variabile tra 0.4 m e 0.2 m per migliorare così l'ampiezza dell'area investigata.

Per tutti i rilievi, ad eccezione di quello sul Canal Grande a Venezia, è stato utilizzato come sistema di posizionamento primario un ricevitore GPS RTK Thales Z-Max, essendo il sistema F180 a nostra disposizione solo a singola frequenza.

Per il rilievo del Canal Grande a Venezia, invece, F180 è stato usato anche come sistema di posizionamento principale, per sfruttare le sue proprietà di *dead reckoning* nel passaggio sotto i ponti o quando la visibilità dei satelliti fosse oscurata dagli edifici.

Dopo l'installazione, l'attrezzatura è stata opportunamente calibrata: la calibrazione del sistema di posizionamento F180 consiste nel navigare tracciando delle rotte a forma di otto, di cerchio e dei tracciati chiusi in direzioni opposte e a velocità differenti. Prima della calibrazione sono stati determinati gli *offset*, cioè la posizione relativa tra unità principale,

l'antenna GPS primaria, l'antenna GPS secondaria e, nel nostro caso, anche dell'antenna del ricevitore GPS Z-Max. Questi valori di *offset* vengono utilizzati inizialmente dall'algoritmo di calibrazione, e da lui stesso affinati durante tutta la procedura di calibrazione.

La calibrazione dello SWATHplus consiste invece nell'effettuare un normale *patch test*, una serie di passate su uno stesso fondale per determinare disallineamenti tra il sonar ed i diversi valori di posizione, orientamento ed assetto. I parametri di calibrazione vengono poi inseriti nel software di acquisizione in modo che ogni profondità acquisita abbia il corrispondente valore di side scan sonar, e quest'ultimo risulti correttamente georeferenziato sulle mappe batimetriche. Una volta effettuato il Patch Test e salvati i parametri risultanti, il lavoro può cominciare e i risultati essere prodotti immediatamente dopo il rilievo. Ognuno dei rilievi descritti è stato condotto in una sola giornata.

La pulizia, la calibrazione e la visualizzazione dei dati è realizzata attraverso l'applicazione GridProc di SEA. Tale software permette di raggruppare i dati a vari livelli ed ha una selezione di filtri statistici e areali per la pulizia dei dati.

Inoltre ha una serie di procedure automatiche e semiautomatiche che permettono di stimare i disallineamenti tra il sonar ed i sistemi ausiliari, permettendogli di controllare questi valori prima di applicarli al software di acquisizione e processamento dei dati.

L'applicazione consente inoltre di visualizzare i dati in 2D, in 3D, in modalità di volo e la produzione di video. L'utente può modificare i dati della nuvola di punti tridimensionale per pulire ulteriormente e raffinare il DTM che può essere esportato in formati differenti, ed essere visualizzato in diverse applicazioni. Il software esporta anche le curve di livello in formato DXF.

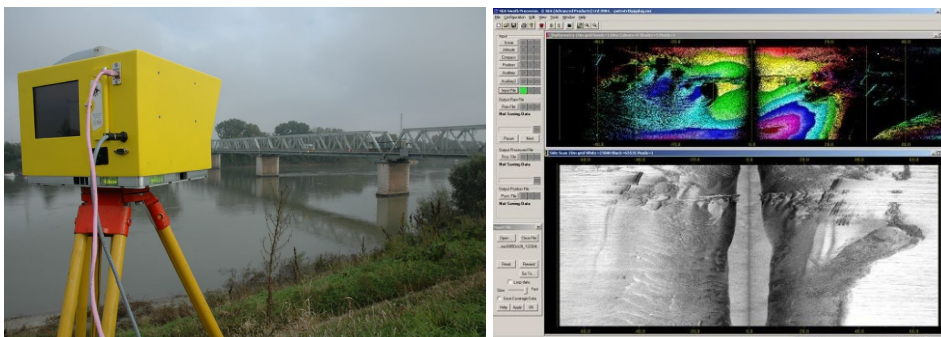


Figura 1 – Fiume Po. Sinistra, rilievo con laser scanner. Destra, batimetria (sopra) e immagine Side Scan (sotto) dell'area del ponte in cui si individuano macerie attorno alle fondamenta.  
*Figure 1 – Po river. Left, laser scanner survey. Right, Real time view of bathymetrical data (above) and Side Scan image (below). Visible are debris around bridge footings.*

## Aree rilevate

I rilievi sono stati effettuati in alcune località del fiume Po, al lido di Venezia e nel canal Grande, nei porti di Monopoli e di Livorno. Le località sono state scelte per verificare la flessibilità del sistema in diverse condizioni e la sua applicabilità su diverse imbarcazioni.

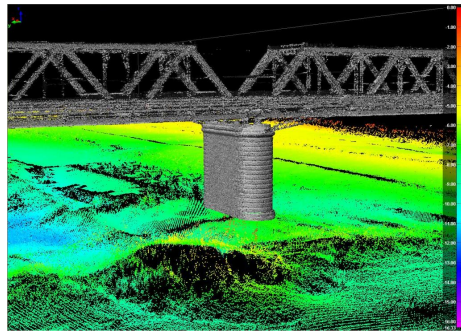


Figura 2 – Fiume Po. Viste tridimensionali del rilievo integrato in intensità di segnale. Sono visibili le macerie vicino alle fondamenta del ponte.

*Figure 2 – Po river. 3D view of the integrated survey. It's possible to see debris around bridge footings.*

**Fiume Po** - Il rilievo è stato condotto su tre sezioni del fiume Po in una zona vicina al delta. L'acquisizione dei dati è stata effettuata da una riva all'altra su una sezione di fiume lunga circa 7 km. La larghezza del fiume nell'area del rilievo era variabile tra 100 e 500 m, con un valore generalmente compreso tra 200 e 300 m. La maggior parte del fiume è stata rilevata con 4 passaggi, ma le estensioni con fondali poco profondi hanno richiesto ulteriori passaggi per ottenere una copertura sufficiente. La profondità media rilevata è compresa tra 4 e 7 m, con picchi in corrispondenza delle anse del fiume pari a 16 m. Zone di secca sono state rilevate sulla riva interna delle anse del fiume. All'interno dell'area del rilievo erano presenti due ponti; osservando le immagini side scan si notano delle macerie attorno ai ponti. Uno dei ponti mostra la presenza, in mezzo ad una campata, di un'imbarcazione naufragata o di un vecchio ponte crollato. Uno dei ponti è stato rilevato anche con laser scanner e i dati integrati alla batimetria con software Polyworks.

**Lido di Venezia** - Il rilievo è stato effettuato su 5.5 km del canale di Malamocco e su un'area con un'estensione di 1.5 km per 0.5 km all'interno della laguna. Sono state osservate una profondità minima pari a 0.5 m ed una profondità massima pari a 55 m.

**Venezia, Canal Grande** - Sono stati acquisiti 5,5 km di canale usando lo strumento F180 sia per la misura di assetto che per il posizionamento. E' stata adottata questa soluzione nonostante l'F180 fosse in versione singola frequenza, poiché il suo sistema di *dead reckoning* è in grado di mantenere valori accettabili di posizione ed assetto anche durante il passaggio dell'imbarcazione sotto ponti o nelle vicinanze di edifici, quando una porzione di cielo piuttosto significativa risulta oscurata. Il rilievo è stato effettuato da una riva all'altra in due passaggi.

**Porto di Monopoli** - È stata rilevata un'area con estensione approssimativa di 1 km per 1.5 km. Quest'area è stata acquisita in tre sezioni con una sovrapposizione pari al 100 %, e quindi con copertura del 200 % per la maggior parte dell'area rilevata.

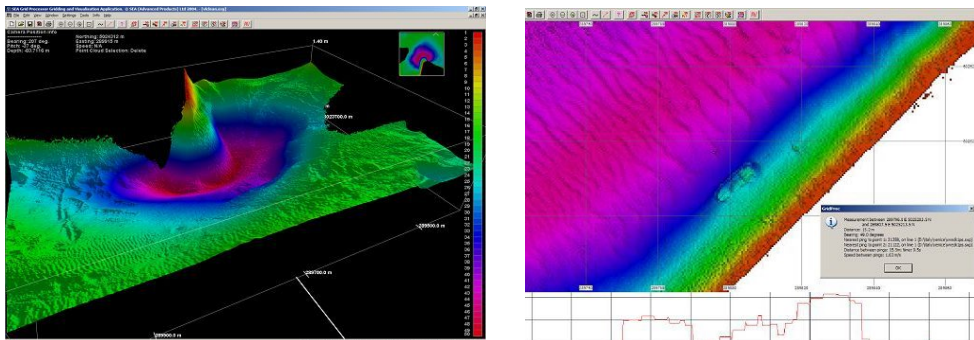


Figura 3 – Lido di Venezia. Sinistra, visione batimetrica 3D della radice del canale di Malamocco (busa delle Ceppe). Destra, immagine batimetrica 2D e profilo di un relitto.  
*Figure 3 – Venice lido. Left, 3D bathymetry of scour in channel at Venice Lido (busa delle Ceppe). Right, 2D bathy image and profile of small wreck.*

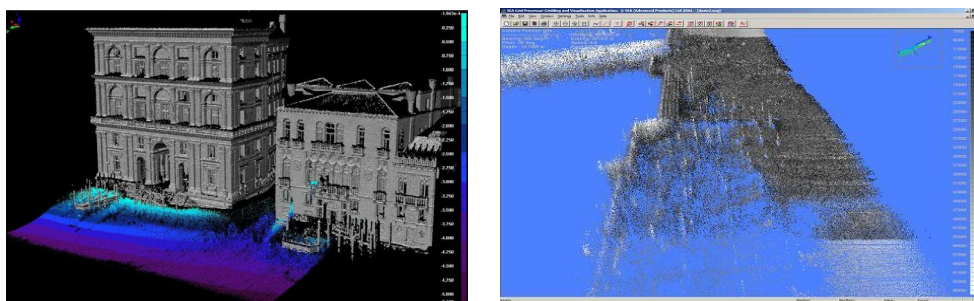


Figura 4 – Venezia, Canal Grande. Sinistra, viste 3D del palazzo rilevato con laser scanner e batimetria sottostante rilevata con interferometria. Destra, immagine side scan 3D di un edificio affacciato sul Canal Grande (si notino i gradini dell'ingresso).  
*Figure 4 – Venezia, Canal Grande. Left, 3D view of a building acquired with Laser Scanner and of the bathymetry surveyed with interferometry. Right, 3D side scan image of a Palace (note the entrance steps).*

**Porto di Livorno** - Il rilievo del porto di Livorno è stato condotto in due momenti: nel Novembre 2005 è stato rilevato il fondale con sistema interferometrico, producendo le nuvole di punti con intensità di segnale, il DTM della batimetria e le immagini side scan. Qualche mese più tardi, febbraio 2006, è stata effettuata la scansione Laser. Il tutto è stato poi gestito e integrato con il software Polyworks.

**Porto di La Spezia** - Il rilievo del porto di la Spezia (come quello di Monopoli) è stato condotto con il solo multibeam Interferometrico SWATHPlus e non presenta caratteristiche particolari rispetto ai lavori già illustrati. Vale la pena però riportare alcune immagini side scan di alcuni allevamenti di cozze per evidenziare il dettaglio e la pulizia del rilievo.

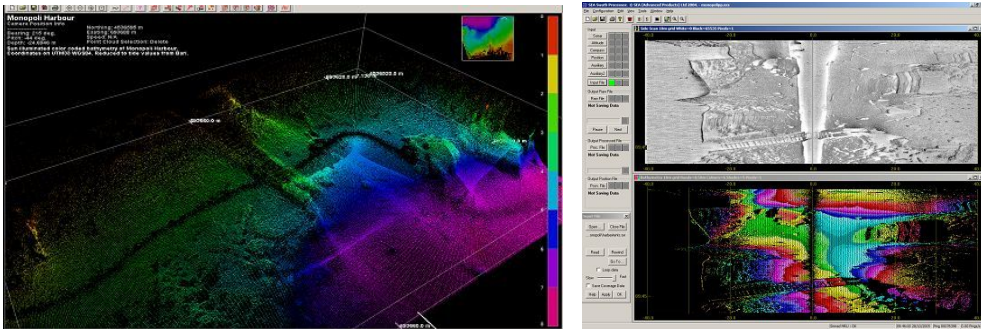


Figura 6 – Porto di Monopoli (BA). Immagine del fondale a nuvola di punti 3D (sinistra) e in tempo reale (a destra).  
*Figure 6 – Monopoli harbour (Bari). 3D point cloud bathy image (left) and real time survey (right).*

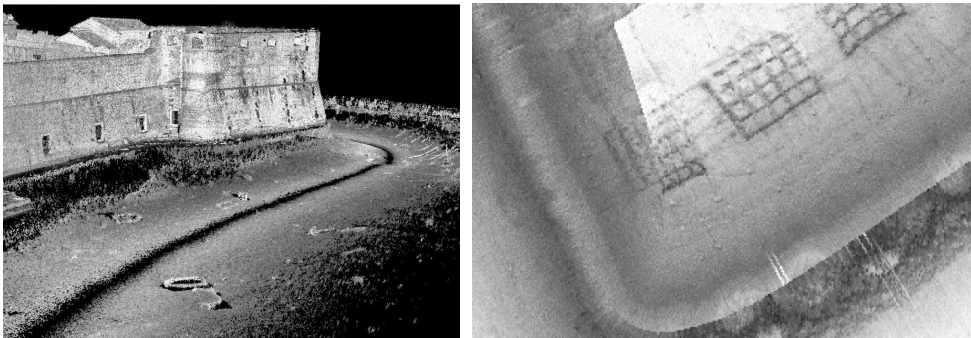


Figura 7 – A sinistra: Fortezza Vecchia nel porto di Livorno: vista 3D del rilievo integrato con intensità di segnale da side scan. I relitti delle imbarcazioni sul fondale sono evidenziati molto bene quando alla nuvola di punti viene associata l'immagine side scan. A destra: allevamenti di cozze nel porto di La Spezia.  
*Figure 7 – Left, Livorno harbour. 3D view of Interferometric and Laser Scanner integrated survey. The small boat wrecks on the shoal are very visible when the point cloud is combined with the Side Scan Sonar image. Right, side scan image of mussel breeding.*

## Risultati

Per tutte le aree rilevate sono stati prodotti DTM e mosaici di immagini side scan sonar. I DTM sono stati eseguiti considerando negative le profondità e sono stati prodotti usando come riferimento il datum geoidico, utilizzando quote derivate dall'RTK con stazione base sui punti IGM nei siti dove questa informazione era disponibile. La griglia utilizzata è l'UTM33, derivata dal WGS84. I DTM possono essere forniti con informazioni su latitudine, longitudine e profondità. Sono anche provvisti di un quarto campo che



rappresenta l'ampiezza, ovvero la forza del segnale di ritorno del side scan e del Laser. Questi valori non contengono tutta l'informazione contenuta in un vero mosaico di immagini side scan, ma sono comunque molto utili per la lettura e l'interpretazione dei sondaggi batimetrici.

## **Conclusioni**

I rilievi effettuati su tutte le aree sono risultati molto promettenti, con entrambe le metodologie. L'integrazione dei due rilievi è stata facilitata dal potente algoritmo ICP utilizzato dal software Polyworks per l'allineamento delle nuvole di punti, e dall'uso di uno stesso sistema di riferimento (UTM su WGS84) per il posizionamento e la georeferenziazione. Proprio il sistema di posizionamento ha evidenziato qualche difficoltà: sul fiume Po a causa della presenza di ostruzioni quali i ponti e per la presenza di argini ripidi e nel Canal Grande a Venezia per la presenza di ponti e di edifici alti.

Questo problema è stato risolto nel rilievo a Venezia utilizzando il sistema F180 di CodaOctopus che contiene un sistema inerziale al suo interno ed è riuscito a mantenere la posizione nel passaggio attraverso i ponti, anche senza vedere alcun satellite. I problemi di posizionamento possono essere risolti utilizzando la versione più completa dell'F180, che sfortunatamente nel periodo dei test non era disponibile.

# UN PRIMO STUDIO SULLE ACQUE METEORICHE DI DILAVAMENTO NELLA LAGUNA DI VENEZIA

Giorgio Ferrari<sup>1</sup>, Claudio Carrer<sup>1</sup>, Roberto Rosselli<sup>2</sup>, Petra Scanferla<sup>3</sup>, Marta Beggio<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Magistrato alle Acque, Sezione Antinquinamento SAMA, S. Polo 737 – 30125 Venezia

<sup>2</sup>Consorzio Venezia Nuova, Servizio Informativo, S. Marco 2949 - 30124 Venezia

<sup>3</sup>Consorzio Venezia Ricerche, via della Libertà, 12, c/o PTS VEGA – 30175 Marghera  
Venezia, Tel. 0415093017, Fax. 0415093074, e-mail: sp.cvr@vegapark.ve.it

**Riassunto** – La Legge 28 luglio 2004, n. 192, richiede per gli scarichi di acque meteoriche di dilavamento di superfici impermeabili non adibite ad attività produttive che si immettono nella Laguna di Venezia, la predisposizione di un Piano di Adeguamento. Il presente studio ha avuto l'obiettivo di fornire un supporto allo sviluppo di un apposito regolamento per la redazione di tali Piani di Adeguamento.

Nell'ambito dello studio è stata sviluppata, nel territorio lagunare, un'indagine sito-specifica, mediante monitoraggio delle acque meteoriche di dilavamento in 15 differenti stazioni. I risultati dell'indagine hanno evidenziato come le concentrazioni di inquinanti nelle acque meteoriche di dilavamento siano fortemente dipendenti dal tipo di utilizzo della superficie impermeabile e dalla manutenzione delle reti di raccolta.

Lo studio ha poi previsto l'analisi delle tecnologie di trattamento e soluzioni impiantistiche per la depurazione di tali tipologie di acque reflue.

***Abstract** – The Law n. 192, in force from 28th July 2004, requires the presentation of an Adaptation Plan for the drainage of stormwater of waterproof surfaces within the Venetian Lagoon. The aim of the study has been the development of specific guidelines for the correct editing of an Adaptation Plan. In the field of this study, a specific monitoring was developed in the Venetian territory; stormwaters were monitored in 15 different stations. The survey results have pointed out that the pollutant concentrations in stormwater highly depend on the use of waterproof surfaces and the maintenance of the drainage systems.*

*The study has planned analysis of the wastewater treatment technologies and planting solutions for purification of wastewaters.*

## Introduzione

Per salvaguardare l'eccezionale patrimonio rappresentato dalla Laguna di Venezia e preservarne il delicato equilibrio ambientale da tempo sono stati regolamentati gli scarichi idrici sversanti in essa e nel suo bacino scolante (L. 206/95, D.M. 23 aprile 1998, D.M. 30 luglio 1999). Recentemente sono stati disciplinati dalla L.192/2004 gli scarichi di acque meteoriche di dilavamento di superfici impermeabili non adibite ad attività produttive che si immettono nella Laguna di Venezia.

La norma 192/2004 ha esonerato dall'obbligo di autorizzazione gli scarichi derivanti da tali superfici, prescrivendo tuttavia che, per essi, debba essere presentato un

Piano di Adeguamento al Magistrato alle Acque al fine di evitare possibili rischi per la salvaguardia dell'ambiente lagunare.

In tale contesto è emersa quindi la necessità, da parte del Magistrato alle Acque, di disporre di un apposito regolamento che delineasse le linee guida e le procedure a cui le aziende dovranno attenersi nella redazione di tali Piani di Adeguamento al fine di consentire la corretta gestione degli scarichi di acque meteoriche di dilavamento, anche nei casi di superfici non adibite ad attività produttive (identificando le misure più idonee per il loro controllo, in considerazione dell'ambiente sensibile e vulnerabile interessato). Al fine di fornire un supporto per lo sviluppo di tale regolamento è stato sviluppato uno studio specifico i cui risultati vengono riportati nel presente lavoro.

## **Materiali e metodi**

Il presente studio ha previsto l'approfondimento di quattro aspetti principali:

- ✓ la normativa nazionale ed internazionale;
- ✓ lo stato attuale delle conoscenze sulla contaminazione delle acque meteoriche di dilavamento;
- ✓ l'inquadramento del contesto lagunare;
- ✓ le tecnologie di trattamento e le soluzioni impiantistiche per la depurazione delle acque meteoriche di dilavamento.

Inoltre, è stato realizzato un monitoraggio sito specifico utilizzando per le acque di pioggia due campionatori "wet and dry" e per le acque di dilavamento dei campionatori automatici di liquidi, brevettati INTEC, accoppiati con opportuni pluviometri, al fine di poter distinguere le acque di prima pioggia (primi 5 mm) dalle successive acque di seconda pioggia.

I campionatori delle acque di dilavamento sono stati posizionati in 15 stazioni riconducibili a tre tipologie principali di aree:

- strade pubbliche (stazione 0);
- superfici impermeabili in aree commerciali ed industriali non adibite allo svolgimento di attività produttive (stazioni da 1 a 8);
- superfici impermeabili interne ad aziende dove avvengono attività produttive (stazioni da 9 a 14).

In particolare, si sono considerati eventi meteorici a piovosità minima di 8 mm al fine di consentire il monitoraggio anche delle acque successive alla prima pioggia. Sono stati realizzati in totale 64 campioni, 34 relativi alle acque di prima pioggia e 30 alle successive.

## **Risultati e loro valutazione**

Negli ultimi anni la consapevolezza dell'importanza dell'impatto ambientale e sociale connesso alla gestione delle acque meteoriche di dilavamento è andata accrescendosi nei Paesi Occidentali, generando, al riguardo, una situazione di continua evoluzione normativa [1].

A livello europeo, la direttiva 2000/60/CE ha demandato ai singoli Stati l'individuazione delle attività che possono comportare un potenziale inquinamento alle

acque di dilavamento, e per le quali debba essere prevista un'autorizzazione allo scarico o fissati dei limiti o misure di trattamento specifiche. In Italia la disciplina di tale problematica viene demandata dal D.Lgs. 152/06 alle Regioni, previo parere ministeriale [2]. Un caso particolare è rappresentato dalle acque meteoriche di dilavamento recapitanti nella laguna di Venezia dove tale competenza, in forza della L. 192/04, viene esercitata dal Magistrato alle Acque [3].

L'analisi delle numerose indagini sperimentali sulla caratterizzazione chimica delle acque di dilavamento, effettuate a livello nazionale ed internazionale, non consente generalizzazioni e valutazioni di tipo statistico dei risultati. Le criticità dei dati di letteratura dipendono dall'elevato numero di variabili e fattori che intervengono nei processi di dilavamento degli inquinanti, quali le tipologie di superficie del sito in esame, i fattori idrologici e climatici, le caratteristiche del bacino e della rete fognaria, la densità di traffico veicolare e la qualità delle acque di pioggia. Inoltre, non esistendo una metodologia standardizzata per la realizzazione dei monitoraggi delle acque di dilavamento, la comparazione dei risultati risulta problematica.

Tuttavia, gli studi analizzati hanno costituito un'utile base di riferimento per individuare i contributi ed i meccanismi dei numerosi fenomeni che concorrono alla contaminazione delle acque meteoriche di dilavamento.

Analizzando i risultati ottenuti dagli studi condotti da Bannerman et al. [4] e da Steuer et al. [5] si evidenzia come sussista il problema del trascinarsi di sostanze inquinanti anche nel caso di superfici impermeabili non adibite ad attività produttive.

La presenza di inquinanti nelle acque di ruscellamento dipende principalmente dall'accumulo di materiale (deposizioni atmosferiche, emissioni, traffico veicolare, rifiuti, ecc.) sulla superficie drenata durante il periodo di tempo secco antecedente all'evento di pioggia, oltre che dalla natura delle stesse superfici che subiscono l'impatto della pioggia, nella misura in cui queste sono più o meno erodibili.

Generalmente, dall'analisi delle indagini svolte, risulta che nelle acque meteoriche di dilavamento di strade, piazzali e parcheggi, si riscontrano concentrazioni rilevanti di solidi sospesi e la presenza, in concentrazioni variabili, di inquinanti quali: metalli pesanti (soprattutto Cd, Zn e Cu) e composti organici come gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) i quali derivano principalmente dal traffico veicolare.

Oltre agli studi eseguiti sulle acque di dilavamento è stato svolto un esame delle principali tecnologie utilizzate nel trattamento delle acque meteoriche di dilavamento.

Dall'analisi comparata delle principali tecnologie emerge come i vari processi esaminati (grigliatura, separazione gravitazionale, filtrazione, adsorbimento, trattamento chimico-fisico, fitodepurazione, separazione con membrane etc.) agiscono con efficienze di rimozione molto diverse in relazione alle caratteristiche quali-quantitative delle acque meteoriche, ad essi, alimentate. Alcune tecnologie presentano ad esempio elevate prestazioni per le sostanze solide sospese, ma non per le sostanze in forma solubile, al contrario di quanto evidenziano altri processi.

Pertanto il trattamento di depurazione deve prevedere, generalmente, una combinazione di processi, la cui definizione ed ottimizzazione richiede una conoscenza approfondita delle caratteristiche delle acque da trattare.

Per quanto riguarda nello specifico il nostro sito di interesse, gli scarichi di acque meteoriche di dilavamento autorizzati sversanti nella Laguna di Venezia sono pari a 139, dei quali circa il 42 % sono localizzati nell'area industriale di Porto Marghera.

La prassi generale in ambiente urbano (escluso il centro storico della città di Venezia, non dotato di reti di fognatura dinamica), consiste nell'immissione di tali acque in reti di fognatura mista, con il conseguente loro sovraccarico in tempo di pioggia e l'aumento degli eventi di sfioro lungo la rete, necessario al fine di tutelare la sicurezza idraulica degli impianti di depurazione terminali.

Non tutte le aree, pubbliche e private, risultano dotate di vasche di accumulo di prima pioggia. Nell'area industriale di Porto Marghera, in presenza di vasche di prima pioggia, la prassi generalmente adottata prevede l'invio delle acque di prima pioggia alla fognatura delle acque reflue industriali e lo sversamento in Laguna delle successive.

Per quanto riguarda la situazione del centro storico di Venezia, generalmente, le attività produttive sversano le acque meteoriche di dilavamento direttamente in laguna (più raramente sono convogliate alle acque produttive in impianti di depurazione).

Gli obiettivi del primo monitoraggio sito-specifico, oggetto del presente studio, sono stati:

- l'individuazione dei contaminanti tipici delle acque meteoriche di dilavamento nell'area di Porto Marghera (dove si ritiene si registrino i maggiori flussi di deposizione di inquinanti), sia in siti adibiti ad attività industriali che in aree non produttive e di viabilità esterna;
- la verifica di eventuali differenze tra le concentrazioni degli inquinanti nelle acque di dilavamento di prima pioggia e in quelle successive.

Le analisi hanno riguardato i principali inquinanti ed i risultati hanno evidenziato come le loro concentrazioni nelle acque meteoriche di dilavamento siano fortemente dipendenti dal tipo di utilizzo della superficie impermeabile e dalla manutenzione e pulizia delle reti di raccolta (vedi Fig. 1 e 2 e Tabella 1). I risultati delle analisi sono stati confrontati sia con il D.M. 30/07/99 che fissa i limiti per lo scarico nella laguna di Venezia (sez. 1, 2 e 4) sia con il D.Lgs. 152/06 per gli scarichi in acque superficiali.

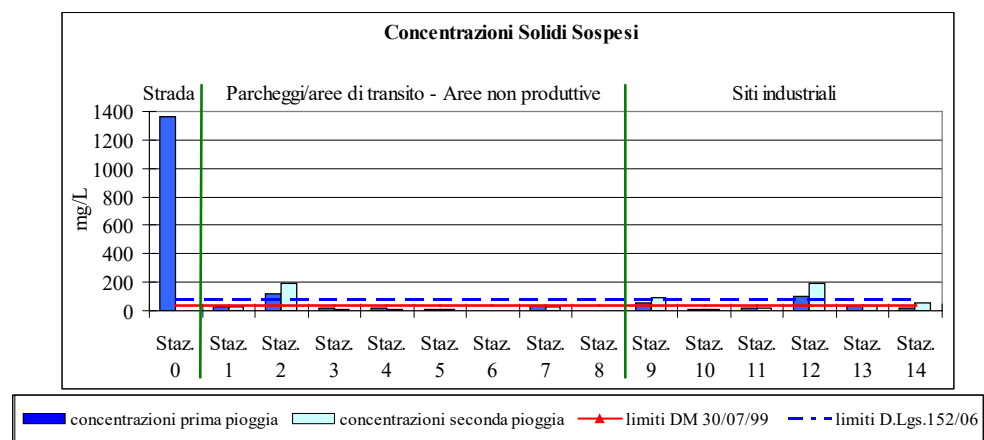


Figura 1 – Concentrazioni di solidi sospesi rilevate nelle stazioni analizzate e confronto con i limiti del D.M. 30/07/99 e del D.Lgs. 152/06.

*Fig. 1 – Concentration of suspended matter and comparison with the limits of D.M. 30/07/99 and D.Lgs. 152/06.*

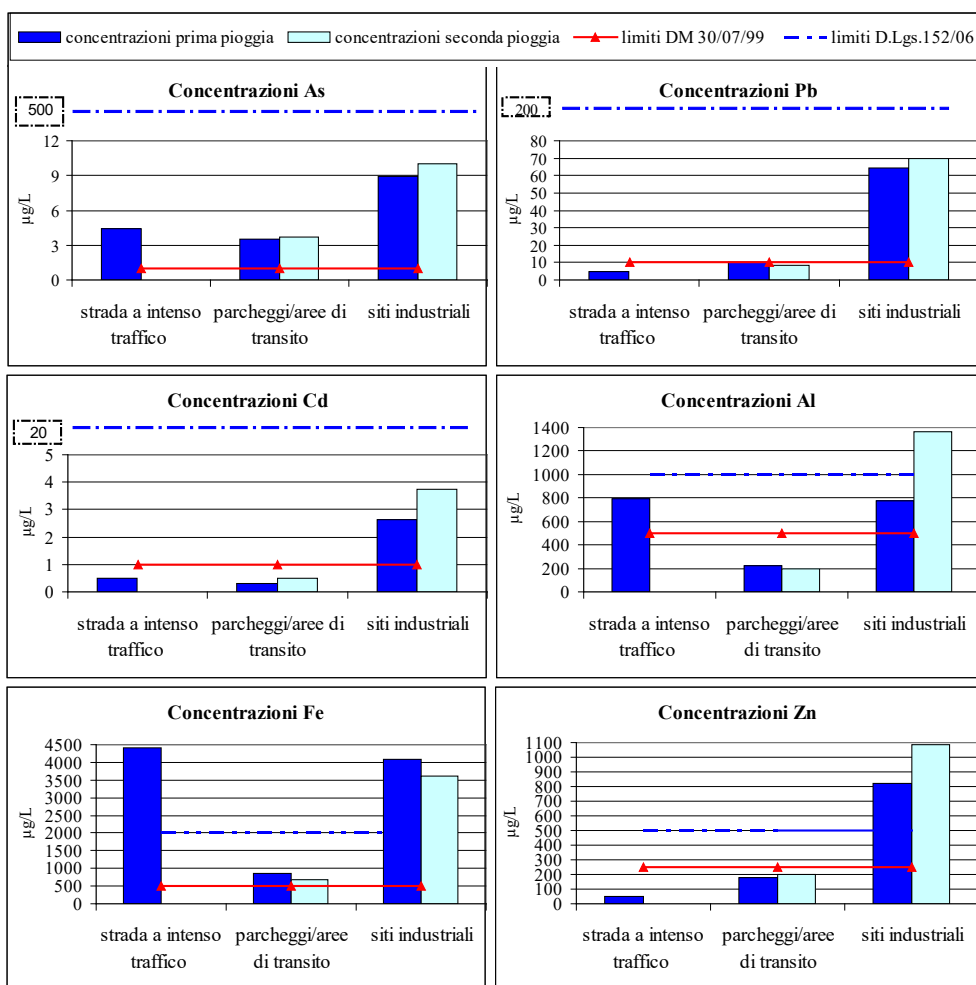


Figura 2 – Concentrazioni medie di metalli pesanti rilevate nelle tre tipologie di aree di campionamento confrontate con i limiti del D.M. 30/07/99 e del D.Lgs. 152/06.

Fig. 2 – Mean concentration of heavy metals in the three areas comparing with the limits of D.M. 30/07/99 and D.Lgs. 152/06.

Le analisi delle acque di pioggia, campionate prima di cadere al suolo all'interno del sito di Porto Marghera, hanno fatto rilevare valori notevolmente al di sotto dei limiti stabiliti dal D.M. 30/07/99, con un valore di pH leggermente acido.

Per le acque di dilavamento, si stati riscontrati invece casi di superamento dei limiti del D.M. 30/07/99 per molte sostanze, sia nei campioni di acque di prima pioggia (5 mm) che in quelle successive. Un esempio è dato dalle acque campionate in una strada ad intenso traffico a Porto Marghera (caratterizzata da scarsa manutenzione delle reti di

drenaggio ed intenso traffico, stazione 0<sup>1</sup>) e nella Stazione 9 dove è presente una attività industriale con aree scoperte utilizzate come deposito di materie prime. Diversamente, in aree commerciali dove si pratica una regolare manutenzione della rete di drenaggio, si sono rilevate concentrazioni meno elevate e superamenti dei limiti allo scarico quasi esclusivamente per l'arsenico.

Superamenti del D.Lgs. 152/06 per gli scarichi in acque superficiali si hanno solo per i solidi sospesi totali e i metalli quali: alluminio, ferro e zinco.

Per quanto riguarda le policlorodibenzodiossine e i policlorodibenzofurani (PCDD/F) e i policlorobifenili (PCB) si sono riscontrati superamenti, anche molto significativi, in quasi tutte le stazioni prese in considerazione (si precisa che questi analiti non sono stati determinati nei campioni prelevati nelle stazioni 0 e 4).

Le concentrazioni di idrocarburi policiclici aromatici (IPA) si sono, invece, attestate al di sopra del limite imposto dal D.M. 30/07/99 quasi esclusivamente nelle stazioni ubicate in siti produttivi (Tabella 1).

Tabella 1 – Concentrazioni di PCDD/F, PCB ed IPA riscontrate nelle stazioni analizzate.  
Table 1 – Concentrations of PCDD/F, PCB and IPA.

PCDD/F	stazioni														
	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
prima pioggia (I-TE pg/L)	1,20	24,21	2,21	0,00	n.d.	0,63	0,14	23,38	n.a.	n.a.	1,88	0,70	0,03		
seconda pioggia (I-TE pg/L)	n.a.	n.a.	n.a.	0,01	0,19	n.d.	0,02	17,33	3,20	0,92	1,24	0,84	0,02		
limite = 0,5 I-TE pg/L															
PCB	stazioni														
	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
prima pioggia (ng/L)	0,10	0,74	0,77	5,49	13,71	496,96	6,95	193,64	n.a.	n.a.	32,53	14,31	22,93		
seconda pioggia (ng/L)	n.a.	n.a.	n.a.	4,53	13,50	291,14	10,05	213,03	15,43	4,81	23,10	15,36	6,77		
limite = 0,04 ng/L															
IPA	stazioni														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
prima pioggia (µg/L)	2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,9	0,8	2,3	0,8	1	1,2	1,4	2,1	0,8	1,2
pioggia (µg/L)	n.a.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,9	0,4	2,2	0,4	1,5	1,2	1	3,3	1,1	1,8
limite = 1 µg/L															

n.a. = dato non analizzato

n.d. = inferiore ai limiti di rilevabilità dello strumento

<sup>1</sup> Nella stazione di monitoraggio 0 sono state campionate esclusivamente le acque relative alla prima pioggia.

Particolare attenzione meritano i risultati relativi ai valori di concentrazione dei contaminanti nelle acque di seconda pioggia che, nella maggior parte dei casi, sono simili o addirittura superiori a quelli riscontrati nelle acque di prima pioggia.

## Conclusioni

Lo studio ha evidenziato che il grado di contaminazione delle acque di dilavamento delle aree industriali di Porto Marghera risulta, in generale, più elevato di quello delle stesse acque ricadenti su aree non adibite ad attività produttive o su aree di viabilità esterna. Inoltre, per la riduzione delle concentrazioni degli inquinanti nelle acque meteoriche di dilavamento, risulta fondamentale il grado di manutenzione delle reti di raccolta le quali devono essere in efficiente stato per garantire ridotte concentrazioni di inquinanti nelle acque meteoriche.

Inoltre, è emerso che le acque meteoriche di dilavamento debbono essere oggetto di una gestione chiara ed efficace anche nel caso di superfici non adibite ad attività produttive, soprattutto nel caso in cui queste pervengano direttamente nelle acque del bacino scolante della Laguna di Venezia. In particolare, occorre evitare di inquinare le superfici esterne anche incidentalmente mediante il trascinarsi di inquinanti da altre aree dedicate ad attività produttive.

La raccolta delle sole acque di prima pioggia e il loro invio separato agli impianti di trattamento non è sufficiente a garantire che le acque di seconda pioggia risultino conformi ai limiti previsti dal D.M. 30/7/99.

I risultati del presente studio, anche se preliminari, indicano la necessità di prevedere appropriati sistemi di trattamento delle acque meteoriche di dilavamento, anche di seconda pioggia, prima della loro immissione nelle acque lagunari e necessitano comunque di un più consistente supporto di dati sperimentali per la formulazione di idonee prassi gestionali relativamente a tale tematica.

## Bibliografia

- [1] Candelpergher C., Grossi G. - *Normativa ed applicazioni in materia di acque meteoriche: alcuni esempi all'estero*, Atti della 28° Giornata di Studio di Ingegneria Sanitaria-Ambientale Gestione delle acque meteoriche di dilavamento: un approccio integrato, Varese, 06 maggio 2005.
- [2] Riganti V. - *Aggiornamento normativo: la proposta di nuovo Testo Unico Ambientale*, Atti della Giornata di Studio La gestione delle acque meteoriche di dilavamento nelle aree urbane e industriali, Brescia, 03 Febbraio 2006.
- [3] Legge 28/07/04 n.192 *Conversione in legge, con modificazioni, del DL 04/06/04, n.144, recante differimento della disciplina sulla qualità delle acque di balneazione*-Gazzetta Ufficiale n.180 del 3 agosto 2004.
- [4] Bannerman R. et al. - *Sources of pollutant in Wisconsin stormwater*, Water Science & Technology, Vol 28 No 23-5, 1993.



- [5] Steuer J., Selbig W., Hornewer N., Prey J. - *Sources of Contamination in an Urban Basin in Marquette, Michigan and an Analysis of Concentrations, Loads, and Data Quality*, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 97-4242, Middleton, Wisconsin, 1997.

# MONITORAGGIO DI QUALITÀ DELLE FOCI DELLA COSTA TEATINA

Tommaso Pagliani, Carmen Verri, Francesco Di Carlo, Roberto Calabrese  
Centro di Scienze Ambientali – Consorzio Mario Negri Sud  
Via Nazionale 8/A – 66030 Santa Maria Imbaro (CH). Tel. 0872 507277, Fax. 0872 570416  
e-mail: [pagliani@negrisud.it](mailto:pagliani@negrisud.it)

**Riassunto** – Il Centro di Scienze Ambientali conduce dal 2001 il monitoraggio biologico e chimico della costa teatina. Il programma, nel primo triennio a cadenza semestrale, dal 2004 prevede il prelievo mensile e le relative analisi di campioni d'acqua delle foci degli undici principali corsi d'acqua. Lo studio è finalizzato al rilevamento dello stato di qualità delle acque di foce e dell'apporto di inquinanti a mare. Nel corso di cinque anni di monitoraggio lo scenario è rimasto sostanzialmente immutato. Il corso d'acqua più inquinato è il torrente Feltrino, all'ultimo posto nelle graduatorie regionali. Le migliori condizioni si registrano in corrispondenza della foce del Sangro, il maggiore dei fiumi provinciali, benché interessato dalla presenza di numerosi centri abitati e della principale zona industriale del territorio regionale abruzzese, la Val di Sangro. Le condizioni degli altri corsi d'acqua presentano significative variabilità in termini di concentrazione di inquinanti e di portate idriche. Tuttavia, in prossimità dei litorali interessati dalle foci studiate è vigente da anni il divieto di balneazione. La situazione è riconducibile principalmente alla scarsa efficienza dei sistemi di depurazione.

***Abstract** – Since 2001 the Environmental Science Centre is carrying out a biological and chemical monitoring of the river mouths along the coastline of the Province of Chieti (Italy). The program, six-monthly in the first triennium, since 2004 is based on collecting and analyzing samples every month from the 11 main river mouths. The aims of the monitoring is to detect the water quality at the basin end as well as the level of pollutants transport the sea. Along five years of monitoring the situation is practically unchanged. The most polluted water course is the Feltrino torrent, at the last place in the regional list. The best conditions are revealed on the Sangro mouth, the main river of the Province, although affected by several urban areas and by the main industrial district of the whole region, Val di Sangro. The conditions of the remaining water bodies reveal significant fluctuations in term of pollutants concentration and flow, still bathing is prohibited for years in the coasts nearby the river mouths. This scenario is mainly due to the inefficiency of water purification plants.*

## Introduzione

Per valutare le tipologie e il livello di impatto che i corsi d'acqua del territorio provinciale di Chieti esercitano sul litorale, nel gennaio 2004 è stato avviato un monitoraggio mensile della qualità delle acque fluviali in chiusura di bacino, ovvero

immediatamente a monte del punto di immissione in mare, quando le caratteristiche chimico-fisiche e biologiche sono ancora tipiche delle acque interne (salinità inferiore al 6 ‰). Il monitoraggio ha la finalità principale di valutare il livello di sostenibilità dell'insieme di attività e di insediamenti esistenti sui territori dei vari bacini presi ad esame. I risultati ottenuti vengono periodicamente comunicati alla Provincia di Chieti, che sostiene economicamente il monitoraggio e può trarre dalle risultanze utili indicazioni circa le iniziative da intraprendere per una gestione ottimale del territorio (Fig. 1). I risultati di seguito espressi si riferiscono al periodo gennaio 2004 – luglio 2006.



**Figura 1** – Mappa delle foci oggetto del monitoraggio.

## Materiali e metodi

Le attività di campo hanno cadenza mensile e prevedono inizialmente il rilevamento di alcuni parametri (temperatura, pH, conducibilità, ossigeno disciolto e in saturazione) direttamente sul campo, per mezzo di strumentazione portatile (multimetro XS® Instruments mod. PC300; dosatore di ossigeno WTW mod. OXI340). I prelievi di acqua da sottoporre ad analisi chimiche e microbiologiche vengono effettuati utilizzando bottiglie sterili da litro in vetro Pyrex, materiale che minimizza i rischi di alterazione

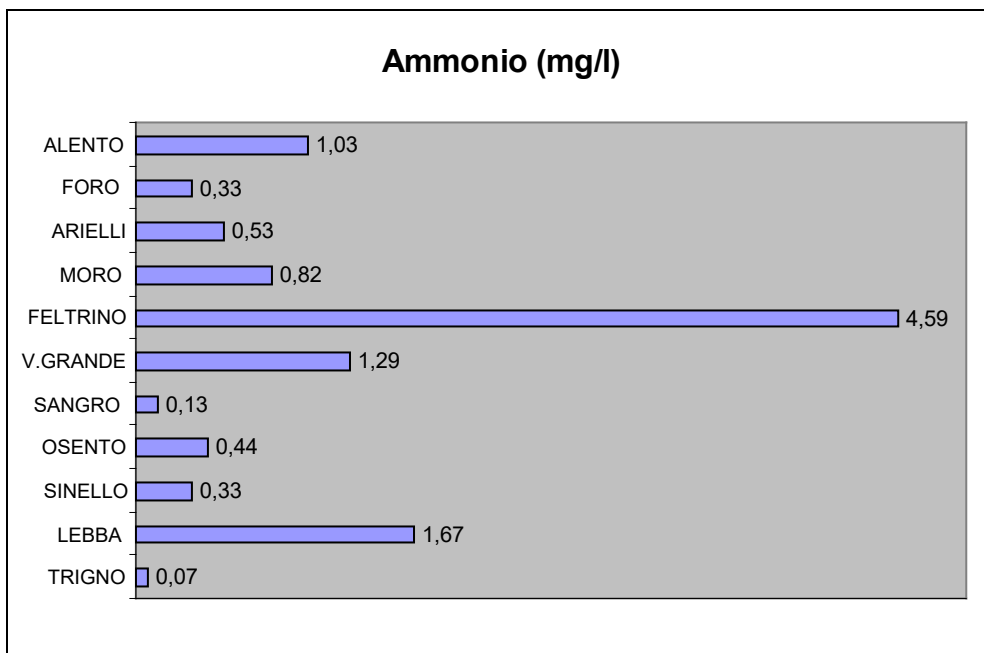
fisico-chimica del campione durante le fasi di raccolta. Inoltre, per la determinazione del BOD<sub>5</sub> si fa uso dei flaconi specifici, avendo cura di eliminare bolle d'aria al loro interno. I campioni vengono quindi trasportati in laboratorio mediante contenitori portatili refrigeranti e conservati a 4 °C per non oltre 24 ore dal prelievo. Un'aliquota di 300 ml viene utilizzata per le analisi microbiologiche, mentre per le analisi chimiche il volume necessario è di 200 ml. Il campione residuo viene trattenuto in laboratorio fino al termine delle determinazioni al fine di consentire eventuali repliche, qualora necessarie. La concentrazione degli ioni (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) viene rilevata mediante cromatografo ionico (DIONEX® mod. ICS90). La determinazione del BOD<sub>5</sub> viene effettuata per via ossimetrica (dosatore di ossigeno WTW mod. OXI340), rilevando la concentrazione di ossigeno nei campioni incubati per 5 giorni a 20 ± 2°C. Il livello di BOD<sub>5</sub>, espresso in mg/l; è rappresentato dalla differenza fra la concentrazione di ossigeno al prelievo e quella a 5 giorni. La ricerca dei parametri batteriologici (*Escherichia coli*, coliformi fecali ed enterococchi) viene effettuata tramite il metodo delle membrane filtranti, che prevede la filtrazione di un determinato volume di campione su una membrana di esteri di cellulosa e il trasferimento della stessa su terreno di coltura cromogenico e selettivo, che contiene i nutrienti e i fattori di crescita necessari per la moltiplicazione del ceppo batterico ricercato [1]. La concentrazione batterica viene espressa in UFC/100 ml. Le elaborazioni statistiche e grafiche dei dati relativi all'intero periodo oggetto di studio (gennaio 2004 – luglio 2006) sono state ottenute mediante comuni software in commercio.

## Risultati

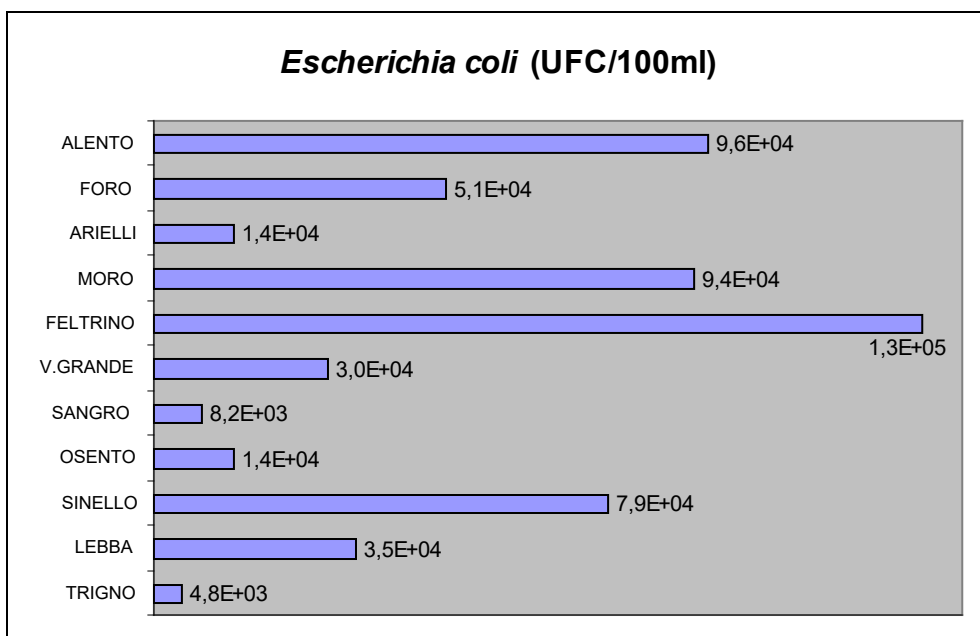
Il confronto fra le concentrazioni medie dei parametri studiati (Tab. 1) permette di classificare i corsi d'acqua in funzione del livello di qualità complessiva. A tal fine è agevole utilizzare, quali "macrodescrittori", lo ione ammonio ed *Escherichia coli*. Per quanto riguarda l'ammonio (Fig. 2) ed *Escherichia coli* (Fig. 3) il Sangro e il Trigno, rispettivamente il primo e il secondo in termini d'importanza fra i corsi d'acqua chietini, si collocano ai primi due posti della classifica. La "maglia nera" spetta costantemente al torrente Feltrino, sin dagli anni '70 gravemente inquinato a causa di scarichi industriali incontrollati, della inefficienza dei sistemi di depurazione ma anche della perdita di naturalità nell'intero bacino. È altresì possibile valutare il ruolo dei corsi d'acqua studiati in funzione delle loro portate medie [2] [5] [6] e, quindi, del loro apporto di nutrienti e d'inquinanti al mare, espresso in tonnellate per anno. Da questa diversa prospettiva, per quanto riguarda lo ione ammonio il maggiore tributario risulta essere il Sangro, forte della sua portata media stimata in 27 m<sup>3</sup>/s, seguito dal Feltrino (Fig. 4). Tuttavia, la differenza fra l'apporto di ammonio del Sangro e quello del Feltrino non è proporzionale alla differenza, piuttosto considerevole, fra le rispettive portate. Il maggiore apporto di *Escherichia coli* è dovuto invece al Sinello (Fig. 5), la cui portata media (3,53 m<sup>3</sup>/s) è pari al 13 % di quella del Sangro (27 m<sup>3</sup>/s).

**Tabella 1** – Riepilogo dei parametri determinati nel periodo gennaio 2004 – luglio 2006. I campi in grigio si riferiscono ai parametri utilizzati come macrodescrittori.

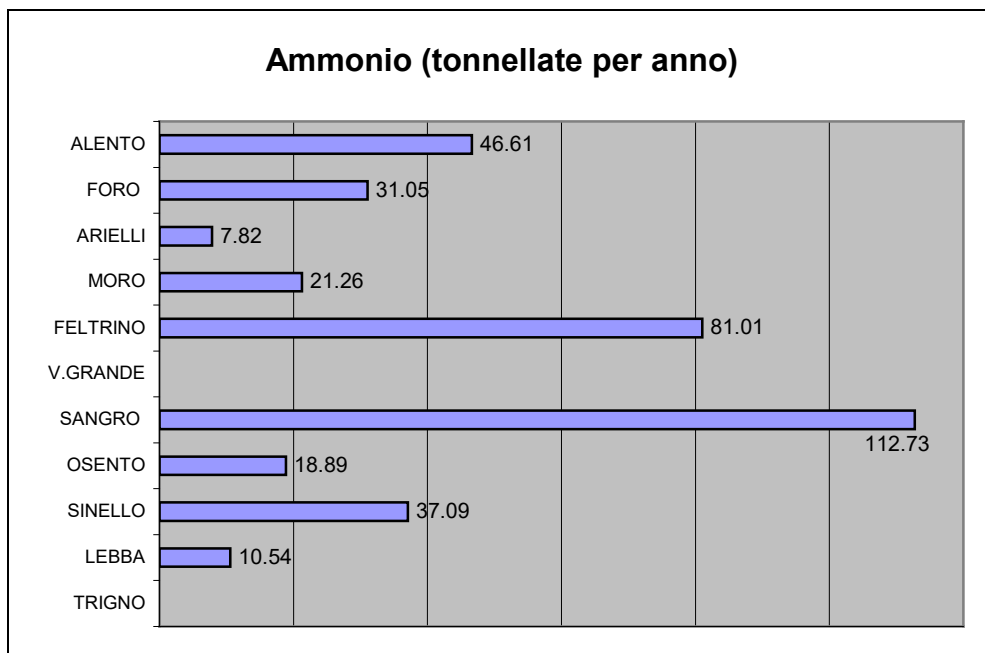
		Alento	Foro	Arielli	Moro	Feltrino	Valle Grande	Sangro	Oseno	Sinello	Lebba	Trigno
<b>Portata (m<sup>3</sup>/s)</b>	stim.	1,43	2,94	0,47	0,82	0,56	-	27,00	1,37	3,53	0,20	-
<b>Temperatura (°C)</b>	medie	14,28	13,55	13,47	14,35	15,40	14,63	12,73	14,89	16,65	17,36	16,42
	e.s.	1,32	1,09	1,01	1,35	1,30	1,16	1,13	1,47	1,54	1,02	1,60
<b>Conducibilità (µS/cm)</b>	mediane	1127	754	982	1367	994	997	530	1238	1195	1031	854
<b>pH</b>	medie	7,60	7,56	7,49	7,64	7,73	7,73	7,94	7,70	7,82	7,86	7,78
	e.s.	0,11	0,17	0,17	0,11	0,13	0,13	0,14	0,16	0,08	0,09	0,15
<b>O.D. (mg/l)</b>	medie	8,51	9,20	9,94	8,25	8,28	9,37	10,50	9,96	7,51	7,92	9,07
	e.s.	1,06	0,99	1,34	1,11	1,02	0,97	1,22	1,34	1,13	0,97	1,02
<b>Sat.O.D. (%)</b>	medie	89,07	95,90	100,55	85,15	88,26	101,09	106,73	104,75	81,41	88,66	99,30
	e.s.	11,02	10,39	14,25	11,75	11,26	11,15	13,13	14,66	12,33	10,97	11,02
<b>BOD<sub>5</sub> (mg/l)</b>	medie	3,89	3,02	4,07	4,59	6,03	4,81	4,00	4,46	3,10	3,67	2,99
	e.s.	0,54	0,54	0,86	0,66	0,78	0,68	0,85	1,12	0,58	0,50	0,49
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	medie	19,15	13,77	16,23	13,57	7,41	21,29	2,58	22,73	4,09	18,62	8,63
	e.s.	1,08	1,09	1,71	3,62	1,12	2,57	0,24	6,91	0,67	2,58	1,86
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	medie	0,76	0,23	0,22	0,46	1,58	0,52	0,03	0,84	0,31	1,00	0,12
	e.s.	0,11	0,04	0,03	0,14	0,38	0,05	0,01	0,55	0,14	0,28	0,04
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l)</b>	medie	1,03	0,33	0,53	0,82	4,59	1,29	0,13	0,44	0,33	1,67	0,07
	e.s.	0,21	0,09	0,34	0,21	0,56	0,33	0,06	0,19	0,10	0,58	0,03
<b>PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> (mg/l)</b>	medie	19,52	13,61	16,24	11,65	12,51	21,40	2,65	16,42	4,66	20,07	8,72
	e.s.	1,33	1,26	1,79	2,51	1,17	2,56	0,26	3,30	0,67	2,54	1,89
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (mg/l)</b>	medie	0,64	0,23	0,33	0,86	1,55	0,71	0,05	0,46	0,15	4,31	0,20
	e.s.	0,11	0,08	0,06	0,23	0,27	0,11	0,01	0,32	0,07	0,85	0,07
<b><i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)</b>	medie	96.002	50.543	13.764	93.577	133.241	30.289	8.150	13.782	78.771	34.975	4.800
	e.s.	36.236	24.607	7.168	30.219	43.736	10.072	3.590	4.832	34.953	24.794	1.840
<b>Coliformi Tot. (UFC/100 ml)</b>	medie	131.262	82.016	26.192	192.057	163.055	44.761	15.918	32.855	117.405	48.286	11.682
	e.s.	38.014	28.408	8.385	41.166	41.329	12.090	4.839	10.583	38.643	25.545	3.740
<b>Enterococchi (UFC/100 ml)</b>	medie	26.226	11.331	4.718	47.601	53.705	7.307	2.547	8.061	68.473	8.666	2.331
	e.s.	10.784	4.971	1.590	25.283	24.501	2.334	1.086	2.835	34.773	3.442	843



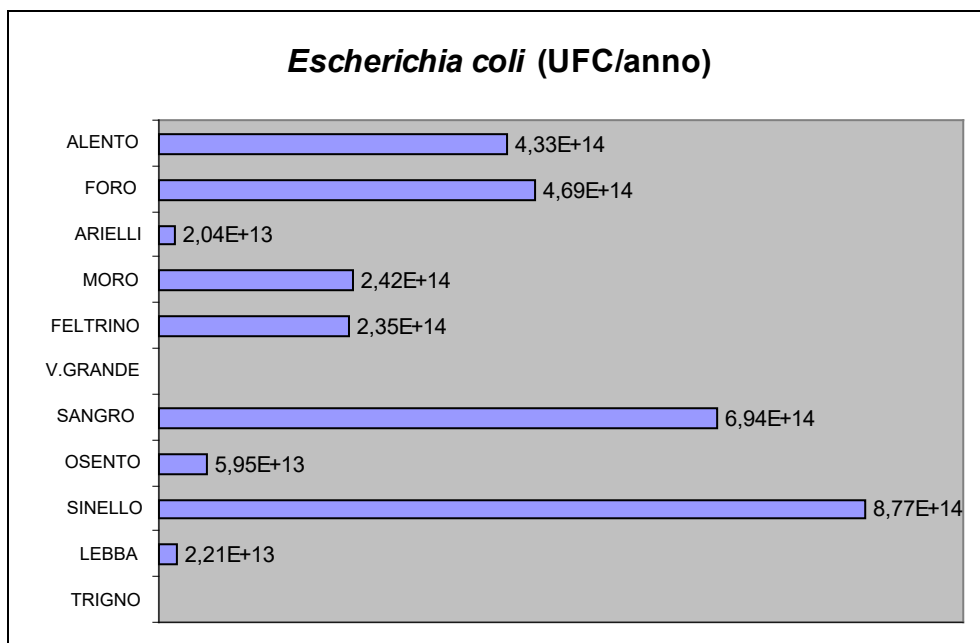
**Figura 2** – Andamento dei valori medi dello ione ammonio.



**Figura 3** – Andamento dei valori medi di concentrazione di *Escherichia coli*.



**Figura 4** – Andamento dei valori medi di portata di ammonio.



**Figura 5** – Andamento dei valori medi di portata di *Escherichia coli*.

## Discussione

La situazione descritta, complessivamente allarmante, si riflette negativamente sul litorale, in termini sia di incremento del livello trofico e sia di riduzione della costa balneabile. Infatti, nel 2005 [4], degli 8,90 km inibiti alla balneazione per varie cause (13,2 % di costa non balneabile, al 44° posto sulle 56 province costiere) ben 6,36 km del litorale chietino (9,42 % del totale) risultavano non balneabili per inquinamento. La Provincia di Chieti è anche l'ultima fra le province abruzzesi, ma a sua volta l'Abruzzo è al 12° posto (7,32 % di costa non balneabile per inquinamento) della classifica delle 15 regioni costiere. Per quanto riguarda il futuro, non è dato prevedere, almeno a breve termine, un'inversione di tendenza. Infatti, all'aumento degli insediamenti urbani e produttivi, soprattutto nella fascia costiera, non si accompagna un proporzionale adeguamento delle reti fognarie e dei sistemi di depurazione. Al contrario, si osserva un forte ritardo nella programmazione degli investimenti. Ciò è dovuto anche al passaggio della gestione delle acque dai comuni agli ambiti territoriali ottimali (ATO) e alle loro società collegate, un passaggio che non è coinciso con un miglioramento dello stato di fatto, pur tollerando qualche anno di assestamento politico e amministrativo. A rendere ancor più delicata la situazione si aggiunge la carenza delle infrastrutture dedicate alla misurazione delle portate idriche, largamente insufficienti per poter svolgere le normali attività di carattere analitico e gestionale nel settore del controllo di qualità delle acque interne.

## Conclusioni

Le città, l'agricoltura, le industrie e ogni altra forma di presenza umana interagiscono con il territorio su cui si sviluppano, producendo a volte effetti che l'ambiente è incapace di assorbire completamente. Poiché al bacino imbrifero è affidato il compito di allontanare dal territorio gran parte degli scarichi provenienti dalle varie attività umane, lo stato della qualità delle acque correnti in chiusura di bacino dipende dalla sommatoria di tutti gli apporti inquinanti ricevuti. Dunque, il monitoraggio in chiusura di bacino può indirettamente rilevare il grado di sostenibilità delle molteplici attività che si svolgono sul bacino stesso. In tal senso si registrano interessanti corrispondenze fra le risultanze del monitoraggio e le performance ambientali del territorio studiato. Infatti, l'applicazione dell'indice messo a punto dall'Istituto Sviluppo Sostenibile Italia (ISSI) alla Provincia di Chieti ha messo in luce, fra gli aspetti negativi, l'estensione delle coste non balneabili [3].

## Bibliografia

- [1] APAT. IRSA-CNR *Metodi analitici per le acque*. APAT – Manuali e linee guida. 2003
- [2] Banca dati del Servizio Idrografico e Mareografico delle Regioni Abruzzo e Molise.
- [3] Barbabella A., Federico A., Pierini M.L., Pagliani T. *L'indice ISSI di sviluppo sostenibile della Provincia di Chieti*. *Regioni&Ambiente* (2006) 5, 33-35.
- [4] Ministero della Salute. *Rapporto sulla qualità delle acque di balneazione 2005*. [www.ministerosalute.it/promozione/balneazione/balneazione.jsp](http://www.ministerosalute.it/promozione/balneazione/balneazione.jsp).
- [5] Provincia di Chieti. *Carta ittica della Provincia di Chieti*. 1998.



- [6] Provincia di Chieti. *Studio sulla qualità delle acque superficiali e sugli utilizzi dei corsi d'acqua della Provincia*. 1987.

# METODOLOGIE DI RILIEVO E TECNOLOGIE GIS NELLA MAPPATURA DELLE MACROFITE ACQUATICHE IN LAGUNA DI VENEZIA

A. Rismondo, D. Mion, A. Pierini, D. Curiel  
SELC Soc Coop, Via dell'Elettricità 3d, 30175 Marghera-Venezia  
Tel. 041 538 4817, Fax. 041 538 4757, e-mail: selc@selc.it

**Riassunto** – Nell'ambito di un ampio programma per il monitoraggio dell'ecosistema lagunare veneziano (Studio MELa2) condotto per conto del Magistrato alle Acque attraverso il suo concessionario Consorzio Venezia Nuova, nel periodo primaverile-estivo del triennio 2002 - 2004, sono state condotte delle estese campagne di raccolta dati che hanno portato alla produzione delle mappature in scala 1:5000, una per ciascuna stagione di campionamento, delle fanerogame marine e delle macroalghe infestanti i fondali incoerenti della Laguna di Venezia. Lo studio è stato condotto con lo scopo di aggiornare le conoscenze della distribuzione delle macrofite quali indicatori di qualità di livello integrato su scala lagunare.

*Abstract* – During the primaverile-summery period from 2002 to 2004 it has been conduct an the extended campaigns of data collection within a wide monitoring program of the Venice Lagoon Ecosystem (MELa2 Study) done on behalf of the Magistrato alle Acque by means of its concessionary Consorzio Venezia Nuova. The study results are represented from 1:5000 scale digital maps, one for every season of sampling, of Venice Lagoon seagrasses and infesting macroalgae. The study has been lead to update distribution of seagrasses & macroalgae knowledge, considered as good quality environmental indicators.

## Materiali e Metodi

Nel periodo primaverile-estivo del triennio 2002-04 è stata eseguita una serie di mappature in scala 1:5000 delle fanerogame marine e delle macroalghe infestanti dei fondali incoerenti della Laguna di Venezia (figura 1). Il monitoraggio è stato condotto per conto del Magistrato alle Acque, tramite il suo concessionario Consorzio Venezia Nuova (Studio Mela2 [4], [5], [6], [8] ), con lo scopo di aggiornare le conoscenze della distribuzione delle macrofite quali indicatori di qualità di livello integrato su scala lagunare. La mappatura ha previsto una fase propedeutica durante la quale si è proceduto a definire i criteri e le modalità di esecuzione dei rilievi attraverso l'elaborazione di un protocollo standard di mappatura da seguire in campo. I rilievi sono stati eseguiti con imbarcazioni a basso pescaggio dotate di strumentazione DGPS (figura 2), avvalendosi di supporti aerofotogrammetrici e immagini satellitari IKONOS e QUICKBIRD (pancromatiche e/o IR).

I supporti fotografici hanno consentito di elaborare una cartografia operativa di base in grado di fornire ai rilevatori la probabile dislocazione delle fanerogame e delle macroalghe. La mappatura è stata realizzata sull'intera laguna per un totale di 31000 ha ad

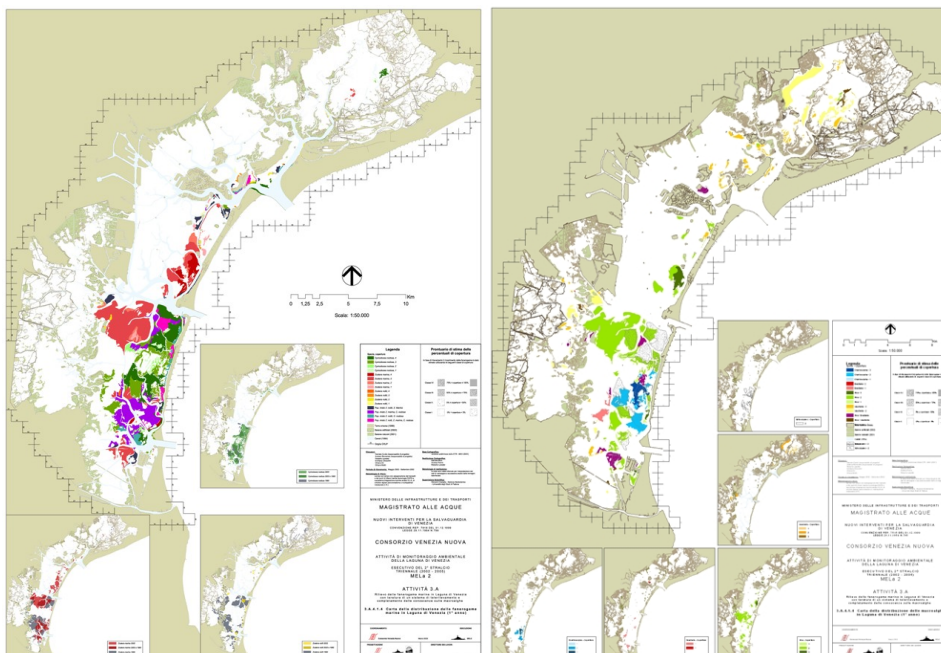


Figura 1 – Mappa della distribuzione delle fanerogame marine (sx) e delle macroalghe (dx) in Laguna di Venezia relativa alla stagione 2002 [7]. *Seagrasses (left) and macroalgae (right) distribution maps relative to 2002.*

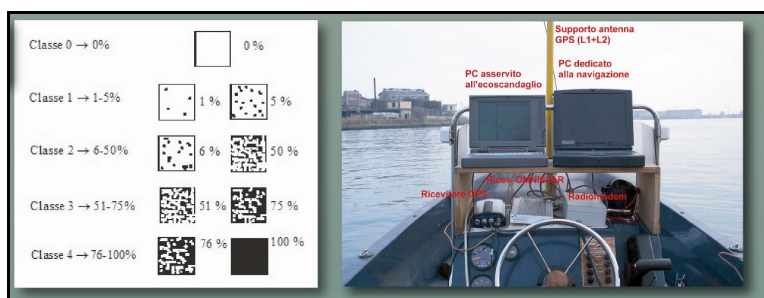


Figura 2 – Prontuario di stima delle coperture utilizzato nei rilievi di campo e strumentazione DGPS montata su imbarcazione. *Covers esteem scheme used in the field and instrumentation DGPS mounted on boat.*

esclusione delle valli da pesca e dei canali navigabili, procedendo con l'ausilio di strumentazione DGPS lungo transetti o seguendo i limiti dei più estesi popolamenti di macrofite e attribuendo specifici codici ai markers (G.C.P.) progressivamente registrati nel sistema di navigazione.

L'impiego dei markers ha permesso di acquisire G.C.P. (punti di controllo) su supporto digitale, associando ad ognuno di essi la specie, il grado di copertura secondo una

scala di 4 classi (figura 2) e la localizzazione geografica. Le fasi di lavoro successive al rilievo dei dati sul campo hanno seguito lo schema di figura 3, con un processo di lavoro iterativo a *feedback* che ha visto la produzione di cartografie intermedie di volta in volta più precise.

La cartografia finale di campo ha quindi subito, ad ogni stagione, una ulteriore verifica finale sul campo prima di essere considerata in versione finale. I criteri utilizzati nelle fasi di raccolta dati, oltre ad avere lo scopo di produrre la mappa distributiva di fanerogame e macroalghe per l'anno in corso, hanno avuto l'obiettivo di concentrare l'attenzione sulle aree di maggior interesse per le fanerogame per:

- considerare quelle aree per le quali, erano già noti, da fonti bibliografiche o da rilievi precedenti, cenni di fenomeni di stress o regressione;
- concentrare l'attenzione su *Zostera marina* in particolare data la rilevata sensibilità agli elevati stress termici estivi, specie se prolungati;
- concentrare l'attenzione su quei popolamenti che evidenziano forti fenomeni di dinamismo a breve termine;
- concentrare l'attenzione sui confini dei popolamenti localizzati in aree sottoposte a forti fenomeni erosivi e quindi potenzialmente a rischio.

Per le macroalghe, l'attenzione si è invece concentrata su aree in cui fossero noti fenomeni di vicarianza della fanerogama marina *Zostera noltii* a favore della Chrysophyta *Vaucheria*, formante tappeti filamentosi abbarbicati al substrato. L'osservazione contemporanea di più specie è stata interpretata come presenza di un popolamento misto e veniva riportata nei marker con l'indicazione di tutte le specie e dei relativi valori di copertura.

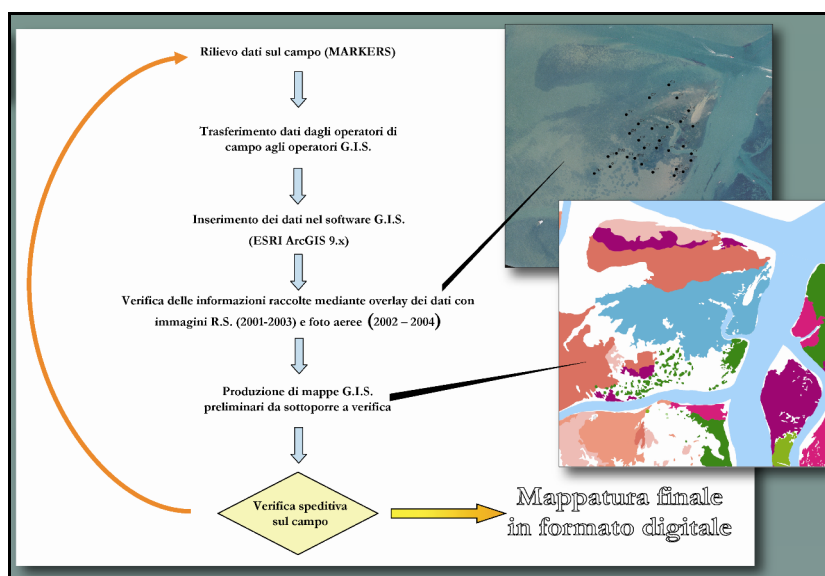


Figura 3 – Schema logico delle fasi di lavoro seguito nella produzione delle carte di fig. 1. *Working phases conceptual framework used for the realization of maps (fig. 1).*

## Risultati analisi cartografica

I rilievi effettuati hanno consentito di evidenziare, dall'analisi temporale della distribuzione delle macrofite in Laguna di Venezia, i più importanti fenomeni di dinamismo e le più significative modifiche distributive verificatesi tra il 2002 e il 2004.

Sulla base dei dati raccolti nel corso delle indagini in campo e sulla base della corrispondente cartografia sono state calcolate le aree ed i perimetri di ciascuna patch vegetazionale rilevata. Il confronto topologico-spaziale e qualitativo tra la distribuzione del 2002 e quella del 2004 ha evidenziato alcuni cambiamenti significativi, sia in termini distributivi che di copertura dei popolamenti vegetali (tabella 1).

Tabella 1 – Confronti tra le coperture rilevate negli anni 2002 – 2003 - 2004. *Comparisons between 2002 – 2003 – 2004 coverages..*

Specie	2002 (ha)	2003 (ha)	2004 (ha)
Popolamenti puri a <i>Cymodocea nodosa</i>	1481,71	1544,63	1391,02
Popolamenti puri a <i>Zostera marina</i>	1594,96	1021,90	754,93
Popolamenti puri a <i>Zostera noltii</i>	42,40	42,42	14,51
Popolamenti misti a <i>Z. marina</i> e <i>C. nodosa</i>	615,11	615,21	441,79
Popolamenti misti a <i>Z. noltii</i> e <i>C. nodosa</i>	103,30	103,33	61,05
Popolamenti misti a <i>Z. noltii</i> e <i>Z. marina</i>	145,25	143,66	63,94
Popolamenti misti a <i>Z. noltii</i> - <i>Z. marina</i> - <i>C. nodosa</i>	152,72	165,92	106,45

I dati areali ricavati dall'analisi GIS e relativi alle *patch* vegetazionali rilevate sono stati aggregati e normalizzati dividendoli per le corrispondenti coperture (stabilite sulla base del prontuario di stima delle percentuali di copertura, figura 2) in modo da garantirne il trattamento omogeneo ed evitando che nel confronto tra le distribuzioni di fanerogame dei diversi anni le imprecisioni dovute alla diversa qualità dei supporti fotografici utilizzati (IKONOS, 2001; QUICKBIRD 2003; voli aerei 2002 - 2003- 2004) deformassero il risultato finale.

Da una prima valutazione estesa all'intera Laguna e alla distribuzione delle 3 specie di fanerogame nel loro complesso emerge che tra il 2002 e il 2004 la diminuzione di superficie lagunare coperta da fanerogame risulta di 1302 ha su 4135 ha, pari al 31,5 %, (un'analisi su medio-periodo basata su dati bibliografici evidenzia che tra il 1990 e il 2002 la diminuzione era stata di circa 62 ha su 5493 ha - dato non normalizzato - e tra il 2002 e il 2003 la regressione complessiva era stata meno rilevante, attestandosi a 498 ha su 4135 ha, pari ad una perdita del 12 % delle praterie totali ).

In particolare la diminuzione delle coperture a *Zostera marina* tra il 2002 e il 2004 è valutabile in 840 ha su 1595 ha. Tale diminuzione segue un andamento già osservato nel 2003 quando la perdita di *Z. marina* era stata valutata in 573 ha su 1595 ha. Questa specie era stata invece protagonista del forte trend colonizzativo osservato nel 2002 in alcune aree lagunari (Laguna centrale), rispetto al dato bibliografico del 1990 [2], [3].

La regressione delle coperture a *Z. marina* ha interessato in uguale misura sia le praterie monospecifiche che le praterie a coperture miste (-301 ha su 913 ha).

I popolamenti di *Zostera noltii*, la cui distribuzione tra il 2002 e il 2003 era

rimasta sostanzialmente invariata dopo la forte diminuzione osservata tra il 1990 e il 2002, hanno subito una forte regressione rispetto al 2002, più marcata nel caso delle praterie monospecifiche (-28 ha su 42 ha, pari al 66 % del totale), elevata anche in presenza di praterie miste (-170 ha su 401 ha, pari al 42 % del totale).

A fronte di un forte arretramento dei popolamenti di *Z. marina* e *Z. noltii* non si è verificato un corrispondente processo di colonizzazione di queste aree da parte di *Cymodocea nodosa*, se non in piccole zone ai margini di alcune praterie monospecifiche dove le coperture di *Z. marina*, che avevano subito nell'interno dei bassifondi l'impatto degli stress abiotici, sono state sostituite progressivamente, ma in modo limitato, da individui di *C. nodosa*. I popolamenti di *C. nodosa* appaiono complessivamente stabili e subiscono, nel periodo 2002 – 2003, una diminuzione nell'intera Laguna di 91 ha su 1482 ha, pari al 6 % della superficie occupata nel 2002.

Tabella 2 – Coperture rilevate per le specie di macroalghe considerate nello studio. *Observed macroalgae coverages obtained by the study.*

Laguna di Venezia	Copertura totale (ha)	Copertura pura (ha)	Copertura mista (ha)
Gracilaria	104	0	104
Ulva	1051	889	162
Vaucheria	1506	1448	58

I risultati ottenuti dall'analisi cartografica relativa alle macroalghe evidenziano che, suddividendo l'intera Laguna nei tre ambiti convenzionalmente definiti Laguna nord (spazio acque a nord della bocca di porto di Lido), Laguna centrale (spazio acque compreso tra le bocche di porto di Lido e Malamocco) e Laguna sud (spazio acqueo a sud della bocca di porto di Malamocco), osserviamo che a nord la copertura delle macroalghe è riconducibile interamente alla presenza della sola *Vaucheria* (663 ha).

Nella Laguna centrale la superficie interessata dalle macroalghe è invece di 435 ha con prevalenza anche qui di *Vaucheria* (289 ha pura), rispetto a *Ulva* (146 ha tra pura e mista) e *Gracilaria* (39 ha misti). In Laguna sud le macroalghe colonizzano complessivamente 1418 ha di fondale [1], più della metà dei quali riconducibili a *Ulva* che ricopre, tra popolamenti puri o misti 906 ha. Rilevante, anche nella Laguna sud, è la presenza di *Vaucheria* (513 ha puri, 58 ha misti), mentre *Gracilaria* è presente solamente con 65 ha di copertura mista (tabella 2).

## Bibliografia

- [1] Curiel D., Rismondo A., Bellemo G., Marzocchi M., 2004. *Macroalgal biomass and species variations in the Lagoon of Venice (Italy, North Adriatic sea): 1981-1998*. Scientia Marina, 68 (1), 57-67.
- [2] Curiel D., Rismondo A., Scarton F., Marzocchi M., 1997 - *Flowering of Zostera marina in the lagoon of Venice (North Adriatic, Italy)*. Aquat. Bot., 52, 313-318.

- [3] Den Hartog C., 1971. *The dynamic aspect in the ecology of seagrass communities*. *Thalassia Jugoslavica*, 7(1), 101-112.
- [4] Magistrato alle Acque, 2002 - Monitoraggio dell'Ecosistema Lagunare - 2° stralcio triennale (MELa2). Linea A: "Rilievo delle fanerogame marine in Laguna di Venezia con taratura di un sistema di telerilevamento e completamento delle conoscenze sulle macroalghe". Rapporto sullo stato delle conoscenze. Consorzio Venezia Nuova. Esecutore: SELC
- [5] Magistrato alle Acque, 2003a. *Monitoraggio dell'Ecosistema Lagunare (MELa2)*. 2° stralcio triennale. Linea A: "Rilievo delle fanerogame marine in Laguna di Venezia con taratura di un sistema di telerilevamento e completamento delle conoscenze sulle macroalghe". Rapporto di 1° anno sui risultati della mappatura. Consorzio Venezia Nuova.
- [6] Magistrato alle Acque. 2003d - *Monitoraggio dell'Ecosistema Lagunare (MELa2)* - 2° stralcio triennale. Linea A: "Rilievo delle fanerogame marine in Laguna di Venezia con taratura di un sistema di telerilevamento e completamento delle conoscenze sulle macroalghe". Rapporto di 1° anno sui risultati della mappatura. Consorzio Venezia Nuova.
- [7] Rismondo A., Curiel D., Scarton F., Mion D., Caniglia G., 2003 - *A New Seagrass Map for the Venice Lagoon*. In: *Proceedings of the Sixth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment - MEDCOAST 2003*, E. Özhan (Ed.), 7-11 October 2003, Ravenna, Italy. Vol.II. 843-852.
- [8] Magistrato alle Acque 2004c - *Attività di monitoraggio della Laguna di Venezia. Esecutivo del 2° stralcio triennale (MELa2)*. Rilievo delle fanerogame marine in Laguna di Venezia con taratura di un sistema di telerilevamento e completamento delle conoscenze sulle macroalghe. Attività di misura periodica delle caratteristiche fenologiche e dei parametri di crescita delle fanerogame marine. Rapporto finale 2002 – 2005. Consorzio Venezia Nuova. Esecutore SELC.

## IL SENSORE MODIS PER IL MONITORAGGIO DEI FENOMENI MUCILLAGINOSI NEL MARE ADRIATICO

Andrea Spisni<sup>1</sup>, Vittorio Marletto<sup>1</sup>, Roberto Sciarra<sup>2</sup>, Emanuele Bohm<sup>2</sup>, Carla Rita Ferrari<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ARPA Emilia-Romagna - Servizio Idrometeorologico, Viale Silvani, 6 – 40124 Bologna

Tel. 051 6497561, Fax. 015 649 7501, e-mail: [aspisni@arpa.emr.it](mailto:aspisni@arpa.emr.it)

<sup>2</sup>CNR - Istituto Scienze Atmosfera e Clima – Gruppo Oceanografia da Satellite, Tor Vergata Roma

<sup>3</sup>ARPA Emilia-Romagna - Struttura Oceanografica Daphne, Cesenatico (FC)

**Riassunto** - Il progetto Requisite (INTERREG III A Transfrontaliero Adriatico) sta realizzando una rete che raccoglie ed integra le informazioni riguardanti i fenomeni di eutrofizzazione e delle mucillagini delle acque marine del bacino Adriatico centro settentrionale rilevati dalle Agenzie Regionali per l'Ambiente (Emilia-Romagna, Marche ed Abruzzo) e dagli istituti di ricerca croati e italiani. I bollettini informativi che vengono redatti sono uno strumento strategico per le Amministrazioni locali di rilevanza sia regionale, che provinciale e comunale al fine di disporre di notizie, dati e, se possibile, previsioni sull'andamento dei due fenomeni che si manifestano su ampia scala interessando l'intera area posta sotto monitoraggio.

Il Laboratorio di telerilevamento si inserisce nel progetto per l'analisi delle immagini satellitari MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) al fine dell'individuazione della presenza di mucillagini. Lo sviluppo della metodologia di monitoraggio è iniziata nel 2002 a seguito dei fenomeni mucilluginosi di quell'anno. Dal 2005 si è affiancato il gruppo di oceanografia da satellite del CNR e la collaborazione con l'ente di ricerca ha permesso di confrontare le esperienze maturate nei tre anni precedenti con le competenze di analisi di immagini satellitari su aree marine e di sviluppare una procedura automatica di ricerca e *download* in tempo quasi-reale. Le immagini, a 250 m di risoluzione spaziale e 7 bande, vengono analizzate tramite indici specifici e rapporto di bande per individuare la presenza dei corpi mucilluginosi affioranti e sub-superficiali. Successivamente viene creato un bollettino bimensile nel periodo estivo e mensile nel resto dell'anno in cui si riportano le immagini in colori reali dell'area di studio e la eventuale distribuzione delle mucillagini per fasce regionali a varie distanze dalla costa (5, 10, 15, 20, 25, 40, 70, 90, 110 km). I bollettini da satellite e delle misurazioni in mare sono scaricabili dal sito: <http://www.requisite.it>.

### Testo

All'interno del progetto Requisite (INTERREG III A Transfrontaliero Adriatico) è stato sviluppato un servizio operativo per l'elaborazione delle immagini del sensore MODIS ai fini dell'individuazione di possibili fenomeni mucilluginosi.

L'importanza della combinazione delle osservazioni satellitari con le misure *in situ* è di tipo strategico e risiede nel tipo di informazione che i due campionamenti possono portare. Le immagini satellitari permettono una visione contemporanea di una grande area, ad esempio il Mare Adriatico, con il limite di ricavare informazioni che riguardano solo lo



strato superficiale del mare. I campionamenti *in situ*, operati mediante l'utilizzo di motonavi, permettono una misurazione dell'intera colonna d'acqua; tuttavia sono di tipo puntuale e la copertura di una certa porzione di mare richiede lunghi tempi di operazione.

I campionamenti operati dalle motonavi delle Agenzie regionali per l'Ambiente (Emilia-Romagna, Marche e Abruzzo) riguardano dei transetti che possono arrivare al massimo a 30 km dalla costa. Il satellite può osservare porzioni di mare non raggiunte dalle motonavi e dare indicazioni di tipo strategico, offrendo la possibilità di pianificare diversamente i transetti di misura standard per andare sui punti individuati come possibili aggregati mucillaginosi. Viceversa le misurazioni operate dalle motonavi riguardano l'intera colonna d'acqua, e possono rilevare, al contrario del satellite, aggregati mucillaginosi in profondità. La contemporaneità dei campionamenti *in situ* con il passaggio del satellite è essenziale affinché sia possibile una validazione delle osservazioni satellitari, l'unico modo per perfezionare il prodotto.

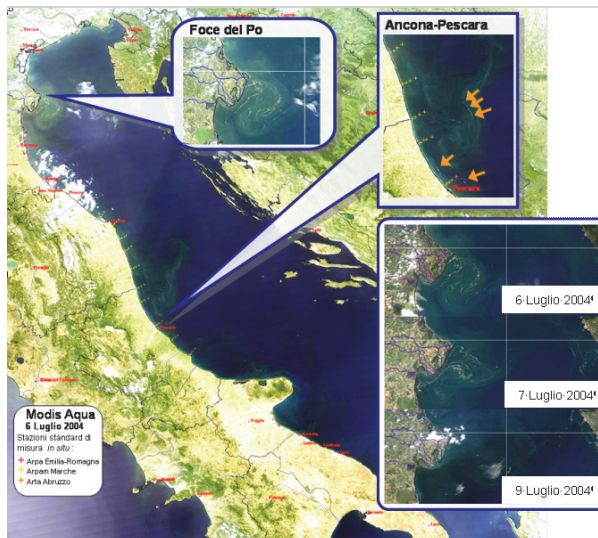


Figura 1 – Immagine MODIS True Color del 6 Luglio 2004. Gli aggregati mucillaginosi si attestano di fronte alla foce del Po e alla costa marchigiana-abruzzese. Nel riquadro in basso a destra si evidenzia l'evoluzione temporale degli aggregati. Le stazioni di campionamento sono indicate dalle croci.

*Figure 1 – True color image of MODIS (July 6<sup>th</sup>, 2004). The sea snow appear along the Po's delta and in Marche and Abruzzo's shoreline. In the image below on the right it is possible to view the evolution of the phenomenon. The check point are drawn with colour crosses.*

I bollettini informativi che vengono redatti sono uno strumento strategico per le Amministrazioni locali di rilevanza sia regionale, che provinciale e comunale al fine di disporre di notizie, dati e, se possibile, previsioni sull'andamento dei due fenomeni che si manifestano su ampia scala interessando l'intera area posta sotto monitoraggio.

La mucillagine è costituita principalmente da polisaccaridi che si rigonfiano a contatto dell'acqua e che si riuniscono formando aggregati diversi per forma e grandezza. Prende origine come escrezione da parte di microalghe presenti normalmente in ambiente marino oppure si forma per disgregazione cellulare delle stesse. I meccanismi che inducono tali fenomeni e le dinamiche di aggregazione sono tuttora oggetto di ricerca [2]. A livello di risposte spettrali sono caratterizzate da elevata riflettanza nel verde e vicino infrarosso (bande 2 e 4), mentre assorbono la luce nel medio infrarosso (banda 6) [1], [4]. Visto che i corpi mucillaginosi hanno un forte impatto sul turismo, sulla pesca e sui fondali, il loro monitoraggio assume una funzione strategica nella gestione delle emergenze (Figura 1, Figura 2).

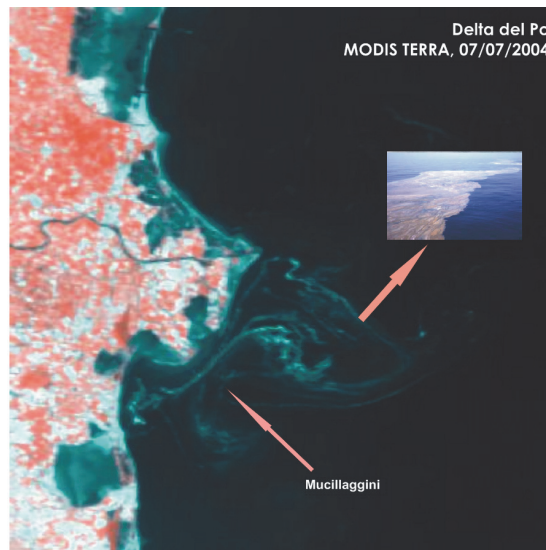


Figura 2 – Evento mucillaginoso dell'estate 2004 (MODIS R-G-B 2-2-1).  
*Figure 2 – Sea snow during the summer of 2004 (MODIS R-G-B: 2-2-1).*

Il Laboratorio di telerilevamento si inserisce nel progetto per l'analisi delle immagini satellitari MODIS al fine dell'individuazione della presenza di mucillagini. Lo sviluppo della metodologia di monitoraggio è iniziata nel 2002 a seguito dei fenomeni mucillaginosi di quell'anno [6]. Durante gli anni 2003 e 2004 sono stati utilizzati i dati MODIS MOD09 (L2) a 500 m di risoluzione spaziale e resi scaricabili in 5 ÷ 7 giorni dalla data di acquisizione [3], [5]. Questo tipo di prodotto viene corretto atmosfericamente e proiettato in sinusoidale dalla NASA prima della distribuzione. Dal 2005 si è affiancato il gruppo di oceanografia da satellite del CNR (<http://gos.ifa.rm.cnr.it>) e la collaborazione con l'ente di ricerca ha permesso di confrontare le esperienze maturate nei tre anni precedenti con le competenze di analisi di immagini satellitari su aree marine e di sviluppare una procedura automatica di ricerca e *download* delle immagini in tempo quasi-reale (1, 2 giorni dall'acquisizione).

Attualmente i dati del sensore MODIS utilizzati per l'analisi e la creazione dei bollettini sono di livello 1B, cioè radianze calibrate e georeferenziate per tutte le 36 bande spettrali di acquisizione, con le seguenti risoluzioni spaziali: 250 m, 500 m e 1 km. I dati vengono elaborati affinché le bande spettrali del visibile e del vicino infrarosso (sette in tutto) siano riportate alla stessa risoluzione spaziale (250 m) per facilitare il confronto e le operazioni tra bande. Il dato viene proiettato cartograficamente su una proiezione cilindrica equirettangolare dell'Adriatico. La scelta di questo tipo di prodotto risiede nella sua rapida distribuzione via ftp da parte della NASA. Per ogni stagione estiva, in caso di assenza di fenomeni mucilluginosi, vengono analizzati nel dettaglio sedici mosaici dell'Adriatico, questo numero sale sensibilmente in caso di affioramenti o agglomerati sub-superficiali. La creazione di un mosaico richiede il *download* di circa 3 Gb di dati distribuiti su differenti prodotti e risoluzioni. In figura 3 si riporta la catena produttiva per il monitoraggio da satellite adottata dall'estate 2005.

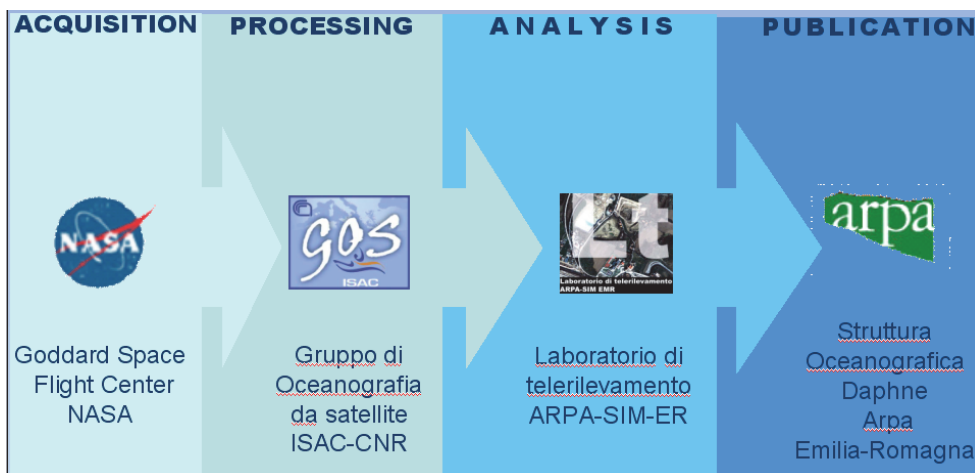
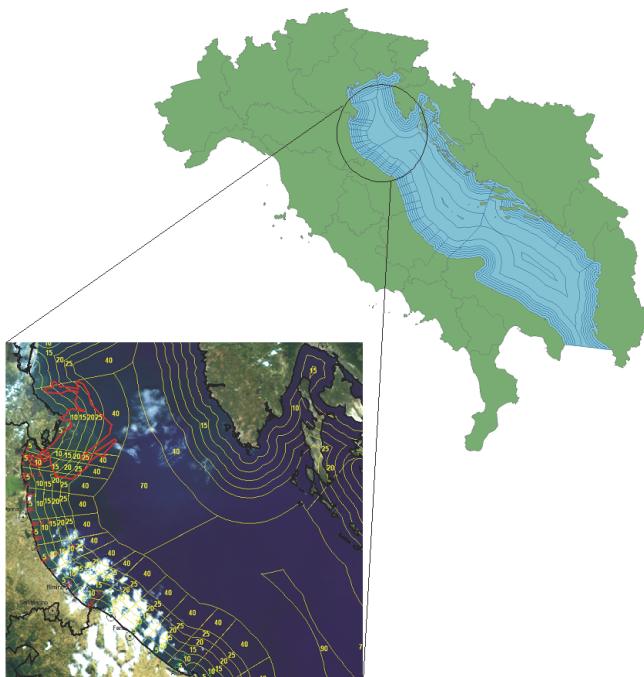


Figura 3 – Catena produttiva per il monitoraggio dell'Adriatico.  
*Figure 3 – Operational sequence for monitoring Adriatic Sea.*

I dati, dopo la catena automatica di elaborazione svolta da CNR-GOS, sono trasferiti via ftp a Lt che:

- 1) Analizza le immagini realizzate in colori reali e a 7 bande.
- 2) Applica l'indice definito nelle stagioni scorse come controllo accessorio  $\frac{((0.5*(b2)+(b4))-(b3))/(b6)}$  [1], [4], [7].
- 3) Calcola il rapporto tra B1 e B2 che evidenzia anomalie sulla superficie marina.
- 4) Individua le aree con presenza di mugillagini e restituisce le superfici interessate in base al grigliato predisposto in fasce a 5, 10, 15, 20, 25, 40, 70, 90, 110 km dalla costa e centrato sui transetti regionali (Figura 4).
- 5) Prepara la mappa destinata alla pubblicazione su www.
- 6) Carica i dati sul sito REQUISITE.



*Figura 4 – Suddivisione dell'area di studio in fasce a distanza regolare dalla costa e centrate sui transetti regionali.*  
*Figure 4 – Partition of the study area for GIS analysis (regular grid centred on check points).*

Allo stato attuale, visto le notevoli variazioni delle risposte spettrali delle mucillagini analizzate sui dati dell'estate 2004, dovute sia ai diversi gradi di aggregazione che alle condizioni di illuminazione, non è ancora possibile definire una procedura automatica di classificazione e rimane fondamentale l'attenzione dell'operatore nella loro delimitazione.

Le immagini da satellite, la modellistica sulla salinità e sui venti e le misure raccolte in mare vengono inserite nel bollettino a carattere mensile in bassa stagione (ottobre-maggio) e bimensile in alta stagione alta (giugno-settembre) e consultabile sul sito <http://www.requisite.it>. In Figura 5 si riporta il bollettino specifico delle elaborazioni da satellite.

Tutta la catena produttiva è stata resa possibile grazie allo scambio delle conoscenze tecnologiche e scientifiche e da una accurata gestione delle procedure grazie alla comunicazione tra i diversi enti coinvolti<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Enti che hanno partecipato al progetto: Regione Emilia-Romagna (Bologna, IT), ARPA Emilia-Romagna (Bologna e Cesenatico, IT), Regione Marche (Ancona, IT), ARPAM (Ancona, IT), Regione Abruzzo (Pescara, IT), ARTA (Pescara, IT), Parco Scientifico e Tecnologico d'Abruzzo (L'Aquila, IT), Centro Studi Marini Rudjer Boskovic (Rovigno, HR), Istituto Oceanografia e Pesca (Spalato, HR), CNR-ISAC-GOS (Roma, IT), CNR-ISMAR, ICRAM (Chioggia, IT), Università di Bologna INGV (Bologna, IT), Osservatorio Alto Adriatico Polo Regionale Veneto (Venezia, IT).

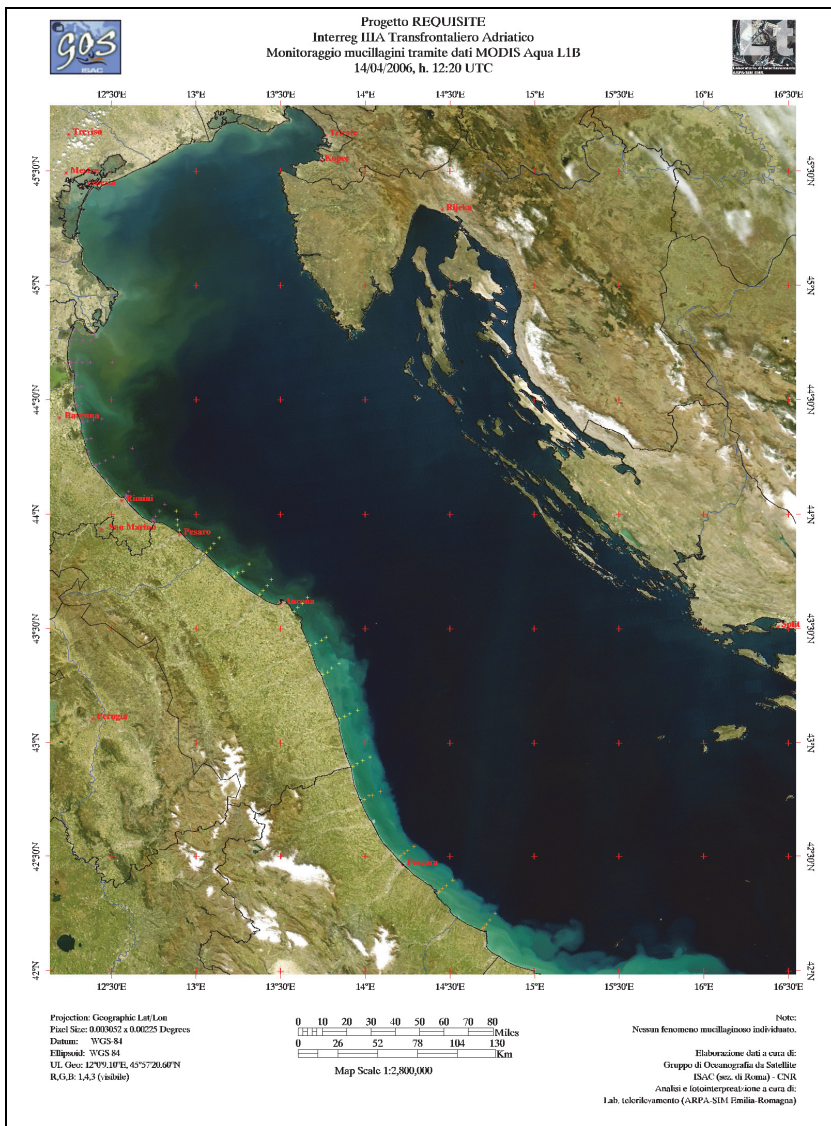


Figura 5 – Un esempio di bollettino dell’analisi dei dati satellitari.  
*Figure 5 – An example of the satellite data’s bulletin.*

## Bibliografia

- [1] Berthon J. F., Zibordi G., Stanford B. H., Marine optical measurements of a mucilage event in the northern Adriatic Sea, *Limnology and Oceanography* (2000) 45(2), 3222-3227.
- [2] Giani M., Berto D., Cornelio M., Sartori G, Rinaldi A., Le mucillagini

- nell'Adriatico e nel Tirreno, Quaderni ICRAM (2005) 1, Millennium, Torino.
- [3] Justice C. O, Townshend J. R. G., Vermote E. F., Masuoka E., Wolfe R. E., Saleous N., Roy D. P., Morisette J. T., An overview of MODIS Land data processing and product status, *Remote Sensing of Environment* (2002) 83, 3-15.
  - [4] Tassan S., An algorithm for the detection of the White-Tide (“Mucilage”) phenomenon in the Adriatic Sea Using AVHRR Data, *Remote Sensing of Environment* (1993) 45, 29-42.
  - [5] Townshend J.R.G., Justice C.O., Towards operational monitoring of terrestrial systems by moderate resolution imaging, *Remote Sensing of Environment* (2002) 83, 351-359.
  - [6] Vescovi F. D., Marletto V., Montanari G., 2003, Monitoraggio MODIS di mucillagini nel Mare Adriatico, Atti della VII Conferenza nazionale ASITA, Verona 28 – 31 ottobre 2003, 1847-1852.
  - [7] Spisni A., Marletto V., Ferrari C. R., Montanari G., Integrazione tra dati da satellite e rilievi in mare nel monitoraggio delle acque marino-costiere, *Arpa Rivista* (2004) 5, 33-35.



## SESSIONE QUARTA

# ARCHEOLOGIA COSTIERA

**Presidente: Giuseppa Tanda**

**Dipartimento Scienze Archeologiche Storiche e Artistiche  
Università di Cagliari**

I primi sei lavori della Sessione “Archeologia Costiera” sono stati presentati oralmente, mentre i rimanenti sono stati presentati nella sessione poster.





# EVOLUZIONE DELLA LINEA DI COSTA IN ALCUNI SITI ARCHEOLOGICI DELLA SARDEGNA NORD-OCCIDENTALE

Donatella Carboni<sup>1</sup> e Sergio Ginesu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Teorie e Ricerche dei Sistemi Culturali - Università di Sassari. Piazza Conte di Moriana, 8 – 07100 Sassari, tel. 079 229634, Fax 079 229680, e-mail: carbonid@uniss.it

<sup>2</sup> Istituto di Scienze Geologico–Mineralogiche - Università degli Studi di Sassari

**Riassunto** – Il lavoro evidenzia lo stretto rapporto esistente tra i siti archeologici e il processo di modificazione della linea di costa nel corso degli ultimi 8000 anni. L'indagine viene indirizzata nell'insenatura di Porto Conte, dove i resti archeologici testimoniano l'uso del territorio favorendo la ricostruzione della linea di riva in epoca neolitica, nuragica e romana.

*Abstract* – The report outlines the connection between the archaeological sites and sea level modifications during the last 8000 b.p. The research is located in the Porto Conte gulf where the archaeological ruins testify the coastline during the Neolithic, Nuragic and Roman age.

## Inquadramento dell'area

Le ricerche sulle variazioni storiche e attuali della linea di costa condotte negli ultimi decenni hanno testimoniato l'importante ruolo dei siti archeologici per la possibile ricostruzione delle fluttuazioni del livello marino e della progressione delle fasi di avanzamento e ritiro del mare. Molte di queste osservazioni partono dalle indagini condotte sugli studi dell'erosione della costa e si riallacciano alle osservazioni condotte da lungo tempo da Roland Paskoff il quale ha ricostruito la variazione della linea di riva negli ultimi 2000 anni lungo tutta la fascia costiera tunisina [11]. Più recentemente, sono state prese in considerazione le coste della Sardegna al fine di identificare le aree dove la variazione preistorica e storica della linea di spiaggia è confortata da resti monumentali o da siti archeologici di particolare interesse [5]. Tra queste numerose località, si ritiene di particolare interesse l'insenatura di Porto Conte che risulta un sito particolarmente ricco di resti archeologici e di depositi recenti che possono permettere la ricostruzione dell'evoluzione geomorfologica e l'uso di questa porzione di territorio da parte dell'uomo [4].

L'insenatura di Porto Conte è una profonda ria formatasi a seguito delle modificazioni climatiche che hanno determinato l'innalzamento del livello del mare nel postglaciale allorquando il mare penetrò in profondità nella valle carsica che caratterizzava l'intera zona oggi sommersa. L'avanzamento del mare è stato talmente rapido che le morfologie epigeiche ed ipogeiche del carsismo nei calcari mesozoici sono ancora ben visibili in tutto il fondale roccioso che affiora tra le sabbie ed i banchi di *posidonia oceanica*. Molte grotte lungo le falesie del promontorio di Capo Caccia e di Punta Giglio, situate a varie profondità, sono state sommerse lungo la progressiva rimonta del mare. Alcune di esse mostrano segni evidenti di alterazione ed erosione sulle superfici e sui

depositi di incrostazione carsica evidenziando lo stazionamento più prolungato del livello del mare durante la sua avanzata [4].



Figura 1 – Localizzazione dell’area.  
Picture 1 – Location of the study.

## La villa romana di Sant’Imbenia (Porto Conte – Alghero)

La presenza e la distribuzione delle ville romane ci testimonia la romanizzazione più o meno marcata sul territorio; la villa romana extraurbana, infatti, era un’azienda specializzata in colture di pregio, soprattutto la vite e l’olivo destinate all’esportazione nelle province, era dunque il centro organizzativo del latifondo. Nelle ville si gestivano anche attività economiche secondarie quali la produzione di materiali fittili o, nel caso di ville marittime, la piscicoltura [9] [10] [13].

Nella baia di Porto Conte, in località Sant’Imbenia, in posizione dominante sull’ampia rada, si conservano resti di strutture murarie appartenenti ad un edificio di epoca romana (lunghezza oltre 90 m).

Il complesso degli ambienti di Sant’Imbenia testimonia la presenza di una imponente *villa maritima* sorta su uno dei latifondi che gestiva l’agricoltura di un’area più vasta dell’entroterra della baia di Porto Conte. La posizione costiera era stata scelta di certo per favorire il rapido smistamento del grano verso i mercati della Penisola. La tranquilla baia di Porto Conte forniva un approdo protetto, infatti, nel fondale antistante, sono presenti strutture attribuibili a moli portuali a questa collegate. I piccoli blocchi lavorati, disposti perpendicolarmente alla riva, che si scorgono in mare di fronte al complesso meridionale, potrebbero essere quanto resta di un piccolo attracco. Recenti studi confortano l’ipotesi che l’uso della porzione costiera rocciosa fosse adibita a un sistema di allevamento ittico.

L’edificio è costituito da due corpi distinti ed ha pianta rettangolare con i lati più estesi che si sviluppano perpendicolarmente alla linea di costa; il primo localizzato a sud-ovest dell’area, il secondo a circa trenta metri più a nord rispetto al precedente. Il corpo localizzato a sud-ovest si compone di due nuclei abitativi distinti: il primo comprendente gli ambienti allineati sulla spiaggia, collegati probabilmente alle strutture sommerse, il secondo costituito da diversi vani disposti più all’interno. Allo stato attuale degli scavi non si conosce ancora con esattezza la destinazione di molti ambienti, tuttavia si potrebbe ipotizzare che alcuni facessero parte della zona residenziale della villa.

Il primo corpo della villa è collegato al secondo, localizzato più a nord, mediante un muro a tracciato rettilineo, questi edifici hanno sempre pianta rettangolare con gli spazi interni divisi in vari ambienti. Quasi tutti i vani hanno pavimenti con mosaici, alcuni dei quali con decorazioni in stucco bianco. Le caratteristiche architettoniche e di decoro dell'edificio evidenziano una struttura di particolare pregio attribuibile ad una proprietà di una certa importanza [13]. E' stato ipotizzato che il secondo nucleo potesse ospitare un settore termale collegato con la parte residenziale della villa. Per quanto riguarda la cronologia dell'intero complesso, in mancanza di ulteriori dati, rimane ferma la datazione proposta dal Maetzke alla seconda metà del I secolo d. C. [6].

La porzione meridionale della villa si trova oggi in condizioni di precarietà a causa dell'erosione marina che dopo aver sommerso il cortile esterno dell'edificio, ne minaccia le strutture portanti determinandone il crollo. Appare evidente che la linea di costa ha subito un considerevole arretramento posteriore all'edificazione della villa che sorgeva a diverse di metri dalla battigia. La debole inclinazione della spiaggia ha favorito una diffusa penetrazione del mare nell'area di S'Imbenia; resti della costruzione romana si rinvengono sommersi oltre la batimentrica di 1,20 m.

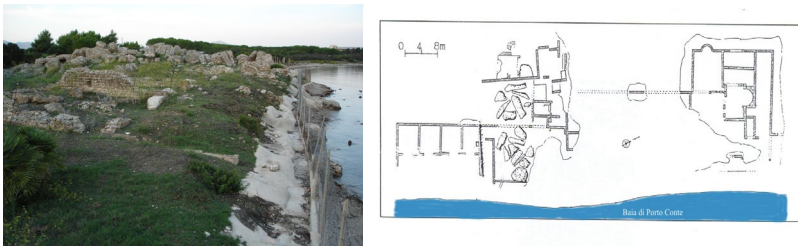


Figura 2 – La villa romana di S.Imbenia e sua planimetria (Teatini, modificata).  
 Picture 2 – The roman S.Imbenia villa and its plant.

## Il Complesso nuragico di S. Imbenia (Alghero)

Il complesso nuragico di Sant'Imbenia, grazie ai numerosi reperti ritrovati durante gli scavi, testimonia la vivacità degli scambi tra gli abitanti il villaggio ed il nuraghe con altri popoli (Fenici e forse anche Greci) che tra il IX e l'VIII sec. a. C. stabilirono i primi contatti commerciali [2].

Il nuraghe, dal profilo del bastione retto-curvilineo con tre torri (il mastio e le due affrontate sul lato sud-est), costituisce il fulcro attorno al quale si estendeva, in tempi e con soluzioni planimetriche differenti, un villaggio. Il primitivo impianto di quest'ultimo, datato la fine del Bronzo Medio si componeva di capanne a pianta circolare; nell'età del Bronzo Finale e nella prima Età del Ferro a queste strutture se ne sovrapposero altre, del tipo detto *ad isolati*, con abitazioni formate da più vani separati da stradine e piazzette lastricate. Nel villaggio sono presenti anche quattro pozzi [1] [2]. Le condizioni del territorio perimetrico al villaggio erano dominate dalla presenza di suoli ad elevata potenzialità agricola derivata dal fatto che il luogo era stato recentemente "bonificato" naturalmente dalla riduzione dello stagno che dominava l'area circa 4000 anni a. C. [4].

Certamente l'economia prevalentemente agricola doveva essere integrata dall'uso del mare che si trovava a diverse centinaia di metri di distanza dall'insediamento nuragico. Recenti studi sono finalizzati alla ricerca di eventuali strutture portuali attribuibili alla civiltà del mare in periodo nuragico anche all'interno di questa insenatura.



Figura 3 – Il nuraghe di S.Imbenia con il suo villaggio.

*Picture 3 – The S.Imbenia nuragic tower and its village.*

### **Il villaggio nuragico e il nuraghe Palmavera (Alghero)**

Il complesso nuragico di Palmavera è ubicato a meno di 2 km dal mare sul versante del monte omonimo a circa 65 m di quota s.l.m. lungo una via naturale che collega il Golfo di Alghero con quello di Porto Conte.

Il nuraghe è costituito da una torre alla quale fu aggiunto un rifascio di forma irregolarmente ellittica, il quale, oltre ad avere il compito di consolidamento del mastio, racchiude una torre secondaria, un cortile scoperto ed un corridoio con nicchie.

L'insieme dell'edificio è delimitato da un imponente antemurale con quattro torricapanne intorno al quale erano disposte le numerose capanne del villaggio. L'ingresso principale, orientato a sud-est è sormontato da un architrave che introduce attraverso un breve corridoio al piccolo cortile scoperto; dal cortile si ha l'accesso al mastio ed alla torre secondaria. Tutta la parte superiore dell'edificio era costituita da un terrazzo con spalti [8].

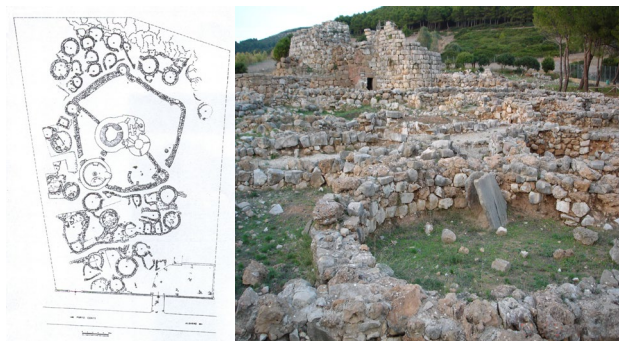


Figura 4 – Il villaggio nuragico di Palmavera e la sua planimetria (Moravetti).

*Picture 4 – The nuragic village of Palmavera and its plant.*

Il villaggio, che sicuramente si estendeva più a sud, oltre il manto stradale e verso il mare, è costituito da una quarantina di capanne, non tutte esplorate, costruite intorno alla cinta pentagonale e disposte in modo non ordinato. Le capanne sono prevalentemente di pianta circolare, anche se non mancano costruzioni rettangolari che sembrano essersi sovrapposte ad ambienti circolari; sono costruite per la maggior parte con blocchi di calcare, fatta eccezione per poche altre in modo che si evidenzino per le maggiori dimensioni di pianta e per lo spessore delle murature. Fra queste ultime si distingue la capanna-torre 2, denominata Capanna delle riunioni (12 m di diametro). Sulla base degli impianti architettonici e culturali si possono proporre tre fasi che vanno dal XIII secolo a. C. alla fine dell'VIII sec. a. C., l'abbandono del villaggio è da collocarsi nel VII secolo a. C. [2] [8].

Dai materiali rinvenuti nel corso degli scavi appare evidente l'economia del complesso nuragico; infatti, la popolazione integrava l'attività agricola, sicuramente localizzata principalmente nell'area intorno a Maristella dove insistono suoli con capacità produttiva, con la pastorizia diffusa nelle aree intorno al monumento dove prevalgono sterili coperture di "Terra Rossa". La presenza di un amo da pesca documenta che tali attività, inoltre, non escludevano anche per questo sito una frequentazione e un uso costante del mare sebbene il complesso fosse ubicato ad una discreta distanza dalla linea di costa.

## **La Grotta Verde (Alghero)**

La Grotta Verde è impostata sul sistema carsico che, lungo il promontorio di Capo Caccia, interessa i calcari del Cretaceo chiudendo ad occidente l'insenatura di Porto Conte proteggendola, così, dal dominio dei venti del IV Quadrante. Il suo nome deriva dai muschi e dai licheni di color verde che incrostano le colonne calcaree, alte circa 20 m, situate di fronte all'ingresso che precipita quasi come un imponente inghiottitoio. La cavità è denominata anche Grotta dell'Altare o Grotta di S. Erasmo per i resti di un altare paleocristiano che pare sorgesse nella sala.

La grotta è un'ampia cavità, con un portale a sezione inclinata (circa 45°), essa si articola in una cavità aerea, in un cunicolo, in una sala sottomarina e in numerose sale successive. La cavità aerea sprofonda verso ovest fino a raggiungere un laghetto salmastro (contornato da massi con graffiti) da cui si diparte un cunicolo dove sono presenti quattro nicchie. Esso dà accesso ad una sala sottomarina vasta e ricca di concrezioni, profonda almeno 36 m, per la maggior parte sommersa da acqua salmastra ad eccezione della parte più alta in cui è presente l'acqua dolce proveniente dal sistema di circolazione delle acque d'origine carsica. Le numerose sale successive sono sommerse ed intercomunicanti, e non sono state ancora del tutto esplorate. L'esame dei materiali rinvenuti permette di attribuire alla sala aerea la funzione di luogo d'insediamento temporaneo o stanziale databile al Neolitico Medio e al Neolitico Recente e di luogo di culto durante l'epoca paleocristiana.

I materiali ceramici ritrovati nella sala sottomarina e nel cunicolo, per le loro caratteristiche tecniche testimonierebbero un uso quotidiano, dettato probabilmente dall'esigenza di attingere acqua dolce o un possibile uso religioso; l'individuazione di reperti ossei umani, nelle nicchie che si trovano nel cunicolo, testimonierebbe la presenza di sepolture da attribuire probabilmente ad epoca più tarda. L'uso di questi ambienti si può datare tra il Neolitico Antico ed il Neolitico Recente [12].

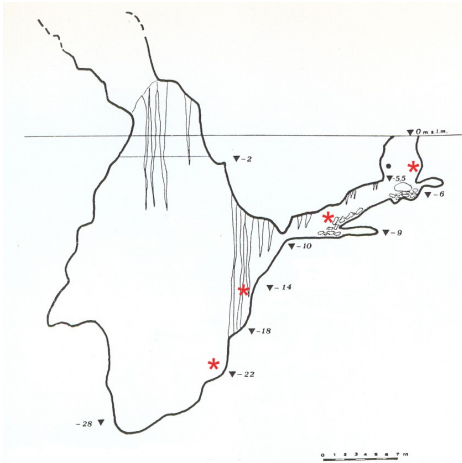


Figura 5 – La sezione della Grotta Verde (Tanda, modificata). In rosso i ritrovamenti archeologici.

*Picture 5 – The section of Grotta Verde cave. In red the archaeological sites.*

Bisogna tuttavia considerare che il livello del mare si trovava ad una quota decisamente inferiore rispetto all'attuale favorendo in tal modo la frequentazione della grotta fino in profondità. Appare interessante la possibile ricostruzione della frequentazione della cavità carsica in queste condizioni di oscurità e di scarsa accessibilità che conducono a soluzioni riferibili ad un accesso più agibile e localizzato a maggiore profondità. Recenti studi attualmente in corso, in collaborazione con l'Area Marina Protetta di Capo Caccia – Isola Piana, permettono di interpretare crolli e conseguenze evidenti all'interno di alcune grotte del promontorio di Capo Caccia, come eventi riferibili a fenomeni di paleosismicità che potrebbero aver interessato l'area in età post Neolitica con sostanziali modifiche dell'apparato carsico.

## Considerazioni conclusive

Sulla base delle osservazioni fatte sui monumenti considerati appare evidente che il livello marino sia variato in modo considerevole durante l'arco di tempo intercorso tra i diversi periodi storici che hanno interessato i vari monumenti (Figura 6).

Il notevole mutamento del livello del mare dal Neolitico, confortato da altri dati rinvenuti nel perimetro costiero della Sardegna [5], fanno supporre la presenza di una linea di riva in regressione dall'attuale batimetrica dei 15-18 m, confermata dai dati sull'erosione costiera rilevati nel perimetro della villa romana di S'Imbenia (Figura 2) e dalle datazioni radiometriche del complesso nuragico della stessa località (Figura 3).

La localizzazione della Grotta Verde sull'estremità del promontorio di Capo Caccia (Figura 5) conforta l'esistenza di questa linea di riva posta molto più al largo dell'attuale. I dati batimetrici mostrano l'isobata dei 50 m a circa 1 km dalle falesie di Punta Giglio, mentre essa in prossimità della falesia di Capo Caccia giace a circa 300 m evidenziando l'estensione di una valle carsica molto al largo. Le morfologie sommerse e le grotte sottomarine che caratterizzano quest'area [3] confermano l'esistenza di una linea di riva più esterna collocata sull'attuale isobata compresa tra i 15 ÷ 18 m che chiudeva l'insenatura dal

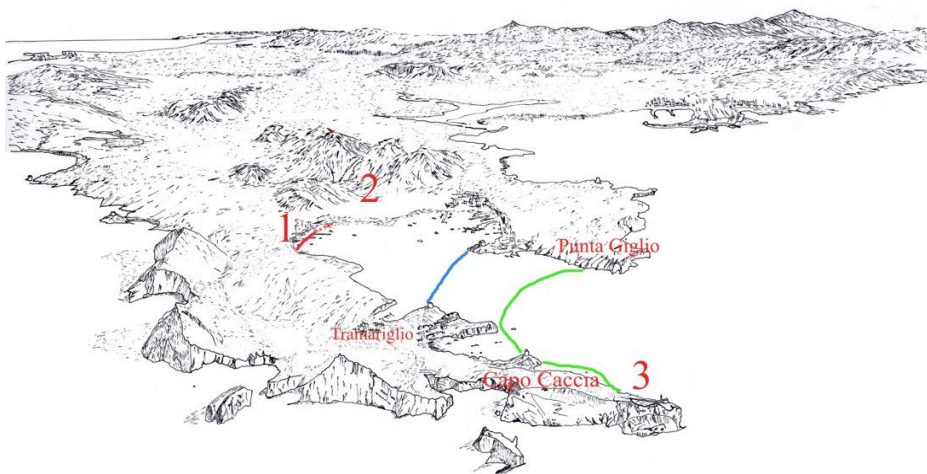


Figura 6 – Schema dell’insenatura di Porto Conte. La linea verde segna la linea di costa neolitica. La linea blu quella nuragica e la rossa quella romana.

Picture 6 – Panoramic picture on Porto Conte gulf. The green line is the neolithic beachline. The blue line is the nuragic and the red one is the roman coastline.

promontorio di Punta del Quadro verso l’opposta Punta del Cerchio. A supporto di tale ipotesi diffusi resti di depositi continentali, spesso fossiliferi, affiorano lungo le coste di questi promontori nella loro porzione interna.

La ricostruzione planimetrica della linea di costa durante il periodo nuragico ricadrebbe, invece, sull’estremo promontorio dell’insenatura della Baia di Porto Conte in prossimità della Torre Nuova nel promontorio orientale. Il cordone litorale che da qui si dipartiva era collegato con l’opposto promontorio di Capo Caccia in prossimità della Torre del Tramariglio per una lunghezza di circa 3 km. L’analisi delle cartografie geomorfologiche e delle ricostruzioni ipotizzate sulla base dei dati batimetrici evidenzia l’assenza di una netta rete idrografica nella parte interna della baia [4]. Questo fatto conferma ulteriormente l’esistenza di un esteso stagno retrodunare nella porzione interna della baia che sarebbe perdurato fino all’immediato periodo prenuragico.

La linea di riva supposta per il periodo nuragico conforta l’ipotesi che gli insediamenti fossero ubicati in un contesto più interno rispetto al paesaggio costiero attuale pur confermando l’uso del mare per la pesca e per la navigazione (Figure 3 e 4). Inoltre, l’ampio stagno doveva rappresentare un’area sicura per l’approdo e il rifugio delle imbarcazioni.

Sulla base dell’ampia oscillazione del mare documentata dallo scavo archeologico [12] la linea di riva nel Neolitico, più esterna rispetto a quella del periodo nuragico, potrebbe aver chiuso l’intera insenatura della Dragunara creando un piccolo stagno tra le punte di Torre del Bulò e la Punta del Quadro. Sulla base della media regressiva del mare durante il Post Glaciale, l’arretramento della linea di riva nella Baia di Porto Conte avrebbe subito un valore di poco superiore a 1,5 mm/anno concordante con i dati riferibili al Pleistocene Superiore nella porzione interna di questo territorio [7]. Questo equivarrebbe a una perdita di superficie valutabile intorno ai 12 km<sup>2</sup> di territorio utile alla pesca e all’agricoltura.

Tale valore è altresì documentato dall’erosione del mare sulle strutture romane



nell'area di S'Imbenia che evidenziano un arretramento della linea di riva riferibile a diverse centinaia di metri nel corso degli ultimi 2000 anni (circa 1 cm per anno).

La condizione attuale dei siti archeologici considerati in questa nota deve pertanto prevedere nella ricostruzione dell'uso del territorio da parte dell'uomo una condizione geomorfologica e paesaggistica abbastanza diversa.

## Bibliografia essenziale

- [1] Bafico S.- *Alghero (Sassari). Località Santa Imbenia. Villaggio nuragico*, Bollettino di Archeologia (1991), 97-100.
- [2] Caputa G. - *I Nuraghi della Nurra*, (2000), Imago Media Ed.
- [3] Chessa L.A., Vitale L., Scardi M. – *Descrizione dell'ambiente sommerso con censimento e studio delle grotte sottomarine*, Protezione dell'ambiente e gestione delle risorse naturali (a cura di M. Gutierrez) , Q. Ist. Studi Pol.-Giuridici (1999), 167-197.
- [4] Federici P.R., Ginesu S., Sias S. – *Lineamenti geomorfologici ed evoluzione recente del paesaggio nella Nurra occidentale (Sardegna N.W.). La fascia costiera di Porto Conte – Porto Ferro*, Protezione dell'ambiente e gestione delle risorse naturali (a cura di M. Gutierrez), Q. Ist. Studi Pol.-Giuridici (1999), 95-136.
- [5] Ginesu S. - *Modificazioni della linea di costa in Sardegna a partire dai dati archeologici*, Il contributo della geomorfologia e della Geografia fisica alla ricerca archeologica (a cura di S. Ginesu e S. Sias), (2003), Gallizzi, Sassari, 18-24.
- [6] Maetzke G. - *Scavi e Scoperte nelle Province di Sassari e Nuoro 1959-1961. Porto Conte (Alghero)*, Studi Sardi (1959-1961), 17, 657-658.
- [7] Melis R.T., Sias S. – *Il deposito pleistocenico di San Michele (Ploaghe, Sardegna settentrionale) ed i suoi rapporti con l'evoluzione morfologica del Logudoro*, Geogr. Fis. Dinam. Quat. (1996), 19, 63-69.
- [8] Moravetti A.- *Alghero Loc. Palmavera*, I Sardi. La Sardegna dal Paleolitico all'età Romana (a cura di E. Anati), (1999), Jaka Book, Milano, 275-276.
- [9] Nieddu G., Cossu C.- *Ville e terme nel contesto rurale della Sardegna romana*, Atti del XII Conv. L'Africa Romana, (1998), Edes, Sassari, 611-656.
- [10] Nieddu G.- *Le ville*, Storia della Sardegna antica (a cura di A. Mastino), (2005), 2, Il Maestrale, 180-183.
- [11] Paskoff R., Sanlaville P. – *Les côtes de la Tunisie. Variations du niveau marin depuis le Tyrrhénien*, (1991), Maison de l'Orient, Lyon.
- [12] Tanda G. - *Alghero Grotta Verde*, I Sardi. La Sardegna dal Paleolitico all'età Romana (a cura di E. Anati), (1999), Jaka Book, Milano, 273-275.
- [13] Teatini A.- *Elementi per uno studio della villa romana in Sardegna. Il complesso edilizio di Porto Conte*, Almanacco Gallurese (1993-1994), 25-33.

Benché il lavoro sia stato condotto tra i due autori in stretta collaborazione, la ricerca bibliografica, l'introduzione e le conclusioni sono il frutto di comune discussione, la villa romana di S'Imbenia e il complesso nuragico di Palmavera sono stati curati da D. Carboni, mentre il complesso nuragico di S'Imbenia e la Grotta verde sono stati curati da S. Ginesu.

# IL PAESAGGIO COSTIERO DELLA PENISOLA DEL SINIS (OR) TRA PREISTORIA E STORIA: ASPETTI ARCHEOLOGICI E AMBIENTALI<sup>1</sup>

Carla Del Vais<sup>1</sup>, Anna Depalmas<sup>2</sup>, Anna Chiara Fariselli<sup>3</sup>, Rita T. Melis<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Università degli Studi di Cagliari, Dipartimento di Scienze archeologiche e storico-artistiche,  
Piazza Arsenale 1, 09124 Cagliari

<sup>2</sup>Università degli Studi di Sassari, Dipartimento di Scienze Umanistiche e dell'Antichità,  
Piazza Conte di Moriana 8, 07100 Sassari

<sup>3</sup>Università degli Studi di Bologna, Dipartimento di Storie e Metodi per la Conservazione dei Beni  
Culturali, via degli Ariani 1, 48100 Ravenna

<sup>4</sup>Università degli Studi di Cagliari, Dipartimento di Scienze della Terra, via Trentino 51, 09100 Cagliari

**Riassunto** – L'analisi delle numerose evidenze archeologiche presenti lungo le coste della Penisola del Sinis databili a partire da età preistorica, se correlata allo studio delle dinamiche geomorfologiche che hanno interessato la regione, rappresenta un'occasione di grande rilevanza in rapporto alla ricostruzione delle variazioni della linea di costa intervenute dall'antichità ad oggi. In questo senso si pone il problema della distanza originaria dal mare di alcuni insediamenti prenuragici e l'interpretazione delle strutture nuragiche localizzate attualmente a brevissima distanza dal litorale. Per l'età storica dati significativi si desumono dalla città di Tharros, con i numerosi contesti abitativi e funerari che denunciano evidenti mutamenti del paesaggio costiero, e, tra le altre emergenze, le imponenti cave litoranee di arenaria che in vari casi risultano oggi parzialmente sommerse.

**Abstract** – *The analysis of the numerous archaeological evidences beginning from prehistorical age along the coasts of the Sinis Peninsula, if correlated to research about geo-morphological dynamics that have interested the region, represents a interesting opportunity with regard at the reconstruction of the coast-line's variations from the antiquity to the present time. In this perspective is the problem of the original distance from the sea of some pre-nuragic settlements and the interpretation of the nuragic structures localized currently to short distance from the shoreline. For the historical age, significant data derive from the city of Tharros, with the numerous inhabited and funeral contexts that indicate obvious changes of the coastal landscape, and, between the other evidences, the impressive coast sandstone quarries that, in several cases, appear partially submerged today.*

---

<sup>1</sup> Il testo è stato scritto congiuntamente dalle quattro autrici, ognuna per la parte di competenza: in particolare A. Depalmas ha curato la parte relativa al territorio in fase pre-protostorica, A.C. Fariselli la parte inerente Tharros, C. Del Vais quella sugli altri siti del territorio in età punico-romana, mentre a R.T. Melis si devono le indicazioni sulla geomorfologia dei giacimenti archeologici.

La Penisola del Sinis, per la forte antropizzazione documentata a partire dal Neolitico Medio e sviluppatasi senza soluzione di continuità fino all'evo moderno, rappresenta un'area di straordinario interesse per lo studio dell'evoluzione del paesaggio antico ed in particolare dell'area litoranea. Le emergenze archeologiche sia di età pre e protostorica che di epoca storica evidenziate lungo le coste, e in qualche caso oggi in parte sommerse, offrono infatti spunti di riflessione sia in relazione ai mutamenti della linea di costa che in riferimento alle tematiche più specificamente archeologiche, in particolare di ordine cronologico e interpretativo. L'esistenza di strutture e manufatti lungo l'attuale linea di riva oltre che all'evidenza topografica, che già di per sé offre indicazioni oggettive sulla morfologia antica, si presta a letture più complesse che investono la sfera culturale, ideologica e funzionale in misura differente a seconda della natura e della cronologia delle emergenze antiche. La presenza di un contesto culturale di età protostorica in corrispondenza dell'arenile, come nel caso della fonte sacra di Sa Rocca Tunda (San Vero Milis), ha implicazioni anche di tipo ideologico che invece non possono ricercarsi, ad esempio, nelle cave di arenaria la cui localizzazione costiera ha probabilmente ragioni economiche legate alla maggiore facilità di trasporto dei materiali lapidei. Anche la natura dell'evidenza archeologica, se correttamente interpretata, può dare un apporto non secondario alla ricostruzione degli aspetti paleoambientali; è evidente infatti che strutture d'abitato possano sussistere solo in contesti ben protetti dall'azione marina e dunque posti a debita distanza dal litorale; diverso invece è il caso di elementi strutturali pertinenti a installazioni portuali per i quali la contiguità con il mare risulta imprescindibile, o quello delle cave di materiale lapideo la cui vicinanza alla costa si giustifica con ragioni di tipo economico.

Si è avviata pertanto un'indagine multidisciplinare che parte da un approccio strettamente archeologico, con metodi che potremmo definire "tradizionali", ma che poi si confronta e interagisce con una lettura più articolata del territorio nel tentativo di una ricostruzione diacronica del paleoambiente. La ricerca ha visto preliminarmente una ricognizione sistematica del litorale, in funzione dell'individuazione delle emergenze non ancora note in letteratura, essenzialmente le cave di arenaria, seguita da una documentazione puntuale delle stesse. Per i contesti antichi più significativi si è cercato di confrontare il dato archeologico con quello geomorfologico, benché in assenza di specifici studi paleoambientali (carotaggi, stratigrafie, analisi polliniche, etc.) sia ancora prematuro proporre ipotesi risolutive sull'assetto costiero antico della regione. Ciononostante i dati preliminari ottenuti in questa prima fase della ricerca paiono assai promettenti per il prosieguo della stessa.

Nel corso dell'età preistorica, nelle fasi relative agli aspetti culturali neolitici ed eneolitici, la penisola del Sinis presenta una notevole densità insediativa, localizzata soprattutto intorno alle zone umide che ancora oggi costituiscono uno dei tratti paesaggistici più caratteristici di quest'area. Il rapporto con il litorale è attestato dalla presenza di materiale preistorico presso la località di Capo Mannu, con elementi fittili e litici che indicano la frequentazione del sito dal Neolitico recente sino al Bronzo antico. Nella stessa zona, l'esistenza di abitati neolitici è testimoniata indirettamente dalle due necropoli a *domus de janas* di Putzu Idu e di Sa Rocca Tunda scavate a breve distanza dell'attuale linea di costa e a ridosso di una zona umida come quella di Sa Salina Manna che doveva rappresentare una fonte di approvvigionamento del sale ([33], pag. 29). L'assenza di rinvenimenti riconducibili alle strutture abitative costituisce però un ostacolo

alla precisa localizzazione dei villaggi di riferimento e non consente di valutare compiutamente l'entità del rapporto topografico tra stanziamento preistorico e mare.

Nel corso della fase nuragica la Penisola del Sinis mostra una straordinaria densità insediativa sostenuta certo dall'ampio spettro di risorse disponibili, come terreni con elevati valori di potenzialità ai fini agricoli, vaste lagune costiere, saline naturali e abbondanza di materiale da costruzione (Fig. 1, a). Gli edifici nuragici sono disposti prevalentemente presso il rilievo tabulare dell'altopiano situato al centro della penisola, sulla sommità o nei versanti, ma è ben attestata anche la posizione di pianura, su lievi rialzi del terreno, in vicinanza delle zone umide ai margini delle lagune litoranee in collegamento con il mare come gli stagni di Sale 'e Porcus e di Mistras [14, 30]. Sulle sponde di quest'ultimo bacino sorge il nuraghe di Paegrevas ([14] pag. 129) (Fig. 1, b) che costituisce un caso esemplificativo del rapporto tra ubicazione della struttura antica ed attuale linea di riva: ciò che resta del monumento risulta, infatti, oggi lambito dalle acque e quindi in un assetto ben differente rispetto a quello originale.

La presenza di insediamenti costieri, nuraghi e villaggi, è documentata per un numero minore di edifici (9 %) che sorgono a breve distanza dal mare (la distanza media è di 370 m), lungo la fascia costiera occidentale della penisola o alla sua estremità meridionale (3 %), dove essi sorgono comunque in posizione rilevata rispetto al livello del mare come è evidente nel villaggio nuragico di Murru Mannu, venuto in luce al di sotto dell'area del *tofet* di Tharros [26] (Fig. 1, c). Tra i nuraghi costruiti in prossimità della battigia attuale, è raro il caso di edifici che appaiono completamente isolati ed estranei ad un sistema territoriale riconoscibile ed esteso all'entroterra: un caso emblematico è però rappresentato dal nuraghe complesso dell'isola di Mal di Ventre ([3]; [36] pag. 208), che appare formato da due torri unite da una cortina muraria e costruito a poche decine di metri dalla spiaggia nella costa orientale dell'isola e per il quale si ripropone il problema della distanza originaria della struttura dal mare.

Di grande significato appare la posizione di tombe individuali a fossa del Bronzo finale (XII-XI sec. a.C.), in corrispondenza del litorale di Is Arutas ([25] pag. 459; [29] pag. 108-109; [30] pag. 132) e di alcuni edifici di culto presenti, in particolare, nella costa settentrionale della penisola come la struttura rinvenuta nell'arenile di Sa Rocca Tunda e identificata con una fonte sacra (Fig. 1, d). L'edificio, attualmente non più visibile, già negli anni Ottanta appariva lambito dalle acque del mare [32].

Oltre a questo esempio, il ritrovamento nella battigia di Su Pallosu di un deposito votivo costituito da gruppi di ollette miniaturistiche databili al Bronzo recente (XIV-XIII sec. a.C.)<sup>2</sup> e, in un altro punto dello stessa spiaggia, di materiali dell'età del Ferro (X-VIII sec. a.C.) (Fig. 1, e)<sup>3</sup> ([27], fig. 17) appare un puntuale indicatore di un rapporto strettissimo con l'elemento marino tale da portare i nuragici alla localizzazione di impianti cultuali e di manifestazioni rituali in corrispondenza di uno spazio che anche nei tempi antichi era in naturale contiguità fisica con il mare, pur se non a stretto contatto come oggi. Nella fase attuale della ricerca è solo possibile affermare che vi sono stati fenomeni di erosione marina che hanno causato un arretramento della linea di costa, non ancora valutabile quantitativamente.

---

<sup>2</sup> Materiali conservati nella Collezione Falchi di Oristano.

<sup>3</sup> Devo alla consueta cortese disponibilità di Raimondo Zucca la segnalazione e l'indicazione della provenienza dei materiali pubblicati in [27].

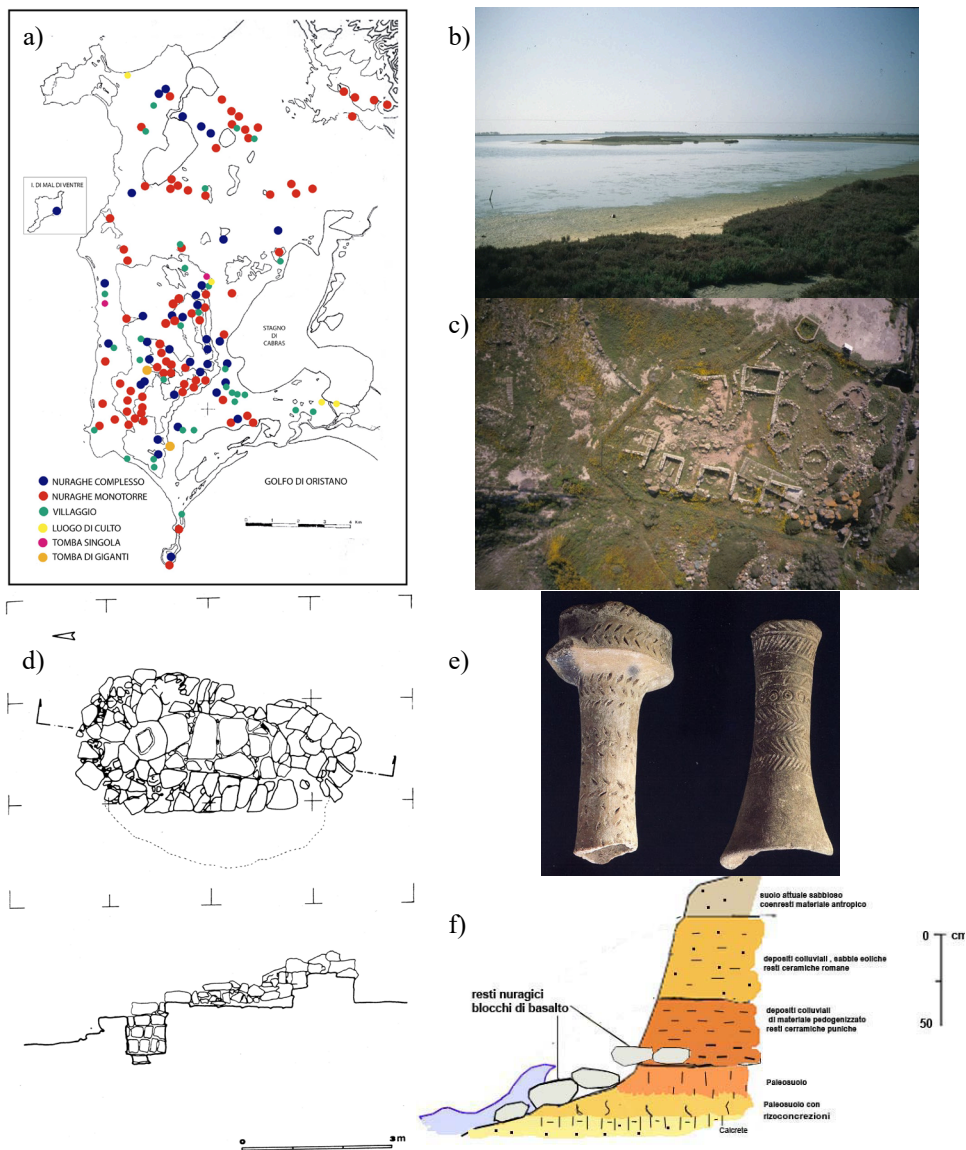


Figura 1 – a) Carta di distribuzione dei nuraghi del Sinis (da [30], rielaborata). b) Sullo sfondo il nuraghe Paegrevas, lambito dalle acque della laguna di Mistras (foto C. Del Vais). c) Veduta aerea del villaggio nuragico di Murru Mannu a Tharros (foto A. Sannio). d) Fonte sacra di Sa Rocca Tunda (San Vero Milis, OR) (da [32]). e) Materiali rinvenuti nel litorale di Su Pallosu (da [27]). f) Stratigrafia del sito archeologico di Funtana Meiga (R.T. Melis).  
 Figure 1 – a) Nuragic site distribution in the Sinis Peninsula (from [30], re-elaborated). b) In the background the nuraghe Paegrevas, licked up by the Mistras lagoon (photo C. Del Vais). c) Aerial view of the nuragic village of Murru Mannu in Tharros (photo A. Sannio). d) Sa Rocca Tunda sacred font (San Vero Milis, OR) (from [32]). e) Materials recovered in the shoreline of Su Pallosu (from [27]). f) Stratigraphy of site Funtana Meiga (R.T. Melis).

Di particolare interesse appare il complesso nuragico di Funtana Meiga ([4] pag. 81, 85) (Fig. 1, f). La prima fase insediativa documentata risale all'età nuragica ed in particolare al Bronzo finale ([5] pag. 130) e alla prima età del Ferro per la presenza di strumenti di bronzo ([35], pag. 150, figg. 158-159) e di frammenti di ceramica decorata a cerchielli concentrici ([30], 116), anche se non si può escludere una preesistente frequentazione. A questa fase sono state attribuite delle strutture circolari in basalto che fino agli anni Novanta erano visibili nell'area della battigia, in gran parte già sommerse, e che oggi risultano completamente distrutte dall'azione dei frangenti particolarmente violenti in quella parte della costa esposta ai venti del quadrante nord-occidentale. Nell'area si conservano comunque numerosi conci basaltici che potrebbero riferirsi alle capanne con zoccolo litico, anche in considerazione del fatto che nell'area non vi è alcun affioramento naturale di basalto. Evidentemente la presenza di un villaggio non può ipotizzarsi ad una distanza così ravvicinata dalla linea di costa. Il fronte di erosione presente a ridosso dei resti nuragici offre ulteriori indicazioni sulla frequentazione del sito. Nei depositi colluviali immediatamente al di sopra dei livelli protostorici, assai prossimi al paleosuolo, si sono individuati scarsi frammenti di età storica che, se non sono sufficienti ad attestare la presenza di un insediamento stabile nell'area, sono comunque indicativi di una frequentazione risalente almeno al V sec. a.C.; tra questi può segnalarsi un frammento di ansa di un manufatto attico probabilmente una *stemless cup inset lip*, ([31] n. 471), forma che risulta assai diffusa nei contesti di tutto il Mediterraneo punico nello stesso secolo ([12] pag. 206). Al di sopra compare uno strato colluviale con sabbie eoliche, caratterizzato da abbondante scheggiame di arenaria e manufatti ceramici di età romana, sia repubblicana che imperiale. La presenza sulla battigia di numerosi conci in arenaria sagomati e modanati, ancora in corso di documentazione, rende plausibile l'ipotesi, in questa fase, di un impianto monumentale collegato verosimilmente ad un contesto abitativo più stabile. È evidente che l'esistenza di una ripa di erosione che taglia strati a lieve pendenza, rimanda, per l'età punico-romana, a contesti di deposito posti ad una certa distanza dalla linea di costa. La presenza di depositi colluviali ed eolici che in parte sovrastano le strutture nuragiche testimoniano comunque che il territorio è stato interessato da processi morfogenetici determinati presumibilmente da intense attività antropiche avviate già in epoca protostorica, mentre il fronte di erosione presente a ridosso dei resti nuragici offre ulteriori indicazioni sulla frequentazione del sito, soprattutto in relazione alle successive fasi storiche.

Presenta un rilevante interesse storico-archeologico la città fenicio-punica e romana di Tharros, il cui suggestivo contesto ambientale ne giustifica, fra l'altro, l'appartenenza all'Area Marina Protetta "Penisola del Sinis – Isola di Mal di Ventre". Come noto, il sito è minacciato da fenomeni di degrado naturale dovuti a dinamiche meteomarine di erosione, già valutate nel dettaglio, alla fine degli anni Novanta del secolo scorso, da parte del Ministero per i Beni Culturali e Ambientali in rapporto all'emergenza conservativa che la vulnerabilità del contesto richiede ([2] pag. 59-70). Per tali ragioni l'insediamento costituisce senza dubbio un efficace osservatorio in relazione al monitoraggio del profilo costiero.

Il quartiere abitativo, di cui sono a giorno i resti di età romana, si sviluppa su un terrazzamento procedente da ovest a est, alle pendici della collina di S. Giovanni, mentre, attraversato il *cardo maximus*, prospettano il Golfo di Oristano una serie di edifici di uso pubblico ascrivibili ad un arco temporale che va dal primo impero all'epoca tardo-antica, oggi localizzati a ridotta distanza dall'acqua. Tra il I sec. a.C. e il VI sec. d.C. l'area della

città bassa corrispondente alla cosiddetta “zona delle due colonne” subì una massiccia opera di risanamento, con l’obliterazione di probabili strutture puniche a favore della costruzione di un tempio e di edifici termali, le Terme n. 1 e quelle di Convento Vecchio, i cui ruderi conservano un’imponenza notevole negli alzati in *opus mixtum* e *latericium*. A nord del primo organismo termale si identificano i resti di una basilica, di un battistero e lacerti di un fabbricato forse pertinente a una funzione monastica. Proprio la coerenza di tale complesso paleocristiano enfatizza, mostrandone la continuità nel tempo, la destinazione comunitaria dello spazio, secondo usi già attestati nell’Africa romanizzata ([34], pag. 108-109). L’intero quartiere fu quindi oggetto di un prolungato impegno monumentale, il che lascerebbe intuire una dislocazione primaria degli edifici più arretrata rispetto al litorale odierno. Merita un accenno, da tale angolazione, anche la rete fognaria della città romana, di cui sono a tutt’oggi evidenti, ad una quota elevata rispetto a quella originaria, gli sbocchi a mare lungo la costa orientale. Eccettuati pochi tratti sottostanti a costruzioni, la maggior parte dei collettori segue il tracciato stradale ed è percorribile, come denota la presenza di rivestimenti di basolato a chiusura dei bracci di evacuazione. La desuetudine di alcuni percorsi del sistema fognario, come l’imponente collettore sottostante al cardo o il ramo prossimo alle terme di Convento Vecchio, occlusi intenzionalmente in occasioni non sempre precisabili della vita dell’abitato ([15] pag. 193-197) e deviati su altri canali, rappresenta un fattore significativo circa il problema delle modificazioni geomorfologiche subite dal sito.

Sulla scia di questi dati si giunge ad affrontare la problematica relativa all’individuazione del porto<sup>4</sup>. Per lungo tempo la letteratura specializzata ha ipotizzato, in base alla presunta rigidità del modulo piazza/porto nell’urbanistica fenicio-punica, in realtà non adeguatamente comprovata sul piano storico, che la città fosse dotata di un porto principale in corrispondenza delle acque interne sul Golfo e di approdi secondari sul versante ovest. Campagne di archeologia subacquea succedutesi dagli anni Sessanta in poi hanno proposto un’identificazione di ipotetiche “strutture” sottomarine al largo del fronte orientale della penisola come antiche banchine portuali. D’altra parte, alcuni studiosi hanno ritenuto che gli apprestamenti dello scalo cittadino, ora localizzati a nord-est di Mare Morto, ora sulla terraferma a nord della collina di Murru Mannu, siano stati progressivamente sepolti dai detriti trasportati dal Tirso ([10] pag. 92). Alla carenza di dati archeologici attendibili a sostegno di tali ipotesi e alla difficoltà di lettura di quelli posti in luce, inoltre, è stata di frequente opposta la tesi di una presunta subsidenza della penisola con la conseguente retrocessione della linea costiera, attiva in special modo a est; fenomeno che, tuttavia, gli studi geomorfologici condotti di recente su scala regionale hanno rivelato poco incisivo in rapporto alla questione ([10] pag. 91-92). La complessità dell’inquadramento dei documenti strutturali riconosciuti lungo le linee di costa, fra l’altro, è stata rimarcata a seguito di una prospezione condotta alla fine degli anni Novanta sul Capo San Marco. L’indagine ha evidenziato, da un lato, l’impraticabilità dell’assunto relativo alla presenza di approdi accessori al porto principale sulla costa ovest, del tutto inaccessibile sia a causa delle fortissime correnti, sia del profilo a strapiombo della roccia; per altro verso, l’esame approfondito delle presunte “banchine portuali” individuate da F. Barreca in località Sa Perda ’e s’altare (Fig. 2, a) ne ha chiarito l’originaria pertinenza al vicino contesto necropolare e il successivo utilizzo come cava ([24] pag. 102), suggerendo cautela e al tempo stesso un’ulteriore chiave di lettura per la decifrazione dei contesti a

---

<sup>4</sup> In generale cf. [1].

mare. Ancora, l'interpretazione di immagini di telerilevamento prelevate nella zona del Porto Vecchio a nord dell'altura del *tofet* ha evidenziato l'interramento della laguna antica e focalizzato i resti di possibili strutture (banchine?), congiunte a Murru Mannu da un basolato, conservato per un breve tratto e accompagnato da una limitata porzione di muro di sostegno [21]. Dinanzi a tale frammentarietà documentaria, in sintesi, la localizzazione di un porto idoneo a sostenere quell'imponente mole di traffici marittimi che doveva contraddistinguere la Tharros punica e romana resta un capitolo oscuro della storia dell'insediamento.

Per quanto riguarda il settore affacciato sul Mare Sardo, da nord a sud, la scogliera dinanzi a San Giovanni di Sinis mostra un'ampia casistica di alterazioni rispetto alla situazione primigenia. L'arenaria eolica in cui sono ricavate alcune delle tombe ipogeiche della necropoli settentrionale tharrense, poste in prossimità del taglio verticale della falesia, ha subito molteplici, ravvicinati e ininterrotti episodi di sfaldamento, distacco e crollo di blocchi di considerevoli dimensioni, precipitati sul breve litorale sabbioso (Fig. 2, c). Le consistenti lesioni sono evidenti in modo macroscopico laddove parte della camera funeraria, in corrispondenza del vano d'accesso aperto a est, è rimasta nella posizione originaria, sospesa nel vuoto, a seguito della perdita del settore terminale dell'ambiente sepolcrale, più esposto all'impatto ondoso ([10] pag. 84-86). Procedendo verso il Capo, i residui del bastione difensivo alla base del colle di San Giovanni, riportato per gli alzati in evidenza ad età postarelianea, mostrano tracce di laboriose opere ingegneristiche finalizzate all'ancoraggio dei blocchi per risolvere i problemi statici del piano di posa ([19] pag. 133-135). Parimenti, presso la cd. *Porta Cornensis*, la struttura in opera cementizia visibile sulla spiaggia sotto la collina, si è riconosciuta la «corona di frana» ([10] pag. 87) che interessa il declivio occidentale di Murru Mannu, tangente la cortina basaltica delle mura romane. Proprio tale processo franoso potrebbe aver causato la perdita di efficacia e la distruzione conseguente dell'acquedotto romano, di cui l'ipotetica *Porta* costituirebbe in realtà un fornice crollato ([19] pag. 135), con la correlata e progressiva decadenza dell'abitato sino al definitivo abbandono in età altomedievale ([10] pag. 87-88). Nella stessa area, le violente e ricorrenti mareggiate hanno portato alla luce in diverse occasioni, insieme ad altre strutture riferibili all'acquedotto, normalmente ricoperte da una coltre di sabbia, residui di deposizioni funerarie romane, in origine dislocate lungo l'antica strada per Cornus ([7] pag. 100-101; [13] pag. 15, 21). Infine, sul Capo San Marco, il limite occidentale della necropoli meridionale, caratterizzata, come il precedente spazio funerario ricordato, da tombe a fossa e a camera scavate in profondità nella roccia, funzionale alla città di Tharros dall'età fenicia a quella tardo-antica, rappresenta un altro dato fruibile nel controllo delle variazioni costiere. In associazione ai molteplici danneggiamenti artificiali causati dallo scavo scellerato del quartiere tombale da parte dei profanatori nel corso dei secoli, l'aerosol marino e il moto di slittamento soggiacente il banco litico ([10] pag. 88-89) hanno prodotto, infatti, incisive fratturazioni della superficie rocciosa, con definitivi cedimenti e crolli di parti delle strutture in acqua, che hanno evidentemente compromesso il paesaggio necropolare e il suo rapporto scenografico con il mare aperto.

Lungo le coste del Sinis sussistono altre tracce antropiche di età storica di notevole interesse in rapporto al tema in discussione, tra cui, ancora pressoché ignote alla letteratura archeologica, le numerose cave di arenaria; alcune di queste sono localizzate a brevissima distanza dal mare e, in vari casi, risultano oggi in parte sommerse. La prossimità alla costa delle cave, già riscontrata in altre aree del Mediterraneo antico, è stata più volte ricondotta all'economicità del trasporto via mare dei materiali lapidei, a fronte delle difficoltà





Figura 2 – a) Loc. Sa perda 'e s'altare (foto C. Del Vais). b) Loc. Sa perda 'e s'altare: banco roccioso residuo con tomba a fossa (con risega al bordo) e segni di cava (foto C. Del Vais). c) Loc. S. Giovanni di Sinis: tombe della necropoli settentrionale di Tharros in parte crollate sul litorale sabbioso (foto C. Del Vais). d) Cava nota come “Sala da ballo” (foto C. Del Vais). e) “Sala da ballo”: risparmio nella roccia a protezione della parte centrale della cava (foto C. Del Vais). f) “Sala da ballo”: sezione stratigrafica (R.T. Melis).

Figure 2 – a) *Loc. Sa perda 'e s'altare (photo C) Del Vais*. b) *Loc. Sa perda 'e s'altare: residual rock-bank with pit grave (with offset to the edge) and signs of quarry (photo C. Del Vais)*. c) *Loc. S. Giovanni di Sinis: tombs of northern necropolis of Tharros partially collapsed on the sandy shoreline (photo C. Del Vais)*. d) *Quarry well-known as “Dance-hall” (photo C. Del Vais)*. e) *“Dance-hall”: cutting in the cliff to guard the central part of the quarry (photo C. Del Vais)*. f) *“Dance-hall”: stratigraphic section (R.T. Melis)*.

del trasporto terrestre lungo tracciati stradali percorribili con maggiore dispendio di energie o da realizzare appositamente in funzione dell'attività estrattiva<sup>5</sup>. Naturalmente ciò poteva verificarsi solo nei casi in cui la qualità del banco roccioso avesse quelle caratteristiche di compattezza e di omogeneità richieste per l'attività edilizia.

A nord della necropoli settentrionale di Tharros si conservano i resti monumentali di una cava a cielo aperto assai estesa, denominata localmente "Sala da ballo" ([11] pag. 81) (Fig. 2, d). Nella parte centrale, dove l'estrazione ha raggiunto il livello più basso fino ad esaurire il banco di eolianiti, essa risulta protetta sul lato a mare da un risparmio roccioso spesso alcuni metri (Fig. 2, e), evidentemente funzionale, così come ipotizzato per altri consimili giacimenti mediterranei<sup>6</sup>, a salvaguardare l'attività di cava dall'azione dei marosi, tanto più che si tratta di una zona particolarmente battuta dal vento di Maestrale; lungo tale risparmio sono ricavati alcuni passaggi di modeste dimensioni che verosimilmente erano funzionali all'imbarco dei materiali lapidei verso la destinazione di utilizzo. Le tracce di lavorazione visibili sia nella parte centrale che in quelle periferiche della cava, che restituiscono numerosi blocchi solo parzialmente liberati, indicano sul tipo di lavorazione effettuata, ben documentata in altri giacimenti antichi<sup>7</sup>: l'attività estrattiva, che si svolgeva a partire da tale risparmio, prevedeva l'escavazione, con l'uso di picconi metallici, di solchi larghi dai 5 ai 20 cm circa, progressivamente più stretti verso il basso e a sezione a V o a U, che consentivano di delimitare blocchi, anche di dimensioni considerevoli, liberandoli sulle facce laterali; il distacco della faccia inferiore avveniva tramite l'utilizzo di cunei, in metallo o forse anche in legno, conficcati profondamente nella roccia con l'ausilio di pesanti mazze.

Un'altra cava di dimensioni considerevoli, caratterizzata però da un banco roccioso meno compatto e attualmente assai degradato dall'azione meteomarina, si localizza più a nord, in corrispondenza della Punta Maimoni (Fig. 3, a). Oltre alla presenza del risparmio nella roccia a protezione della parte più interna del giacimento, sul versante esterno esposto a Maestrale si evidenziano blocchi anche di grandi dimensioni parzialmente sagomati e lasciati in posto (Fig. 3, b) oltre che solchi e tracce di cunei funzionali alla cavatura di conci ormai rimossi. A ridosso del risparmio di roccia menzionato si è potuta riconoscere un'ampia superficie ribassata, ad andamento orizzontale e con tracce del distacco di blocchi, delimitata su due lati da fronti di cava alti alcuni metri; tale piano si trova al di sotto del livello del mare per un massimo di 30 cm e dunque appare completamente sommerso.

Di straordinaria rilevanza, per dimensioni e tracce d'uso, risulta una terza cava, ubicata sulla Punta su Bardoni (Fig. 3, c) ([11] pag. 80), a nord di Is Arutas. Oltre al vasto settore localizzato sulla terraferma, con ampi risparmi a protezione dai marosi, la cava ha una significativa estensione al di sotto del pelo dell'acqua, giungendo, in alcuni tratti, ad una profondità massima di 60 cm. Anche in questo caso si osservano i solchi praticati con il piccone e le tacche dovute all'uso dei cunei (Fig. 3, d), sebbene la caratteristica saliente del giacimento sia rappresentata dalla presenza di gradini di modesta altezza residua, dovuti al distacco dei blocchi, con piano obliquo, in conformità con la giacitura della roccia sedimentaria (Fig. 3, e).

---

<sup>5</sup> Cf. ad es. [6] pag. 138-140; [20] pag. 26; [22] pag. 58.

<sup>6</sup> Cf. ad es. [23] pag. 57; [20] pag. 26; [22] 61-62.

<sup>7</sup> Cf. Ad es. [16] pag. 635-638; [17] pag. 371; [6] pag. 101-109; [18] pag. 79-80; [20] pag. 27; [22] pag. 62-63. Sugli strumenti utilizzati per l'escavazione dei solchi e per il distacco dei blocchi cf. ad es. [6] pag. 123-126; [18] pag. 70, 72; [8]; [9] pag. 156-158.

La sommersione di ampi settori delle ultime due cave può risultare, se correlata ad altre indagini di tipo geomorfologico, particolarmente significativa in relazione allo studio dei mutamenti della linea di costa in quanto l'attività estrattiva realizzata con la tecnica descritta non poteva effettuarsi in presenza dell'acqua; così come osservato anche in altri contesti mediterranei<sup>8</sup>, la parziale sommersione delle emergenze deve intendersi dunque successiva all'abbandono delle stesse che divengono dunque indicatori archeologici utili alla ricostruzione della morfologia costiera antica. Il medesimo discorso può farsi solo in parte per la "Sala da ballo", dove unicamente nel settore prossimo alla breccia ricavata per il trasporto dei conci si evidenziano tracce di lavorazione in corrispondenza della battigia; va detto però che qui è la stessa litologia del banco roccioso ad aver sconsigliato di proseguire in profondità con l'attività di estrazione in quanto, al di sotto di uno strato di arenaria eolica compatta e a granulometria piuttosto fine, si trova un microconglomerato di spiaggia con elementi quarzosi non adatto per l'attività edilizia il cui livello di affioramento supera di poche decine di centimetri quello marino attuale (Fig. 2, f).

A questo punto emerge con chiarezza la questione più spinosa di tale indagine, vale a dire l'attribuzione cronologica delle cave. Al momento i dati in nostro possesso, in relazione alle tre citate e più in generale sui giacimenti sardi di questo tipo, sono assai scarni. È possibile che le cave descritte si riferiscano ad un periodo successivo alla fase punica, così come risulta dal confronto con le tecniche di estrazione utilizzate nella necropoli settentrionale di Tharros, parzialmente distrutta da un'attività estrattiva evidentemente incompatibile con l'uso funerario dell'area e dunque recenziore rispetto a tale utilizzo (Fig. 3, f); oltre che nella citata località Sa Perda 'e s'altare, dove però le sepolture, a fossa parallelepipedica scavata nel banco roccioso, sono di modeste dimensioni (Fig. 2, b)<sup>9</sup> e dunque riferibili verosimilmente ad una pratica incineratoria in uso fino ad età primo-imperiale [28]. Va detto inoltre che anche alla "Sala da ballo" alcuni tagli evidenziati nel settore meridionale potrebbero ascriversi a tombe puniche a fossa parallelepipedica distrutte dall'attività di cava.

Le tecniche estrattive documentate nel Sinis trovano stretto riscontro in altre regioni mediterranee, in contesti che vengono generalmente ricondotti ad età antica. La mancata attestazione di manufatti ceramici nelle cave costiere del Sinis, anche quando, come alla "Sala da Ballo", risultano consistenti i detriti conseguenti alla cavatura, non consente di trarre ulteriori indicazioni al riguardo. Assai poco probante è risultato anche il dato metrologico. Una prima stima delle misure dei blocchi cavati, approntata grazie ai segni conservati *in situ*, non ha offerto dati significativi in quanto si è riscontrata una cospicua varietà di soluzioni dimensionali che non è agevole ricondurre ad un qualsivoglia sistema fisso di unità metriche note nel mondo antico.

Giungendo alle conclusioni, si può affermare che lo studio integrato delle evidenze archeologiche e paleoambientali, sebbene ancora allo stadio preliminare, pare assai promettente in relazione alla ricostruzione della costa del Sinis e del rapporto tra l'uomo e il mare a partire da età preistorica.

---

<sup>8</sup> Cf. [23] pag. 58; [22] pag. 64.

<sup>9</sup> Se ne evidenziano con chiarezza due: quella ubicata più a nord è larga 39 cm, lunga 85 cm e alta 50 cm; l'altra, caratterizzata al bordo da una risega che corre sui quattro lati, ha dimensioni totali di 76 cm x 45 cm per un'altezza massima di 47 cm, mentre la risega è larga dai 5 ai 7 cm e alta altrettanto.



Figura 3 – a) Punta Maimoni. parte esterna della cava (foto C. Del Vais). b) Punta Maimoni: blocchi parzialmente liberati lasciati in posto (foto C. Del Vais). c) Punta su Bardoni (foto C. Del Vais). d) Punta su Bardoni: particolare dei segni lasciati dai cunei (foto C. Del Vais). e) Punta su Bardoni: particolare dei segni di cava sommersi (foto C. Del Vais). f) Necropoli settentrionale di Tharros (loc. S. Giovanni di Sinis): tombe in parte distrutte dall'attività di cava (foto L. Campisi).

Figura 3 – a) *Punta Maimoni. external part of the quarry (photo C. Del Vais).* b) *Punta Maimoni: blocks partially cleared left in place (photo C. Del Vais).* c) *Punta su Bardoni (photo C. Del Vais).* d) *Punta su Bardoni: particular of the signs left with the wedges (photo C. Del Vais).* e) *Punta su Bardoni: particular of the signs of submerged quarry (photo C. Del Vais).* f) *Northern necropolis of Tharros (loc. S. Giovanni di Sinis): tombs partially destroyed from the quarry activity (photo L. Campisi).*

## Bibliografia

- [1] Acquaro E. – Marcolongo B. – Vangelista F. – Verga F. (a cura di) – *Il porto buono di Tharros* (1999), Agorà Edizioni, La Spezia.
- [2] Altieri A. – De Palma G. – Ferroni A.M. – *La vulnerabilità del sito di Tharros. Problemi conservativi e proposte di intervento*, Acquaro E. – Francisi M.T. – K. Kirova T. – Melucco Vaccaro A. (a cura di), *Tharros nomen* (1999), Agorà Edizioni, La Spezia, 59-70.
- [3] Atzori G. – *Prima nota sull'isola di Mal di Ventre*, StSard (1971-72) (1973), XXII, 784-796.
- [4] Atzori G. – *Le ceramiche nuragiche al tornio*, AA.VV., *La Sardegna nel Mediterraneo tra il secondo e il primo millennio a.C.*, Atti del II convegno di Selargius (1987), Cagliari, 81-89.
- [5] Atzori G. – *Il villaggio nuragico di Sant'Elia in Santa Giusta (Oristano)*, AA.VV., *La Sardegna nel Mediterraneo tra il Bronzo medio e il Bronzo recente (XVI-XII sec. a. C.)*, AA.VV., Atti del III convegno di Selargius (1992), Cagliari, 127-134.
- [6] Bedon R. – *Les carrières et les carriers de la Gaule romaine* (1984), Picard, Paris.
- [7] Bernardini P. – *Tharros XXIII. Indagini nell'area urbana*, RStFen (1996), 24, suppl., 97-102.
- [8] Bessac J.-C. – *L'outillage du tailleur de pierre de l'antiquité à nos jours* (1986) (= RANarb, 14 suppl.), CNRS, Paris.
- [9] Bessac J.-C. – *Traces d'outils sur la pierre: problématique, méthodes d'études et interprétation*, Francovich R. (a cura di), *Archeologia delle attività estrattive e metallurgiche. V ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia (Certosa di Pontignano – Campiglia Marittima, 9-21 settembre 1991)* (1993), Firenze, 143-176.
- [10] Canuti P. – Casagli N. – Fanti R. – *Le condizioni di dissesto idrogeologico nell'area archeologica di Tharros*, Acquaro E. – Francisi M.T. – K. Kirova T. – Melucco Vaccaro A. (a cura di), *Tharros nomen* (1999), Agorà Edizioni, La Spezia, 81-94.
- [11] Cauli B. – Soru D. – *Le cave dimesse del territorio. Censimento – Analisi – Proposte*, Provincia di Oristano (1995), Quartu S. Elena.
- [12] Del Vais C. – *La ceramica etrusco-corinzia, attica a figure nere, a vernice nera e gli unguentari*, Acquaro E. – Del Vais C. – Fariselli A.C. (a cura di), *Beni culturali e antichità puniche. La necropoli meridionale di Tharros. Tharrhica – I* (2006), Agorà Edizioni, La Spezia, 203-230.
- [13] Del Vais C. – *Per un recupero della necropoli meridionale di Tharros: alcune note sugli scavi ottocenteschi*, Acquaro E. – Del Vais C. – Fariselli A.C. (a cura di), *Beni culturali e antichità puniche. La necropoli meridionale di Tharros. Tharrhica – I* (2006), Agorà Edizioni, La Spezia, 7-41.
- [14] Depalmas A. – *Approdi e insediamenti costieri nella Sardegna di età nuragica*, AA.VV., Atti Quinto Incontro di studi *Paesaggi d'acque. Preistoria e Protostoria in Etruria*, Atti del Quinto Incontro di studi (Sorano-Farnese 2000) (2002), Milano, 391-402.
- [15] Fariselli A. – *Lo scavo della cloaca*, Del Vais C. – Fariselli A. – Gaudina E. – Mattazzi P. – Mezzolani A., *Tharros: saggio di scavo sul cardo maximus*, Ocnus (1995), 3, 194-197.

- [16] Ferchiou N. – *Carrières antiques du djebel Aziz*, AA.VV., *Livre Jubilaire Marcel Solignac*. Annales des Mines et de la Géologie (1973), 26, 633-642.
- [17] Ferchiou N. – *Une carrière régionale en Afrique: la pierre de Keddel*, RM (1976), 83 (2), 367-402.
- [18] Ginouvès R. – Martin R. – *Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine*, I, *Matériaux, techniques de construction, techniques et formes du décor* (1985), Rome.
- [19] Giorgetti D. – *Le mura sud occidentali e l'acquedotto di Tharros tardo antica: alcune puntualizzazioni tecniche e strutturali*, Acquaro E. – Francisi M.T. – Ingo G.M. – Manfredi L.I (a cura di), *Progetto Tharros* (1997), CNR, Roma, 131-146.
- [20] Guery R. – Hallier G. – Troussset P. – *Des carrières de la Couronne aux vestiges de la Bourse: Techniques d'extraction et de construction*, AA.VV., *Histoire des techniques et sources documentaires, méthodes d'approche et expérimentation en région méditerranéenne*. Actes du Colloque du G.I.S. (Aix-en-Provence, 21-23 octobre 1982) (= *Cahier du G.I.S.*, 7) (1985), Aix-en-Provence, 25-52.
- [21] Marcolongo B. – Vangelista F. – *Interpretazione di immagini per uno studio geo-archeologico nell'area di Tharros*, Acquaro E. – Francisi M.T. – Ingo G.M. – Manfredi L.I (a cura di), *Progetto Tharros* (1997), CNR, Roma, 15-21.
- [22] Paskoff R. – Troussset P. – *Formations quaternaires et carrières littorales antiques en Tunisie*, Chenorkian R. (ed.), *L'homme méditerranéen. Mélanges offerts à Gabriel Camps* (1995), Aix-en-Provence, 57-66.
- [23] Paskoff R. – Troussset P. – Dalongeville R. – *Variations relatives du niveau de la mer en Tunisie depuis l'antiquité*, Histoire et Archéologie. Les dossiers (1981), 50, 52-59.
- [24] Pisanu G. – *La prospezione*, Fariselli A. – Pisanu G. – Savio G. – Vighi S. – *Prospezione archeologica a Capo San Marco*, Acquaro E. – Francisi M.T. – K. Kirova T. – Melucco Vaccaro A. (a cura di), *Tharros nomen* (1999), Agorà Edizioni, La Spezia, 100-103.
- [25] Santoni V. – *Osservazioni sulla protostoria della Sardegna*, MEFRA, Antiquité (1977), 89 (2), 447-470.
- [26] Santoni V. – *Il villaggio nuragico di "Su Muru Mannu"*, RStFen (1985), XIII (1), 33-140.
- [27] Santoni V. – *Il materiale preistorico e protostorico*, Santoni V. – Zucca R. – Pau G. – *Oristano*, AA.VV., *L'Antiquarium arborense e i civici musei archeologici della Sardegna* (1988), Sassari, 13-25 (13-42).
- [28] Santoni V. – *La necropoli ad incinerazione. Nota preliminare*, Santoni V. et alii, *Il nuraghe Losa di Abbasanta. I*, QuadCagl (1993), 10, suppl., 65-75.
- [29] Sebis S. – *Ricerche archeologiche nel Sinis centromeridionale. Nuove acquisizioni di età nuragica*, AA.VV. *La Sardegna nel Mediterraneo tra il secondo e il primo millennio a.C.*, Atti del II convegno di Selargius (1987), Cagliari, 107-115.
- [30] Sebis S. – *Il Sinis in età nuragica e gli aspetti della produzione ceramica*, AA.VV., *La ceramica nel Sinis dal Neolitico ai giorni nostri*, Atti del II Convegno di studi *La ceramica racconta la storia* (1998), Condaghes, Cagliari, 107-173.
- [31] Sparkes B.A. – Talcott L. – *Black and Plain Pottery of the 6<sup>th</sup>, 5<sup>th</sup> and 4<sup>th</sup> centuries B.C.* (= *The Athenian Agora*, XII) (1970), Princeton.
- [32] Stiglitz A. – *Un edificio nuragico di tipologia inedita dal Sinis settentrionale (San*

- Vero Milis, Sardegna – Italia*), Waldren W.H. – Chapman R. – Lewthwaite J. – Kennard R.-C. (Eds.), *Early Settlement in the Western Mediterranean Islands and their peripheral areas*, The Deya Conference of Prehistory, II, BAR 229 (1984), Oxford, 725-743.
- [33] Stiglitz A. – *Archeologia di un paesaggio: il Sinis (Sardegna centro-occidentale)*, AA.VV, *La ceramica nel Sinis dal Neolitico ai giorni nostri*, Atti del II Convegno di studi *La ceramica racconta la storia* (1998), Condaghes, Cagliari, 23-55.
- [34] Verga F. – *L'urbanistica della città ed il rapporto con il territorio*, Acquaro E. – Francisi M.T. – Ingo G.M. – Manfredi L.I (a cura di), *Progetto Tharros* (1997), CNR, Roma, 107-120.
- [35] Zervos Ch. - *La civilisation de la Sardaigne du début de l'Enéolithique a la fin de la période nuragique*, Paris 1954.
- [36] Zucca R. – *L'isola di Mal di Ventre in età romana ed alto medievale*, QuadCagl (1991) [1992], 8, 207-221.

# NUOVE EVIDENZE PREISTORICHE NELLE ISOLE DI LA MADDALENA E CAPRERA

Tomaso Di Fraia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze Archeologiche - Università di Pisa, Via S. Maria 53, 56100 Pisa  
Tel. 0502215803, Fax 0502215816, e-mail: tom.difraia@libero.it

**Riassunto** – Nelle isole di La Maddalena e Caprera sono state individuate molte evidenze riconducibili alla preistoria. A La Maddalena, presso la baia di Spalmatore, vi è un recinto megalitico subtrapezoidale, formato da ortostati affiancati ad affioramenti rocciosi naturali. Un muro di tipo particolare (pietre non tagliate né lavorate e spesso confitte verticalmente), lungo oltre 500 m, passa accanto al recinto e delimita un promontorio, arrivando fino al mare alle due estremità; a Caprera sono stati parzialmente esplorati altri muri simili. Inoltre a La Maddalena sono state individuate molte strutture di tipo dolmenico; a Caprera sono presenti diverse decine di strutture litiche formanti una canaletta. Il ritrovamento sul bagnasciuga in località Strangolato di un frammento ceramico di tipo miceneo, da correlare probabilmente a un'escavazione effettuata nel prospiciente fondale, pone il problema dell'individuazione e della salvaguardia di giacimenti subacquei costieri.

*Abstract* – Evidence of prehistoric presence has been discovered on the islands of La Maddalena and Caprera in several different instances. A trapezoidal cromlech rises in the Maddalena island, near "Spalmatore" cove. It consists of vertical stones resting alongside natural rocky outcrops. An unusual wall, more than 500 m long (built with natural, uncarved stones, some vertically placed into the ground) goes along the cromlech, bounds a cliff and goes as far as the sea. In Caprera, walls of the same kind have been partially explored, while in La Maddalena several dolmen structures have been discovered. In Caprera you can also see dozens of lithic structures forming a little canal. In the "Strangolato" area, a Mycenaean ceramic fragment has been found on the beach; it is probably correlated to an excavation carried out in the nearby sea bed. Such a finding brings out the need for identifying and protecting underwater coastal deposits.

## Introduzione

Fino a poco tempo fa le informazioni concernenti l'archeologia preistorica nell'arcipelago di La Maddalena erano molto scarse e piuttosto generiche, per responsabilità diffuse, anche a livello istituzionale. In molti casi, almeno fino agli anni 70 del XX secolo, poco o nulla veniva pubblicato su riviste scientifiche, se si trattava di interventi di emergenza o addirittura di semplici consegne alla Soprintendenza di materiali recuperati da terzi. Né d'altronde i mezzi di informazione (allora soprattutto la stampa) avevano la capacità e la professionalità adeguate per presentare correttamente al pubblico le caratteristiche e l'importanza dei ritrovamenti archeologici.

Comunque nel *cahier de doléance* il primo posto è occupato dalla piaga dei



dilettanti-clangdestini e anche dei semplici “ritrovatori per caso”. Nel primo caso si tratta di persone che, mosse talvolta da sincero quanto vago interesse per la ricerca, talaltra da prospettive di guadagno, hanno raccolto e tenuto per sé o dato ad altri una serie di reperti che oggi è praticamente impossibile recuperare. I danni sono stati gravissimi per più ragioni: 1) i clangdestini hanno alterato, impoverito e spesso cancellato preziose tracce di presenze preistoriche; 2) i reperti sono stati in gran parte dispersi e qualora venissero recuperati sarebbe comunque difficile rintracciarne le provenienze e impossibile ricostruirne i contesti; 3) tuttora queste persone sono per lo più reticenti e quindi impediscono che si possa realizzare almeno una mappa esauriente dei siti, sia pur sommariamente caratterizzati. Per la seconda categoria di persone, l'esempio più significativo è quello dei pescatori, che molte volte si sono imbattuti in resti sottomarini, come le ancore di piombo, importanti indicatori di possibili naufragi, le quali venivano rifiuse per ricavarne strumenti per la pesca.

Personalmente ho a lungo sottovalutato le potenzialità archeologiche di quest'area, per due ragioni fondamentali: 1) anzitutto ignoravo l'ampiezza e la varietà dei ritrovamenti effettuati dai clangdestini; 2) in secondo luogo soltanto raramente avevo potuto fare qualche limitata esplorazione. Si deve comunque scontare l'enorme incognita costituita dall'eventualità che l'intervento umano, soprattutto tra la fine dell'Ottocento e gli inizi del Novecento, possa aver distrutto totalmente o parzialmente altre testimonianze, soprattutto nelle isole di La Maddalena, Caprera e S. Stefano. Mi riferisco ovviamente da una parte alle cave di granito, dall'altra ai lavori per la costruzione di fortificazioni e installazioni militari di vario tipo, compresi moli e banchine, che tra l'altro hanno interessato gran parte delle aree strategicamente più importanti per il controllo dei traffici via mare e il presidio degli approdi naturali, aree ovviamente privilegiate anche nella preistoria. Vi è infine il tipo di distruzione collegato all'insediamento abitativo in epoca moderna.

Dal 2002 ho potuto dedicare un po' di tempo alle ricerche sul terreno e alla raccolta di informazioni e segnalazioni, che ho cominciato a verificare, con il solo aiuto di mia moglie e quello occasionale di qualche collaboratore locale. Soltanto nella prima decade di giugno 2006 è stato possibile organizzare una breve campagna di prospezione, autorizzata dalla Soprintendenza di Sassari, nell'ambito del Programma INTERREG, con la fattiva collaborazione dell'Ente Parco Nazionale dell'Arcipelago. Una piccola équipe, formata da tre docenti dell'Università di Pisa (il Prof. Carlo Tozzi, la Prof. Renata Grifoni Cremonesi e lo scrivente), la Prof. Gianna Giannessi, tre laureati dell'Università di Pisa e una dell'Università di Corte e uno studente di Pisa, ha realizzato una serie di ricognizioni e prospezioni soprattutto a La Maddalena e Caprera, ma anche a S. Stefano, Spargi e Budelli.

In questa sede presento una sintesi dei ritrovamenti che interessano in qualche modo le coste; tuttavia credo che essi vadano letti contestualmente ad altre evidenze più interne, soprattutto ripari sotto roccia e strutture litiche; pertanto accennerò brevemente anche a queste ultime, benché purtroppo non siamo ancora in grado di stabilire precisi rapporti cronologici e funzionali tra i diversi tipi di manufatti.

## **I principali ritrovamenti**

I tipi di evidenze archeologiche qui considerate, tralasciando i ripari sotto roccia, sono sostanzialmente tre: 1) muri, recinti e altre strutture in pietra; 2) depositi sottomarini; 3) giacimenti e reperti sporadici costieri.



Fig. 1 - La Maddalena: recinto megalitico presso Spalmatore.  
*La Maddalena: cromlech near Spalmatore.*

1. A NW dell'ampia baia di Spalmatore, situata nella parte nordorientale dell'isola di La Maddalena e ben protetta dai venti, in un punto piuttosto elevato e visibile dal mare si trova un gruppo roccioso, collegato al quale è stato realizzato una sorta di recinto [1] formato sia da affioramenti naturali sia da una serie di ortostati, affiancati e forse in qualche punto originariamente sovrapposti ai suddetti affioramenti (probabilmente c'è stato qualche crollo). Le pietre, alcune più o meno lastriiformi, altre irregolari, misurano anche più di un metro d'altezza. Il recinto ha una forma irregolarmente trapezoidale (fig. 1), con l'asse maggiore lungo circa 12 m. In un anfratto del gruppo roccioso, è stato rinvenuto un frammento di macina ottenuta da una roccia vulcanica non presente a La Maddalena [1].

Un altro recinto megalitico è stato individuato nell'isola di Caprera, in località Petraiaccio; ha forma di ferro di cavallo, con la parte aperta addossata a una prominenza rocciosa. In questo caso le pietre sono disposte prevalentemente nel senso della lunghezza in una sola assisa.

A pochi metri di distanza (verso W) dal recinto di Spalmatore sono stati individuati i resti di un muro lungo circa 550 m, che delimita il promontorio a nord della baia. Tale muro comincia a Nord dalla scarpata che scende sull'insenatura di Cala Lunga e corre in direzione N-S fino a un complesso roccioso e, integrandone i "vuoti" e piegando lievemente verso E, arriva fino al limite SE di questo, riprendendo poi la direzione N-S; infine, dopo poco meno di 200 m dal gruppo roccioso, forma un angolo di circa 40° verso E

per finire presso lo scoscendimento sulla baia di Spalmatore.. Del muro, largo 80÷90 cm e composto prevalentemente di pietre medio-grandi, resta solo una parte dell'elevato: da qualche decina di centimetri fino a 80÷100 cm nei diversi tratti. A una quota un po' più alta, a nord della fortificazione di Guardia del Turco, è stato esplorato finora soltanto un tratto di un altro muro, di struttura simile, che sembra cingere un'area vicino alla quale è stato ritrovato qualche frammento ceramico forse dell'età del bronzo [1]. Altri muri sono stati parzialmente esplorati a Caprera, in una zona un po' interna, dove si sviluppano con lunghi tratti dritti, ma anche con tracciati più articolati, che almeno in un caso si avvicinano a un riparo sotto roccia frequentato nel Neolitico; ad un muro è collegata una struttura muraria rettangolare, di cui si intravede solo la prima assisa.

Nell'isola di La Maddalena è stato individuato un numero rilevante (oltre 20) di strutture dolmeniche, la maggior parte delle quali concentrate intorno a una piccola conca in località Vena Longa. Non si tratta di veri e propri dolmen, perché almeno un lato è costituito da un affioramento o da un costone roccioso e talora il vano è parzialmente interrato; le dimensioni oscillano da circa 1 a 1,2 m per la larghezza, da 1,8 a 2,2 m per la lunghezza, mentre l'altezza generalmente supera di poco il metro; uno di essi presenta un tratto di muro sopraelevato rispetto alla copertura. Le pietre che compongono tali strutture non solo non sono squadrate, ma non sono neppure tagliate o sgrossate con l'ausilio di strumenti; sembra cioè trattarsi di lastroni o blocchi formati e staccatisi naturalmente dalle formazioni rocciose e tutt'al più spezzati dall'uomo nella dimensione voluta. Dal punto di vista strutturale si tratta di manufatti assai diversi da quelli rinvenuti in località Santu Miali, nel Comune di Padru, e datati al Medioevo.

A Caprera, in località poggio Zonza, sono state individuate diverse decine di strutture litiche piuttosto enigmatiche: si tratta di una sorta di canalette a fior di terra, lunghe non più di 2 m, larghe circa 20 cm e profonde altrettanto, coperte da pietre di forma allungata disposte trasversalmente.

2. Nei fondali antistanti la baia di Spalmatore sono stati rinvenuti un pezzo di ossidiana e un piccolo arnese di selce; ambedue mostrano alcuni distacchi, serviti probabilmente per testare la qualità della roccia [1]. Ovviamente si tratta di pezzi perduti o gettati in mare o addirittura resti di naufragi; in ogni caso si tratta di importanti indicatori per eventuali ricerche subacquee.

Diverso è il caso di un frammento di vasetto in ceramica tornita beige, decorato con una vernice bruno-rossiccia [1], che ho raccolto nel 2003 sulla sabbia del bagnasciuga in località Strangolato, all'estremità NW di La Maddalena. Poiché i margini del frammento recano scarse tracce di abrasione, si deve supporre che esso sia rimasto a lungo protetto in un vicino deposito fino a pochi anni fa. Poiché l'unico intervento effettuato nelle vicinanze è un'escavazione (lavori Telecom del 1995) del fondale marino a poche decine di metri dal punto del ritrovamento, si può ipotizzare che il pezzo si sia staccato dal deposito in un momento successivo, probabilmente più vicino al 2003 che al 1995. Il vaso (probabilmente un *deep bowl*) è di tipo miceneo (non sono state fatte ancora analisi per stabilire se d'importazione o di produzione italo-micenea), riferibile genericamente al Mic IIIB o IIIC. Ovviamente un solo frammento non può dirci nulla su chi ve lo ha lasciato; può trattarsi di naviganti egei o sardi o di qualunque etnia che avesse avuto contatti con i micenei o con ambienti raggiunti dall'influenza micenea. Ma è comunque importante che, quale che fosse il gruppo in questione, nella tarda età del bronzo esso frequentasse le rotte delle Bocche di Bonifacio e probabilmente utilizzasse quanto meno qualche approdo a La Maddalena.

3. Nella baia di Spalmatore è stato individuato un lembo di deposito antropico stratificato, a pochi metri dal bagnasciuga di una spiaggia frequentatissima; sotto la sezione sono stati raccolti alcuni frammenti ceramici, che sembrano in parte preistorici e in parte di età romana.

Fra i ritrovamenti sporadici vanno segnalati due piccoli pezzi di selce, uno proveniente dalla stessa spiaggia del frammento miceneo, l'altro da Cala Brigantino, a Caprera.

## Discussione

I muri sopra descritti sembrano molto antichi, a mio avviso preistorici, per i seguenti motivi: 1) la presenza di molte grosse pietre, lunghe talora quasi 2 m e comunque molto pesanti, disposte spesso a coltello, specialmente nel paramento; tale disposizione poteva permettere il riempimento della parte mediana, ma rendeva difficile la sopraelevazione. Peraltro nei tratti di muro ubicati in zone poco frequentate è verosimile che quasi tutte le pietre siano rimaste sul posto, anche se parzialmente crollate; ebbene, in tali casi la quantità totale delle pietre suggerisce un'altezza originaria del muro piuttosto limitata. Nelle zone più esposte, soprattutto dove i muri sono stati tagliati da strade o sentieri moderni, si è verificata invece una forte destrutturazione e spoliazione, che hanno reso le tracce più labili e discontinue, ma pur sempre riconoscibili. Anche quest'ultimo aspetto sembra confermare la forte antichità di tali manufatti, se si considera che La Maddalena è abitata continuativamente soltanto dal XVIII secolo, che per il Medioevo le presenze umane nell'arcipelago sono ancora controverse e che comunque sia in età romana che medievale non abbiamo esempi di strutture simili; 2) la quasi totale assenza di lavorazione della pietra, se si esclude lo spezzamento, peraltro non sempre intervenuto; 3) l'andamento dei muri e la loro collocazione, che non sembrano rispondere all'esigenza di recingere terreni privati (nel caso di Spalmatore in particolare si tratta di un promontorio brullo, che non offre nessuna risorsa naturale); 4) le condizioni di conservazione (il crollo di buona parte della struttura originaria, il fatto che molti tratti siano coperti dalla macchia, l'aspetto frusto delle superfici ecc.) sono compatibili soltanto con manufatti molto antichi; 5) infine, la vicinanza di un muro a un recinto megalitico e di un altro a un riparo sotto roccia frequentato nel Neolitico suggerisce possibili collegamenti.

Mentre il criterio di costruzione dei muri a secco di epoca moderna è la possibilità che anche una sola persona sia in grado di costruirlo (cioè di reperire, tagliare e posizionare la pietra) quelli qui esaminati sono ispirati a un principio opposto: la necessaria collaborazione per spostare e posizionare grosse pietre sembra avere un'importante valenza sociale e simbolica, nel senso che l'intenzione sottesa sembra quella di coinvolgere più membri di una comunità in un'opera che abbia appunto un significato collettivo. Insomma, è in fondo lo stesso principio che sta alla base così delle piramidi, come di un fossato o di un monumento megalitico del Neolitico o dell'età dei metalli. In sostanza, una volta costruito, il muro costituiva la prova, anche per i posteri, che c'era stata una volontà e una partecipazione collettiva, con le ovvie conseguenze, sull'asse sincronico, di un rafforzamento della coesione sociale, e, su quello diacronico, di un forte legame tra progenitori e discendenti. E' facile prevedere un'obiezione ovvia, ma importante: in fondo la particolare robustezza di questi muri si potrebbe spiegare con la semplice esigenza di costruire un sistema di delimitazione duraturo. In realtà, da una parte, si tratta di delimitazioni scarsamente efficienti sul piano

pratico, e pertanto un forte investimento di forza lavoro implicherebbe comunque un significato simbolico; dall'altra la finalità indicata nell'obiezione è meglio riassorbibile nello scenario sopra ipotizzato, perché corrisponderebbe al desiderio, da parte di una comunità, di tramandare una presenza, un possesso e forse soprattutto un uso (anche simbolico) del territorio per il più lungo tempo possibile, riducendo il rischio di eventuali obliterazioni e alterazioni. Viceversa le recinzioni in pietra nate da esigenze pratiche (limiti di proprietà, ostacoli per animali ecc.) generalmente non hanno la necessità di durare per lunghissimo tempo e generalmente sono abbastanza facilmente modificabili e spesso del tutto abbattibili senza eccessiva fatica; inoltre sono abbastanza alte da scoraggiare lo sconfinamento di persone e animali. Nella zona che ci interessa uno degli esempi più significativi di questo secondo tipo è costituito dal cosiddetto "Muro Collins", un muro a secco fatto costruire dall'inglese eponimo prima del 1850 per proteggere le sue proprietà situate nella parte meridionale di Caprera; esso tagliava quindi l'isola in direzione E-W, poco più a S dell'attuale ponte. La comparazione di questo muro con quelli da me attribuiti a epoca preistorica conferma le differenze strutturali tra questi manufatti: infatti il Muro Collins è costruito con pietre medio-piccole, tagliate con mazze o mazzuoli metallici e disposte in molte assise fino a raggiungere in alcuni punti un'altezza di oltre 150 cm.

Mentre per le strutture di tipo dolmenico, pur in assenza di resti di inumazioni o deposizioni (difficilmente conservabili in ambiente granitico), si può comunque ipotizzare un uso funerario, nel caso dei recinti e dei muri megalitici non è dato finora intravederne la funzione. Se per i recinti si può pensare alla delimitazione di aree per lo svolgimento di riunioni o culti, è molto più arduo trovare una spiegazione per le strutture murarie, che per la loro altezza non sembrano poter costituire una barriera efficace né per gli uomini né per gli animali, se si escludono forse le pecore. Per il muro di Spalmatore, data la vicinanza del recinto, si potrebbe ipotizzare una valenza simbolica (*témenos?*) oppure una funzione di riferimento geografico, se si considera il suo orientamento e la collocazione presso uno dei principali punti di approdo per coloro che dovevano navigare verso o dalla Corsica.

## Conclusioni

Per mappare adeguatamente, indagare e magari cominciare a rendere fruibili alcune delle strutture esaminate occorre un impegno prolungato di *équipes* interdisciplinari, ma prioritariamente esse vanno salvate dal degrado o dalla distruzione; e quindi Comune, Parco e Soprintendenza dovrebbero realizzare al più presto uno sforzo congiunto in questo senso. Per il deposito antropico di Spalmatore da una parte c'è l'esigenza di verificare la sua consistenza e quindi la possibilità di una campagna di scavo, dall'altra occorre tenere viva l'attenzione sui ventilati progetti di sventramento e cementificazione di questo tratto di costa.

## Bibliografia

- [1] Di Fraia T., Grifoni Cremonesi R. - *Rapporti fra Italia centrale, Corsica e Sardegna durante l'età dei metalli*. Atti 129<sup>e</sup> Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, "Relations, échanges et coopération en Méditerranée", Bastia, 14-21 avril 2003 (in corso di stampa).

## ANTICHE LATOMIE COSTIERE NELLA SICILIA SUD-ORIENTALE TRA CAPO PASSERO E IL LIDO DI NOTO

Gioacchino Lena<sup>1</sup>, Alessandro Rustico<sup>2</sup>

<sup>1</sup> DISMA, Facoltà di Conservazione dei beni culturali, “Università della Tuscia”, Viterbo,  
L.go dell’Università, 01100 Viterbo; Società Italiana di Geologia Ambientale. Roma,

Tel. 338-5636686, e-mail: [lana@unitus.it](mailto:lana@unitus.it); [gioacchino.lena@tin.it](mailto:gioacchino.lena@tin.it)

<sup>2</sup> Via Tenente Sipione, 45 - 96019 Rosolini ( SR ), Tel. 338-1002259,  
e-mail: [alessandrorustico@alice.it](mailto:alessandrorustico@alice.it)

**Riassunto** - La ricerca concerne lo studio delle latomie - in massima parte risalenti al periodo compreso tra l’età greca arcaica (VI sec. a. C.) e il IX secolo d. C. - che occupano con notevole regolarità tutto il litorale compreso tra Capo Passero e Lido di Noto (Sicilia sud-orientale).

La quasi totale mancanza di bibliografia riguardante queste latomie ha comportato l’analisi dettagliata di ognuna di esse, al fine di comprenderne la litologia dei banchi coltivati, le tecniche di estrazione, la dimensione dei blocchi estratti e gli strumenti utilizzati dai cavatori.

La valutazione della loro cronologia e della meta dei blocchi estratti ha necessitato - in mancanza di reperti datanti e di indizi circa la destinazione dei massi asportati - la ricerca, la valutazione e l’adozione di un metodo di indagine, fondato sul confronto delle dimensioni e delle caratteristiche litologiche tra i blocchi estratti dalle latomie esaminate e quelli utilizzati nei più importanti monumenti antichi dell’area; la comparazione delle peculiarità litologiche è stata eseguita, in un primo momento macroscopicamente, e, in seguito, nel dettaglio, tramite l’esame microscopico delle sezioni sottili, le analisi calcimetriche e le analisi diffrattometriche.

Ne è emerso che i materiali provenienti dalle cave dei dintorni di Lido di Noto e della foce del fiume Tellaro sono stati utilizzati nella costruzione dei monumenti di età arcaica, classica ed ellenistica della *polis* di Eloro, quelli di Poggio dell’Arena nell’anonimo insediamento bizantino di “Cittadella”, e quelli di Marzamemi, abitato arabo del IX secolo d. C., nella costruzione sia del tempio di età classica sia della chiesetta bizantina racchiusi nella masseria settecentesca di S. Lorenzo Vecchio.

**Abstract** - *The research regards the study of the latomies – they date back, in great part, to the period between the Greek Archaic age (VI century B.C) and the IX century A.D – which occupy, with remarkable regularity, all the coastline from Lido di Noto to Capo Passero (Southeast Sicily).*

*The almost want of bibliography about these latomies has required the detailed analysis on each of them to understand the lithology of the quarried reefs, the technics of extraction, the size of the extracted blocks and the quarrymen’s tools.*

*The estimation about the latomies’s chronology and the destination of the extracted blocks has required – failing dating finds and evidence about the destination of the extracted blocks – the research, the evaluation and the adoption of a survey’s method,*

based on the comparison of the sizes and of the lithologic peculiarities between the blocks that were extracted from the latomies considered and those which were used in the most important ancient monuments of this territory; the comparison of the lithologic peculiarities has been executed, at first with the naked eye, than through the microscopic examination of thin sections of rocks, the photometric analysis of calcium and the diffractometric analysis.

It follows that the blocks coming from the latomies near Lido di Noto and the Tellaro's mouth have been used in the Archaic, Classic and Hellenistic monuments of the polis of Eloro, the blocks from the Poggio of Arena's latomies in the anonymous Byzantine settlement of "Cittadella" and those from Marzamemi, an Arabic village of the IX century A.D, in the Greek Classic temple and in the little Byzantine church which were included inside the farm of S. Lorenzo Vecchio (XVII century A.D).

## Introduzione

Il seguente lavoro ha come oggetto l'analisi delle cave – risalenti principalmente al periodo che va dall'età greca arcaica (VI sec. a. C) al IX secolo d. C. - che punteggiano sistematicamente tutto il litorale siracusano compreso tra Lido di Noto e Capo Passero. La ricerca ha comportato l'analisi dettagliata di ognuna delle latomie, al fine di comprenderne la geologia dei banchi coltivati, le tecniche di estrazione, la dimensione dei blocchi estratti, gli strumenti utilizzati dai cavaatori, la cronologia di esse e la meta dei conci estratti.



Figura 1 - Localizzazione dei complessi di latomie e dei monumenti su carta geografica 1 : 400.000.

Picture 1 - Location of the groups of latomies and of the monuments on the map 1 : 400.000.

- ▲ Latomie - Latomies
- Monumenti - Monuments

## Metodi

Nessuna delle latomie esaminate conserva reperti datanti (monete, ceramica, arnesi da lavoro, etc.), che potrebbero fornire indicazioni sul periodo in cui esse furono coltivate, o indizi (epigrafi o documenti storico-narrativi), che potrebbero rivelare la possibile destinazione dei blocchi asportati. La mancanza di tutto ciò, insieme alla difficoltà di ricavare la cronologia delle latomie sulla base della tecnica di estrazione usata<sup>1</sup>, ha comportato l'adozione di un metodo di indagine fondato sul confronto delle dimensioni e delle caratteristiche litologiche tra i blocchi estratti dalle latomie esaminate e quelli utilizzati nei più importanti monumenti greci (arcaici, classici ed ellenistici) e bizantini<sup>2</sup> della zona presa in esame<sup>3</sup>, che ha permesso di inquadrare cronologicamente ognuna delle cave esaminate e di individuare i possibili cantieri edili a cui i blocchi estratti dalle cave potevano essere destinati. Tale sistema di studio ha reso necessario il rilevamento della dimensione dei blocchi coltivati nelle latomie e di quella dei blocchi impiegati nei vari monumenti. Inoltre è stato effettuato un esame microscopico delle sezioni sottili, l'analisi calcimetrica e alcune analisi diffrattometriche dei campioni di roccia prelevati presso le cave e le antiche costruzioni.<sup>4</sup>

## Risultati

Le caratteristiche fisiche dei banchi di panchina tirreniana variano notevolmente lungo i 17 km di costa che vanno dal promontorio a nord della spiaggia di Eoro (Lido di Noto) alla costa antistante il Pantano Morghella (Portopalo di Capo Passero) [8, 9]; la "giuggiolena" [7], stratificata in letti orizzontali o obliqui dalla potenza variabile (tra i 50 cm e i 5 m), si presenta talvolta molto compatta, priva o quasi di vuoti e con grani di piccola dimensione, altre volte poco compatta, estremamente porosa e granulare. Le differenti caratteristiche fisiche dei banchi di stratificazione influenzavano i lavori di cavatura: i cavapietre erano costretti - laddove i banchi presentavano un numero maggiore di fratture verticali - a interrompere regolarmente il processo di estrazione. La frequenza dei piani di stratificazione orizzontali e delle fratture verticali condizionava, inoltre, lo spessore e la

---

<sup>1</sup> I metodi di estrazione di età greca, romana e bizantina sono pressappoco simili [6].

<sup>2</sup> Nei monumenti romani dell'area è stato impiegato l'*opus caementicium* per le murature [14], mentre nelle strutture murarie dei grandi edifici greci e bizantini si riscontra la messa in opera di grossi blocchi parallelepipedi disposti a secco su assise orizzontali.

<sup>3</sup> La comparazione dimensionale e litologica tra i blocchi estratti dalle latomie e quelli utilizzati nei monumenti è stata realizzata, considerando la maggiore vicinanza tra i vari monumenti e i luoghi di estrazione presi in esame.

<sup>4</sup> Le analisi calcimetriche sono state eseguite per tutti i campioni di roccia prelevati dalle latomie e dai monumenti dell'area considerata in questo studio. Lo studio microscopico comparato delle sezioni sottili è stato effettuato solamente per quei campioni di roccia provenienti da cave e da monumenti, i cui blocchi avevano dimensioni similari e le cui quantità di calcio e caratteristiche macroscopiche erano affini. Le analisi diffrattometriche sono state realizzate esclusivamente per i campioni di roccia prelevati presso la latomia maggiore di Marzamemi, il tempio classico e il santuarietto bizantino di S. Lorenzo Vecchio al fine di confermare ulteriormente i risultati derivanti dal confronto dimensionale dei blocchi, dalle analisi calcimetriche e dall'indagine microscopica delle sezioni sottili.



lunghezza dei conci da asportare, visto che le fessure risultavano dei piani naturali di rottura. Le diaclasi verticali e i piani di stratificazione facilitavano, tuttavia, le operazioni di asporto della pietra, permettendo l'inserimento in essi dei cunei di estrazione ed evitando lo scavo - in loro prossimità - di una caesura; ciò spiega perchè, in molte delle cave del litorale preso in esame, il fronte di coltivazione più arretrato coincidesse con lunghe diaclasi verticali.

La linea di costa tra Lido di Noto e Capo Passero è interessata da 6 cave isolate<sup>5</sup> e da 7 complessi di latomie<sup>6</sup>. Le cave – estese dai 15 ai 36.800 m<sup>2</sup> (latomia maggiore di Marzamemi) – sono state coltivate a cielo aperto secondo 4 tipologie di estrazione [3]: “ad anfiteatro”<sup>7</sup>, “in fossa”<sup>8</sup>, “a trincea”<sup>9</sup> e “a pianerottoli”<sup>10</sup>.

Le superfici di estrazione delle latomie denunciano l'utilizzo di diverse tecniche di coltivazione. La modalità di separazione dei blocchi più usata dai cavaatori di quest'area è quella a *pointillè* [17], la quale comportava lo scavo di una sequenza di profondi fori lungo i margini inferiori dei quattro lati del blocco da estrarre; il masso, così trattato, poteva essere rimosso, facendo pressione su uno dei suoi lati.<sup>11</sup> I cavapietre, talora, hanno fatto ricorso all'utilizzo di cunei per separare i conci dalla vena rocciosa [1], metodo che richiedeva lo scavo di trincee – *caesurae*- più o meno larghe<sup>12</sup>, delimitanti tre dei lati del blocco da estrarre; successivamente, il margine inferiore del quarto lato – rimasto libero –

---

<sup>5</sup> Latomia nel promontorio a nord della Spiaggia Marinella, latomia a est di Torre Vendicari, latomia maggiore di Marzamemi, latomia di Isola Grande di Marzamemi, latomia a nord della Spiaggia Morghella e latomia a sud della Spiaggia Morchella.

<sup>6</sup> Complesso di latomie nel promontorio a nord della spiaggia di Eloro, complesso di latomie sul lato orientale del promontorio di Eloro, complesso di latomie nella parte settentrionale di Poggio dell'Arena, complesso di latomie nella parte centrale di Poggio dell'Arena, complesso di latomie a est di Pantano piccolo, complesso di latomie a est di Pantano Grande, complesso di latomie nel promontorio a sud della Spiaggia Vulpiglia.

<sup>7</sup> L'escavazione “ad anfiteatro”, denominata così per la presenza dei gradini di coltivazione attorno all'area centrale di scavo (simili ai gradini della cavea di un anfiteatro), è presente nelle due cave della parte centrale di Poggio dell'Arena, in alcune delle latomie a est di Pantano Piccolo e Pantano Grande, nella latomia di Torre Vendicari, nella latomia di Isola Grande di Marzamemi, e nella latomia a nord della Spiaggia Morghella.

<sup>8</sup> La latomia “in fossa”, più o meno profonda, era realizzata aprendo uno scavo in un terreno pressappoco orizzontale; questa tipologia di cava a cielo aperto è presente con escavazioni molto profonde o piccole fosse superficiali nel promontorio a nord della spiaggia di Eloro, nella parte orientale del promontorio di Eloro, nel promontorio a nord della Spiaggia Marinella, a Poggio dell'Arena, in alcune delle latomie a est di Pantano Piccolo e Pantano Grande e nel promontorio a sud della Spiaggia Vulpiglia.

<sup>9</sup> La cava “a trincea”, aperta sul fianco di un poggio, sia parallelamente, sia perpendicolarmente alle curve di livello, è stata riscontrata solamente presso il promontorio a nord della Spiaggia Marinella, dove si trovano lunghe e strette trincee sfruttate per 1-2 livelli di estrazione.

<sup>10</sup> La coltivazione “a pianerottoli”, realizzata sul lato più lungo di una collina o solitamente su due lati di essa, si riscontra solamente in alcune delle latomie della parte settentrionale di Poggio dell'Arena.

<sup>11</sup> Questa tecnica è stata impiegata nelle cave del promontorio a nord della spiaggia di Eloro, nelle due latomie di Marzamemi e nella latomia a nord della Spiaggia Morghella.

<sup>12</sup> La larghezza delle *caesurae* varia tra i 7 e i 14 cm.

del blocco, ospitava, in appositi alloggiamenti di forma trapezoidale, rettangolare o quadrata, dei cunei metallici, i quali, percossi con una mazza, penetravano nella roccia, esercitando una forza separatrice sulle pareti dell'alloggiamento stesso, fino a causare la divisione del blocco. Una particolare modalità di estrazione è stata individuata nei due complessi di latomie a est di Pantano Piccolo e Pantano Grande e nella latomia a est di Torre Vendicari. In esse, le superfici orizzontali di estrazione recano i segni dell'utilizzazione di cunei i cui alloggiamenti (larghi 8-10 cm) tagliano una serie di solchi paralleli impressi con il piccone lungo uno dei margini inferiori del blocco da estrarre<sup>13</sup>. Queste tracce di estrazione testimonierebbero un procedimento di separazione dei blocchi diverso da quello abituale; esso contemplerebbe – in una prima fase – il distacco parziale del blocco tramite la realizzazione di lunghi fori praticati con il piccone o con lo scalpello lungo il margine inferiore del lato esposto del concio – in una seconda fase – l'inserzione di cunei che consentivano la separazione definitiva del blocco. L'utilizzazione di questa tecnica poteva essere legato all'esigenza di controllare meglio il distacco del blocco dalla vena rocciosa, evitando di provocare in esso fratture che potevano renderlo inutilizzabile.

I blocchi estratti dalle latomie costiere - sopra indicate - hanno dimensioni molto varie; la loro lunghezza va dai 90 ai 225 cm, la loro larghezza è compresa tra i 42 e gli 80 cm, il loro spessore varia tra i 30 e i 50 cm.

Le superfici di estrazione verticali e orizzontali delle cave hanno conservato i segni degli utensili impiegati dai cavaatori. Lo strumento più utilizzato era il piccone leggero, il quale – adoperato per lo scavo delle trincee – lasciava, sulle pareti verticali delle cave, una lunga serie di solchi paralleli leggermente arcuati e dagli incavi poco pronunciati; presso la latomia a nord della Spiaggia Morghella, invece, i cavaatori hanno usato il piccone pesante, visto la presenza di profondi solchi paralleli allungati e fortemente arcuati. L'introduzione del piccone pesante permetteva di velocizzare il lavoro, provocando, però, una maggiore produzione di materiale di scarto [17]. Infine, le cave coltivate col metodo di asporto tramite cunei recano le impronte degli alloggiamenti per cunei metallici dalla forma quadrata, trapezoidale o rettangolare.

I risultati ottenuti dal confronto dimensionale, tra i blocchi estratti dalle cave e i conci utilizzati nei vari monumenti, e quelli derivati dall'indagine litologica sui campioni prelevati nelle latomie e nelle antiche costruzioni della zona hanno permesso di postulare delle ipotesi sulla meta dei blocchi estratti da alcune cave e la cronologia di quest'ultime.

Le cave presenti nel promontorio a nord della spiaggia di Eloro, denominate *Cave Elorine* da T. Fazello [4], sarebbero state coltivate dai Greci di Eloro tra l'età arcaica e quella ellenistica (VI-II sec. a. C) e ciò sembrerebbe essere dimostrato dai risultati delle indagini dimensionali e litologiche, i quali testimonierebbero una notevole somiglianza tra i blocchi asportati da queste cave e quelli utilizzati nella cinta arcaica di Eloro, nelle strutture della porta urbana settentrionale (IV sec. a. C della medesima città<sup>14</sup> e nella "Colonna Pizzuta" [5].

I dati derivanti dagli esami litologici e dal confronto dimensionale dimostrerebbero, ancora, che molti dei blocchi della cinta arcaica e della *stoà* di Eloro [15, 16] deriverebbero dalle cave, ubicate nella parte settentrionale di Poggio dell'Arena;

---

<sup>13</sup> Si tratta del margine inferiore del lato esposto del blocco, lo stesso in cui venivano inseriti i cunei.

<sup>14</sup> P. Orsi riteneva che le mura di Eloro fossero state edificate, utilizzando buona parte dei blocchi estratti da queste cave [11].

l'estrazione della pietra, in questa parte di Poggio dell'Arena sarebbe avvenuta, quindi, tra l'età arcaica e quella ellenistica ( VI-II sec. a. C ). Le due grandi latomie "ad anfiteatro" della parte centrale di Poggio dell'Arena avrebbero, invece, fornito i blocchi, impiegati nella costruzione dell'*Asklepieion* di Eloro [10, 13, 16], sicché la coltivazione delle due cave potrebbe essere avvenuta intorno al IV sec. a. C.

Le cave a est di Pantano Piccolo, secondo le indicazioni delle analisi calcimetriche e del confronto delle misure dei blocchi, sembrerebbero essere servite, tra il VI e l'VIII sec. d. C, alla produzione dei conci utilizzati per la "Trigona" di Cittadella [12]. Questi dati proverebbero la veridicità dell'informazione fornita da T. Fazello [4], secondo cui queste cave e il complesso di latomie a est di Pantano Grande avrebbero fornito i blocchi per la costruzione degli edifici della *città di Maccara* (Cittadella).<sup>15</sup>

La latomia maggiore di Marzamemi, secondo le analisi litologiche e lo studio dimensionale dei blocchi, avrebbe fornito i conci utilizzati negli edifici racchiusi nella masseria settecentesca di S. Lorenzo Vecchio, il tempio classico e il santuarietto bizantino<sup>16</sup>. La sua coltivazione, quindi, potrebbe essere avvenuta in età greca classica (V sec. a. C) e in età bizantina (VI-IX sec. d. C). L'impiego di un'unica modalità di estrazione (la c.d. *pointillé*) in tutta la latomia documenterebbe, però, una sola fase di coltivazione, cioè quella avvenuta per opera dei Greci di età classica, dopo la quale tutto fu abbandonato. La presenza di conci di questa cava presso la chiesa bizantina di S. Lorenzo Vecchio potrebbe, dunque, credibilmente essere dovuta all'utilizzazione, durante la dominazione bizantina, di alcuni dei numerosi blocchi lasciati, fin dal periodo greco classico sulla superficie della grande cava.

## Conclusioni

La datazione delle cave ha consentito di dare una spiegazione alla varietà delle tecniche di estrazione adoperate nelle latomie di questa fascia costiera; la c.d. tecnica della *pointillé* sembrerebbe essere stata impiegata maggiormente in età greca, viste le numerose tracce dell'utilizzazione di essa e le sporadiche impronte degli alloggiamenti dei cunei nelle cave datate tra il VI e il II sec. a. C; in età bizantina, invece, si sarebbe adottato un metodo diverso di estrazione, il quale contemplava l'impiego di cunei al fine di facilitare lo stacco del blocco a *pointillé*. Questa sistema di asporto, testimoniato - nei complessi di latomie bizantine a est di Pantano Piccolo, Pantano Grande e di Torre Vendicari e nelle cave altomedievali a sud della Spiaggia Vulpiglia - dalle numerose tracce di alloggiamenti per cunei<sup>17</sup> accoppiati a una serie di solchi paralleli impressi lungo uno dei margini inferiori del

---

<sup>15</sup> L'insediamento ebbe origine nel IV sec. d. C su un terrazzo calcarenitico delimitato a est dal mare Ionio, a settentrione dal Pantano Roveto e a ponente dal Pantano Sichilli. [12]

<sup>16</sup> Il tempio di età classica di S. Lorenzo Vecchio fu collegato in età bizantina ( VI-VIII sec. d. C ) ad un piccolo oratorio a sistema centrale, a pianta quadrata, e coronato da una cupola emisferica. Secondo G. Agnello, la costruzione bizantina era destinata a fare da abside alla cella dell'antico tempio, con la quale era collegato tramite due aperture poste a est. [2]

<sup>17</sup> Gli alloggiamenti per i cunei, presenti sulle superfici di estrazioni di queste cave, hanno dimensioni molto simili tra loro, 10 cm x 9/8.

blocco da estrarre, sembrerebbe essere derivato direttamente da quello impiegato nelle latomie greche della zona, dal quale differirebbe solamente per l'inserimento di cunei su uno dei lati del blocco da estrarre, al fine di controllare meglio il distacco definitivo del blocco, il quale avveniva realizzando un'unica serie di solchi paralleli sul margine inferiore del masso in cui erano stati conficcati i cunei.

I risultati di questo lavoro, infine, confermano, ancora una volta, l'importanza dell'apertura di cave costiere, le quali consentivano agli abitanti greci e bizantini di questa zona di ottenere buona pietra da costruzione senza eccessivi oneri di trasporto, visto che il trasferimento dei blocchi avveniva via mare. Il trasporto dei blocchi di cava via mare è testimoniato – nel nostro caso - dalla presenza di una bitta d'ormeggio e di un piano inclinato presso una delle due latomie “ad anfiteatro” costiere, nel promontorio a nord della spiaggia di Eoro; la bitta, scolpita nella roccia a forma di fungo con testa ovale, poteva servire ad avvolgere le funi delle imbarcazioni ormeggianti nei pressi del piano inclinato.

## Bibliografia

- [1] Adam J. P., *L'arte di costruire presso i Romani*, 2003<sup>7</sup>.
- [2] Agnello G., *S. Lorenzo Vecchio presso Pachino*, in << BdA >>, XXXIV (1948), 63-68.
- [3] Bessac J. C., *La prospection archéologique des carrières des pierre de faille. Approche méthodologique*, in << Aquitania >> 1986, 4, 151-171.
- [4] Fazello T., *De rebus Siculis decades duae*, Venezia 1574.
- [5] Gentili G. V., *Eoro*, in << E.A.A >>, 1966, 322.
- [6] Kozelj T., *Les carrieres des epoques grecque, romaine, et bizantine: techniques et organisation*, in *Ancient marble quarrying and trade*, << BAR >> 1988, 3-80.
- [7] Lena G., Basile B., Di Stefano G., *Approdi, porti, insediamenti costieri e linee di costa della Sicilia sud-orientale dalla preistoria alla tarda antichità*, in << ArchStorSir >>, III, II (1988), 5-87.
- [8] Lena G., Bongiovanni G., *Evoluzione morfologica delle coste siracusane*, in V. La Rosa ( a cura di ), *Le presenze micenee del territorio siracusano*, Padova 2004, 45-71.
- [9] Lena G., Geremia F., *Geomorfologia e geoarcheologia della fascia costiera dalla foce del fiume S. Leonardo a Cozzo dei Turchi*, in M. Frasca (a cura di) *Leontini, il mare il fiume, la città. Atti della giornata di studio, Lentini, 4 maggio 2002*, Catania 2004, 13-20.
- [10] Militello E., *Relazione degli scavi del 1958-59*, in M. T. C. Pisanò ( a cura di ), *Eoro*, in << MonAnt >>, XLVII (1966), 299-335.
- [11] Orsi P., *Eoro - Campagna di scavo del 1899*, in << MonAnt >> XLVII ( 1966 ), 206 – 287.
- [12] Orsi P., *Sicilia bizantina*, (a cura di) G. Agnello, San Giovanni la Punta (CT) 2001.
- [13] Piscione V., *Relazione dei saggi effettuati all'interno dell'area urbana di Eoro, nell'anno 1961*, in M. T. C. Pisanò ( a cura di ), *Eoro*, in << MonAnt >>, XLVII (1966), 335-340.

- [14] Voza G. (a cura di ), *I mosaici del Tellaro – Lusso e cultura nel sud-est della Sicilia*, Siracusa 2003.
- [15] Voza G., *Eloro*, in << E.A.A >>, supplemento 1970, 297-300.
- [16] Voza G., *Nel segno dell'antico – Archeologia nel territorio di Siracusa*, Palermo 1999.
- [17] Waelkens M., De Paepe P., Moens L., *Patterns of extraction and production in the white marble quarries of the mediterranean : history, present problems and prospects*, in *Ancient marble quarrying and trade*, << BAR >> 1988, 81-158.

## IL SISTEMA PORTUALE DELL'ETRURIA SETTENTRIONALE E L'EVOLUZIONE DELLA SUA FASCIA COSTIERA

Marinella Pasquinucci<sup>1</sup>, Simonetta Menchelli<sup>2</sup>, Stefano Genovesi<sup>2</sup>, Paolo Sangriso<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Università degli Studi di Pisa – Dipartimento di Scienze Storiche del Mondo Antico, via Galvani 1  
56126 Pisa, Tel. 0502215566, Fax 050500668, e-mail: [pasquinucci@sta.unipi.it](mailto:pasquinucci@sta.unipi.it)

<sup>2</sup>Università degli Studi di Pisa – Dipartimento di Scienze Storiche del Mondo Antico

**Riassunto** – Confrontando i testi di Strabone e Rutilio Namaziano con i dati archeologici si cerca cogliere le caratteristiche dei porti dell'Etruria settentrionale (Populonia, Vada Volaterrana, *Portus Pisanus* e Luni), e le loro mutazioni tra la prima età imperiale e il V sec. d. C.

**Abstract** - *The present paper deals with paleoenvironmental changes in the layout of northern coastal Etruria harbours during the imperial age. The comparison between texts of Strabo (1st cent. a. d.) and Rutilio Namaziano (Vth cent. a. d.) concerning the harbours of the main coastal cities of this area (Populonium, Volaterrae, Pisae and Lunae) will be our pattern to study the chosen topic, linking literary and archaeological sources with paleoenvironmental ones.*

Dal punto di vista metodologico è sembrato interessante mettere in relazione due fonti letterarie cronologicamente lontane fra loro (Strabone, I sec. d. C. e Rutilio Namaziano, V sec. d. C.), ed incrociarle con i dati archeologici e paleoambientali, in modo tale da cogliere i differenti aspetti che i diversi siti hanno assunto nel tempo.

Da una analisi della descrizione straboniana riguardo alla costa tirrenica non risulta che il geografo si sia personalmente spinto oltre Populonia, della quale fornisce una vivace ed attenta descrizione<sup>1</sup>. Strabone sembra descrivere la costa come se stesse giungendo via mare<sup>2</sup>, mostrando una situazione radicalmente diversa per quanto riguarda le condizioni della antica città etrusca e quelle del corrispondente approdo. La descrizione che viene presentata permette di ipotizzare la presenza di un 'quartiere portuale' situato in una posizione più bassa rispetto all'acropoli, ma non direttamente affacciato sul mare: un *ἐπίγειον* dominerebbe la rada *λιμένιον* posta ai piedi del promontorio<sup>3</sup>. Strabone aggiunge

---

<sup>1</sup>Populonia sorge su un alto promontorio che cade a precipizio sul mare e forma una penisola: anch'essa sostenne un assedio press'a poco nello stesso periodo. Ora tuttavia non è che un piccolo centro del tutto abbandonato ad eccezione dei templi e di poche costruzioni; il suo porto è meglio popolato: esso possiede un approdo ai piedi della montagna e due darsene. (...) Sotto al promontorio c'è anche un luogo da dove si fa la posta ai tonni' ([40]). Cfr. [26], p. 50 e sgg., [10], pp. 257 e sgg.  
<sup>2</sup>Cfr. [26], p. 52.

<sup>3</sup>La vitalità dell'impianto portuale appare dimostrata dalla presenza di due arsenali, cioè di due strutture a terra per la costruzione delle navi. L'interpretazione del termine *νεωσοικός* come arsenale da intendersi come luogo di costruzione delle navi ad uso non esclusivamente militare, è confortato

anche la presenza di un *qunnoskopeion*, luogo atto all'avvistamento dei branchi di tonni e posto alla base del promontorio<sup>4</sup>. La notizia straboniana appare riferirsi al golfo di Baratti anche se tale localizzazione e l'appartenenza a strutture portuali dei numerosi rinvenimenti archeologici non è ancora del tutto accertata<sup>5</sup>. L'interpretazione dell'*ἐπίγειον* come apprestamento parzialmente militare a causa della presenza dei due arsenali non sembra giustificabile<sup>6</sup>; anche l'ipotesi che la baia non sarebbe utilizzabile come approdo a causa delle correnti contrarie da N-N/E, è smentita dal passo di Rutilio Namaziano che giunge nella rada del porto proprio dopo aver vinto il vento del nord facendo forza sui remi<sup>7</sup>. Rutilio, dopo la sosta a *Falesia*<sup>8</sup>, arriva a Populonia<sup>9</sup>, il cui porto si trova all'interno di un golfo naturale che si insinua fino ai campi. L'acropoli, già semi abbandonata all'epoca di Strabone, appare completamente in rovina<sup>10</sup>. La recente ipotesi<sup>11</sup> di ricostruzione della struttura del porto di Populonia, prende spunto anche dal racconto di Rutilio, in particolare dal verso 402: *qua naturalem ducit in arva sinum*. Tale descrizione non corrisponderebbe alla realtà dell'area di Baratti, nella quale i livelli di scorie ferrose accumulatisi a partire dal IV sec. a. C. avrebbero impedito qualsiasi attività agricola. Inoltre i diversi rinvenimenti

---

dall'uso che ne fa Strabone nel resto della sua opera, sia per la descrizione del porto di Cizico, XII 8 11 che di quello di Cartagine, XVII 3 14.

<sup>4</sup>Il posizionamento di questo punto compiuto da [5], p. 207 e sgg. non sembra convincente dato che, per essere utile all'impianto di pesca vero e proprio (la tonnara molto probabilmente localizzata da [38], pp. 271/280, grazie al posizionamento di una serie di manufatti utilizzati per l'ancoraggio subacqueo delle reti a ca. 200 m a nord ovest della Punta delle Tonnarelle), doveva essere posto un pò prima della zona di pesca per poter avere il tempo necessario alla preparazione dei pescatori fra l'avvertimento della vedetta ed il passaggio dei tonni. A meno che non si interpreti il posizionamento della struttura a terra, al termine della linea delle reti fisse ancorate in mare: in questo caso era il pescatore più esperto ad occupare questo posto e a dirigere la pesca; cfr. [39], p. 191 e p. 195.

<sup>5</sup>Anche in questo caso non sono da sottovalutare le variazioni geomorfologiche che hanno portato ad un innalzamento del livello del mare e ad un cambiamento della struttura stessa del golfo; cfr. [13], pp. 167/175. Ricognizioni compiute di recente nell'immediato retroterra hanno però evidenziato la presenza di un abitato sparso fino almeno al III secolo d. C. e la vitalità del sito di Poggio all'Agnello che arriva almeno fino alla fine del V secolo d. C.; cfr. [3] pp. 233/238.

<sup>6</sup>Questa interpretazione implicherebbe che il sito fosse posto entro un circuito murario, e che anche i due arsenali fossero posti al suo interno; cfr. [5], pp. 205/207.

<sup>7</sup>I 399/400.

<sup>8</sup>Il porto di Falesia è localizzato a sud est del promontorio di Populonia, nell'area della laguna presente alla foce del Cornia. Il sito è nominato dall'*Itinerarium Maritimum*, localizzato a 18 *milia passum* da *Scabris portus* (identificato con la baia di Portiglione, cfr. [24], pp. 79), e a 12 *milia passum* da *Poluloniae portus*. È luogo di sosta per Rutilio che testimonia l'esistenza di impianti per la piscicoltura e la presenza di un abitato rurale sparso. La distanza itineraria permette di ipotizzare che il porto romano di *Falesia* non coincida con Portovecchio di Piombino ma sia da localizzarsi più verso l'interno; il progressivo interrimento della laguna ed il suo impaludamento, possono aver provocato uno 'scivolamento' verso il promontorio dell'impianto portuale; cfr. [24], pp. 79.

<sup>9</sup>*De reditu* I 399-402.

<sup>10</sup>Già Strabone aveva segnalato la profonda decadenza dell'acropoli, anche se forse una qualche forma di continuità dovette esserci fra l'età di Augusto e quella di Onorio; è comunque verosimile che la testimonianza di Rutilio attesti una relativa vitalità dell'insediamento ai piedi dell'acropoli, confermata anche in età successiva dalle vicende ecclesiastiche; cfr. [22], pp. 73/75, [14], p. 262 e sgg.

<sup>11</sup>Cfr. [5], pp. 203/217.

compiuti nel corso degli anni permetterebbero di ipotizzare soltanto la presenza di una serie di *villae* poste nell'area del golfo. La posizione del porto di Populonia all'interno di un'area lagunare<sup>12</sup> situata ad est del promontorio che unisce Populonia a Piombino e che penetrava molto in profondità in quella che oggi è una vasta pianura coltivata, potrebbe spiegare l'espressione *ducit in arva*. Per appoggiare questa ricostruzione che vedrebbe quindi il porto di Populonia all'interno della laguna e quello di *Falesia* sul lato meridionale del promontorio, si afferma che la distanza itineraria di XII miglia<sup>13</sup> fra *Falesia* e *Populonia*, non può corrispondere alla distanza rilevabile fra Portovecchio ed il Golfo di Baratti. Come ulteriore giustificazione di questa affermazione si cita il *qunnoskopēon* straboniano, la cui relativa tonnara<sup>14</sup> è stata probabilmente identificata a ca. 200 m a nord ovest di Punta delle Tonnarelle; la presenza di questo impianto renderebbe necessario il suo aggiramento e quindi un allungamento del percorso da 17.5 a 24 km, invalidando la distanza itineraria. Anche il percorso più breve, ovvero a ridosso degli affioramenti rocciosi, supererebbe i 19 km e quindi sarebbe troppo lungo. Ponendo il porto di Populonia all'interno della laguna si spiegherebbe l'espressione *ducit in arva*; ma si dovrebbe anche presumere, un'inversione (licenza poetica?), dell'ordine delle due soste effettuate presso i porti di *Falesia* e *Populonia*. A questa ricostruzione è però possibile obiettare che se la distanza itineraria fra Portovecchio e Baratti risulta inferiore alla realtà, probabilmente anche i 17.5 km fra l'ipotetica Populonia, posta dentro la laguna, e *Falesia*, posta sul promontorio non sarebbero corretti. Relativamente alla tonnara è noto che il tonno migra dall'Atlantico verso il Mediterraneo in primavera<sup>15</sup>, il viaggio di Rutilio avviene tra la fine di novembre ed i primi di dicembre<sup>16</sup>; quindi sembrerebbe logico supporre che le reti dell'impianto di pesca non fossero più in mare e non costituissero più un ostacolo alla navigazione<sup>17</sup>. Tutto questo presupponendo che la tonnara, in funzione all'epoca di Strabone sia ancora attiva nel V secolo d. C. Se si pone Populonia nel golfo di Baratti, la distanza itineraria di XXX miglia con Vada Volaterrana, tappa successiva, risulta compatibile, ponendolo nella laguna interna sarebbe del tutto errata<sup>18</sup>. Va inoltre aggiunto che, per quanto si tratti di un'opera poetica e non di un portolano, le indicazioni di Rutilio per il suo arrivo a Populonia sono molto precise: la partenza da *Falesia* avviene prima dell'alba, il sorgere del sole vede la *cymba* già in mare<sup>19</sup> e la navigazione avviene contro corrente a forza di remi, il che, paradossalmente, è proprio

<sup>12</sup>Si trattava di una vasta laguna che occupava gran parte della attuale pianura del golfo di Follonica e che è stata oggetto di una bonifica realizzata da Lepoldo II Granduca di Toscana; cfr. [1], p. 39 e sgg.

<sup>13</sup>Riportata dall'*Itinerarium Maritimum*.

<sup>14</sup>Per una descrizione della struttura cfr. [39], p. 195 e sgg., [38], pp. 271/280.

<sup>15</sup>Cfr. [39], p. 190 e sgg.

<sup>16</sup>A *Falesia* Rutilio assiste alle feste in onore di Osiride che si collocano al termine del periodo della seminazione; per l'arrivo a *Falesia* il 21/11 del 415 o il 3/11 del 417, cfr. [9], p. 11 e sgg. (l'inizio del viaggio sarebbe da porsi fra il 19/10 ed il 18/11), [22], pp. 33/34, [36], pp. VII/VIII e 96/97, [23], p. 311; inoltre [2], pp. 304/305. Secondo A. Camilli il viaggio si svolgerebbe in aprile.

<sup>17</sup>Il fatto che non si tratti di un impianto fisso potrebbe forse spiegare i 17.5 km dell'itinerario: non essendo un ostacolo sempre presente non è necessario farlo rientrare nel conteggio della distanza. La tonnara moderna (inizi XX secolo), prevedeva di essere tolta 'quando minacciano tempi molto cattivi'; cfr. [39], p. 189.

<sup>18</sup>Gli errori da correggere nel testo dell'itinerario sarebbero quindi almeno due: *Falesia – Populonio* e *Populonio – Vada*.

<sup>19</sup>Cfr. [14], pp. 257/270.



una prova a favore che si tratti del golfo di Baratti. La definizione *Proxima...Populonia*, seguita dallo schiudersi del *securum litus*, rafforza in modo decisivo l'impressione del punto di vista di una persona che, dalla barca, che aggiri il promontorio: alla sua destra i resti della città e, davanti a sé, lo schiudersi del golfo. La presenza delle scorie di ferro ha reso chiaramente impossibile ogni forma di coltivazione a ridosso del golfo di Baratti ma a parte il fatto che sono passati almeno quattro secoli dalla fine dello scarico di tali scorie, la loro deposizione non ha interessato in modo omogeneo tutta la curva del golfo. L'espressione *qua naturalem ducit in arva sinum* in questo caso può essere davvero un'espressione poetica ad indicare che il seno naturale conduce al territorio degli uomini. Tenendo presente che Strabone non cita il porto di Falesia pur avendo, quasi certamente, visto il sito di Populonia, il sistema portuale della città etrusca per l'età augustea si può riassumere nella presenza di una profonda laguna a est del promontorio e con l'esistenza di un porto dotato di infrastrutture specializzate. La ricostruzione dei confini della laguna rende possibile anche l'ipotesi che un medesimo sistema portuale si affacciasse sia sul golfo di Baratti<sup>20</sup> che sulla parte interna della penisola, invasa dalle acque. Il progressivo ritirarsi o impaludarsi della laguna, può aver provocato lo spostamento delle strutture portuali verso sud ovest: scindendo il porto in due approdi (*Falesia* sul Golfo di Piombino e Populonia su quello di Baratti). Nel V secolo il promontorio di Populonia divide due porti, Falesia ormai sul mare, e Populonia, posto nel golfo di Baratti, erede dell'*ἐπίγειον* di Strabone.

Il sito di Vada Volaterrana si connota come centro commerciale funzionale allo stoccaggio e alla redistribuzione delle merci provenienti dal bacino del Mediterraneo e dall'entroterra di Volterra, come è ampiamente dimostrano dai dati archeologici<sup>21</sup>. Già in età tardorepubblicana, doveva esistere un approdo, come testimonia Cicerone, per l'83 a. C.<sup>22</sup>; da Plinio<sup>23</sup> si può dedurre la presenza di un porto di una certa rilevanza anche grazie all'indicazione della sua distanza dalla Corsica che, naturalmente, presuppone l'esistenza di una rotta che legasse le due sponde<sup>24</sup>. Il sito antico è da porsi, in parte sotto

---

<sup>20</sup>Appare comunque certo, principalmente sulla base dei dati archeologici, che il golfo di Baratti fu comunque un area portuale e commerciale strettamente legata alla soprastante città.

<sup>21</sup>Cfr. [21], p. 281 e sgg.

<sup>22</sup>Cfr. [4], p. 62. 'Quinzio lasciò Roma il 27 gennaio durante il consolato di Scipione e Norbano [83 a. C.]. Ti prego di tenere questa data in mente. Lucio Albio, figlio di Sesto, della tribù Quirina, degno ed onorabile uomo, se ne andò con lui. Dopo che giunsero ai Guadi di Volterra (Vada Volaterrana) come sono chiamati, vide un amico intimo di Nevio, Lucio Publicio, che conduceva con sé alcuni schiavi dalla Gallia; che al suo arrivo a Roma parlò con Nevio dove egli aveva visto Quinzio'. ([7]).

<sup>23</sup>'La prima città dell'Etruria è Luni, famosa per il suo porto; vengono poi la colonia di Lucca, lontana dal mare, e, più vicina ad esso, Pisa, situata fra i fiumi Auser ed Arno, fondata dai Pelopidi o forse dai Teutani, popolazione greca. Seguono Vada Volaterrana, il fiume Cecina, Populonia, un tempo l'unica città etrusca sul mare ([33]). Nel mare Ligure, ma vicino al Tirreno, è la Corsica, che i Greci chiamano Cirno; essa si estende in direzione nord-sud, è lunga 150 miglia, è larga per lo più 50, ha un perimetro di 325 miglia. Dista 62 miglia da Vada Volaterrana, ... ([33]). Per le testimonianze archeologiche cfr. [32], pp. 295/303, [21], p. 287.

<sup>24</sup>E' interessante però sottolineare la mancanza di una citazione precisa del porto di Vada nell'opera di Strabone che, genericamente, afferma che il territorio dei Volterrani è bagnato dal mare (V 2 6). Vista la citazione di Cicerone e Plinio è chiaro che una struttura portuale rilevante doveva esistere al tempo di Strabone, e doveva essere comunque citata nella letteratura tecnica utilizzata da Plinio; per il

l'odierna Vada ed in parte nel territorio circostante, in direzione Nord<sup>25</sup>, mentre la struttura portuale vera e propria era probabilmente posta nell'area fra la punta di Pietrabianca e quella del Tesorino protetta da un esteso sistema di secche<sup>26</sup>. Il sito tardorepubblicano non ha lasciato tracce certe, mentre sono ben documentate le strutture portuali a partire dall'età flavia. Durante la seconda metà del I secolo d. C., in località San Gaetano di Vada, vennero costruiti<sup>27</sup>, sviluppando un piano organico, una serie di edifici che caratterizzano il sito come una tipica area retroportuale. Inizialmente sono stati messi in luce un *horreum*<sup>28</sup> ed un piccolo edificio termale legato ad esso, mentre il prosieguo dell'indagine mediante campagne sistematiche di scavo da parte del Dipartimento di Scienze Storiche dell'Università di Pisa, ha permesso di evidenziare una ulteriore serie di edifici variamente articolati<sup>29</sup>. La grande quantità e varietà di materiali recuperati nell'area archeologica ha permesso di stabilire una continuità di vita fino al VII secolo d. C.<sup>30</sup>; una necropoli di fine VI inizi VII secolo d. C. segna il definitivo abbandono del sito. Probabilmente si poteva giungere nel settore riparato dalle secche, sia direttamente da sud, sia girandovi intorno, entrando poi nell'area portuale da nord. La frequentazione del sito attraverso queste rotte può essere testimoniata dai rinvenimenti subacquei pubblicati o segnalati<sup>31</sup>. La descrizione di Rutilio Namaziano<sup>32</sup> del porto di Vada si concentra sulle caratteristiche del bacino: la nave doveva percorrere un canale di relativa profondità segnalato da una doppia palificazione, resa ancora più evidente da fronde ma era necessaria la presenza a prua di un marinaio che indicasse la giusta rotta, per mantenere l'imbarcazione all'interno della

---

complesso problema delle fonti utilizzate da Strabone per le località che, molto probabilmente, non visitò personalmente, cfr. [26], pp. 47/59. La presenza o la mancanza di Vada nelle testimonianze di tipo 'geografico' (Strabone, Pomponio – usato da Plinio - e Plinio stesso), dipende con tutta probabilità dalle fonti che i diversi autori utilizzarono e non dalla volontà di elencare siti più o meno importanti dal punto di vista amministrativo o economico. Il passo di Cicerone è, in questo senso, dirimente dato che in un contesto slegato da problemi itinerari o geografici, cita il sito di Vada Volaterrana come punto di un più che probabile approdo.

<sup>25</sup>Questa collocazione è in accordo con le distanze itinerarie forniteci dall'*Itinerarium Maritimum*, che pone il *Vadis portus a XXX milia passum* da Populonia.

<sup>26</sup>Cfr. [29], p. 35 e sgg.

<sup>27</sup>L'approfondimento dell'indagine archeologica ha permesso di stabilire la presenza di una frequentazione dell'area fra il IX ed il VII sec. a. C., poi abbandonata e ricoperta da una ingressione marina in seguito prosciugatasi; cfr. [10], pp. 100/101.

<sup>28</sup>Lo scavo di questi edifici è stato compiuto in parte dal locale gruppo archeologico a metà degli anni '70 ed in parte, dal 1982, dal Dipartimento di Scienze Storiche dell'Università degli Studi di Pisa. La struttura dei magazzini risulta articolata in una trentina di ambienti speculari, i quattro in prossimità della porta, di dimensioni maggiori, forse a destinazione amministrativa/controllo, i restanti come depositi.

<sup>29</sup>Si tratta di un altro impianto termale di maggiori dimensioni, una fontana, la probabile sede di un *collegium* ed altri due edifici ancora in corso di scavo; cfr. [30], pp. 27/34 con bibliografia precedente.

<sup>30</sup>Cfr. [21], p. 283 e sgg.

<sup>31</sup>Cfr. [19], pp. 223/257, [20], pp. 167/181, [18], pp. 56/62, [29], p. 35/36.

<sup>32</sup>Entro nel tratto di Volterra, che ha nome giustamente Vada / seguo un incerto percorso fondo fra le secche. / Il marinaio di prua si sporge e dirige il timone ubbidiente / guardando in acqua, e grida le sue istruzioni a poppa. / Distinguono le fauci pericolose due alberi / e i bordi pongono di qua e di là pali confitti: / vi si congiungono di solito alti allori / appariscenti per rami e folte fronde / perché, dov'è fra le simplegadi del denso limo una via, / chiaro il sentiero serbi intatti i contrassegni' [36].

canalizzazione<sup>33</sup>. I dati archeologici indicano che, al momento del viaggio di Rutilio, l'area portuale di S. Gaetano di Vada era ancora pienamente attiva dal punto di vista commerciale ed anche il retroterra appare ancora vitale<sup>34</sup>.

La descrizione di Pisa del geografo greco si concentra esclusivamente sul centro urbano e, nonostante che il legame, geografico e commerciale, della città col mare sia chiaramente messo in evidenza, è interessante rilevare l'assenza nel testo di accenni relativi all'esistenza di uno o più porti/approdi. È possibile supporre che il testo di Strabone, che non menziona scali in relazione a Pisa, rifletta proprio l'assetto di un 'sistema portuale', nel quale la città non possiede "porti" in senso stretto, ed il traffico marittimo si distribuisce in una serie di approdi costieri, anche lontani dal centro urbano e testimoniati già a partire dal VII sec. a. C.<sup>35</sup>. Rispetto alla situazione fin qui delineata, il testo del *De re ditu*, posteriore di ben quattro secoli a quello di Strabone, testimonia un mutamento<sup>36</sup>. Rutilio Namaziano, al suo arrivo a Pisa, attracca presso il *Portus Pisanus*<sup>37</sup>, proseguendo poi per la città con un breve tragitto via terra. L'approdo viene descritto mettendone in evidenza la natura di porto naturale, sicuro e protetto dalle correnti<sup>38</sup>. Si individua quindi nel *Portus Pisanus* lo scalo principale di Pisa agli inizi del V sec. d. C.; la stessa denominazione del porto, attestata per la prima volta nel testo dell'*Itinerarium Maritimum* all'inizio del III sec. d. C., sembra sottolineare questa preminenza nell'ambito del sistema portuale di Pisa in età tardoantica. È quindi possibile ipotizzare che l'approdo di *Portus Pisanus* abbia visto aumentare la sua importanza nel tempo rispetto agli altri, fino a divenire lo scalo principale della città. Recenti ed ancora inediti scavi<sup>39</sup> effettuati alla periferia settentrionale di Livorno, in un'area che dovette corrispondere al settore meridionale del *Simus Pisanus*, offrono adesso nuovi dati per la localizzazione del *Portus Pisanus*. In località La Paduletta è stata individuata parte di un edificio organizzato attorno ad un cortile porticato sorretto da pilastri, per il

---

<sup>33</sup>Cfr.[29], p. 36. E' chiaro che un posizionamento preciso dei rinvenimenti subacquei permetterebbe una localizzazione maggiormente precisa del canale (per la marineria antica l'individuazione di questa via e la sua 'messa in sicurezza' saranno sicuramente costati diversi tentativi non esenti da conseguenze disastrose), del quale, per ora, si presuppone un suo posizionamento sulla base di foto aeree. E' evidente però che la pubblicazione di una carta di questo genere non farebbe che scatenare i già voraci subacquei clandestini.

<sup>34</sup>Rutilio descrive le saline e la villa dell'amico Albino. Cfr. [29], pp. 40/41.

<sup>35</sup>È necessario sottolineare che la fonte principale a cui attinge Strabone è Posidonio di Apamea, vissuto durante il corso del II sec. a. C. L'impiego di una o più fonti di età ellenistica, spiegherebbe anche l'affermazione relativa ad una realtà economica non più floridissima, smentita, ad esempio, dalla imponente produzione di terra sigillata italica che, proprio durante la prima età imperiale, dovette contrassegnare fortemente l'assetto economico di Pisa.

<sup>36</sup>I, 527-540.

<sup>37</sup>Cfr. [6].

<sup>38</sup>*Portus Pisanus* sarebbe inoltre *contiguum*, ossia "adiacente", ad una villa denominata *Triturrita* situata, a sua volta, su una alta penisola che si spinge verso il mare. Dal momento che l'imbarcazione di Rutilio giunge da sud, è lecito supporre che i suoi occupanti scorgessero, alla loro destra, il promontorio sul quale si trovava la villa e, subito dopo, l'area del *Portus Pisanus* che, secondo lo stesso Rutilio, è alla sua epoca un porto noto e ancora assai frequentato.

<sup>39</sup>La campagna di scavo in località La Paduletta è stata condotta tra l'aprile e il giugno del 2006 dagli scriventi in collaborazione con la Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana (si desidera qui ringraziare, la dott. S. Ducci per la grande disponibilità).

quale i materiali rinvenuti permettono di delineare una cronologia compresa tra la metà del II e la metà del V sec. d. C. L'edificio, per il quale si può ipotizzare al momento una generica funzione commerciale, era con ogni probabilità pertinente alle strutture del porto di età alto-imperiale e tardoantica e doveva collocarsi all'interno di un'area di spiaggia sabbiosa sulla quale si trovava probabilmente il quartiere portuale vero e proprio.

Il porto più settentrionale dell'Etruria è infine quello di Luni, del quale Strabone fornisce una descrizione piuttosto esaustiva, indicandone il contesto topografico e altre caratteristiche<sup>40</sup>. Il geografo, che assai probabilmente non visitò mai la città<sup>41</sup>, afferma che *Luna* è allo stesso tempo una città ed un porto. La descrizione del *portus Lunae* si conclude con un'accenno al commercio di marmo, i cui blocchi, estratti da cave piuttosto vicine al mare, vengono trasportati a Roma grazie a navi realizzate appositamente<sup>42</sup>. Il testo straboniano fornisce una descrizione ricca di elementi topografici, valida per il periodo compreso tra la metà del I sec. a. C. e la prima età giulio-claudia, e che ha trovato una sostanziale conferma nelle evidenze riscontrate dalle fonti archeologiche e dalle ricerche sul paleoambiente<sup>43</sup>. Le indagini relative alla morfologia della linea di costa di età antica, condotte per mezzo di carotaggi e foto aeree, indicano infatti che il tratto terminale dell'estuario del fiume Magra, presentava già in epoca preromana, un bacino interno separato dal mare aperto da due barre sabbiose<sup>44</sup>. Tale assetto morfologico rendeva l'intera area naturalmente portuosa; i dati archeologici – in particolare quelli della necropoli ligure di IV-III sec. a. C. di Ameglia<sup>45</sup> – indicano infatti che l'area venne impiegata come porto già in epoca preromana<sup>46</sup>. L'iniziale carattere militare si perde a partire dal 155 a. C., anno della resa definitiva dei Liguri, in favore di una funzione sempre più spiccatamente commerciale, che raggiunge, grazie all'attività estrattiva del marmo, la sua massima intensità in età giulio-claudia. Verosimilmente all'esterno del golfo interno, in corrispondenza del bacino più profondo, venne realizzato il porto per le navi destinate al

---

<sup>40</sup>V, 2, 5: 'Fra questi centri che abbiamo nominato Luna è una città e un porto: i Greci la chiamano porto e città di Selene. La città non è grande, ma il porto è assai grande e assai bello, includendo più porti, tutti profondi, proprio quale dovrebbe essere la base navale di un popolo che impone la talassocrazia su un così gran mare per tanto tempo. Il porto è circondato tutt'intorno da alte montagne, da dove si vedono i diversi mari, la Sardegna e gran parte della costa dall'una e dall'altra parte.' [40].

<sup>41</sup>Cfr. [26].

<sup>42</sup>V, 2, 5. Per le *naves lapicidinariae* cfr. [33], 1, 14.

<sup>43</sup>Un'ulteriore elemento di interesse del testo straboniano è la compresenza di notizie relative a periodi storici diversi, caratteristica questa, che indica l'uso per Luni da parte di Strabone di fonti relative a periodi diversi; tale uso ha comportato alla nascita di una descrizione "stratificata", elaborata a partire dalle diverse notizie a disposizione. Ad epoca preromana è da riferire l'accenno alla talassocrazia, forse da mettere in relazione con la presenza di insediamenti etruschi già a partire dal VII sec. a. C., mentre l'impiego del termine tecnico *ὄρηθηριον* che mette in risalto il carattere militare del porto, potrebbe rientrare nel quadro delle guerre condotte da romani contro i Liguri (seconda metà del III-metà del II sec. a. C.) e della deduzione della colonia nel 177 a. C. Di epoca successiva appare infine la menzione del commercio del marmo che, iniziato già attorno alla metà del II sec. a. C., vede un vero e proprio salto di qualità a partire dall'età tardo repubblicana (cfr. [33], XXXVI, VII, 48).

<sup>44</sup>Cfr. [17], p. 400, [31], pp. 617-618, [35], pp. 3/45.

<sup>45</sup>Cfr. [12].

<sup>46</sup>Cfr. [15], pp. 3 e sgg.

trasporto del marmo. Due moli in pietra, rinvenuti rispettivamente ad sud-ovest e a nord della cinta muraria della città, forniscono un punto di riferimento per la dislocazione dei punti di approdo dei due bacini; in particolare, il molo di sud-ovest, situato a poche decine di metri dalla cinta muraria e dalla porta occidentale del decumano, sarebbe relativo al porto esterno destinato alle *naves lapicidinae*<sup>47</sup>. Nel caso di Luni, il testo del *De redivu* non fornisce alcuna informazione particolare in merito all'assetto generale del sistema portuale in epoca tardoantica; si descrive infatti il momento dell'ingresso nell'area del porto, quando dall'imbarcazione è possibile scorgere le *candentia moenia* di Luni<sup>48</sup>. Proprio questa informazione ci fornisce un'immagine del porto, con le mura poste a breve distanza dai moli; la *cymba* di Rutilio sarebbe quindi attraccata al porto esterno. Se è quindi possibile ipotizzare, sulla scorta della testimonianza del testo del *De redivu*, che questo settore dell'area portuale è ancora attivo e accessibile alla navigazione nel primo quarto del V sec. d. C., risulta allo stesso tempo arduo delineare l'assetto paleomorfologico del resto del bacino, in particolare della sua parte interna. Va in primo luogo sottolineato che il porto interno, seppur progressivamente sempre meno adatto al traffico delle navi più grandi, possedeva un ruolo primario nel commercio di redistribuzione relativo al territorio circostante la laguna e che questo commercio veniva effettuato con imbarcazioni di minori dimensioni; agli inizi del III sec. d. C., inoltre, l'*Itinerarium Maritimum*,<sup>49</sup> indicando come successivo punto d'approdo dopo Pisa la foce della Magra ("*fluviu Macra*"), permette di ipotizzare che presso quest'ultima fosse ancora attivo uno scalo assai probabilmente da porre in relazione con il transito nella laguna interna. Come dimostra infine l'esistenza, in corrispondenza della foce della Magra o nell'area sottostante Ameglia, dell'approdo di S. Maurizio, la portuosità del settore interno della laguna, definitivamente interrato solo nel XV secolo, si conservava ancora nel corso dell'età medievale.

Il quadro che si ottiene per l'età augustea è di pochi porti che formano una rete marittima essenziale all'approvvigionamento delle materie prime, dei beni di consumo e delle derrate alimentari verso la capitale; porti di riferimento essenziali potrebbero essere stati Pisa e Populonia; fra la fine del I ed il II secolo d. C. si moltiplicano gli approdi, recuperando e rivitalizzando in modo sistematico la rete di lagune costiere e degli estuari dei fiumi in modo da moltiplicare le potenzialità anche degli approdi di classe inferiore e creare così una fitta ragnatela di connessione economica alla quale non dovettero essere estranee le numerose ville marittime dotate di approdi che potrebbero quindi essere state parte essenziale del sistema portuale dell'Etruria centrosettentrionale costiera.

---

<sup>47</sup>La presenza di una insenatura in questo punto spiegherebbe la rientranza disegnata dal percorso delle mura in questo settore. È possibile ipotizzare l'esistenza di una serie di approdi minori, tra i quali vanno annoverati quelli afferenti alle *villae* e certamente inseriti nei circuiti di redistribuzione delle merci di produzione locale e importate; cfr. [16].

<sup>48</sup>II, 62-68.

<sup>49</sup>501, 6: *a Pisis Lune, fluviu Macra, mpm XXX*.

## Bibliografia

- [1] Bardi A. *Ipotesi di definizione dei limiti dell'antica laguna costiera di Populonia* in AA. VV. *Materiali per Populonia 1* (2002) Firenze, 39 – 42.
- [2] Beard M./North J./Price S. *Religions of Rome II* (2001), Cambridge.
- [3] Botarelli L./Dallai L. *La ricognizione archeologica nel golfo di Baratti. Rapporto preliminare* in AA. VV. *Materiali per Populonia 2* (2003) Firenze, 233 – 250.
- [4] Broughton T. R. S. *The magistrates of the roman republic II* (1952), New York.
- [5] Camilli A....*Ducit in arva sinum...Breve nota sulla definizione del sistema portuale populoniese* in AA. VV. *Materiali per Populonia 4* (2006) Firenze, 203 – 217.
- [6] Ciampoltrini G./Cianferoni G. C./Romualdi A. *La raccolta archeologica e numismatica Enrico Chiellini*. RA (1983) 3, 183 – 241.
- [7] Cicerone *Le orazioni* (1978), Torino.
- [8] Coarelli F. *La fondazione di Luni. Problemi storici e archeologici* QCSL (1987) 10/12 (I), 15 – 34.
- [9] Corsaro F. *Studi rutiliani* (1981), Bologna.
- [10] Del Rio A. *Le presenze di età preromana* in AA. VV. *Guida al Museo archeologico di Rosignano Marittimo* (2000) Siena, 100 – 102.
- [11] Ducci S./Pasquinucci M./Menchelli S./Genovesi S. *La scoperta del Portus Pisanus* in AA. VV. *Rete archeologica. Valorizzazione e ricerche* (2005) Pisa, 29-44.
- [12] Durante A./Massari G. *Comunicazione sulla necropoli di Ameglia* QCSL (1977) 2, 17 - 34.
- [13] Fedeli F. *Populonia* (1983), Firenze.
- [14] Fo A. *Una giornata di viaggio: Rutilio a Populonia* in AA. VV. *Materiali per Populonia 2* (2003) Firenze, 257 – 270.
- [15] Frova A. (a cura di) *Scavi di Luni I* (1973), Roma.
- [16] Gervasini L. *La villa romana di Bocca di Magra* (1999), Ameglia/La Spezia.
- [17] Mannoni T. *Primi probabili impieghi del marmo lunense e la questione del Portus Lunae* QCSL (1987) 10/12 (III), 395 - 403.
- [18] Massa M. *Cecina, Rosignano M.mo, Castiglioncello* in AA. VV. *Archeologia Subacquea* Bollettino d'Arte (1982) Supplemento 4, 56 – 62.
- [19] Massa M. *I ceppi d'ancora del Museo Civico di Rosignano M.mo (Livorno)* Rassegna di Archeologia (1981b) 2, 167 – 181.
- [20] Massa M. *Le anfore del Museo Civico di Rosignano M.mo (Livorno)* Rassegna di Archeologia (1981) 2, 223 – 257.
- [21] Menchelli S./Pasquinucci M. 2005 *Vada Volaterrana: un porto lungo le rotte tirreniche* in AA. VV. *Materiali per Populonia 4* (2005) Firenze, 281 – 290.
- [22] Mincione G. *Motivi e lingua del 'De Reditu suo' di Rutilio Namaziano* (1986), Pescara.
- [23] Mosca A. *Il viaggio di Rutilio Namaziano: una ricostruzione degli approdi tirrenici* in AA. VV. *Rotte e porti del Mediterraneo dopo la caduta dell'impero romano d'occidente* (2004) Soveria Mannelli, 311 - 333.
- [24] Pasquinucci M. *Paleogeografia costiera, porti e approdi in Toscana* in AA. VV. *Evolucion paleoambiental de los puertos y fondeaderos antiguos en el Mediterraneo occidental* (2003) Soveria Mannelli, 61 – 86.

- [25] Pasquinucci M. *Pisa e i suoi porti in età etrusca e romana* in AA. VV. *Pisa e il Mediterraneo. Uomini, merci e idee dagli Etruschi ai Medici* (2003) Milano, 93 – 97.
- [26] Pasquinucci M. *Strabone e l'Italia centrale* in AA. VV. *Strabone e l'Italia antica* (1988) Napoli, 47 – 59.
- [27] Pasquinucci M./Mazzanti R. *La costa tirrenica da Luni a Portus Cosanus* in AA. VV. *Evolución paleoambientalde los puertos y fondaderos antiguos en el Mediterraneo occidentale* (2004) Soveria Mannelli, XX – XX.
- [28] Pasquinucci M./Menchelli S. *Porti, approdi e dinamiche commerciali nell'ager Pisanus e nella valle dell'Arno (III sec. a. C.-VI sec. d. C.)* in AA. VV. *Puertos fluviales antiguos: ciudad, desarrollo e infraestructuras*, Actas IV Jornadas de Arqueologia Subacuatica, vol. I, pp. 237-249, València 2003.
- [29] Pasquinucci M./Menchelli S./Del Rio A. *Archeologia subacquea a Vada Volaterrana: il porto, i relitti, i commerci alla luce delle recenti acquisizioni* in AA.VV. *Atti del II convegno nazionale di archeologia subacquea* (2003) Bari, 35 – 43.
- [30] Pasquinucci M./Menchelli S./Launaro A./Leone N./Picchi G./Sangriso P. *Vada Volaterrana: scavi e ricerche 2005* Quaderni Laboratorio Universitario Volterrano (2006) IX, 27 – 34.
- [31] Pesavento Mattioli S. *Gli scali portuali di Luni nel contesto dell'itinerario da Roma ad Arles* QCSL (1987) 10/12 (III), 617 – 641.
- [32] Picchi G. *I rapporti commerciali fra Etruria centro – settentrionale e Corsica: alcune evidenze per le rotte mediterranee* in AA. VV. *Atti del II convegno nazionale di archeologia subacquea* (2003) Bari, 295 – 303.
- [33] Plinio *Storia Naturale* (1982), Torino.
- [34] Raffellini C. *Archeologia e paleogeografia del Portus Lunae* in AA. VV. *L'Africa romana XIV* (2) 2002, 731 – 751.
- [35] Raggi G./Sansoni G. *Variazioni storiche e tendenze evolutive della linea di riva lunense* MALS (1993) LXII/LXIII, 15 - 35.
- [36] Rutilio Namaziano *Il Ritorno* (1992), Torino.
- [37] Schmiedt G. *Il livello antico del Mar Tirreno. Testimonianze dei resti archeologici* (1972), Firenze.
- [38] Shepherd E. J. *La tonnara di Baratti* in AA. VV. *Materiali per Populonia 2* (2003) Firenze, 271 – 280.
- [39] Shepherd E. J./Dallai L. *Attività di pesca al promontorio di Piombino (I sec. a. C. – XI sec. d. C.)* in AA. VV. *Atti del II convegno nazionale di archeologia subacquea* (2003) Bari, 189 – 209.
- [40] Strabone *Geografia. L'Italia* (1988), Milano.
- [41] Targioni Tozzetti G. *Relazioni d'alcuni viaggi fatti in diverse parti della Toscana II* (1768), Firenze.

## UNA PESCHIERA ROMANA AL MONTE CONERO (ANCONA)

Maria Cecilia Profumo<sup>1</sup>, Francesca Taccaliti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Soprintendenza per i Beni Archeologici delle Marche, via G. Birarelli 18 – 60121 Ancona

Tel 071 5029811, Fax 071 202134, e-mail: [profumo@archeomarche.it](mailto:profumo@archeomarche.it)

<sup>2</sup>Cooperativa Archeologia - Firenze

**Riassunto** – Nel 2001 la Soprintendenza per i Beni Archeologici delle Marche ha effettuato indagini nel tratto di promontorio del Conero compreso tra Numana e Ancona. Le immersioni hanno permesso di indagare una struttura sommersa, probabilmente una peschiera di epoca romana, ubicata a circa 20 m dalla linea di costa.

La struttura misura circa 32 m x 13 m, per una superficie totale di circa 416 m<sup>2</sup>. Le vasche sono scavate nella roccia, divise da setti molto regolari e formanti una banchina, dotate di canali di comunicazione tra loro o con il mare aperto, e prive di qualsiasi tipo di opera costruita; il fondo è ad una profondità variabile fino ad una massimo di -2,3 m. Le pareti, che giungono fino a 50 cm dal pelo dell'acqua, sono conservate per un'altezza variabile da 1 a 1,9 m; probabilmente l'azione del mare ne ha eroso la sommità, ma sono da considerare le variazioni del livello del mare. In uno dei canali confluiva forse una vena d'acqua dolce, che creava verosimilmente la miscela più adatta ad attirare i pesci da nutrire nella peschiera.

Solitamente le peschiere dipendevano da ville marittime, anche se non si può escludere un loro utilizzo pubblico; tuttavia la sovrastante zona della Scalaccia, potrebbe aver ospitato un insediamento periferico rispetto ad Ancona, destinato ai membri della classe abbiente. La struttura semplicemente scavata nella roccia si ritrova in molte altre peschiere di epoca romana della costa tirrenica (M. Argentario, Ventotene, Zannone, Civitavecchia, Sorrento, Briatico).

Il complesso delle “tre pozze” del Conero costituisce l'unico esempio di peschiera lungo la costa italiana del Mare Adriatico.

**Abstract** – *During 2001 the Soprintendenza per i Beni Archeologici delle Marche made a series of underwater surveys along the Conero promontory between Numana and Ancona. The dives revealed a submerged structure, probably a fish farm from the Roman period, sited about 20 m from the shore. The structure measures roughly 32 m x 13 m, covering an area of approximately 416 m<sup>2</sup>.*

*The complex was excavated directly into the natural rock without any further form of construction, and was divided into regular sections forming a kind of quay, with interconnecting channels that also opened directly into the sea; the individual tanks were dug to varying depths, with a maximum of -2.3 m. The walls of the tanks, starting a mere 50 cm below the water surface, survive to heights ranging from 1 m to 1.9 m; the upper extremes of the structure have probably been eroded by wave-action, although differences in sea-level over time should also be taken into consideration. One of the channels may have contained a source of fresh-water, with the possible intention of creating a balance of fresh- and sea-water likely to attract the fish destined to be farmed in the pools.*



*Usually such fish farms were dependant to maritime villas, although the possibility that they may sometimes have had more public access cannot be excluded; nevertheless the overlying area of the Scalaccia may well have been the site of a peripheral settlement to Ancona, home to members of the well-to-do classes. This structure, simply carved into the rock-bed, is typical of numerous Roman fish farms to be found on the Tyrrhenian coast (such as M. Argentario, Ventotene, Zannone, Civitavecchia, Sorrento and Briatico).*

*The “tre pozze” complex found at the Conero promontory represents the only such example on the Italian Adriatic coast. (Translation: J. Mills).*

## **Introduzione**

Dopo che nel 1989-90 erano state realizzate due campagne di ricognizioni dal porto di Numana agli scogli detti Le due Sorelle [6], nel 2001 il nucleo subacqueo della Soprintendenza ha fatto ritorno al Conero. Meta primaria della spedizione era la località posta sotto Pietralacroce e nei pressi della Scalaccia nota in loco come Le tre pozze dove era da verificare la possibile presenza di una peschiera romana [7].

Il luogo, meraviglioso, è raggiungibile via terra per un impervio sentiero che parte dal cimitero di Pietralacroce e più agevolmente via mare, anche se le vasche - poste tra una fila di scogli in parte di frana e la piattaforma rocciosa ai piedi della falesia - hanno pareti che giungono a pelo d'acqua e sono invase da organismi taglienti ed urticanti: l'unica via di accesso, soprattutto in condizioni di bassa marea, è costituita da dei canali che fanno parte della struttura stessa.



Figura 1 – La costa del Monte Conero con la caletta della Scalaccia.

*Figure 1 – The coastline at Monte Conero with the Scalaccia overhead.*

Occorre precisare che dal punto di vista geologico questa parte del Conero è costituita da un'anticlinale asimmetrica con strati che assumono inclinazioni anche di  $70^{\circ}$ ÷ $90^{\circ}$ ; detti strati sono originati dal sollevamento del fondale sedimentario del bacino marino a causa di spinte tettoniche compressive; le marne grigie con strati di diversa consistenza e di diversa resistenza all'erosione si sono formate da fanghi di carbonato di calcio (dovuto ai gusci degli organismi depositatisi dopo la morte sul fondale) misto ad argilla (portata dai fiumi e dispersa in mare dalle correnti).

Naturalmente ci siamo posti il problema di interpretare questa presenza unica per la costa adriatica italiana (*importuosa Italiae litora* diceva Tito Livio) nell'ambito della diffusione dell'insediamento e dell'economia locale. Ancona non è lontana, ma ci siamo domandati se l'impianto "industriale" poteva essere messo in relazione, come spesso avviene, con una villa.

Il percorso via terra da parte degli operatori subacquei nel corso della campagna del 2001 non ha rilevato nulla di interessante, anche per la stagione non adatta e per la non accessibilità di alcuni terreni; pure le riprese fotografiche dall'elicottero eseguite dalla Soprintendenza nel settembre 2005 anche al di sopra della caletta vicina non mostrano tracce significative.

## Materiali e metodi

La struttura in questione si trova a circa 20 m dalla linea di costa, in un tratto di mare naturalmente protetto all'altezza del cimitero di Pietralacroce, fra la baia chiamata La Valletta e il sentiero della Scalaccia.

Misura circa 32 m x 13 m, per una superficie totale di circa 416 m<sup>2</sup>, ed è divisa in cinque vasche (A, B, C, c', e b') disposte su due file parallele alla linea di costa; tali vasche sono collegate fra di loro e con il mare aperto da una serie di canali. La vasca A è la più grande (8.80 m x 4.20 m), la B la più profonda e sembra essere la principale del complesso in quanto tutto il sistema di canali ha una pendenza convergente verso di essa. Le vasche b' e c' sono profonde (con marea medio-bassa) 1.50 m e sono parzialmente invase da scogli di frana; le vasche A e C sono profonde 2.00 m; la B è profonda 2.30 m.

Le vasche sono semplicemente scavate nella roccia marnosa, prive di qualsiasi tipo di opera costruita. Una serie di scogli emergenti fungevano anche in antico da barriera frangiflutti.

In prossimità dell'angolo orientale, nel fondo della vasca A, è stato ricavato un pozzetto semicircolare delle dimensioni di 2.00 m x 0.70 m e profondo 30 cm: possiamo ipotizzare che si tratti di una piccola vaschetta realizzata per permettere a certe specie di pesci di nascondersi.

A NW della vasca A un canale di alimentazione lungo 4.60 m, che si presenta in pendenza verso la vasca, favorisce l'ingresso dell'acqua di mare. Un secondo canale collega la vasca B con il mare aperto. Un altro canale, in pendenza verso la vasca C, mette anche questa in comunicazione con il mare. In quest'ultimo canale ne confluisce un altro, proveniente dalla zona verso terra, individuato per la lunghezza di 12 m a SE delle vasche C e c'.

Tutte le vasche sono in collegamento con quelle adiacenti, con una generale convergenza verso la vasca B, che è la più profonda e presumibilmente la più importante.

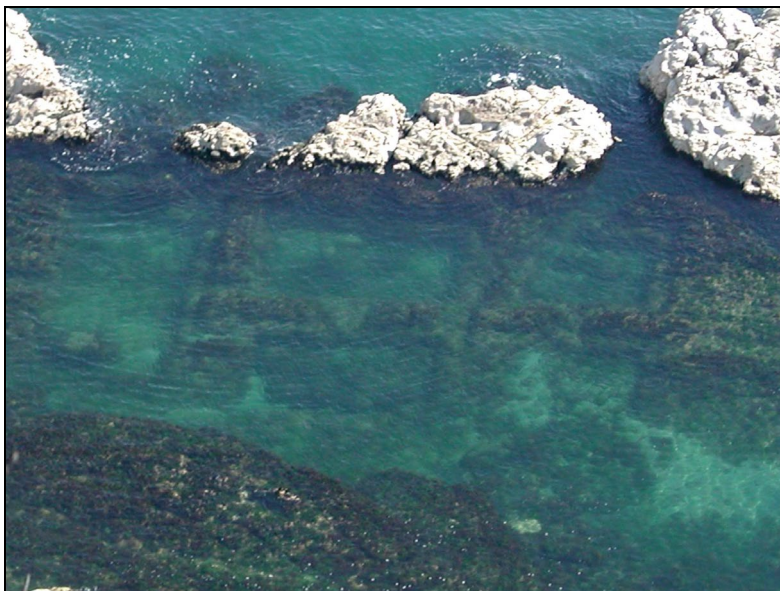


Figura 2 – La peschiera romana vista dal sentiero della Scalaccia.  
*Figure 2 – The Roman fish farm seen from the Scalaccia.*

Le vasche sono divise da setti estremamente regolari, larghi 2.10 m, tagliati dai diversi canali che mettono in comunicazione le vasche fra loro. I setti che dividono le vasche presentano solitamente un gradone verso la vasca. Si può ipotizzare in questo caso che si tratti di banchine ricavate nella roccia al fine di potervi transitare e osservare, alimentare o catturare i pesci, come nel caso della peschiera della villa sotto l'albergo Sirena a Sorrento e della Piscina A di Nettuno<sup>1</sup>.

Il fondo delle vasche è coperto da uno strato di circa 5 cm di sabbia e non sembra essere rivestito da una pavimentazione, ma semplicemente scavato. Non è da escludere comunque che potesse essere ricoperto di scogli e vegetazione marina appositamente per ricreare l'ambiente naturale dei pesci. Ad avvalorare questa ipotesi contribuisce il rinvenimento, all'interno delle vasche, non solo di scogli, ma anche di pietre calcaree disposte con una certa cura e del pozzetto nella vasca A.

La semplice struttura scavata, ovviamente, non è un *unicum* nelle peschiere di epoca romana, in alternativa alle vasche con murature in opera cementizia e paramenti in opera reticolata o in laterizio. Columella (*De re rustica*, VIII, 17) riferisce che le peschiere erano "scavate nella pietra...o costruite nella spiaggia in *opus signinum*".

Sono ricavate nella roccia la peschiera di Giglio Porto, le peschiere di Ponza, di Ventotene e di Zannone (Arcipelago Pontino, tutte a galleria), la peschiera di Civitavecchia-Mattonara, la peschiera Nicolini e quella della villa sotto l'albergo Sirena a Sorrento (anch'esse a galleria), e la peschiera di Sant'Irene a Briatico in Calabria; a testimonianza del tipo riportiamo anche lo scavo parziale di un banco roccioso per quella che

---

<sup>1</sup> Per tutte le peschiere tirreniche citate cfr. le schede descrittive con la bibliografia precedente in [3].

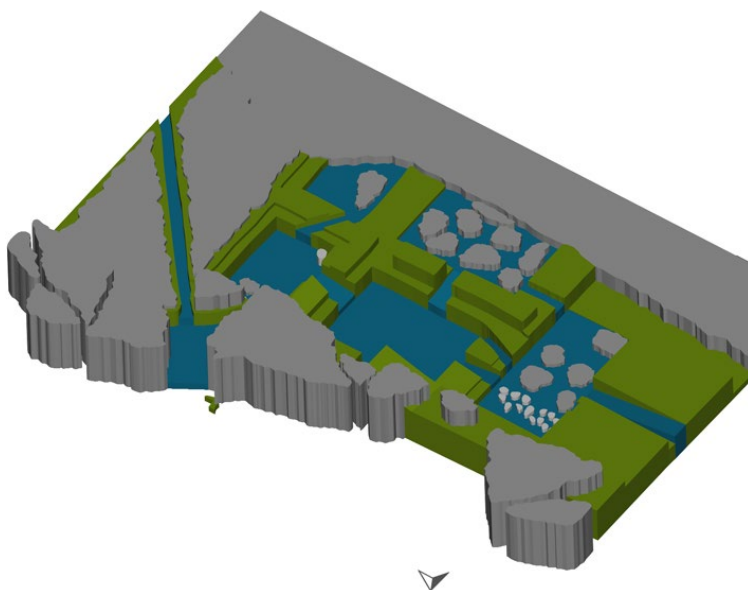


Figura 3 – Ricostruzione virtuale in assonometria della peschiera romana del Monte Conero.  
 Figure. 3 – 3D reconstruction of the Roman fish farm at Monte Conero.

probabilmente doveva essere una peschiera a La Rocchetta, ugualmente a Briatico. Sono invece costruite la peschiera di Punta della Vipera presso Castrum Novum (tra Civitavecchia e Santa Marinella), quelle di Santa Severa e quella di Santa Marinella e le piscine di Nettuno.

La profondità massima delle vasche dal livello del mare raggiunge 2.30 m, misura che non si discosterebbe molto da quella consigliata da Columella, fra i sette e i nove piedi (cioè fra 207.20 e 266.40 cm). Però le pareti delle vasche sono conservate per un'altezza minima di 100 cm e massima di 190 cm. Le crepidini lungo i setti sono alte dal fondo circa 1 m nelle vasche verso mare e 0.50 ÷ 0.70 m nelle vasche verso terra, misura che ci indica la profondità d'uso. Poco profonde sono anche le piscine A e B di Nettuno (circa 90 cm), che si ritiene possano essere state adibite all'allevamento di pesci che vivono adagiati sul fondo.

L'acqua dolce era indispensabile alla vita della peschiera. L'*aquatio*, ovvero la miscela di acqua dolce e acqua salata, permetteva infatti di attirare i pesci e alcune specie in particolare, come le orate, i cefali e le spigole. In assenza di acque sorgive l'acqua dolce era reperita in cisterne appositamente costruite. Il lungo canale a Est delle vasche C e c' sembra provenire dalla zona della Scalaccia in cui pare fosse presente una vena di acqua dolce. Sfruttando la pendenza del canale, questa avrebbe potuto raggiungere l'acqua salata nella zona immediatamente antistante la vasca C, mescolarsi ad essa per diventare salmastra ed entrare con il favore delle correnti di grecale nella suddetta vasca.

È interessante notare come i canali di comunicazione che vanno dalle vasche A, b' e C alla B presentano una pendenza anche di 30 cm verso questa. Ciò potrebbe far supporre la necessità di un costante afflusso e ricambio d'acqua verso quella che probabilmente era la vasca principale dove venivano allevati i pesci.

Lo stesso dislivello si trova nei canali che mettono in comunicazione l'esterno con le vasche A e C. In questo modo la prima sfruttava probabilmente le correnti di maestrale, la seconda quelle di grecale; il dislivello, oltre a facilitare l'ingresso e ad assicurare perciò il ricambio dell'acqua a tutto l'impianto, avrebbe anche potuto impedire il riflusso della stessa a causa del moto ondos.



Figure 4-5 – I canali settentrionale (a sinistra) e meridionale (a destra) tra le vasche A e B.  
*Figure 4-5 – The northern (left) and southern (right) channels between tanks A and B.*

## Risultati

Le dimensioni di tutto l'impianto non si discostano da quelle attestate per le peschiere romane, divise solitamente, come quella di Ancona, in vasche comunicanti fra loro. Presentano ad esempio divisioni interne in vasche oltre alla peschiera di Sant'Irene scavata nella roccia, quelle costruite di Santa Severa e di Santa Marinella, quella di Santa Liberata (Toscana), che è testimoniata da un rilievo del Santi (il quale descrisse la peschiera alla fine del 1800), e le tre piscine di Nettuno.

Varrone (*De re rustica*, III, 17, 4) riferisce che grazie alle vasche "loculate", alla maniera con cui i pittori tengono divisi i loro colori, i pesci potevano essere separati per specie e per età.

Mancano inoltre, nella nostra peschiera, le saracinesche descritte da Columella, spesso conservate in altre peschiere romane o testimoniate dalle loro impronte sulle pareti dei canali. Nel nostro caso non solo non si sono conservate le grate, ma neanche i loro solchi di posizionamento. Tale assenza è giustificabile con il fatto che la zona è stata per molto tempo e assiduamente frequentata ed eventuali resti archeologici (come le saracinesche in bronzo o anche in altro materiale) sarebbero stati certamente riutilizzati. L'erosione marina o le concrezioni possono facilmente aver cancellato le tracce dell'impostazione delle stesse grate, anche se non si può escludere che la chiusura avvenisse con qualche sistema mobile, come è stato ipotizzato per la peschiera Nicolini a Sorrento.

Da notare infine sono le presenze nei dintorni di marmitte e probabili solchi di battente, oggi sommersi.

## Conclusioni

La collocazione della peschiera rende abbastanza problematico determinarne l'utilizzazione. Solitamente le peschiere dipendevano da ville marittime, e la letteratura riporta numerosi riferimenti alle manie di alcuni ricchi personaggi nei confronti di questa particolare pratica dell'*otium*. Anche se non si può escludere, in assenza di una villa nelle vicinanze, che la peschiera di Ancona avesse un utilizzo pubblico, essa è situata in una zona oggi difficilmente raggiungibile a piedi, anche considerando variazioni e arretramenti della linea di costa negli ultimi duemila anni. La zona della Scalaccia che si percorre attraverso il sentiero si presenta amena e ricca di vegetazione e non sarebbe poi troppo azzardato ipotizzare la presenza di un insediamento umano periferico rispetto al centro abitato di Ancona che poteva facilmente essere residenza di membri della classe abbiente.

Pressoché unica è la presenza di una peschiera lungo il versante adriatico della nostra penisola. La maggior parte di esse è concentrata nel tratto di costa medio-tirrenica e lungo il versante tirrenico della Calabria. La peschiera di Ancona, allo stato attuale delle conoscenze, rappresenta l'unica testimonianza adriatica di questo genere di impianto, assieme a quella – non certa – di San Cataldo presso Lecce, in Puglia ([2], [1] pag. 418-420). Documentate sono invece lungo la costiera italo-sloveno-croata all'estremo Nord del bacino adriatico; un'altra peschiera è segnalata, più a Sud, sull'isola dell'Incoronata<sup>2</sup>.

Un'ultima considerazione riguarda il fatto che il complesso di età romana si trovi oggi completamente sommerso. Le crepidini, che dovevano in origine trovarsi appena al di sopra del pelo dell'acqua, sono ora (con marea medio-bassa) ad una profondità oscillante da -1 m a -1.40 m; alla profondità media di -1.30 m (sbocco a -1.70 m) si trova il canale che doveva portare l'acqua dolce all'ingresso della vasca C. Il canale d'accesso alla vasca A sta ad una profondità da 1 m a 1.60 m.

Abbiamo quindi la precisa indicazione che negli ultimi due millenni il livello del mare si è innalzato di almeno 1.50 m. Poiché la zona del Monte Conero non è soggetta a particolari fenomeni geologici locali, quali bradisismo o subsidenza, che abbiano accentuato o controbilanciato l'andamento, generalmente riscontrabile lungo tutte le coste italiane dopo l'ultima glaciazione, di aggiustamento glacio-idro-isostatico della crosta<sup>3</sup>, l'innalzamento del livello marino (eustatismo) è da attribuire parte a questo assestamento e parte a fattori climatici.

---

<sup>2</sup> Queste peschiere sono attualmente oggetto di censimento e di studio nell'ambito di vari progetti europei e sono state illustrate da Rita Auriemma al XII corso di archeologia e storia navale di Cattolica (2006). Per la struttura pertinente alla grande villa di Valcatena (baia di Verige), nell'isola di Brioni v. [4]; per quella dell'Incoronata v. [4], 166-167, nota 12. Si ringraziano Rita Auriemma e Irena Radic Rossi per le preziose informazioni.

<sup>3</sup> Per queste problematiche, che si affrontano ora per il bacino adriatico dopo un più precoce interesse per quello tirrenico (dove si avevano a disposizione più dati archeologici utili come indicatori) v. [5], e l'analogo intervento riguardante il Golfo di Trieste e l'Istria al recente congresso Adria 2006 – International Geological Congress on the Adriatic Area (Urbino) di R. Auriemma, F. Antonioli, D. Gaddi, S. Furlani, A. Gaspari, S. Karinja, V. Kovačić, K. Lambeck.



Figura 6 – La situazione attuale della piattaforma rocciosa in cui è scavata la peschiera.  
*Figure 6 – Current view of the site of the fish farm.*

## **Bibliografia**

- [1] Auriemma R. - *Gli approdi minori del Salento adriatico: il contributo della ricerca archeologica subacquea*, in *Strutture portuali e rotte marittime nell'Adriatico di età romana*, Atti del Convegno Internazionale, Aquileia 1998, Trieste-Roma 2001, 415-429.
- [2] Ceraudo G., Esposito F. - *Strutture sommerse a S. Cataldo (LE)*, Atti del Convegno Nazionale di Archeologia Subacquea, Anzio 1996, Bari 1997, 241-244.
- [3] Giacomini L., Marchesini B.B., Rustico L. - *L'itticoltura nell'Antichità*, Roma 1994.
- [4] Jurišić M. - *Antički ribnjak u uvali Verige na Brijunima. Prilog poznavanju antičkih ribnjaka i srodnih objekata na Jadranu (A roman fish-pond in the Verige Bay of the islands of Brijuni)*, in *Arheološka Istraživanja u Istri (Archaeological Research in Istria)*, Atti della Conferenza, Poreč (Parenzo) 1994, Zagreb (Zagabria) 1997, 163-168.
- [5] Lambeck K., Anzidei M., Antonioli F., Benini A., Esposito A. - *Sea level in Roman time in the Central Mediterranean and implications for recent change*, *Earth and Planetary Science Letters* (2004) 224, 563-575.
- [6] Profumo M. C. - *Ricognizioni subacquee nel mare di Numana e Sirolo*, *Bollettino di Archeologia Subacquea*, (1995-96) II-III/1-2, 167-172.
- [7] Profumo M. C., Tacaliti F. - *La peschiera romana di Pietralacroce (Ancona)*, in *Il Piceno romano dal III secolo a.C. al III d.C.*, Atti del XLI convegno di Studi Maceratesi, Abbazia di Fiastra (Tolentino) 2005, in corso di stampa.

# POZZI SACRI E APPRODI D'ETÀ NURAGICA NELLA SARDEGNA NORD-ORIENTALE

Giovanna Fundoni

Università di Sassari, e-mail: [fundoni@tiscali.it](mailto:fundoni@tiscali.it)

**Riassunto** – I pozzi sacri, luoghi di culto d'età nuragica (XIX-VII sec. A.C.) diffusi in tutta la Sardegna, si concentrano soprattutto nelle aree interne, di rado in prossimità del mare.

Eccezionale è il caso della costa Nord-orientale dell'isola, dove sorgono alcuni pozzi sacri costieri presso potenziali approdi nuragici. Sono i pozzi “Sa Testa” di Olbia, “Milis” di Golfo Aranci, “Cugnana” nel golfo omonimo.

Questi pozzi dovevano essere legati ai vicini approdi per l'approvvigionamento idrico delle imbarcazioni, ma il loro ruolo non doveva limitarsi a risorsa idrica.

Il ritrovamento al loro interno di oggetti votivi di diversa epoca e provenienza ne testimonia il valore sacro e l'utilizzo protrattosi fino ad età storica avanzata.

È possibile che vi si praticassero culti, anche legati alla navigazione, non solo da parte delle comunità locali ma anche di navigli di passaggio, che, sostando nei vicini approdi, potevano fruire di tutto ciò che i pozzi offrivano, dall'acqua al rapporto col divino.

**Abstract** – *The sacred wells, cultual places built during Nuragic Age (XIX-VII cent. B.C.) widespread all over Sardinia, are especially concentrated in the hinterland of the island, rarely close to the sea.*

*Particular is the case of the North-eastern coast of the island, where some nuragic sacred wells were built on the coast, close to probable nuragic harbours: “Sa Testa” well (Olbia), “Milis” well (Golfo Aranci), “Cugnana” well (Cugnana gulf).*

*These wells had to be related to the near harbours because of the water supplies of ancient boats, but that certainly was not their only role.*

*The numerous findings of votive objects of different age and provenience inside the wells demonstrate their sacred character, and their use continued till historical age.*

*It's possible that local communities and foreign ships, based in the near harbours, practiced in these places cults probably related to navigation. So that foreign people and boats could enjoy what the wells offered, from water to contact with the gods.*

## I pozzi sacri costieri

I pozzi sacri, luoghi di culto d'età nuragica (XIX-VII sec. A.C.) diffusi in tutta l'isola, si concentrano soprattutto nell'entroterra.

Eccezionale è il caso della costa Nord-orientale, dove alcuni pozzi sorgono nei pressi di potenziali approdi dell'epoca (Fig. 2). I casi più noti sono quelli dei pozzi sacri di Sa Testa (Olbia), Milis (Golfo Aranci), Cugnana (golfo di Cugnana).

Merita considerazione anche il pozzo esistente all'interno del nuraghe Cabu Abbas (Olbia), sebbene il vicino pozzo Sa Testa sia più facilmente collegabile all'approdo per la



maggior vicinanza al mare.

Non è escluso che ne esistessero degli altri oggi distrutti, obliterati da costruzioni o semplicemente sconosciuti.



Fig.1 – Area in esame.

*Fig.1 – The research area*



Fig 2 – Costa Nord-orientale, alcuni pozzi sacri presso potenziali approdi nuragici.

*Fig. 2 – North-eastern coast, some sacred wells near probable nuragic harbours.*

## Il pozzo “Sa Testa”, Olbia

Il pozzo Sa Testa (figg.3-4) si trova sulla sponda settentrionale del golfo di Olbia, ottimo approdo naturale sia oggi che nell'antichità.



Fig. 3 – pozzo sacro “Sa Testa”, il recinto sacro.

*Fig.3 – “Sa Testa” sacred well, the sacred circe.*



Fig.4 – “Sa Testa”, il pozzo.  
*Fig.4 – “Sa Testa”, the well.*

I dati forniti dagli scavi archeologici mostrano una frequentazione del sito durata dall'età nuragica ad epoca storica [1-2].

Durò nel tempo anche il valore culturale del pozzo, come testimoniano exvoto di diversa epoca e provenienza trovati al suo interno.

La posizione del pozzo, a poche centinaia di metri dal mare da un potenziale approdo nuragico, lo rende facile da relazionare all'approdo stesso e agli antichi fruttori.

### **Il pozzo “Milis”, Golfo Aranci**

Il pozzo sacro Milis (fig.5) sorge sul promontorio che forma il golfo degli Aranci, ad un centinaio di metri dal mare.



Fig. 5 – pozzo sacro Milis.  
*Fig.5 – “Milis” sacred well.*

In quest'area non si ha notizia di insediamenti d'età nuragica, il pozzo stesso è l'unica traccia di frequentazione dell'epoca.

Nonostante l'apparente isolamento del pozzo, i dati dei vecchi scavi archeologici ne mostrano una frequentazione intensa dall'età nuragica ad età storica avanzata [3].

In età nuragica il golfo doveva offrire le stesse buone possibilità d'approdo di oggi e il pozzo doveva essere strettamente legato ad esso. Infatti, essendo i più vicini insediamenti coevi quelli del golfo di Olbia, doveva essere meglio raggiungibile per mare che via terra.

## Il pozzo “Cugnana”, golfo di Cugnana

Il pozzo di Cugnana (fig. 6), sorge sulla sponda settentrionale del golfo omonimo, a qualche centinaio di metri dal mare.

La profonda ria di Cugnana è un ottimo approdo naturale sia oggi che in età nuragica, quando, in base alle ricostruzioni paleoambientali, doveva apparire come una sorta di laguna.



Fig.6 – Pozzo sacro “Cugnana”.  
Fig.6 – “Cugnana” sacred well.

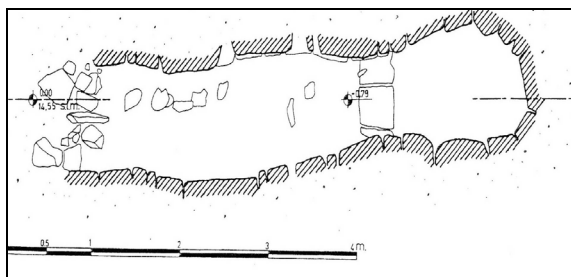


Fig.7 – Pozzo “Cugnana”, rilievo.  
Fig.7 – “Cugnana” well, the relief.

L'area doveva essere controllata da comunità locali, come mostra il nuraghe "Punta Nuraghe", quasi posto a vedetta su un promontorio nella sponda opposta. Dai fondali marini di fronte quest'ultimo proviene un'ancora protostorica, chiara testimonianza di frequentazione del golfo in quell'epoca.

Il pozzo sorge a meno di 1 km dal potenziale approdo nuragico al quale doveva probabilmente essere legato.

Nonostante la struttura sia tipicamente nuragica (si dibatte se sia un pozzo o una fonte), la sua cronologia è piuttosto problematica. I dati del recente scavo, gentilmente forniti dal Dott. D'Oriano della Soprintendenza Archeologica, mostrano solo materiali d'età storica avanzata. Uno studio approfondito del sito e dell'area circostante potrebbero chiarire la situazione.

Interessante la presenza nella stessa zona di un altro pozzo, per aspetto presumibilmente nuragico, la cui scoperta recente e la mancanza di indagini ne rendono però prematura la classificazione.

## Conclusioni

I pozzi sopra citati sorgono tutti nei pressi di potenziali approdi d'età nuragica e dovevano avere, per le comunità nuragiche, lo stesso valore culturale e culturale dei pozzi sacri non costieri.

Dovevano essere connessi ai vicini approdi per l'approvvigionamento idrico delle imbarcazioni, isolate o straniere, che vi facevano sosta lungo le principali rotte commerciali passanti per la Sardegna.

Il loro ruolo però non doveva limitarsi alla fornitura d'acqua, ma il valore sacro-culturale doveva essere noto anche ai naviganti.

La navigazione antica era strettamente legata a religione e superstizione per i pericoli che i viaggi per mare comportavano, sappiamo dalle fonti che spesso ci si fermava a fare sacrifici e offerte agli dei per propiziarsi buone condizioni meteomarine.

I grandi navigatori fenici sostavano nei templi che avevano costruito in molti approdi del Mediterraneo, dedicavano offerte alle divinità, rifornivano le imbarcazioni, e vi avvenivano persino transazioni commerciali.

I pozzi sacri costieri in questione potrebbero aver avuto valenze di questo tipo.

È possibile che vi si praticassero culti legati alla navigazione, sia da parte delle comunità locali che di navigli di passaggio, i quali potevano fruire di ciò che i pozzi offrivano, dall'acqua al contatto col divino. Possono testimoniarlo gli oggetti votivi, di diversa epoca e provenienza, rinvenuti all'interno di alcuni di essi.

Considerato l'alto valore sacro e culturale che questi pozzi avevano per le genti nuragiche, potrebbero aver costituito strategici punti di incontro con le imbarcazioni mercantili di passaggio, che, facendo base nei vicini approdi, potevano fare rifornimento d'acqua, praticare i propri culti e avere rapporti commerciali o di scambio con le popolazioni locali.

I dati archeologici testimoniano che il loro utilizzo si è protratto, con lo stesso valore culturale, fino ad età storica avanzata.

Potrebbero esser stati controllati dalle stesse comunità che controllavano gli approdi, oppure la loro natura sacra li rendeva aperti a chiunque ne avesse bisogno.

Quel che appare abbastanza chiaro è lo stretto legame che dovevano avere con i vicini approdi, per i quali furono probabilmente costruiti.

## **Bibliografia**

- [1] Amucano M. A., *Il pozzo sacro Sa Testa-Olbia*, Olbia 2002.
- [2] Lo Schiavo F., “Olbia (Sassari). Loc. «Sa Testa», in AA.VV. “I Sardi. La Sardegna dal Paleolitico all’età romana”, Milano 1984, pp. 281-83.
- [3] Nicosia F., “Il pozzo sacro «Milis» (Golfo Aranci-Olbia)”, in AA.VV. “Preistoria e Protostoria della Sardegna centro-settentrionale. Guida alle escursioni XXII riunione Scientifica I.I.P.P”, Sassari 1978, pp. 31-32.
- [4] Panedda D., “L’agro di Olbia nel periodo preistorico, punico e romano”, Roma 1953.

# L'INDAGINE GEOFISICA PER LO SVILUPPO DI UN SITO ARCHEOLOGICO IN PROSSIMITÀ DELLA COSTA TIRRENICA: L'INSEDIAMENTO TERMALE DI PIETRATONDA (GROSSETO)

Giuliano Gabbani

Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze

Via La Pira 4 – 50121 FIRENZE

Tel +39552757517; e-mail: [giga@geo.unifi.it](mailto:giga@geo.unifi.it)

**Riassunto** - In questa sede viene presentata un'indagine geofisica di dettaglio, eseguita sul sito di Pietratonda nel Comune di Civitella Paganico (Gr), finalizzata alla conoscenza del sottosuolo. L'indagine ha ampliato il rilevamento dei resti di strutture murarie emergenti per poi impostare gli scavi archeologici necessari a mettere in luce i manufatti sepolti.

Vista la tipologia dei materiali rinvenuti nello scavo (marmi egizi e greci) si presuppone che questi manufatti siano stati portati via mare sino al porto limitrofo, localizzato nel golfo grossetano in quel tempo vicino all'insediamento di Roselle e che poi abbiano proseguito su barche (*lintres*) adatte alla navigazione dell'Ombrone fino al punto più prossimo alla zona archeologica.

Nel mese di febbraio 2004, il sito archeologico è stato esplorato eseguendo un'indagine con metodologia GPR (Ground Penetration Radar o più brevemente Georadar).

La metodologia di esplorazione Georadar è la più idonea per individuare strutture archeologiche sepolte da minimi spessori di copertura, con un buon rapporto tra superficie esplorabile nell'unità di tempo e rispondenza metodologica.

Lo scavo suggerito dalle indicazioni della campagna geofisica ha permesso di individuare numerose strutture sepolte.

***Abstract** - A detailed geophysical investigation performed on the site of Pietratonda in the area of Civitella Paganico (Gr), with the aim of gaining knowledge of the subsoil, is described. The investigation has extended the survey of the remains of emergent building structures in order to plan the necessary archaeological excavations necessary for displaying the buried artefacts. The typology of the materials recovered in one dig (Egyptian and Greek marbles) indicate that it is likely that these artefacts have actually been transported by sea to the nearby port, located in the Grosseto gulf, near the town of Roselle before continuing their journey on proper boats (lintres) for the navigation of the Ombrone river up to the archaeological area.*

*In February 2004, the archaeological site was investigated by means of a GPR (Ground Penetration Radar, or more shortly, Georadar). This type of instrument is the most appropriate for identifying archaeological structures buried under thin soils, as it presents the best ratio between investigated surface area in the unit of time and methodology. The excavation performed following the indications provided by the geophysical investigation discovered numerous buried artefacts.*

## Introduzione

Ad ovest di Paganico (GR), per la precisione a circa 4 km, lungo la boscosa vallata del Fosso Fogna, furono individuati all'inizio del Novecento in località Pietratonda i resti di un importante impianto termale di epoca romana. Sulla base delle caratteristiche della struttura muraria l'edificio può essere datato tra il I e il II secolo d.C. Nessuna attenzione è stata rivolta a questi ruderi fino ad ora. Negli anni intorno al 2000 invece si sono sviluppati studi multidisciplinari atti alla valorizzazione del sito.

Anche se ci sono ipotesi diverse e contraddittorie fra loro [1], [5] e [3] sulla posizione del porto che serviva l'odierna pianura di Grosseto, si può ragionevolmente affermare che il porto di approdo più vicino al sito archeologico di Pietratonda potesse essere considerato quello di Roselle [4].

In quel tempo esisteva, al posto della parte occidentale attuale della pianura di Grosseto un'insenatura marina che si spingeva fino ai primi contrafforti collinari, ove risiedevano i principali insediamenti etrusco/romani. La pianura è stata poi, in tempi successivi, riempita dai sedimenti, come si può vedere da una immagine Landsat TM (Figura 1 [4]), nella quale sono visibili gli accrescimenti dei cordoni dunali che hanno fatto avanzare la linea di costa fino alla posizione attuale.



Figura 1 – Immagine Landsat TM del 1/10/88; color composite Brightness, Greenness, Wetness (RGB) equalizzato. 1 = Lago Bernardo; 2 = paleoalvei del Fiume Ombrone; Poggetti Vecchi [4].

*Figure 1 – Landsat TM frame of 1/10/88; color composite Brightness, Greenness, Wetness (RGB) equalized. 1 = Bernardo Lake; 2 = Ombrone paleoriver; Poggetti Vecchi [4].*

L'Ombrone poteva essere considerato, dalla foce fino in prossimità di Paganico, navigabile dalle *lintres* (imbarcazioni dal fondo piatto). Per questo motivo il sito di Pietratonda si poteva considerare molto più vicino al mare di quanto non sia ora, vicinanza che veniva utilizzata per il trasporto, successivamente effettuato su strade consolari e vicinali, di materiali da costruzione rari e di provenienza greca ed egizia come sono stati rinvenuti nello scavo di Pietratonda

Lo studio si è sviluppato nell'ambito del progetto internazionale "UN LABORATORIO ALLE TERME" [2], ed è focalizzato sul sito archeologico termale di Pietratonda (GR), il Centro Culturale di Ateneo dell'Università di Firenze oltre ai rilievi geologici, geomorfologici ed idrografici dell'area fornendo una tipizzazione idrogeochimica delle acque presenti si è occupato anche dell'indagini geofisiche, che presentiamo in questa sede, atte all'individuazione delle strutture sepolte,

L'area oggetto di studio, come detto precedentemente è ubicata a circa 4 km a Ovest di Paganico ed ha una quota media di 102 m s.l.m. e la superficie si estende per circa 2,4 km<sup>2</sup>.



Figura 2 – Vasche di raccolta dell'acqua.  
*Figure 2 – Water collection basins.*

La zona archeologica è su depositi alluvionali, i clasti sono derivanti dall'alterazione delle arenarie del Verrucano; questi sedimenti presentano uno spessore valutabile sulla decina di metri.

Il sito archeologico, ritenuto un piccolo complesso termale, è caratterizzato da strutture murarie di epoca romana, in parte successivamente riutilizzate come ricoveri per animali ed in epoca recente affiancate da strutture adibite a rimessaggio. Adiacenti ad esse sono presenti due vasche di raccolta di acqua (Figura 2), forse sorgiva, che presentano temperature anomale (sopra la media) rispetto al fosso delle Carpinelle che scorre a sud dell'area.



Nel mese di febbraio 2004, il sito archeologico è stato esplorato eseguendo un'indagine con metodologia GPR (Ground Penetration Radar o più brevemente Georadar).

Scopo dell'indagine Georadar è stato quello di fornire indicazioni utili sull'eventuale presenza di strutture murarie non visibili in superficie ed individuare zone esterne ad esse con anomalie riconducibili ad altre strutture archeologiche. Tutto ciò per permettere una ottimizzazione delle campagne di scavo indicando le zone di presumibile presenza di reperti. La metodologia di esplorazione Georadar è la più idonea per individuare strutture archeologiche sepolte da minimi spessori di copertura, con un buon rapporto tra superficie esplorabile nell'unità di tempo e rispondenza metodologica.

In particolare la presente indagine è stata eseguita con antenna a risposta nominale in frequenza di 250 MHz idonea per raggiungere profondità di alcuni metri con potere risolutivo dell'ordine di alcuni decimetri (0.5 ÷ 1 m).

L'ubicazione delle indagini, l'elaborazione dei dati acquisiti e la sintesi dei risultati interpretativi hanno permesso di individuare anomalie di varie caratteristiche che hanno potuto indirizzare il gruppo di scavo su obiettivi ben definiti.

Lo scavo successivo alle indicazioni della campagna geofisica ha permesso di individuare strutture sepolte (Figura 3).



Figura 3 – Muro di cinta della villa dopo lo scavo.

Figure 3 – Wall of boundary of the villa after the excavation.

L'edificato presenta strutture in laterizi e in *opus reticulatum*. Il materiale utilizzato per piccole piramidi tronche che formano *l'opus* è costituito da materiale locale proveniente dalle anageniti del Verrucano (quarziti). Talora gli elementi di quarzite sono intercalati con altri di travertino.

Il riempimento dei muri portanti è stato realizzato con ciottoli quarzatici che appartengono alla formazione dei Conglomerati quaternari, sempre derivanti dal Verrucano, cementati con calce idraulica.

Durante la campagna di scavo sono state rinvenute piccole lastre di marmo di vari colori (bianco, fiorito, bardiglio) e due mattonelle esagonali di marmo bianco. Tutti questi marmi sono caratterizzati da xenoblasti le cui dimensioni indicano provenienza greca.

È stata inoltre riscontrata una lastra di Verde Antico, la cui probabile provenienza è egizia.

L'unico reperto, sempre in forma di lastra di probabile provenienza "locale", è un pezzo di marmo di colore ocre con xenoblasti tipici dei marmi gialli di "Siena" – Montagnola Senese.

## **Breve descrizione della metodologia utilizzata: Il metodo georadar**

L'esplorazione geofisica del sottosuolo mediante il metodo GEORADAR (Radar Geologico) o GPR (Ground Penetrating Radar) si basa sulla acquisizione di segnali elettromagnetici ad altissima frequenza che vengono generati da un apposito sistema, riflessi da superfici di discontinuità fisica e captati da una idonea antenna (di solito la stessa usata per l'emissione del segnale), il segnale è ricevuto da una antenna e campionato in forma digitale ad una elevatissima frequenza in un determinato intervallo di tempo.

La velocità di propagazione di questi segnali, pur diversa in funzione delle proprietà fisiche dei materiali, è generalmente molto elevata, dell'ordine di grandezza di quella della luce, pertanto i tempi di acquisizione di impulsi riflessi da discontinuità poste a pochi metri dalla antenna emittente sono estremamente piccoli ed i sistemi di acquisizione sono particolarmente sofisticati.

La profondità di penetrazione nel sottosuolo degli impulsi RADAR è strettamente legata alle caratteristiche del terreno per cui non può essere stimata senza avere informazioni sulla conducibilità e sulla costante dielettrica degli stessi: terreni molto conduttivi o saturi in acqua limitano fortemente la penetrazione del segnale, mentre terreni resistivi ed asciutti sono, invece, contesti in cui la profondità di indagine è molto elevata.

Un ulteriore elemento che influisce sulla profondità di indagine è la frequenza del segnale RADAR che per le indagini geologiche può variare da circa 20-40 MHz fino a 300-500 MHz; frequenze superiori sono destinate ad impieghi in settori delle costruzioni o dell'ingegneria civile.

Questa frequenza influisce in modo inverso sulla profondità di indagine, frequenze basse penetrano molto, frequenze alte penetrano poco. Per contro la diminuzione della frequenza e, di conseguenza l'aumento della lunghezza d'onda del segnale, portano ad una minore capacità di risoluzione: oggetti di pochi decimetri sono difficilmente rilevabili con segnali che hanno una lunghezza d'onda di qualche metro.

Nel caso specifico, per l'esecuzione del rilievo GEORADAR è stato utilizzato il sistema GPR-RAMAC della MALA GEOSCIENCE con antenna a 250 MHz.

La Figura 4 illustra un fase di acquisizione nella zona di indagine.

L'acquisizione digitale è stata a 16 bit e 512 campionamenti per scansione distribuiti su un arco di tempo di ricezione di 200 ns.

I dati vengono acquisiti direttamente in forma digitale su un PC portatile e riferiti ad una progressiva metrica lungo il profilo mediante un sistema di misura solidale alle ruote del kart di trasporto dell'antenna, ciò con precisione centimetrica. La traccia stessa è influenzata da vari tipi di disturbo a frequenza più bassa e più alta di quella del segnale utile.



Figura 4 – Acquisizione di un profilo georadar.  
*Figure 4 – Georadar profile acquisition.*

Nella fase di processing successiva si interviene al fine di eliminare i suddetti segnali indesiderati e di enfatizzare le situazioni di specifico interesse.

Dopo l'acquisizione i dati subiscono una fase di processing con il software REFLEX, con la quale un fattore di amplificazione variabile con il tempo di registrazione, questa operazione serve a recuperare la perdita di ampiezza del segnale in funzione del tempo, cioè della profondità di penetrazione.

Un'ulteriore operazione è quella del Filtraggio verticale Passa Banda (Band pass Frequency) ;questa operazione serve per eliminare i segnali derivanti da disturbo a frequenze fuori dalla banda di interesse, ad esempio un tremolio della traccia dovuto a disturbi ad alta frequenza; poi successivamente si effettua un Filtraggio 2D Tempo/Distanza (Background Removal). Serve ad eliminare un rumore di fondo di caratteristiche costanti all'interno di una finestra o sull'intera registrazione mediante la definizione di una traccia media tra le varie tracce che rientrano nella finestra o nell'intera sezione. Questa traccia viene, quindi, sottratta alle tracce della finestra o a tutte le tracce della sezione.

Il risultato finale del processing dei dati e Il radagramma riportato nella Figura 5 sottostante ove si evidenziano chiaramente anomalie (alla progressiva 200 m ad esempio) non visibili nelle acquisizioni non elaborate. La visualizzazione delle elaborazioni dei radagrammi è in modalità *wiggle*, cioè ogni traccia del radagramma è stata visualizzata come una linea poligonale (sinusoide) con fasi negative e positive.

La colorazione delle fasi ha seguito una scala cromatica che va dal ciano per quelle positive a blu per quelle negative. Questa al fine di mostrare le variazioni dei segnali georadar riflessi da discontinuità presenti a varie profondità, in funzione della progressiva metrica lungo il profilo.

La profondità di indagine segnata sul lato destro di ciascuna sezione deriva dal calcolo in base ai tempi di registrazione indicati a sinistra. Considerando una velocità di propagazione dell'onda elettromagnetica nel terreno di 0.08 m per nanosecondo, tenendo conto che i tempi indicati sono relativi al tempo di andata e ritorno dell'onda (*TWT=Two Way Time*), il percorso effettuato dall'onda in 200 ns è di 16 m che corrispondono a 8 m di profondità.

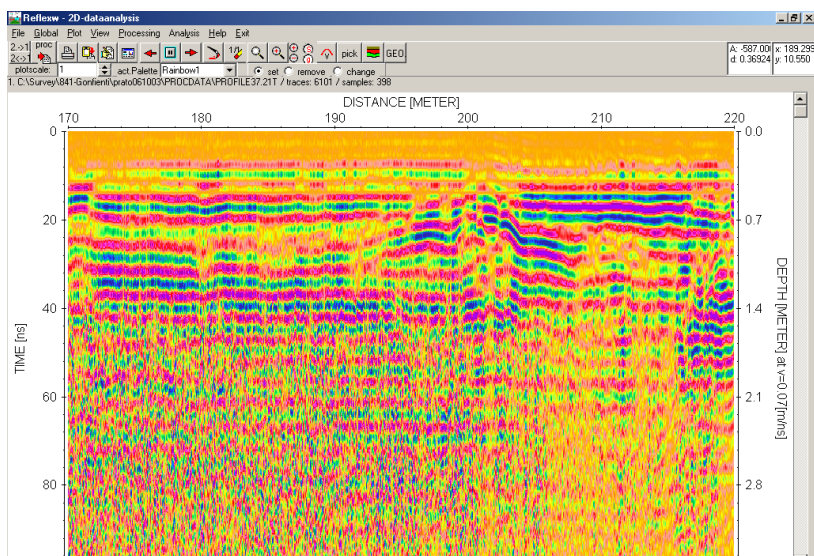


Figura 5 – Radagramma con un'evidente anomalia, alla progressiva 200 m, dovuta alla presenza di un muro a circa 60-70 cm di profondità.  
*Figure 5 – Radargram with a clear anomaly, to the progressive one 200 m, due in presence of a wall to about 60-70 cm of depth.*

Tuttavia questa è una conversione approssimativa in quanto la velocità reale è variabile in funzione di molti altri parametri (contenuto d'acqua, presenza di vuoti o di rocce compatte, ecc), ma il valore medio scelto si può ritenere valido per gran parte dell'area indagata.

## Acquisizione dati

L'area è stata indagata, compatibilmente con gli accessi disponibili, mediante 39 profili georadar, in totale sono stati eseguiti 1185 m di indagine distribuiti in modo abbastanza omogeneo all'interno delle zone di interesse.

Le indagini sono state concentrate soprattutto nell'area a nord delle vasche e dell'edificio principale, dove è stato possibile eseguire profili in due direzioni ortogonali secondo maglie abbastanza regolari. Profili con lunghezza ed interdistanza maggiori sono stati eseguiti lungo le strade di accesso e nei terreni adiacenti ad esse.

## Considerazioni sui risultati conseguiti

Nella fase interpretativa dei radargrammi sono state evidenziate due tipologie fondamentali di anomalie:

- di tipo puntuale: individuate da riflessioni a geometria molto limitata, e forma prevalentemente iperbolica.

- di tipo continuo: individuate da riflessioni abbastanza estese, a volte anche superiori a 15-20 m. Quando assumono tali dimensioni e profondità costanti si riferiscono a vere e proprie discontinuità fisiche del sottosuolo (variazioni litologiche).

Oltre a questa suddivisione principale è stato possibile operare un'ulteriore classificazione delle anomalie, in funzione della loro profondità da p.c. Infatti sia le anomalie di tipo puntuale che continue sono state individuate a profondità diverse nel sottosuolo. Nella fase interpretativa quindi sono state evidenziate anomalie superficiali, comprese entro 2 m dal p.c., e profonde, comprese tra 2 e 5 m dal p.c.

Nella Figura 6 che compare successivamente sono state ubicate le anomalie riscontrate suddivise in base alle classificazioni descritte sopra. In particolare il simbolo delle anomalie continue indica il centro del segnale anomalo riflesso.

Analizzando l'area esplorata si possono individuare delle zone con maggior densità spaziale di anomalie su cui è possibile fare delle considerazioni interpretative.

**Zona nord:** - sono presenti numerose anomalie superficiali di tipo puntuale. È da notare anche che parte di esse sono ascrivibili per geometria ed intensità a un oggetto di dimensioni notevoli e forma regolare (una probabile cisterna metallica, che nello scavo successivo è stata puntualmente rinvenuta).

**Zona delle strutture murarie antiche:** - la densità dei profili, purtroppo, è scarsa per la difficoltà di eseguire tracciati continui a causa di frequenti ostacoli. Tuttavia sono stati evidenziati dei punti caratterizzati da anomalie superficiali di tipo puntuale dovute a probabili continuità murarie delle strutture presenti. Sempre in questa zona, nella parte a confine con la proda del campo, sono evidenti anomalie superficiali continue correlabili con una possibile superficie regolare.

**Zona a sud delle strutture murarie:** - sono presenti in due zone distinte, sia anomalie superficiali puntuali che anomalie profonde continue. Le prime sono state correlate con degli allineamenti preferenziali a direzione sub parallela. Le anomalie profonde continue invece delimitano una zona abbastanza ampia (16 m x 5 m) in cui è possibile la presenza, a profondità superiori a 2 m dal p.c., di una superficie senza soluzione di continuità. Rivelatasi successivamente il pavimento del calidarium ove detto pavimento

appoggiava per mezzo di colonnine su un'altra intercapedine entro al quale scorreva l'aria calda prodotta dalla caldaia delle terme.

Oltre alle zone suddette, sono state individuate alcune anomalie lungo i profili esterni alle strutture murarie, che potrebbero rappresentare un target importante per verificarne la continuità esterna. Queste ad altre anomalie sono state correlate con degli allineamenti di possibile interesse archeologico, da verificare con interventi diretti di indagine.

È probabile che alcune anomalie evidenziate nella tavola, siano imputabili a elementi superficiali o a discontinuità morfologiche. Si consiglia quindi una loro verifica sul terreno per escludere una loro attribuzione ad anomalie di interesse archeologico.

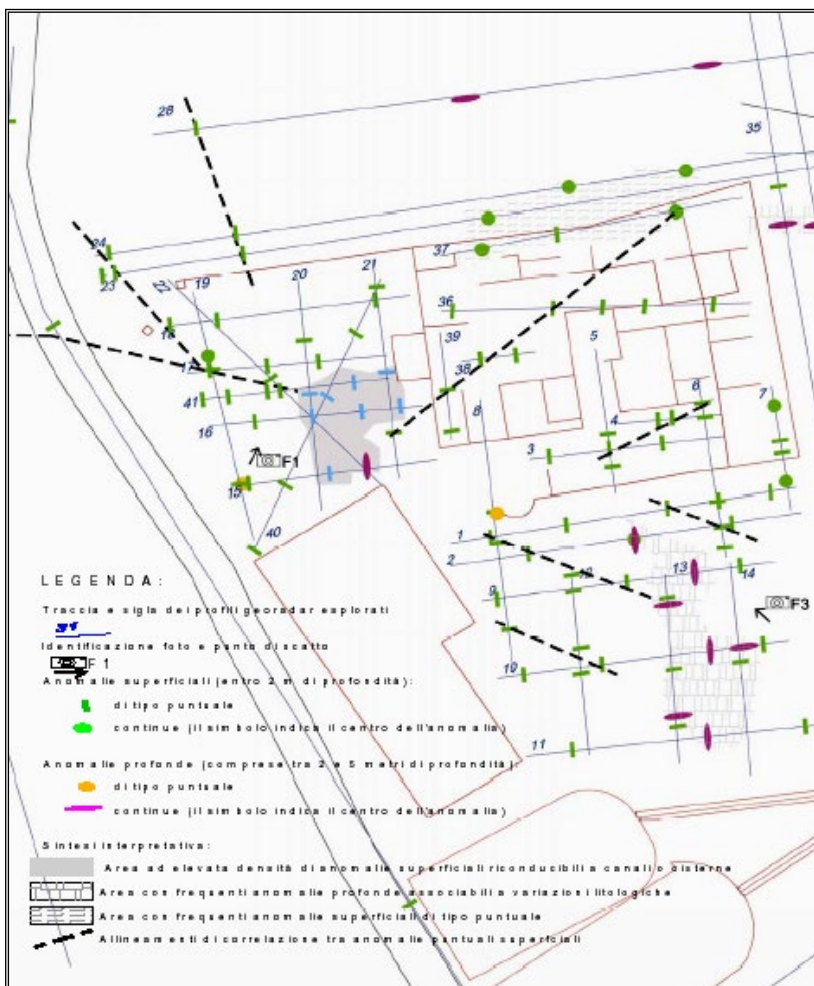


Figura 6 – Tracce dei profili radar e interpretazione delle anomalie.

Figure 6 – Radar profile tracks and anomalies interpretation.

## Bibliografia

- [1] Cardarelli R. – *Studi sulla topografia medievale dell'antico territorio vetuloniese*, StEtr, (1932), 145-240.
- [2] Gabbani G & Malesani P. - *Il rilevamento geologico nell'area archeologica di Pietratonda*, Atti del Quarto Meeting del progetto Cultura 2000 “Un laboratorio alle terme. Ricerca, valorizzazione e nuovi linguaggi di comunicazione applicati alle aree archeologiche termali”. (2004), Civitella Paganico.
- [3] Grant M. – *Le città e i metalli. Società e cultura degli Etruschi*, (1982), Firenze.
- [4] Luti R., Aminti P.L., Donati L. & Pranzini E. – *Ricerche sul territorio di Roselle per l'individuazione degli approdi esistiti dall'età etrusca a quella moderna.*, Science and technology for cultural heritage (2000) 9 (I.2), Istituti editoriali e poligrafici internazionali, Pisa – Roma, 15-65
- [5] Mazzolai A. – *Roselle e il suo territorio* (1960), Grosseto.

## SESSIONE QUINTA

# ANTROPIZZAZIONE COSTIERA, VALORIZZAZIONE SOCIO-ECONOMICA DEL TERRITORIO E RECUPERO AMBIENTALE

**Presidente: Ferdinando Jannuzzi**

**CNR - IBAF Unità Staccata di Napoli**

È giusto, come prima cosa, rendere merito a Fabrizio, ideatore e promotore di tutte le attività che sono state a monte di questa iniziativa che, come già si può vedere, hanno portato ad un risultato più che soddisfacente.

Con Fabrizio desidero anche ringraziare i componenti del Comitato Scientifico che si sono, del pari, impegnati e prodigati per la realizzazione di questo nostro Simposio.

La Sessione che mi è stata affidata “Antropizzazione costiera, valorizzazione socio-economica del territorio e recupero ambientale” ha senza dubbio una rilevanza notevole nell'ambito dell'intero momento di riflessione sui temi che stiamo trattando perché rappresenta, in maniera fin troppo evidente, la carenza di attenzione che nella maggior parte del territorio italiano Amministrazioni pubbliche e private, Enti territoriali ed Enti di Ricerca hanno dato alla gestione di un lembo del territorio nazionale la cui fragilità è di gran lunga superiore a quella di ogni altro sito.

I litorali sono soggetti, infatti, a giochi di forze naturali violente e contrastanti la cui incontrollabilità è resa vieppiù deflagrante dalla superficialità con cui l'uomo ha utilizzato, per fini spesso meschini e privi di una visione ampia e d'insieme, il territorio stesso.

Come Responsabile del Servizio di Ricerca e Sperimentazione sulle Aree Protette (SeRSAP) del C.N.R. - Area di Ricerca di Napoli dal 1992 e Direttore dell'Istituto di Pianificazione e Gestione del Territorio (I.Pi.Ge.T) dal '98 fino alla data della soppressione dell'organo (ignobile espressione di miopia scientifica e culturale dell'allora Consiglio Direttivo dell'Ente) e successivamente come Responsabile dell'Unità Operativa per la Pianificazione Territoriale e Ambientale nelle Aree Naturali Protette e anche come Vice-Presidente dell'Osservatorio Internazionale sulle Coste del Mediterraneo (OICoM), ho avuto da più di 10 anni motivo ed opportunità di dedicarmi, in collaborazione con valenti colleghi, sia universitari che del C.N.R. ancorché liberi professionisti, di questo grave e non sufficientemente approfondito problema.

L'occasione offertami da Fabrizio in questa sede di coordinare i lavori della Sessione mi è stata quindi particolarmente gradita e pertanto ritengo utile, dopo questa breve presentazione e dopo aver avuto l'opportunità di testimoniare della validità ed interesse scientifico di tutti i lavori presentati, sia verbalmente sia nella sessione poster, dare subito la parola agli oratori in calendario.

Nel complimentarmi con gli autori di essi per il lavoro svolto, ritengo utile, però, fare un'altra brevissima considerazione: la panoramica ampia ma certamente non esaustiva



che essi offrono nello studio delle tematiche e problematiche connesse all'antropizzazione spesso troppo selvaggia delle coste porta alla necessità, partendo proprio da questa prima tornata di lavori, di riunirci successivamente, magari anche per singoli gruppi tematici, per continuare nello studio e nell'approfondimento delle metodologie da porre in atto per tentare di mitigare i fenomeni di depauperamento di un bene che certamente possiamo annoverare fra quelli di non facile e immediata ricomposizione.

I primi sei lavori della Sessione “Antropizzazione Costiera, valorizzazione socio-economica del territorio e recupero ambientale” sono stati presentati oralmente, mentre i rimanenti cinque sono stati presentati nella sessione poster. In particolare il lavoro *Presenza turistica nell'Area Marina Protetta “Penisola del Sinis – Isola di Mal di Ventre” e i suoi effetti sulla fauna ittica costiera: utilizzo del video-visual census* è stato giudicato secondo classificato nella sessione poster in riferimento alla completezza, chiarezza e immediatezza dell'esposizione.

# ANALISI E RECUPERO AMBIENTALE DEL PARCO REGIONALE DEI CAMPI FLEGREI

Antonio Bertini<sup>1</sup>, Marco Guida<sup>2</sup>, Alessia Iannuzzi<sup>3</sup>, Filomena Maione<sup>4</sup>, Simona Picardi<sup>5</sup>,  
Fabrizio Pisani Massamormile<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Napoli “Federico II” Dipartimento di Urbanistica, via Forno Vecchio 36,  
80134 Napoli, Tel. 081 253 8636, e-mail: [abertini@unina.it](mailto:abertini@unina.it),

<sup>2</sup> Università degli Studi di Napoli “Federico II” Dipartimento di Igiene

<sup>3</sup> Lega Navale Pozzuoli, <sup>4</sup> Libero professionista

<sup>5</sup> Libero professionista, <sup>6</sup> Libero professionista

**Riassunto** - La civiltà industriale ha contribuito in modo determinante a deteriorare le caratteristiche delle acque e a limitarne le possibilità di utilizzazione. Negli ambienti acquatici i sedimenti, in particolare, sono utili testimoni dell’evoluzione temporale della pressione antropica mentre l’influenza dell’inquinamento sull’ecosistema acquatico lacustre e marino può essere valutata mediante lo studio delle alterazioni di diversi parametri tra i quali risulta determinante la caratterizzazione delle popolazioni microbiche e l’utilizzo di bioindicatori.

Partendo quindi dalle analisi chimiche, biologiche e microbiologiche delle acque antistanti l’abitato di Baia e del lago di Fusaro, interno al parco regionale dei Campi Flegrei, e dalle analisi urbanistiche del territorio circostante si pone l’obiettivo di individuare le cause che inducono condizioni di forte degrado dei luoghi al fine di individuare delle “buone pratiche” per migliorare le condizioni ambientali, naturali e antropiche.

***Abstract** - The industrial civilization has definitely influenced the pollution of sea waters and has contributed to limit their possibility of use. In marine ecosystems, sediments represent useful indicators of anthropical pressure evolution while the influence of pollution on aquatic ecosystems of seas and lakes can be measured by studying the variations of different parameters among which is most determinant the analysis of microbial populations and bioindicators.*

*Chemical, biological and microbical analysis of sea waters near the town of Baia, and of the lake Fusaro, that stands inside the regional park of Campi Flegrei, together with urbanistic studies of the surrounding territory were important to establish the causes that induce the actual situation of strong pollution and to identify proper methods to improve the environmental conditions.*

## Introduzione

Il territorio flegreo fin dall’epoca romana non solo era noto come uno dei luoghi di vacanza più apprezzati per il clima, le sorgenti termali e la bellezza della costa, ma era anche un centro portuale di notevole rilevanza. Negli ultimi cinquanta anni il connubio che si era creato nell’area tra la componente naturalistica e lo svolgimento di attività antropiche è andato man

mano deteriorandosi con fenomeni di urbanizzazione disordinata e inquinamento delle acque.

La Regione Campania ha avviato negli ultimi tre anni un processo di recupero e valorizzazione delle aree naturali presenti in Campania. Il Parco Regionale dei Campi Flegrei è uno degli otto parchi istituiti nel 2004. Oltre l'istituzione dei parchi terrestri, il Ministero dell'Ambiente ha legittimato l'esistenza di due parchi marini, il parco sommerso di Baia e quello della Gaiola. Un'altra iniziativa è il riconoscimento da parte della Comunità Europea di dodici siti di interesse comunitario che rafforzano l'intenzione della tutela per i Campi Flegrei. Tutte queste azioni si sono concretizzate negli ultimi mesi con l'assegnazione di consistenti finanziamenti attraverso il Progetto Integrato Territorio "Campi Flegrei". Oggi, quindi, esistono i presupposti per avviare utili analisi dell'area tese, in primo luogo, a ridurre le condizioni di degrado ambientale e successivamente favorire azioni di recupero e valorizzazione, finalizzate alla tutela del territorio. In questo contesto come area di studio è stata scelta quella coincidente con il Sito d'Importanza Comunitaria (SIC) "Lago del Fusaro".

L'analisi del territorio ha permesso di individuare la presenza di due macroambienti: la *seriazione evolutiva delle dune sabbiose* e la *vegetazione igrofila*. Il primo, tipico della costa bassa, è legato all'influenza del mare e lo ritroviamo tra il mare ed il lago; il secondo, zona paludosa, è legato alle acque interne e lo ritroviamo in modo significativo sulla sponda sud del lago. La *vegetazione igrofila*, a causa della forte antropizzazione, non è rappresentata con la naturale sequenza tipica di un ambiente lacustre.

Dal punto di vista geologico il lago ha origine vulcanica e rappresenta una delle tante bocche eruttive dell'ampia regione denominata "Campi Flegrei". A testimonianza degli antichi trascorsi sono presenti ancora oggi manifestazioni solfatariche ed idrotermali sia sulle colline a nord-est, in località "Mofeta", sia al di sotto del fondale, sotto forma di cospicue falde termali.

## Metodi

Tre sono le componenti di ricerca che hanno partecipato allo studio: quella urbanistica, quella naturalistica e quella chimico-biologica, ognuna con le sue metodiche. In particolare la componente urbanistica del gruppo ha inteso procedere attraverso analisi:

- di tipo storico, tese ad individuare l'evoluzione dei fenomeni urbani che si sono verificati nell'area;
- di tipo urbanistico, tese a contestualizzare l'area del SIC del Lago del Fusaro nell'ambiente urbano dei Campi Flegrei;
- di tipo socio-economico per individuare le attività, sia qualitative che quantitative, della popolazione che vive nell'area.

Lo studio si è articolato attraverso l'acquisizione, la consultazione, il confronto di materiale cartografico, la consultazione di materiale bibliografico, i sopralluoghi presso l'area del Lago del Fusaro e il confronto interdisciplinare tra i componenti del gruppo.

La componente naturalistica per la stesura di questo lavoro, ha consultato il Formulario standard - Natura 2000, stilata dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e il materiale inerente il progetto di "Restauro e riqualificazione del complesso borbonico del lago del Fusaro: restauro della banchina borbonica" del dott. Savino Mastrullo.

Le specie ornitiche presenti sono state censite con l'aiuto di un binocolo con risoluzione 8 x 40 ed ascoltando il loro canto.

Nella campagna di monitoraggio dell'ecosistema del lago Fusaro 2005/2006 è stata valutata la presenza di microinquinanti nella matrice acquosa sfruttando la sinergia di differenti mezzi d'indagine (chimica, biologica ed ecotossicologica).

Il problema legato alla presenza di tali composti consiste nel fatto che essi raramente provocano fenomeni di tossicità acuta; al contrario, essendo composti lipofili, possono accumularsi negli organismi acquatici, arrivando a concentrazioni, nei tessuti, fino a valori potenzialmente pericolosi, tali da alterare le normali funzioni vitali.

I parametri indagati sono:

- Metalli pesanti
- Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)
- Policlorobifenili (PCB)
- Granulometria dei sedimenti
- Fosforo totale
- Sostanza organica

Gli approcci utilizzati per valutare le concentrazioni in acqua di questi contaminanti sono essenzialmente tre:

- L'estrazione liquido/liquido della matrice acquosa con solventi non polari;
- L'impiego della SPE (*Solid Phase Extraction*);
- L'utilizzo di organismi bioindicatori come molluschi o pesci.

Sono state inoltre effettuate analisi ecotossicologiche utilizzando *Dunaliella tertiolecta* nel saggio algale ed il test di tossicità acuta con *Vibrio fischeri*.

Sono stati identificati due siti specifici all'interno dell'area lagunare; uno in prossimità della foce, che mette il lago in comunicazione con il mare di Bacoli, ed uno in un punto rappresentativo della situazione globale. In entrambi i siti sono stati posizionati, con apposite strutture di sostegno, i mitili e le membrane SPMD per un confronto tra le due tecniche di monitoraggio. Il sistema di indagine così allestito è stato esposto per la durata di 30 giorni al termine dei quali è stato prelevato e portato in laboratorio per le analisi. Inoltre, nei siti campionati sono stati prelevati campioni di acqua sia nel giorno in cui è stato allestito il "modello sperimentale di assorbimento", sia nel giorno in cui è stato rimosso al fine di poter effettuare le analisi ecotossicologiche sulla colonna d'acqua. Contemporaneamente sono stati effettuati prelievi di sedimento dei siti indagati sui quali si è proceduto con un'indagine chimica per la determinazione di IPA, PCB e metalli pesanti.

Il team multidisciplinare ha ritenuto necessario attivare un osservatorio sull'area del Lago del Fusaro nell'intento di registrare eventuali problematiche e verificare l'evolversi.

## **I Luoghi<sup>1</sup>**

Il proposto Sito di Importanza Comunitaria<sup>2</sup> (p.S.I.C.) del Fusaro ha una superficie di 192 ha, di cui 97 sono l'estensione dello specchio d'acqua del lago.

---

<sup>1</sup> Il paragrafo è stato curato dall'arch. Filomena Maione.

<sup>2</sup> Ad oggi sono state individuate da parte delle Regioni italiane 2255 aree naturali che, rispondendo ai requisiti della Direttiva "Habitat", sono state proposte dal nostro Paese alla Comunità Europea, come Siti di Importanza Comunitaria proposti (pSIC).

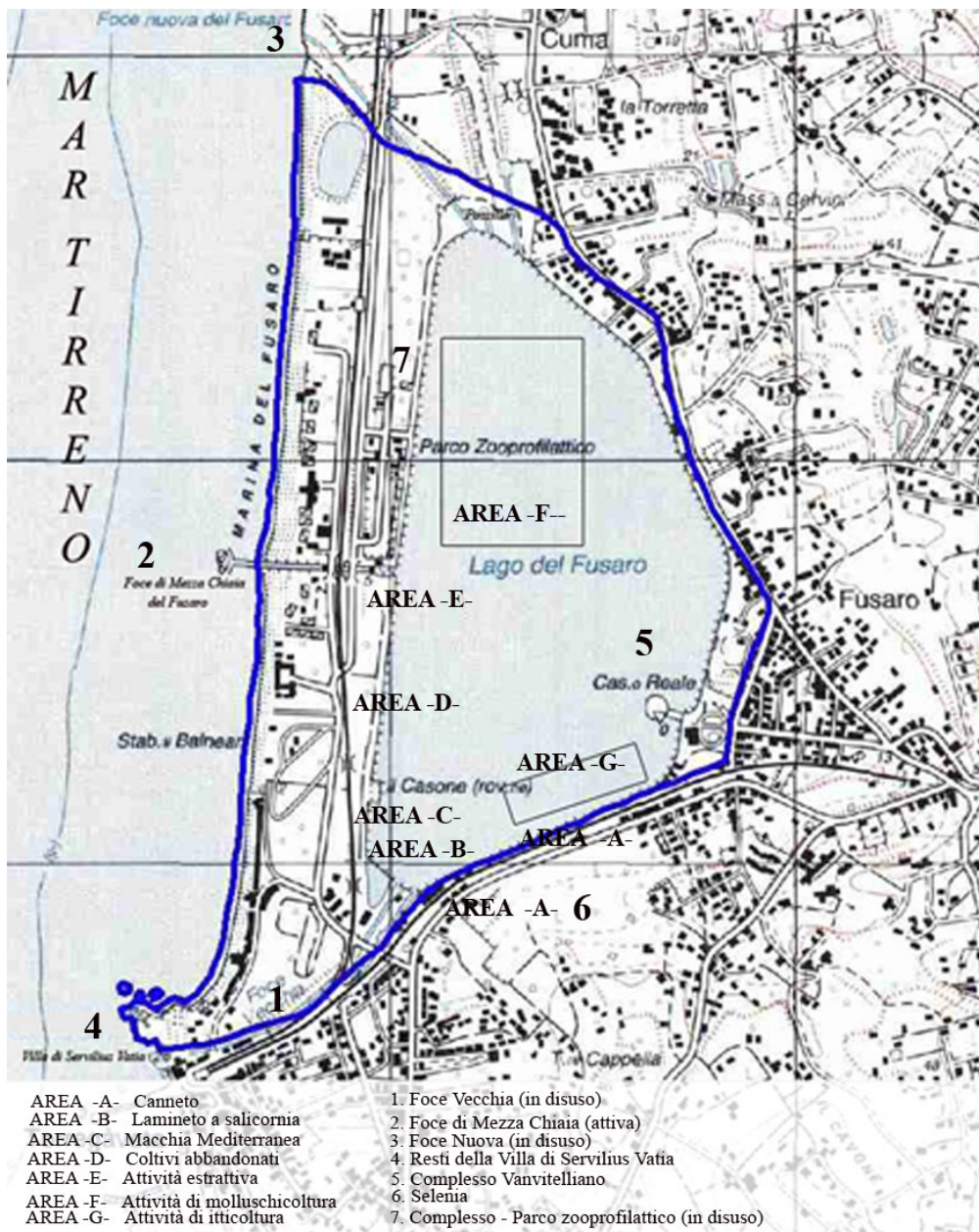


Figura 1 - L'area oggetto dello studio coincidente con il proposto Sito di Importanza Comunitaria "Lago del Fusaro".

Il bacino del lago è in comunicazione con il mare attraverso tre canali: la “foce vecchia”, posizionata sulla sponda sud – ovest del lago; la “foce nuova”<sup>3</sup>, posta a nord – ovest ed infine, la “foce di Mezza Chiaia”<sup>4</sup>, localizzata a metà della lingua di sabbia che divide il lago dal mare. La costruzione della “foce vecchia” è attribuita ai Romani, in seguito abbandonata e riaperta da Ferdinando I nel 1764. Nella perimetrazione del sito è inglobato, nella parte settentrionale, un piccolo agglomerato urbano che si articola in abitazioni sparse e piccoli sentieri d’accesso al lago. Nelle vicinanze dell’insediamento si trova la “Grotta dell’acqua”, antica costruzione di tufo diroccata da dove sgorga una sorgente di acqua termominerale, detta “Pozzillo”. Nella parte occidentale si trova il complesso vanvitelliano e il parco del lago. Tale complesso è composto dalla residenza reale di caccia del re Ferdinando IV, realizzata da Carlo Vanvitelli, che sorge su una banchina circolare protetta da blocchetti cubici di pietra.

Altra struttura del complesso è la “Villa del lago”(della anche “Ostrichina”), posizionata sulla terra ferma. Si accede ad essa dal viale principale del parco che conduce al ligneo ponte che collega la casina al parco. Il parco del real sito ospita varie specie naturali e l’ingresso è ricavato fra due fabbricati detti “Stalloni”, oggi sede del custode del complesso e di attività sociali. All’interno del complesso, nella parte meridionale del lago si rilevano manufatti di servizio in condizioni di degrado ed adibiti a depositi di barche e materiale ittico. La parte occidentale comprende l’istmo di terra che divide il mare dal lago. Se si esclude la parte più rocciosa, dove sorgono i resti della villa del console romano *Servilius Vatia*, il resto dell’istmo è una lingua di terra estremamente pianeggiante che si sviluppa in senso longitudinale. La fascia costiera è segnata sia dall’ unica strada carrabile di accesso al territorio, sia da un tratto della linea ferroviaria cumana<sup>5</sup>. Queste due infrastrutture separano la spiaggia dalla riva del lago. Nella parte prospiciente il mare vi sono una serie di stabilimenti attivi, realizzati con strutture fisse ed alcuni abbandonati. Nella parte che si affaccia sul lago, l’area che si estende dalla “foce di Mezza Chiaia” fino alla “foce nuova”, è occupata dalla struttura dell’Istituto zooprofilattico che fino agli anni ’70 -’80 era utilizzato come Parco di quarantena per animali esotici. Nell’area di pertinenza del parco si sono conservate inalterate, fino ad oggi, specie di macchia mediterranea.

La principale attività esercitata nelle acque salmastre del lago è l’acquacoltura. Gli impianti di produzione appartengono alla Società “Ittica Lago Fusaro”, sono posizionati nella parte settentrionale del bacino e sono destinati prevalentemente alla molluschicoltura. La parte restante della produzione interessa la piscicoltura.

## Fauna e flora

Dal punto di vista naturalistico la particolare distribuzione della fitocenosi ha permesso di suddividere l’area di studio in zone tracciate identificando la coltura

---

<sup>3</sup> Nei pressi della foce nuova si trova il laghetto di “Acqua Morta”, esistente nel settecento e colmato in parte di terreno, secondo il progetto del Galiani.

<sup>4</sup> Il canale di “Mezza Chiaia” venne scavato nel 1859 “per supplire alla deficiente circolazione delle acque del lago”.

<sup>5</sup> La linea Cumana, in esercizio fin dal 1889, collega su un tracciato costiero di circa 20 km il centro urbano della città di Napoli (quartiere Montesanto) con la località di Torregaveta nel comune di Bacoli.

prevalente: “canneto”, “lamineto a salicornia”, “macchia mediterranea”, “coltivi abbandonati e “attività estrattiva”.

**Canneto** - E' presente nella fascia circumlacuale compresa tra le sponde del lago e la linea ferroviaria della Cumana ed è fortemente antropizzata. Il canneto costituito da *Phragmites australis* e *Arundo donax*, rappresenta un residuo di vegetazione palustre. La manipolazione continua dell'uomo e la presenza di *Arundo donax* hanno permesso al canneto di assumere un carattere infestante e di perdere quello naturale di fragmiteto. Nelle zone abitate è stato possibile l'insediamento di specie ruderali-sinantropiche tra cui *Rapistrum rugosum*, *Cerastium glomeratum*, *Artemisia spp.* e dei rovi. Resti di vegetazione igrofila sono rappresentati da qualche esemplare di *giunco*. Tra la Foce Romana e la “pluviale” del Monte di Procida è presente un residuo di *spiaggia lacuste*. (vedi fig. 1)

**Lamineto a salicornia** - Dopo Foce Romana vi è una piana sottolivello, spesso inondata di acqua, dove riscontriamo la presenza di vegetazione igrofila ed alofita quale: *Atriplex spp.*, *Arthrocnemum fruticosum*, *Salicornia europea* e *Juncus spp.* che resistono nonostante la cementificazione e la presenza di rifiuti. A circoscrivere la depressione vi è una fascia di canne *Arundo donax* e *Phragmites australis*. (vedi fig. 1)

**Macchia mediterranea** - La macchia mediterranea è caratterizzata dalla presenza di specie diverse aggregate in modo confuso, sintomo di forte pressione antropica sull'ecosistema; infatti ritroviamo degli esemplari di *Phillyrea angustifolia*, la specie più rappresentata, alternate ad *Arundo donax* e *Phragmites australis* e *Juncus hybridus* e *Juncus maritimus* mentre il mirto, il leccio ecc. sono presenti come esemplari unici nel “Parco di Quarantena”. Sulla sponda sud, dove sono ubicate le abitazioni, troviamo specie ruderali-sinantropiche: *Rapistrum rugosum*, *Cerastium glomeratum*, *Artemisia spp.* e dei rovi. (vedi fig. 1)

**Coltivi abbandonati** - I coltivi, quasi tutti abbandonati, e condizioni di forte degrado ambientale danno spazio a specie sinantropiche ed ubiquiste quali *Papaver rhoeas* ed *Artemisia annua*, inoltre sono presenti il *Pelargonium zonale* e l'*Ipomea acuminata* sfuggite ai coltivi, e da una fascia di canne utilizzate dai contadini come frangivento e riparali. (vedi fig. 1)

**Attività estrattiva** - A ridosso della Foce Centrale, dove sono i resti delle apparecchiature estrattive, sono presenti dune antropiche. In questa area si riscontrano specie cosmopolite sinantropiche e la *Arundo donax*, utilizzate come fascia riparale tra la strada provinciale e la linea ferroviaria della Circumflegrea. (vedi fig. 1)

## **Check-List ornitica**

L'analisi del territorio ha rivelato la presenza di diversi habitat in grado di ospitare potenzialmente numerose specie avicole anche di rilevante importanza, ma la forte antropizzazione, l'inquinamento acustico ed il degrado ambientale non permettono l'insediamento di nuove specie avicole. Rileviamo attualmente la presenza di specie abituate all'uomo e che sfruttano i suoi rifiuti quali: la Gazza, la Passera d'Italia, lo Scricciolo, la Capinera, il Verzellino, il Tordo bottaccio, la Tortora dal collare orientale, la Cornacchia grigia ed il Fringuello ed inoltre specie caratteristiche della macchia mediterranea come il Tordo bottaccio. Dal confronto della tab. 1 e tab. 2 si evince che le specie avicole attualmente censite sono 28, mentre nel 1987 ne sono state censite 33.

Tabella 1 - Specie avicole censite nell'Aprile 2006.

Table 1 - Avicolous species taken a census in April 2006.

	<b>Nome scientifico</b>	<b>Nome comune</b>	<b>Fenologia e categoria</b>
1	<i>Parus major</i>	Cinciallegra	SB
2	<i>Parus coeruleus</i>	Cinciarella	SB
3	<i>Larus ridibundus</i>	Gabbiano comune	M reg. W
4	<i>Larus argentatus</i>	Gabbiano reale	S
5	<i>Larus melanocephalus</i>	Gabbiano corallino	M reg.
6	<i>Turdus merula</i>	Merlo	SB
7	<i>Gallinula chloropus</i>	Gallinella d'acqua	SB, M reg.
8	<i>Pica pica</i>	Gazza	SB
9	<i>Passer italie</i>	Passera d'Italia	SB
10	<i>Troglodytes troglodytes</i>	Scricciolo	SB
11	<i>Cettia cetti</i>	Usignolo di fiume	SB
12	<i>Ylvia atricapilla</i>	Capinera	SB
13	<i>Carduelis chloris</i>	Verdone	SB, M reg.
14	<i>Serinus serinus</i>	Verzellino	SB, M reg.
15	<i>Carduelis carduelis</i>	Cardellino	SB, M reg.
16	<i>Fulica atra</i>	Folaga	SB, M reg.
17	<i>Chlidonias niger</i>	Mignattino	M reg
18	<i>Turdus philomelos</i>	Tordo bottaccio	M, W
19	<i>Phalacrocorax carbo sinensis</i>	Cormorano continentale	M, W
20	<i>Streptopelia decaocto</i>	Tortora dal collare orientale	S
21	<i>Corvus corone</i>	Cornacchia grigia	M, W
22	<i>Cisticola juncidis</i>	Beccamoschino	SB
23	<i>Hirundo rustica</i>	Rondine	M reg
24	<i>Fringilla ceolebs</i>	Fringuello	SB, M reg.
25	<i>Alcedo atthis</i>	Martin pescatore	SB, M reg., W
26	<i>Sterna paradisea</i>	Sterna codalunga	M reg
27	<i>Sterna sandvicensis</i>	Beccapesci	M reg, W

B=nidificanti, W=vernanti, M=migratore, reg=regolare, S = specie sedentaria



Tabella 2 - Specie avicole censite 1983 – 1987.  
 Table 2 - Avicolous species taken a census from 1983 to 1987.

	<b>Nome scientifico</b>	<b>Nome Comune</b>	<b>Fenologia e categoria</b>
1	<i>Ixobrychus minutus</i>	Tarabusino	M, reg.
2	<i>Buteo buteo</i>	Poiana	M, reg. W
3	<i>Falco tinnunculus</i>	Gheppi	
4	<i>gallinula chloropus</i>	Gallinella d'acqua	SB, M reg.
5	<i>Fulica atra</i>	Folaga	SB, M reg.
6	<i>Streptopelia decaocto</i>	Tortora dal collare orientale	S
7	<i>Otus scops</i>	Assiolo	M reg. W
8	<i>Athene noctua</i>	Civetta	SB
9	<i>Strix aluco</i>	Allocco	SB
10	<i>Apus apus</i>	Rondone	M reg.
11	<i>Delichon urbica</i>	Balestruccio	M reg
12	<i>Motacilla alba</i>	Ballerina bianca	SB
13	<i>Troglodytes troglodytes</i>	Scricciolo	SB
14	<i>Luscinia megarhynchos</i>	Usignolo	SB
15	<i>Saxicola torquata</i>	Saltimpalo	M reg., W
16	<i>Monticola solitarius</i>	Passero solitario	S
17	<i>Turdus merula</i>	Merlo	SB
18	<i>Cettia cetti</i>	Usignolo di fiume	SB
19	<i>Cisticola juncidis</i>	Beccamoschino	SB
20	<i>Acrocephalus scirpaceus</i>	Cannaiola	M reg.
21	<i>Sylvia melanocephala</i>	Occhiocotto	M reg. SW
22	<i>sylvia communis</i>	Sterpazzola	M reg.
23	<i>Sylvia atricapilla</i>	Capinera	S
24	<i>Parus caeruleus</i>	Cinciarella	SB
25	<i>Parus major</i>	Cinciallegra	SB
26	<i>Certhia brachydactyla</i>	Rampichino	SB
27	<i>Lanius collurio</i>	Averla piccola	M reg.
28	<i>Passer domesticus italiae</i>	Passera d'Italia	SB, W
29	<i>Passer montanus</i>	Passera mattugia	SB, W
30	<i>Fringilla coelebs</i>	Fringuello	SB, M reg.
31	<i>Serinus serinus</i>	Verzellino	SB, M reg.
32	<i>Carduelis chloris</i>	Verdone	SB, M reg.
33	<i>Carduelis carduelis</i>	Cardellino	M reg. W

Tabella 3 - Rielaborazione della tabella “Mammiferi elencati nell'Allegato II della Direttiva 92/43/CEE” del Formulario standard. Natura 2000.

Table 3 - Editing of the chart "Mammalian listed in the Annex II of the Directive 92/43/EEC" from Standard Form. Nature 2000.

Codice	Nome scientifico	Nome comune	Valutazione sito			
			Popol.	Conservazione	Isolata	Globale
1303	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	pipistrello a ferro di cavallo minore	comune	eccellente	Popol. non isolata all'interno di una vasta fascia di distribuzione	eccellente
1304	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	pipistrello a ferro di cavallo maggiore	comune	eccellente	Popol. non isolata all'interno di una vasta fascia di distribuzione	eccellente
1324	<i>Myotis myotis</i>	pipistrello	comune	eccellente	Popol. non isolata all'interno di una vasta fascia di distribuzione	eccellente
1308	<i>Barbastella barbastellus</i>	pipistrello	comune	eccellente	Popol. non isolata all'interno di una vasta fascia di distribuzione	eccellente
1305	<i>Rhinolophus euryale</i>	pipistrello	comune	eccellente	Popol. non isolata all'interno di una vasta fascia di distribuzione	eccellente
1323	<i>Myotis bechsteini</i>	pipistrello	comune	eccellente	Popol. non isolata all'interno di una vasta fascia di distribuzione	eccellente

## L'osservatorio del Fusaro

Gli interventi previsti dall'unico piano regolatore vigente, che risale all'anno 1976, non sono mai stati realizzati. Il piano contemplava per il Fusaro "... uno studio per un adeguato intervento di disinquinamento e di recupero alla produttività...", prevedendo la stesura di piani privilegiati, mai attuati. Il Piano Territoriale Paesistico dei Campi Flegrei, redatto nel 1994 dalla Soprintendenza dei Beni Architettonici ed Ambientali, che sulla carta imponeva numerose limitazioni alle attività umane e che limitava qualsiasi alterazione nell'aspetto dei luoghi, non è riuscito a tutelare fino ad oggi l'integrità del paesaggio.

Il degrado rilevato, durante i sopralluoghi effettuati, ha evidenziato la presenza di scarichi abusivi, di discariche a cielo aperto, localizzati nelle vicinanze della casina vanvitelliana. Anche le attività agricole, praticate in zona, con l'uso di fertilizzanti e pesticidi contribuiscono allo stato di inquinamento del lago, compromettendo notevolmente l'equilibrio biologico delle acque. Anche la presenza dell'insediamento industriale della Selenia sulle sponde del lago contribuisce ad alterare il paesaggio flegreo; mentre il territorio circostante è caratterizzato da un'urbanizzazione disordinata che deturpa il valore paesaggistico dell'area.

L'ordinanza comunale di fine maggio, per il divieto di ogni attività di pesca e di commercializzazione di mitili e delle specie ittiche, chiarisce lo stato delle acque del Fusaro.

Di contro, negli ultimi mesi sono stati realizzati cinque interventi per la mitigazione dell'emergenza ambientale nell'ambito della sistemazione della rete fognaria nelle zone di Cappella e di Miliscola (località adiacenti al Fusaro).

All'inizio del 2006 è stato proposto anche un progetto che riguarda la riqualificazione del complesso vanvitelliano del lago e che prevede la realizzazione di una pista ciclabile, il restauro di tratti della banchina borbonica e, ove la componente naturalistica è prevalente, la conservazione dell'ambiente.

## **Risultati**

I primi risultati si basano sull'apporto scientifico da parte di diversi ambiti disciplinari, da quello urbanistico, geologico, a quello naturalistico e biologico. L'incrocio dei dati rilevati, durante lo studio dell'area, ha permesso la realizzazione di banche-dati da utilizzare come base per elaborare, in futuro, progetti tesi a migliorare le condizioni ambientali, naturali ed antropiche dei Campi Flegrei.

Quanto emerge dai risultati analitici ci consente di formulare le seguenti considerazioni: i PCB risultano assenti nel biota, nelle membrane ed anche nei sedimenti, i metalli risultano presenti con una minima variabilità in entrambi i siti. È utile notare le differenze, almeno per alcuni tipi di metalli, relativamente al sito 1, cioè alla foce. Ancora più significative sono le considerazioni che si possono desumere dai valori dei metalli determinati rispettivamente nel biota e nelle membrane, poste nei due siti di campionamento. Osservando i risultati ottenuti per queste ultime non si notano sostanziali differenze, mentre per quanto riguarda il biota si rilevano valori superiori a quelli rinvenuti per le membrane. I risultati ottenuti dalla determinazione degli IPA nei sedimenti ci permettono di notare delle notevoli differenze nel tempo per alcuni congeneri soprattutto al sito 1 (foce). Infatti i valori ottenuti dopo 30 giorni sono sostanzialmente più elevati, anche di un ordine di grandezza, rispetto a quelli ottenuti dal primo prelievo. Una situazione analoga si osserva per l'accumulo degli IPA nel biota e nelle membrane per le quali si sono ottenuti risultati di gran lunga più elevati rispetto ai mitili. L'analisi granulometrica effettuata sui sedimenti ci consente di caratterizzarli per i due rispettivi siti per cui, per quanto riguarda il sito 1 si può affermare che si tratta di un sedimento molto chiaro e sabbioso, mentre il sito due è più scuro e più limoso. I risultati relativi alla determinazione della sostanza organica ci consentono di affermare che i valori di carbonio organico (espressi in termini percentuali) presenti nel sito 1 e 2 sono rispettivamente 21.5 % e 18.5 %, considerando un valore di bianco di 11.2 %. Per quanto riguarda invece da determinazione del fosforo totale, i risultati finali, dopo lettura spettrofotometrica, sono rispettivamente 11.5 mg/l e 5.0 mg/l. infine i valori forniti dalle analisi ecotossicologiche non fanno altro che confermare i dati chimici, offrendo una visione ancora più chiara e utile a delineare lo stato ambientale del lago Fusaro. In effetti dal calcolo dell'EC50 sui diversi campioni si evince che il lago alla foce presenta uno stato di maggiore inquinamento, come intuitivamente ci si aspettava, dal momento che essa rappresenta lo sbocco a mare e quindi una vera e propria zona di transizione; invece per ciò che concerne il sito 2 sia col saggio algale con *Dunaliella tertiolecta*, sia con il test con *Vibrio fischeri*, si è potuto constatare uno stato di inquinamento apparentemente meno pronunciato in quanto si è osservato il fenomeno di biostimolazione, che è indice, in ogni caso, di una condizione lontana dalla "normalità".

## Conclusioni

I risultati sperimentali ci hanno permesso di definire lo stato ambientale del lago Fusaro, che si può riassumere nei seguenti punti:

- vi è sicuramente una situazione di degrado al livello della foce, la qual cosa impedisce anche il ricambio delle acque.
- Il lago presenta un elevato trofismo, che spiega l'interesse dell'uomo per questo ambiente, particolarmente adatto all'installazione di attività antropiche come la mitilicoltura. Tuttavia il persistere della condizione di eutrofismo cui è soggetto il bacino rende sempre più difficile il suo sfruttamento.
- La laguna è caratterizzata, soprattutto sul versante meridionale, da un'elevata densità abitativa. Gli scarichi delle abitazioni dovrebbero essere collegati alla rete fognaria comunale che giunge al depuratore di Cuma, ma non si può escludere la presenza di scarichi abusivi non solo dalle case, ma anche dalle numerose attività commerciali della zona. A questi si aggiungono gli scarichi di acqua ricca di fertilizzanti.

Il lago quindi dovrebbe rientrare nei piani di tutela della Regione Campania, il cui fine è quello di migliorare la qualità delle acque. Tenuto conto di tutto ciò si può affermare che solo un costante monitoraggio unitamente a una più attenta politica di gestione del territorio, può salvaguardare il sito, prevenire eventuali effetti di contaminazione e permettere l'utilizzo di questa risorsa ambientale.

## Ringraziamenti

Si ringraziano l'arch. Francesco Varone, il naturalista dott. Savino Mastrullo e l'ornitologo dott. Elio Esse, per la preziosa collaborazione e disponibilità.

## Bibliografia

- [1] A.A.V.V. - *“Secondo Rapporto sullo Stato dell'Ambiente”*, Provincia di Napoli – Assessorato all'Ambiente, II 2003, Napoli.
- [2] APAT, ARPAT, CTN AIM - *Linee guida per il monitoraggio delle acque di transizione ai sensi della Direttiva 2000/60/CE “Water Framework Directive”* 2003.
- [3] APAT, IRSA, CNR - *Metodi analitici per le acque. Manuali e Linee guida*, APAT 29/2003, 2003.
- [4] APAT, CTN NEB - *Indicatori e indici sullo stato di qualità delle zone umide*, 2004
- [5] Convenzione tra Comune di Bacoli -Assessorato Ambiente Dipartimento di Fisiologia Generale ed Ambientale, *Campagna di analisi sulle acque e sui sedimenti dei laghi Fusaro e Miseno*, 1998 Napoli.
- [6] ENEA - *“Schede descrittive dei laghi flegrei – elementi di primo inquadramento: Il lago Fusaro”*.
- [7] M. Fraissinet & M. Kalby (red.) - *Atlante degli uccelli nidificanti in Campania (1983-1987)*. Monografia n. 1. 1989, ASOIM, Napoli.

- [8] S. Mastrullo - "Restauro e riqualificazione del complesso borbonico del lago del Fusaro: restauro della banchina borbonica" (I SRN BCL 050), 2003-2006.
- [9] Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio - *Formulario standard. Natura 2000*.
- [10] P.M. Ray, A. T. Steeves, S. A. Fultz. - *Botanica*. 1985, Zanichelli, Bologna.
- [11] M. Rigillo Troncone - "Genesi ed evoluzione storica delle lagune flegree e del loro territorio" in *"Il controllo ambientale nei Campi Flegrei"*, 1989, Università di Napoli, Napoli

### **Siti Internet:**

<http://www.animalieanimali.it>

<http://www.istitutoveneto.it>

<http://www.hobbyuccelli.it>

<http://www.ittiofauna.org>

<http://www.minambiente.it>

## UNA IDEA PER LO SVILUPPO DI ATTIVITÀ TURISTICHE ECO-COMPATIBILI LUNGO LE COSTE ITALIANE

Marco L. Bianchini <sup>1</sup>, Sergio Ragonese <sup>2</sup>

<sup>1</sup> CNR – Ist. Biologia Agroambientale e Forestale, Via Salaria km 29.300,  
00016 Monterotondo (RM), tel. +39 06 90672539, fax +39 06 9064492,  
e-mail [bradipo50@yahoo.com](mailto:bradipo50@yahoo.com)

<sup>2</sup> CNR – Ist. Ambiente Marino Costiero, sez. di Mazara del Vallo (TP)

**Riassunto** - Le coste italiane si presentano talvolta piuttosto omogenee, con andamento geograficamente lineare, senza punti di riferimento per le attività diportistiche a breve raggio. Gli esseri umani sono però intrinsecamente tigmotropici, ricercano cioè conformazioni spaziali peculiari, una meta cui rivolgere sguardo ed aspettative. Per assecondare questa tendenza, viene proposta una struttura galleggiante multifunzionale, realizzata con le tecniche delle gabbie *off-shore* da acquacoltura; questo “atollo” dovrebbe servire da punto di riferimento per il piccolo diporto a vela e a motore, come “lago di pesca” per i pescatori sportivi (stocandolo con pesci di allevamento), piscina di mare aperto per la balneazione, stazione di sosta per le attività di pesca-turismo, luogo di ristoro per i naviganti, base per eventuali escursioni subacquee e appoggio per la didattica e la ricerca. Il modulo è composto da 4 gabbie di rete, del tipo sommersibile, in modo da sottrarle ad eventi atmosferici eccezionali e per il rimessaggio invernale *in loco*; la sua superficie complessiva si aggira intorno a 2500 m<sup>2</sup>. Un pontone, anch'esso sommersibile, accoglie un punto di ristoro con tavoli e sedie, mentre le apparecchiature elettriche, il pronto soccorso, la centrale di comunicazione, un piccolo “emporio” sono posti su una imbarcazione autonoma, la stessa usata dall’“equipaggio”. Ai bordi dell’atollo potrebbero associarsi una piccola barriera artificiale ed una prateria sintetica; in seguito, si potrebbe affondare nei pressi un relitto bonificato per escursioni con ARA. Poiché le attività ludico-sportive richiedono acqua non inquinata e trasparente, l’atollo dovrà essere posizionato relativamente al largo, con idoneo montante d’acqua ma comunque entro le 5 miglia. Una analisi preliminare suggerisce che il progetto è economicamente vantaggioso.

**Abstract** - *Non conventional project for sustainable touristic activities along Italian coasts. The Italian coastlines are sometimes shaped homogeneously, without references for short-range recreational boating. A multipurpose floating structure, based on the technology of the submersible cages for off-shore aquaculture, might satisfy the man's search for peculiar spatial conformations to where orient themselves and “settle” their activities. Such artificial “atoll” should become an attracting magnet for small boats, a rod-fishing facility (like a “fishing pond”), an open-sea swimming pool, a resting spot and a catering station, the starting base for scuba diving, an educational and research tool. The nodule is made of 4 submersible net cages (to be sunk to avoid storms and for in loco winter storage); a pontoon, also submersible, serves as supporting space. The feasibility study suggests that the initiative is economically viable.*

## Introduzione

Le coste italiane si presentano talvolta piuttosto omogenee, con andamento geograficamente lineare, senza punti di riferimento per le attività diportistiche a breve raggio (isole, promontori, insenature, etc.). Gli esseri umani, come i pesci, sono però intrinsecamente tigmotropici, ricercano cioè conformazioni spaziali peculiari cui dirigere ed “appoggiare” le proprie attività, una meta cui rivolgere lo sguardo e le aspettative [5].

Per assecondare questa tendenza, specie in aree di modesta valenza paesaggistica e senza conformazioni notevoli, viene proposta una struttura galleggiante multifunzionale, realizzata secondo le tecniche delle gabbie *off-shore* per l’acquacoltura [6]; questo “atollo” artificiale dovrebbe servire:

- come calamita per il piccolo diporto a vela ed a motore, ovvero come punto di riferimento e di attracco nel corso di qualsivoglia girovagare costiero;
- come attrazione per i pescatori dilettanti, similmente ad un “laghetto di pesca sportiva” in alto mare, stoccandolo con pesci di allevamento, quali orate e spigole, e scarti della pesca;
- come piscina di mare aperto per la balneazione, che offre l’impressione di nuotare “nel blu” senza però alcuna sensazione di insicurezza: l’introduzione nella “piscina” di alcuni pesci, anche di media e grande taglia (ad esempio ricciole, cernie, tonnetti, selaci) conferirà ulteriore novità all’esperienza;
- come stazione di sosta per le attività di pesca-turismo, una iniziativa che sta prendendo sempre più piede in Italia ed all’estero [10], e che mette in contatto il mondo della pesca artigianale professionale con gli attori turistici;
- come base per eventuali escursioni subacquee su ambienti naturali o appositamente predisposti;
- come luogo di ristoro per i naviganti, con tavoli e sedie, e la possibilità di consumare bevande, gelati, semplici spuntini preparati o a base del proprio pescato;
- come “spaccio” per la minuteria nautica e le attrezzature spicciole per la pesca;
- come strumento ed appoggio per la didattica ecologica e ambientale e per la ricerca scientifica ed applicata.

## La struttura

L’atollo (fig. 1) è composto da 4 gabbie di rete del tipo sommersibile [16], in modo da poterle sottrarre ad eventi atmosferici eccezionali che dovessero verificarsi durante i mesi di attività e per il rimessaggio invernale *in loco*; strutturalmente, poiché gli “ospiti” restano sulle proprie imbarcazioni, l’atollo ha requisiti di sicurezza limitati.

Un possibile disegno usa gabbie cilindriche di 18 m di diametro (perimetro circa 57 m, con una superficie di 250 m<sup>2</sup>) e 6 m di altezza (e quindi ciascuna gabbia occupa un volume di circa 1500 m<sup>3</sup>) tra loro collegate tramite una struttura reticolare, ed ancorate in modo calibrato alle locali condizioni meteorologiche di stagione estiva.

Un pontone di 15 m x 10 m, anch’esso sommersibile e di basso profilo, accoglie un punto di ristoro con tavoli e sedie; esso rimane libero di ruotare “a bandiera” intorno alla sua boa d’ancoraggio.

Un generatore e le apparecchiature elettriche, il pronto soccorso, la centrale di comunicazione, un piccolo “emporio” per la pesca e la nautica spicciola sono invece posti su una imbarcazione autonoma, la stessa usata per far giungere l’“equipaggio” sul luogo e per la sorveglianza e il servizio della struttura.

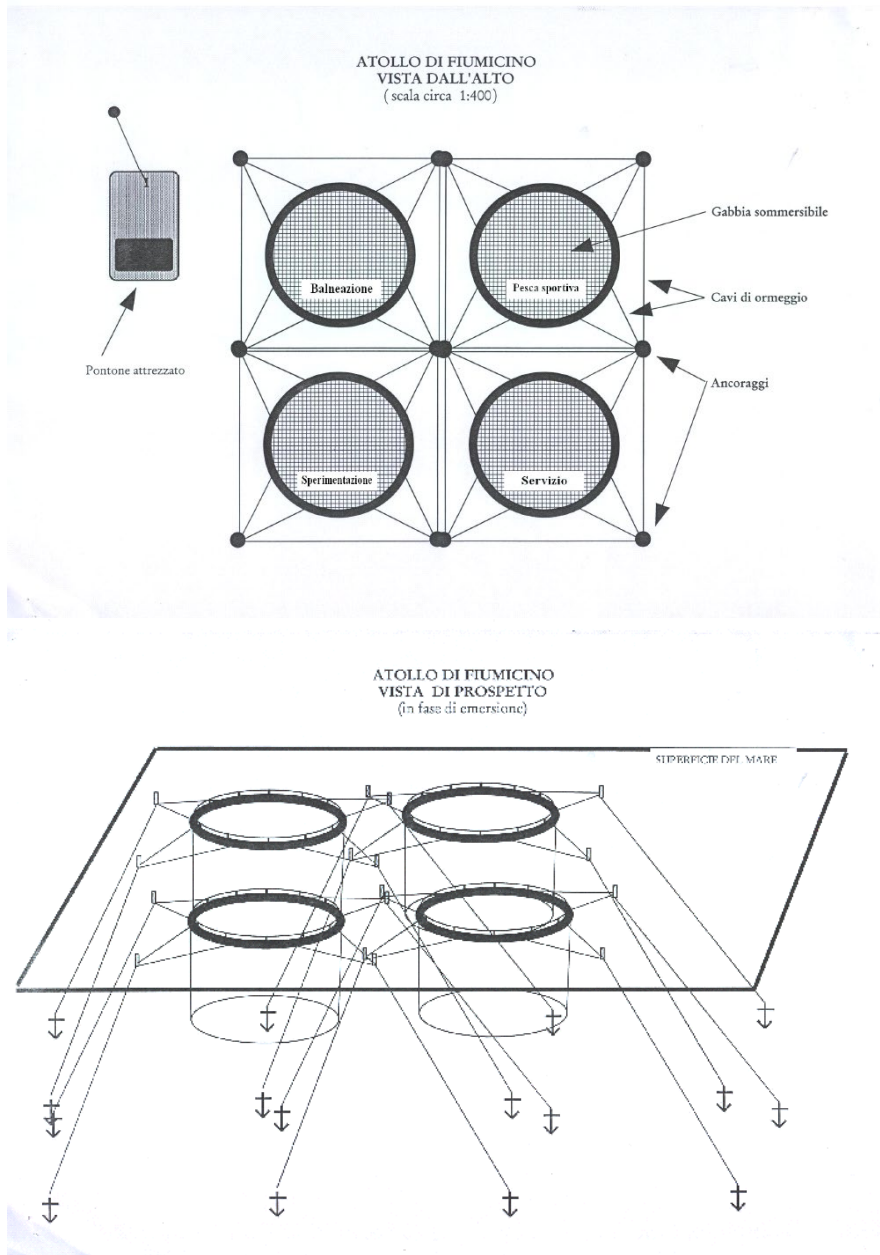


Figura 1 – Vista dall’alto e prospettiva del modulo base dell’“atollo” artificiale.  
*Top and side views of the artificial “atoll” module.*



Complessivamente, considerando un modulo composto di 4 unità, la lunghezza delle banchine per l'attracco delle barche dei clienti è di 250 m; la superficie totale da ottenere in concessione dal demanio è di circa  $2500 \div 3000 \text{ m}^2$ , di cui circa metà è effettivamente occupata dalle gabbie.

Una piccola barriera artificiale [15] ed una prateria sintetica, poste sul fondo nei pressi dell'atollo, contribuiranno ad innalzare il "valore ambientale" dell'intera impresa [2]; in seguito, un relitto (una vecchia barca bonificata od uno scafo costruito appositamente) [13] potrebbe venire affondato nelle vicinanze, per attirare escursioni subacquee con ARA a partire dalla struttura dell'atollo.

Poiché le attività ludico-sportive richiedono acqua non inquinata e condizioni di gradevole trasparenza e colore, l'atollo dovrà essere posizionato relativamente al largo, possibilmente in vista di terra (circa 3 miglia), ma in ogni caso entro le 5 miglia per restare nell'ambito della navigazione costiera; al fine di permettere una facile sommersione ed evitare l'eutrofizzazione del fondo, esso dovrà inoltre situarsi sopra un idoneo montante d'acqua, ossia su fondi di  $30 \div 50 \text{ m}$  di profondità [18].

*foto polarCirkel*



Figura 2 – Gabbie sommersibili per l'acquacoltura di mare aperto, e base di servizio.  
*Submersible net cages for off-shore aquaculture, and servicing base.*

## **La fattibilità economica**

L'analisi di fattibilità economica (tab. 1) si basa su gabbie sommersibili sostenute da tubi in polietilene ad alta densità HDPE (ad esempio i prodotti commerciali offerti da polarCirkel™, fig. 2), ancorate al largo in una idonea località italiana che goda, nei dintorni, di attività turistiche consolidate [8; 9].

Le spese d'investimento includono le gabbie, il loro trasporto ed ancoraggio, il pontone sommersibile, la barca di servizio con tutte le necessarie attrezzature, i costi di progetto e le tasse per le concessioni demaniali e locali; si può sperare che una simile iniziativa possa ottenere contributi e/o sussidi dall'Unione Europea e dalle amministrazioni nazionali e locali, che contribuirebbero ad alleviare i costi iniziali.

I costi di funzionamento includono i salari dei lavoratori stagionali, l'ammortamento, la manutenzione, le assicurazioni ed i costi bancari, il carico e mantenimento dei pesci e l'acquisto degli articoli da vendere ai clienti (esche, bevande, gelati, minuteria nautica e da pesca, etc.); una posta è stata prevista per coprire eventuali imprevisti, che possono essere consistenti nell'avvio di una simile nuova attività.

Le entrate si basano su una stagione di poco più di 2.5 mesi, da metà giugno all'inizio di settembre, con una affluenza giornaliera che va da 20 a 120 barche (bassa stagione verso week-end di alta stagione), per un totale di 5200 barche.giorno; i calcoli sono stati fatti supponendo 5 persone per barca, con una spesa di ciascun cliente di 15 € (quote per pescare e fare il bagno, più bevande e spuntini). Una ulteriore fonte di guadagno potrebbe risultare dall'uso della struttura per esperimenti, attività didattiche, etc.

Tabella 1 – Analisi di fattibilità economica del progetto “Atollo di Fiumicino”.  
*Economic feasibility analysis for the “Fiumicino’s atoll” project.*

INVESTIMENTO	
4 gabbie sommersibili (33 € per m <sup>3</sup> )	200000
istallazione (17 € per m <sup>3</sup> )	100000
pontone sommersibile	50000
barca di servizio	120000
altro (progetto, concessioni, diritti, etc.)	50000
imprevisti	50000
<b>totale investimento (senza contributi da enti pubblici)</b>	<b>570000</b>

FUNZIONAMENTO	
ammortamento (10 anni)	57000
personale (4 persone x 6 mesi)	61000
costi fissi (250 € al giorno)	21750
manutenzione (15 %)	85500
costi variabili (25 € per barca)	130000
imprevisti (15 % dei costi operativi)	44750
<b>costi annuali (circa)</b>	<b>400000</b>

ENTRATE						
	giorni di operazione	di cui fine settimana	barche.giorno			entrate
			base	WE	totale	
giugno	16	6	25	50	550	
luglio	31	8	50	100	1950	
agosto	31	10	60	120	2460	
settembre	9	2	20	40	200	
	87	26	circa		5200	390000
altro						55000
<b>totale entrate</b>						<b>445000</b>
<b>rendimento annuale</b>						<b>almeno 11 %</b>

La localizzazione di questo scenario è Fiumicino, un luogo di villeggiatura vicino Roma, con un potenziale bacino di utenza di 5 milioni di persone ed una flotta residente di 5000 imbarcazioni da diporto, più un discreto traffico dalle località viciniore; la fruizione dell'area è sia per soggiorni medio-lunghi che per il turismo pendolare giornaliero.

## Discussione

L'“atollo” proposto, un'isola galleggiante basata su tecnologie già disponibili (fig. 3), presenta diverse peculiarità che lo rendono più semplice e più sicuro (e ovviamente più economico) da operare che gli impianti commerciali di acquacoltura di mare aperto.

In effetti, la struttura fisica può essere più leggera perché l'atollo è disegnato per funzionare solo durante il periodo estivo e per essere riparato sott'acqua durante eventuali mareggiate e nella stagione invernale. Non c'è poi bisogno di numerosi e differenti giochi di reti di maglia crescente, perché solo pesci di taglia media o grande dovranno essere stoccati nelle gabbie (minore la dimensione della maglia, maggiore il peso della rete); e ancora, il limitato periodo di operazione contribuirà a ridurre la crescita di incrostazioni su cordami e reti. Inoltre, il fatto che i clienti rimangano soprattutto basati sulla propria barca limita anche i requisiti di sicurezza delle passerelle.

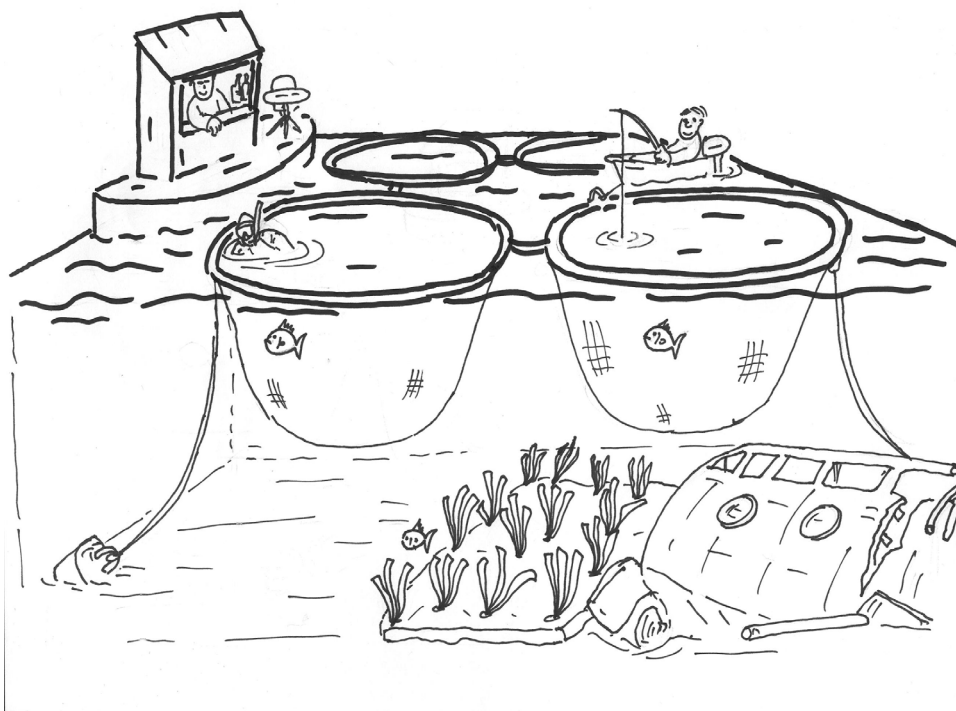


Figura 3 – Rappresentazione “artistica” dell’atollo artificiale in attività.  
*“Artistic” rendering of the artificial atoll in activity.*

Il basso carico di biomassa, di due ordini di grandezza inferiore agli usuali carichi di sfruttamento [3], necessari sia per nuotare “con i pesci” che per la pesca sportiva, minimizza il rischio di furti come pure le perdite dovute a possibili danni alle reti. Gli animali nelle gabbie provengono da aziende di acquacoltura commerciali o sono portati dai pescatori (scarti o catture di basso valore) [11] man mano che la cosa si rende necessaria; il modo di pesca “*put-and-take*” non prevede crescita e quindi il costo per l’alimentazione sarà solo marginale (tuttavia l’utilizzazione di un po’ di mangime va comunque prevista, perché pesci affamati sono di troppo facile cattura).

Oltre all’attività di pesca e di balneazione, il “negoziò in mezzo al mare” e il pontone per riposare e mangiare, anche nel corso delle escursioni di pesca-turismo, sono altre iniziative commerciali la cui novità dovrebbe attrarre clienti curiosi di ogni categoria.

La struttura agirà da polo di attrazione non solo per gli esseri umani, ma anche per i pesci [7], a causa dell’ombra e dei residui dell’alimentazione; i corpi morti usati per l’ancoraggio, agendo come una barriera artificiale, probabilmente stimoleranno anche un effettivo aumento della biomassa totale [17].

Un altro positivo impatto indiretto sull’ambiente deriva dal fatto che l’atollo rappresenta un ostacolo fisico allo strascico, con ciò rendendo l’area una “*no-take zone*” (NTZ), uno degli strumenti attualmente in uso nella gestione della pesca [4; 12].

Questo effetto diventerà ancora maggiore se e quando sarà affondato un relitto nei pressi dell’atollo, integrando tutti gli interventi per creare una reale “Area marina protetta” (MPA), dove tutte le attività sia commerciali che turistiche vengono regolate in una più ampia strategia di conservazione [1].

## Conclusioni

L’acquacoltura di mare aperto è una realtà in espansione in tutto il mondo [12]; la sua tecnologia può essere usata non solo per la produzione di cibo, ma anche per sviluppare un’attrazione turistica innovativa.

Lo studio di fattibilità suggerisce che l’iniziativa è economicamente redditizia, con una richiesta di investimento iniziale inferiore a 600000 € ed una stagione turistica di solo 2.5 mesi; inoltre, la modularità dei componenti consente di ampliare facilmente la struttura e di riprodurre l’impresa di base in altri siti idonei.

In conclusione, l’atollo galleggiante rappresenta una operazione commerciale ecocompatibile e sostenibile, in cui tecniche comuni e già disponibili sono integrate per produrre effetti positivi e sinergici sulle risorse marine, sull’ambiente e sulla fruizione turistica delle coste italiane.

## Bibliografia

- [1] Anonimo - *Scientific design and monitoring of Mediterranean marine protected areas*, CIESM Workshop Series (1999) 8, 64 p.
- [2] Agardy T.S. - *Marine protected areas and ocean conservation*, (1997), R.G. Landes/Academic Press (Austin TX).
- [3] Beveridge M.C.M. - *Cage aquaculture*, 2.<sup>nd</sup> ed. (1996), Fishing News Books.
- [4] Bianchini M.L., Giusto G.B., Morizzo G., Nardone G., Rollandi L., Ragonese S. - *Mapping wrecks and rough bottoms as a tool for identifying no-take zones and restoring degraded areas*, Biol. Mar. Medit. (2004) 11(3), 124.
- [5] Bianchini M.L., Spanò N., Profeta A., Camilleri M., Mosteiro A., Ragonese S. - *Protecting the resources while enhancing compatible tourism: a proposal for an integrated approach*, Proc. VII MedCoast (2005) 1, 195-204.
- [6] Ferrari P, Roncarati A., Dees A. - *Tecnologie e strutture per impianti di acquacoltura e di pesca sportiva*, (2003), Edizioni Greentime (Bologna), 199+15 p.
- [7] Giovanardi O., Rinaldi A. - *Effects of decommissioned offshore structures on renewable resources in the Adriatic Sea*, Proc. Offshore Mediterranean Conference OMC99, Ravenna, March 1999, 1121-1131.
- [8] Lisac D. - *Sea bream and sea bass offshore culture: investment and operating costs*, EAS Spec. Publ. (1991) 14, 185-195.
- [9] Lisac D., Muir J.F. - *Comparative economics of offshore and mariculture facilities*, Revue Options Médit. (2000) B 30, 203-211.
- [10] Mamone R., D'Ambra R., Dell'Aquila M., Fezzardi D., Fiore M., Maccaroni A., Mariani A., Paglino F., Rampacci M., Salerno G., Tancioni L. - *Prospettive di sviluppo del pesca-turismo: valutazione dei relativi impatti socioeconomici*, Biol. Mar. Medit. (1998) 5(3), 2418-2427.
- [11] Morton R., Tilbury B. - *Capture fisheries and aquaculture: opportunities for co-operation*, Australian Fisheries (1993) August, 20-23.
- [12] Muir J.F., Basurco B. - *Conclusions of the Mediterranean offshore mariculture course*, Revue Options Médit. (2000) B 30, 213-215.
- [13] Profeta A., Spanò N., Bianchini M.L., Nardone G., Iaria G., Ragonese S. - *Osservazioni sul popolamento ittico associato ad alcuni relitti nelle acque costiere siciliane*. Biol. Mar. Medit. (2006) 13(1), 752-755.
- [14] Ragonese S., Giusto G.B., Bianchini M.L., Morizzo G. - *Mapping natural and man-induced untrawlable grounds (no-take zones, NTZs) in view of managing the fisheries of the Straits of Sicily*, FAO-MedSudMed Techn. Doc. (2003), GCP/RER/010/ITA/MSM-TD-03.
- [15] Relini G., Relini M., Torchia G. - *La barriera artificiale di Loano*, Biol. Mar. Medit. (1994) 2(1), 21-64.
- [16] Scott D.C.B., Muir J.F. - *Offshore cage systems: a practical overview*, Revue Options Médit. (2000) B 30, 79-89.
- [17] Tunesi L., Diviacco G. - *Importance of artificial habitats for the fish assemblage composition in deep waters*, Biol. Mar. Medit. (2002) 9(2), 11-19.
- [18] Turner R. - *Offshore mariculture: site evaluation*, Revue Options Médit. (2000) B 30, 141-157.

# L'EVOLUZIONE DEL SISTEMA INSEDIATIVO COSTIERO CILENTANO E LE INSTABILITÀ GEOMORFOLOGICHE IN RAPPORTO ALLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E AMBIENTALE\*

Marina Maura Calandrelli<sup>1</sup>, Marcello Naimoli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CNR – Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale, Unità Staccata di Napoli, via P. Castellino 111, 80131 Napoli, Tel. 081 560 73 28, Fax. 081 560 58 35, e-mail: maura.calandrelli@ibaf.cnr.it

<sup>2</sup>Università di Napoli Federico II Facoltà di Architettura

**Riassunto** - La fascia costiera cilentana è inclusa nel Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano, un esclusivo paesaggio vivente, risultato dell'opera combinata della natura e dell'uomo, che, nell'organizzazione del territorio, nella trama dei percorsi, nella struttura delle coltivazioni e nel sistema degli insediamenti, conserva i caratteri tradizionali che lo hanno generato. Questo territorio pertanto può essere considerato emblematico per un lavoro di ricerca volto ad indagare non solo gli aspetti morfologici, geologici e florofaunistici, ma anche gli aspetti più squisitamente antropici, dai primi insediamenti del Paleolitico allo sviluppo urbanistico dei nostri giorni.

La nostra attenzione sarà focalizzata in un ambito ricadente nel tratto di costa del Parco compreso tra Punta Licosa e Punta degli Infreschi, particolarmente interessante dal punto di vista ambientale e geologico, nonché ricco di testimonianze storico-artistico-architettoniche tali da renderlo una delle principali mete turistiche dell'Italia Meridionale.

Nel Cilento le prime strutture antropiche del territorio, per la stretta aderenza alla morfologia naturale, hanno resistito alle variazioni indotte dagli interventi successivi, per cui è possibile, ancora oggi, recuperare molte delle stratificazioni più antiche. L'analisi e la conoscenza storica di tali stratificazioni sono strumenti essenziali per una migliore comprensione del territorio antropizzato, il quale troppo spesso risulta incompatibile con il contesto paesaggistico ambientale.

L'obiettivo del lavoro sarà quello di predisporre un modello interpretativo delle risorse naturali e ambientali connesse con il fattore antropico; si cercherà di evidenziare l'influenza che i diversi fattori e componenti ambientali hanno sull'opportunità di valorizzare e tutelare certi ambiti del territorio campano nell'ottica di un equo e sostenibile sviluppo socio-economico.

**Abstract** - *Wrap coastal cilentana is included in the National Park of the Cilento and Vallo di Diano, an exclusive living landscape, result of the arranged work of the nature and the man, than, in the organization of the territory, the weft of the distances, the structure of the cultivations and the system of the takeovers, conserve the traditional characters which have*

---

\* L'articolo è frutto di una riflessione comune dei due autori. In particolare si devono all'Arch. M. Naimoli i paragrafi relativi all'Introduzione e all'evoluzione del sistema insediativo del Cilento, mentre alla Dott.ssa M. M. Calandrelli quelli relativi alle Condizioni geomorfologiche-ambientali del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano e alle Instabilità geomorfologiche.

*generated it. This territory therefore can be considered emblematic for a research work face to inquire not only the morphologic, geologic and floro-faunistic aspects, but also the entropic ones, from the first takeovers of the Palaeolithic to the urbanite development of our days.*

*Our attention will be focused on a falling back within the feature of coast of the Park comprised between Punta Licosa and Punta of the Infreschi, particularly interesting from the environmental and geologic point of view, and rich of such historical-artistic-architectonic testimonies to render it one of the main tourist goals of the Southern Italy.*

*In the Cilento the first entropic structures of the territory, for the grip adhesion to the natural morphology, have resisted to the variations induced from the participations succeeded to you, for which it is possible, still today, to recover many of the old stratifications. Analysis and the historical acquaintance of such stratifications are essential instruments for a better understanding of the entropic territory, which too much often it turns out incompatible with the landscape context around them. The objective of the job will be to predispose an interpretative model of the natural resources and acclimatizes connected them with the entropic factor; and we will find to evidence the influence of that various factors and climate factors have on the opportunity to value and assure of the Campania territory of a fair and sustainable associate-economic development.*

## **Introduzione**

Il Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano, che ha un'estensione di 181048 ha, è stato istituito con la Legge n. 394 del 6/12/91 e perimetrato, per la prima volta, con il D.P.R. 5/08/1993. L'area protetta si colloca nella parte meridionale della provincia di Salerno in una regione geografica i cui limiti sono: a nord la piana del fiume Sele; ad est il corso del fiume Tanagro, affluente del Sele; a sud il Golfo di Policastro, ad ovest il tratto di costa tirrenica compreso tra la Baia di Trentova e Capo Palinuro.

Il Parco può essere suddiviso sotto il profilo geomorfologico in differenti ambiti, a seconda della zona di appartenenza.

L'ambito costiero è caratterizzato da un'alternanza di falesie, alture, spiagge, insenature e promontori interessati da fenomeni carsici e ricchi di grotte marine e sorgenti d'acqua dolce. L'ambito montano presenta una morfologia contraddistinta da rilievi montuosi con andamento Nord-Ovest/Sud-Est e degradanti verso il mare. Le cime più elevate come il Monte Cervati (1898 m), il Massiccio degli Alburni (1742 m) e il Monte Cocuzzo (1411 m) si trovano nella parte interna del territorio, mentre nella zona occidentale troviamo il Monte Sacro o Gelbison (1702 m), il Monte Stella (1131 m), e, più a sud, il Monte Bulgheria (1225 m).

L'ambito vallivo, caratterizzato dalla rete idrografica dei fiumi principali, è composto dall'estesa depressione del Vallo di Diano, lungo il fiume Tanagro, dall'alta Valle del fiume Calore, dalla Valle dell'Alento e dalle gole del fiume Mingardo.

Il sistema dei collegamenti è strutturato dall'autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria, che costeggia il Parco nella zona occidentale, e dalle numerose strade statali che, con percorsi tortuosi, attraversano l'area. Tra queste vi è la Statale SS.18 (Tirrena inferiore), che collega Agropoli a Policastro percorrendo il Vallo della Lucania; la Statale SS.166 degli Alburni, che attraversa il Cilento da San Rufo a Capaccio vecchio; la SS. 267 del Cilento, che collega lungo la costa Agropoli a Velia per poi innestarsi sulla SS. 447 per Palinuro ed, infine, la Statale SS. 488, che, in senso longitudinale, da Postiglione giunge a Vallo della Lucania.

La linea ferroviaria Napoli-Salerno-Reggio Calabria serve la zona costiera del Parco, mentre la Battipaglia-Lagonegro<sup>1</sup> lambisce il versante settentrionale degli Alburni, attraversando il Vallo di Diano.

I territori comunali che rientrano nell'area protetta sono ottanta, di cui soltanto ventotto interamente inclusi nel Parco. La popolazione complessiva residente è di 226.568 abitanti<sup>2</sup> (*vedi scheda n.1 in appendice*), la maggior parte distribuita in piccoli centri; se si escludono, infatti, i comuni di Capaccio, Agropoli, Vallo della Lucania e Roccaspide, la popolazione media dei centri urbani è compresa tra mille e duemila abitanti.

Il territorio protetto ricade in otto Comunità Montane (Alburni, Alento, Monte Stella, Bussento, Calore Salernitano, Gelbison e Cervati, Lambro e Mingardo, Tanagro, Vallo di Diano), mentre l'Autorità di Bacino competente è quella "Sinistra Sele".

Il Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano è sito Patrimonio Mondiale dell'Umanità e Riserva Mondiale della Biosfera (MAB UNESCO). Esso tutela diverse biotopi di notevole interesse naturalistico: coste marine, fiumi, macchia mediterranea, boschi mesofili, praterie montane, aree agricole e comprende ben ventisei Siti di Importanza Comunitaria<sup>3</sup> (S.I.C.), due dei quali sono parchi marini (il Parco marino di S.Maria di Castellabate e il Parco marino di Punta degli Infreschi), tre Zone di Protezione Speciale<sup>4</sup> (Z.P.S), due oasi W.W.F. e tre oasi di Legambiente (*vedi scheda n. 2 in appendice*).

## L'evoluzione del sistema insediativo del Cilento

Il Parco del Cilento e del Vallo di Diano, risultato dell'opera combinata della natura e dell'uomo, rientra nella categoria dei sistemi evolutivi, in quanto risultato di eventi storici, sociali, economici, artistici e spirituali. Esso rappresenta un paesaggio vivente che, nell'organizzazione del territorio, nella trama dei percorsi, nel controllo ed uso delle acque, nella struttura delle coltivazioni e nel sistema degli insediamenti, conserva i caratteri tradizionali che lo hanno generato.

Le prime strutture antropiche del territorio, per la stretta aderenza alla morfologia naturale, resistono alle variazioni indotte dagli interventi successivi, per cui è possibile, ancora oggi, recuperare molte delle stratificazioni più antiche.

Lo spazio abitato del Cilento antico è composto da un sistema di "luoghi" e da un sistema di "percorsi" topologicamente e morfologicamente ricco e ben organizzato. In un tale spazio policentrico s'individuano due macro-aree con caratteristiche differenti: quella interna, caratterizzata da una centro, relativo agli insediamenti urbani sviluppatasi intorno al massiccio del Monte Stella e quella esterna, con una organizzazione longitudinale del sistema dei luoghi,

---

<sup>1</sup> La linea Battipaglia – Lagonegro è permanentemente sospesa. Gli spostamenti avvengono con servizi sostitutivi delle Ferrovie dello Stato.

<sup>2</sup> Fonte dati Istat 01/01/2001.

<sup>3</sup> Sono siti definiti di interesse generale e prioritario dalla direttiva dell'Unione Europea 92/43 del Consiglio del 21/5/92 relativo alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali, della flora e della fauna selvatiche.

<sup>4</sup> Le Zone di Protezione Speciale sono designate ai sensi della direttiva 79/409/Cee e sono costituite da territori idonei per estensione e/o localizzazione geografica alla conservazione delle specie di uccelli di cui all'allegato I della direttiva citata, concernente la conservazione degli uccelli selvatici.



corrispondente agli insediamenti della fascia costiera. La centralità della prima area è espressa dal percorso ad andamento circolare che collega gli abitati disposti intorno al monte secondo una tipologia reticolare, in cui luoghi e percorsi risultano in costante equilibrio. Nessun insediamento architettonico-urbanistico assume un'individualità tanto forte e significativa da prevalere sugli altri come elemento primario e dominare i percorsi di accesso.

La longitudinalità della seconda ha la sua origine nei siti dell'antica rotta marina dei mercanti micenei del XIV secolo a.C. in prossimità di questi si svilupparono poi, in modo lineare lungo la costa, gli insediamenti della colonizzazione magno-greca (in [12] pp. 37-42).

Il sistema degli assi viari, da cui può cominciare la lettura critica dell'analisi della distribuzione dei luoghi urbani, è caratterizzato da percorsi di crinale principale integrato da altri di crinale secondario. Nel corso del tempo lo schema si arricchisce e si complica, evolvendosi verso un sistema circolare, dotato di una sua autonomia, rispetto a cui sono i percorsi costieri e di fondovalle ad assumere la funzione d'attraversamento e a garantire il rapporto con le aree esterne al Cilento (in [10] p. 14, pp. 25-26).

Analogamente ad altri estesi territori dell'Italia Meridionale, il Cilento rimane praticamente privo di una rete di collegamento viario sino all'età Murattiana (inizio XIX secolo) e pertanto la via del mare costituisce per secoli l'unica possibile per i commerci e gli scambi.

Con i Borboni prima e con gli interventi dello Stato Unitario poi, si costituisce nella seconda metà del secolo XIX la dorsale principale del tracciato viario classificato poi coi nome di Strada Statale 18. Questo lungo isolamento, soprattutto delle aree più interne dei Bacini dell'Alento, del Calore, del Lambro e del Mingardo, ha influenzato la tipologia degli insediamenti interni ed i loro caratteri architettonici.

A un paesaggio naturale variegato e dal folto mantello vegetale si sovrappongono in età storica gli abitati dei centri collinari e montuosi e quelli più antichi della fascia costiera.

La massima parte di questi si è andata formando a partire dal Basso Medioevo in età bizantina, longobarda e normanna intorno a un nucleo fortificato, anche se il massimo livello amministrativo e difensivo si raggiunge dopo la metà del XIII secolo con la ripartizione del territorio in contee operata dalla dominazione angioina.

Già a poca distanza dalla costa è facile rinvenire centri compattati intorno al vertice incastellato con i caratteri propri degli insediamenti più interni. In tutti prevale l'uso della pietra a vista e la geometria bloccata e rigorosa di età medioevale e, data la scarsa sismicità dell'area, si sono potuti conservare quasi tutti gli elementi tettonici della stratificazione. Su taluni casi di centri e villaggi abbandonati (S. Severino di Centola - Pattano Roscigno Vecchia) si possono meglio identificare e classificare i caratteri topomorfologici dell'insediamento originario di pianura e collinare.

È interessante notare come le forme e le tecniche edilizie di età barocca si siano limitate, essendo altrove capillarmente diffuse, al palazzo e alla chiesa.

I tipi edilizi più diffusi nell'area cilentana sono la casa a schiera derivante dalla formazione particellare del lotto gotico, il palazzo gentilizio, presente sia nel tessuto compatto e sia in zone esterne ai centri urbani e il casale agricolo [9].

In conclusione si può affermare che l'architettura cilentana, intesa sia come parte del tessuto storico sia come manufatto isolato, si presenta essenzialmente introversa e poco propensa a comunicare all'esterno la spazialità interna, ponendosi quindi in continuità con l'intero ambiente cilentano, quello stesso geografico, che pure nella dolcezza dei declivi e delle sponde marine rivela sempre una impervietà, una irraggiungibile impenetrabilità che ne alimenta nel tempo il mito.

## **Condizioni geomorfologiche-ambientali del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano e particolare della piana costiera tra Marina di Casalvelino e Ascea**

Il Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano si estende dalla costa tirrenica fino ai contrafforti dell'Appennino campano-lucano. Su questo territorio si ergono le cime del Cervati, degli Alburni, del Gelbison ed infine spiccano i rilievi costieri del Monte Bulgheria e del Monte Stella.

La morfologia è caratterizzata da rilievi montuosi che degradano verso il mare e dalla costa formata da una successione di falesie, spiagge, insenature e promontori interessati da fenomeni carsici che originano numerose grotte di straordinaria bellezza.

Le eccezionali condizioni geomorfologiche e climatiche favoriscono lo sviluppo di particolari habitat caratterizzati dalla ricca varietà floristica e da un'elevata diversità biologica.

La caratteristica morfologica del Cilento è data dalla contemporanea presenza dell'ambiente costiero, montano e vallivo. Il Cilento presenta una costituzione litologica movimentata: terreni argillosi nella fascia mediana s'insinuano tra banchi calcarei per lasciare spazio sulla fascia litoranea, dopo una breve pausa di materiali alluvionali, ad un tratto di rocce arenacee in corrispondenza del promontorio di Punta Licosa [2].

La piana costiera compresa tra i comuni di Casalvelino ed Ascea, caratterizzata dalla presenza della foce del F. Alento e del T. Fiumarella, si è formata a seguito degli apporti alluvionali provenienti dai due corsi d'acqua. In essa affiorano terreni appartenenti al Flysch del Cilento ed esattamente calcilutiti nerastre, calcareniti, siltiti, argille ed arenarie a formare la cosiddetta Formazione di Ascea. Largamente diffusi sono anche i terreni quaternari, costituiti da conglomerati e sabbie fluvio-torrentizio, terrazzati a varie quote, rappresentati dalla Formazione di Centola, e i depositi alluvionali costituiti da ghiaie e sabbie e da sedimenti di tipo fluvio-palustre formati da argille, limi, sabbie e ghiaie.

Per quanto riguarda i terreni marini e di transizione sono presenti depositi sabbiosi di spiaggia e di duna costiera di età olocenica ma anche di età storica, in quanto alcune dune ricoprono manufatti attribuibili al I millennio d.C.

Affiorano lungo i versanti della dorsale di Velia detriti di frana prevalentemente argillosi mentre in prossimità del raccordo tra il crinale di Castellammare di Velia e la piana del F. Alento sono presenti depositi eolici di età storica [11].

La dorsale di Velia, che funge da spartiacque tra la piana del F. Alento e quella del T. Fiumarella, è costituita da conglomerati a matrice sabbiosa della Formazione di Centola che poggiano sui terreni argillosi della Formazione di Ascea.

Dalle ricostruzioni paleoambientali si evince che il promontorio di Velia era proteso in mare e separava completamente le piane dell'Alento e della Fiumarella. Studi stratigrafici connessi alle ricerche archeologiche del sito di Velia, i cui manufatti risalgono al VI secolo a. C., hanno valutato che l'entità della progradazione costiera da questo periodo storico ad oggi è stimabile nell'ordine di 650 m e che il livello del mare era più basso di circa 3 m, infatti, le piane alluvionali dei due fiumi si sarebbero accresciute in corrispondenza del promontorio di Velia; i successivi alluvionamenti avrebbero solo determinato l'aggradazione della piana e la progradazione costiera fino a raggiungere l'attuale fisionomia.

Dai dati anemometrici analizzati negli ultimi 5 anni si evince che questo tratto di costa è esposto alle ondate provenienti da S e SW anche se la deriva litoranea prevalente va da NE a SW. Gli attacchi da parte del mare sono violenti con mareggiate di libeccio e mezzogiorno che

concorrono a rimodellare continuamente la costa. Questo tratto di costa è alimentato dagli apporti solidi, soprattutto di granulometria fine compresa tra lo 0,062 e i 2 mm, dei fiumi Alento e Fiumarella la cui entità risulta inefficace a contrastare la tendenza evolutiva in arretramento della linea di riva. In corrispondenza delle foci fluviali e parallele alla costa si formano diverse serie di cordoni sottomarini che originano pendenze del fondale marino dell'ordine dell'1,3 %. Sulla costa è facilmente identificabile la presenza di cordoni di dune antropizzate.

## **Instabilità geomorfologiche**

Per instabilità geomorfologica s'intende l'alterazione dell'aspetto fisico di una parte di territorio a causa di un processo degenerativo (frana, alluvione, erosione) ed è in diretta relazione con il carattere strutturale, geologico e idrogeologico delle formazioni interessate.

L'attuale fisionomia acquisita dalla regione cilentana rappresenta il prodotto risultante dal controllo strutturale e morfogenetico operato sui rilievi dalla tettonica recente e dalle vicissitudini climatiche; è evidente che esiste una netta disparità tra i massicci carbonatici ed i rilievi terrigeni.

Dallo studio degli aspetti idrogeologici, geolitologici, geomorfologici e dalla caratterizzazione delle coperture è possibile tracciare un quadro dei fenomeni franosi e alluvionali e, lungo la costa, dei processi erosivi in atto.

Per i fenomeni franosi e per quelli alluvionali sono stati utilizzati gli elaborati su scala 1:25000 prodotti dall'Autorità di Bacino Sinistra Sele, nell'ambito dello studio per la redazione del Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico. Si tratta di dati riferiti alla pericolosità dei fenomeni franosi e alluvionali.

La valutazione della pericolosità delle frane rappresenta il risultato della combinazione delle classi di franosità complessiva, individuate in 4 classi a valore crescente (moderato, medio, elevato, molto elevato), con le classi dello stato di attività (inattivo, quiescente, attivo) e prevede di assegnare a ciascuna frana un valore di pericolosità in funzione delle proprie caratteristiche di intensità e di stato di attività.

La complessiva rappresentazione della pericolosità da frana è data dalla sovrapposizione della pericolosità potenziale con la pericolosità reale delle frane.

Per la pericolosità alle alluvioni si distinguono 4 distinte aree a pericolosità decrescente: P4= pericolosità molto elevata, P3 = pericolosità elevata, P2 = pericolosità media, P1 = pericolosità moderata. Le fasce A e C rappresentano tratti di alvei che assicurano il libero deflusso della piena con tempi di ritorno rispettivamente pari a 100 e 300 anni, mentre le sottofasce B1 e B2 comprendono le aree inondabili da piene con tempi di ritorno inferiori ai 100 anni.

La figura 1 mostra, attraverso una personale rielaborazione dei dati, la distribuzione dei dissesti idrogeologici nell'area compresa tra Marina di Casalvelino e Marina di Ascea elaborata utilizzando la procedura GIS. L'area in esame si tratta di un lembo della macroarea collina litoranea che è solcata da una pianura alluvionale, che costituisce la valle del Fiume Alento, completamente pianeg-giante, irrigua e quindi di estremo interesse agricolo; è infatti presente un'attività agricola di tipo estensivo.

Si rinvengono lungo questo tratto su pendii terrazzati gli uliveti per lo più secolari. Si tratta di aree nelle quali l'olivicoltura ha il significato di protezione del territorio e di valenza ambientale-paesaggistica [3].

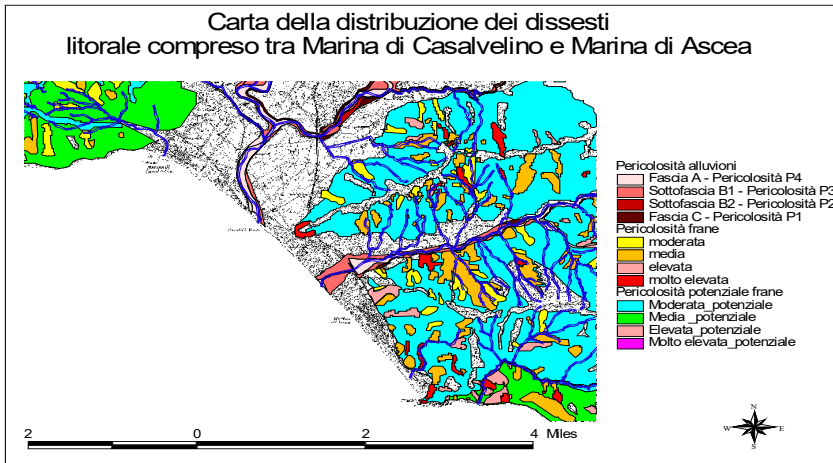


Figura 1 - Carta distribuzione dei dissesti (*elaborazione MM. Calandrelli*).

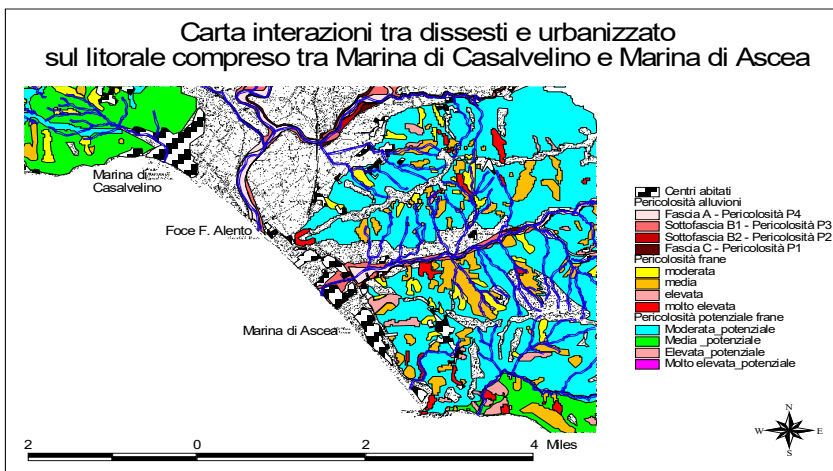


Figura 2 - Carta interazione dissesti e centri urbani (*elaborazione MM. Calandrelli*).

L'area urbanizzata è ripartita tra un tessuto urbano continuo costituito da pochi centri urbani più estesi e importanti quali Casalvelino e Ascea e da un tessuto urbano discontinuo rappresentato da unità residenziali sparse e accentrate soprattutto lungo la fascia costiera.

Sovrapponendo alla carta dei dissesti la carta della distribuzione dei centri urbani è possibile delimitare le aree maggiormente interessate dai fenomeni sopra citati che possono intervenire singolarmente o agire simultaneamente su alcune parti del territorio (figura 2).

Dall'analisi dei dati cartografici si evince che per il comune di Casalvelino non esiste una diffusa pericolosità reale all'inscospetto di frane, limitata ad isolate situazioni caratterizzate da un basso grado di pericolosità, mentre è presente un'ampia fascia a pericolosità potenziale di media intensità nell'area adiacente la frazione di Marina di Casalvelino; non è invece interessata da fenomeni alluvionali.

Il comune di Marina di Ascea si estende dalla foce del F. Alento fino a Torre del Telegrafo. I fenomeni franosi sono concentrati a monte del tracciato ferroviario che delimita la piana costiera verso l'interno. È caratterizzata da una pericolosità potenziale moderata sulla quale s'innesta una pericolosità reale abbastanza fitta e comprendenti le 4 classi di intensità. Le frane che presentano una pericolosità di intensità molto elevata sono localizzate lungo il versante della dorsale di Velia, in particolare al raccordo tra il crinale di Castellammare di Velia e la piana alluvionale del Fiume Alento.

È visibile, invece, un sostanzioso coinvolgimento dei centri urbani localizzati in prossimità della foce del Fiume Alento e lungo gran parte del tratto finale del Torrente Fiumarella, dai fenomeni alluvionali caratterizzati da una pericolosità elevata e interessante le aree inondabili compresi nella sottofascia B1. Altro fattore di instabilità è l'erosione delle coste marine, che diventa problematica quando si trova in conflitto con le attività umane [1].

L'area di studio rappresenta un tratto di costa bassa costituito da spiagge di tipo ghiaioso-sabbioso limitate verso l'interno da piane alluvionali. Il rifornimento dei detriti avviene a opera dei sedimenti alluvionali trasportati verso la costa dalle acque dei fiumi [13].

Questo naturale processo è stato però modificato dalla forte antropizzazione che ha interessato gran parte delle aree costiere negli ultimi 50 anni.

Dai dati raccolti dai censimenti ISTAT nel periodo compreso tra il 1961 ed il 2001 si evince che la popolazione del comune di Casalvelino è aumentata di circa 453 unità e presenta ancora oggi una continua crescita, anche se in maniera meno accelerata del passato; lo stesso dicasi per il comune di Ascea che si è accresciuto di circa 562 abitanti nello stesso lasso di tempo con una densità abitativa molto inferiore rispetto alla media provinciale e regionale.

Lungo la fascia costiera sono praticate attività legate al turismo che si manifesta con una forte presenza di strutture alberghiere la cui fruizione è di tipo stagionale e concentrata in particolare nei mesi estivi.

L'effetto di questo flusso turistico è dato dall'evoluzione della struttura residenziale che ha determinato l'aumento delle seconde case; infatti nel comune di Ascea solo 1977 case su 5479 sono destinate ai residenti, la differenza è rappresentata da case destinate alla locazione estiva. Nel comune di Casalvelino le abitazioni dei residenti sono 1652 su un totale di 4175 [6].

I più rilevanti esempi di manomissione con impatti negativi sul paesaggio, relegati alla preziosissima area costiera, sono dovuti al proliferare delle "seconde abitazioni" ad uso prettamente turistico e poco rispettose del paesaggio nel quale sono inserite. Ciò nonostante è ancora buona la sopravvivenza e la conservazione del ricco e vario patrimonio floristico e faunistico [8].

La costa ha risentito maggiormente le modificazioni apportate dall'urbanizzazione. La vegetazione caratteristica che sopravvive in aree limitate è rappresentata dalla macchia

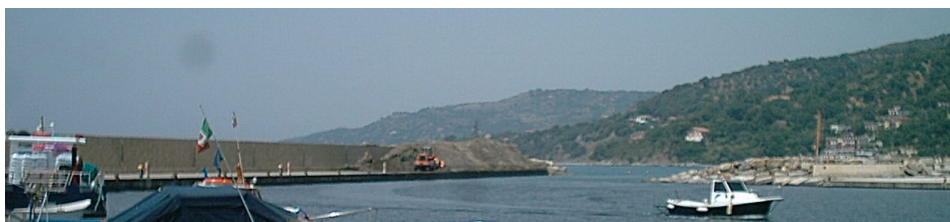


Figura 3 - Casalvelino: il porto, interventi di manutenzione (Foto di M. Calandrelli).

mediterranea con lentisco, mirto, corbezzolo, ginepro e lecceta. Le presenze floristiche più rappresentative consistono nel pino d'Aleppo e nella primula di Palinuro.

La fascia collinare litoranea è caratterizzata dalla coltura dell'olivo mentre verso l'interno sono estesi i boschi di latifoglie e, al di sopra dei 1000 m, di faggi.

Le caratteristiche del paesaggio e le tracce storico-artistiche e archeologiche rappresentano il motore trainante per l'industria del turismo.

La fascia costiera nelle ultime decine di anni ha acquisito una sempre maggiore importanza economica. Le conoscenze dei problemi ambientali di queste parti del territorio sono di importanza strategica per l'economia della zona, specie in considerazione della diffusa antropizzazione e urbanizzazione che ha spesso generato una tendenza a voler irrigidire la linea di costa. Infatti, la conformazione tipica delle località balneari mediterranee, che tende ad occupare progressivamente fasce parallele fino all'interno tutto lo spazio retrostante la battigia, è finalizzata al massimo sfruttamento di queste aree, dato il loro maggiore valore di mercato. Ciò costituisce uno sbarramento artificiale per tutti i fenomeni evolutivi del litorale il quale, non potendo adattarsi alle mutate condizioni ambientali, tende periodicamente ad essere devastato.

Per soddisfare la domanda turistica connessa alla nautica da diporto sono stati costruiti porticcioli e moli che hanno spesso modificato in modo irreversibile le dinamiche del trasporto litoraneo. Un esempio è dato proprio dal porto di Casalvelino di recente costruzione; esso è protetto verso mare da un molo di sopraflutto a tre bracci, orientati rispettivamente per S, SW e W, della lunghezza di circa 460 m, e da un molo di sottoflutto a due bracci, orientati per S e per SE, della lunghezza complessiva di 180 m, terminante con una larga testata triangolare attraccabile. A causa di un progressivo insabbiamento dello specchio d'acqua, causato dall'errata posizione del molo sopraflutto, i fondali presentano una profondità che subisce notevoli variazioni e per questo è soggetto a continui interventi di manutenzione che prevedono l'asportazione del materiale sabbioso in eccedenza.

La carta esposta in figura 4 è stata realizzata catalogando i dati riportati sull'Atlante delle Spiagge redatto dal CNR. Si evince che il tratto di costa compreso tra Marina di Casalvelino e Marina di Ascea è soggetto ad una tendenza di tipo recessivo imputabile ad una

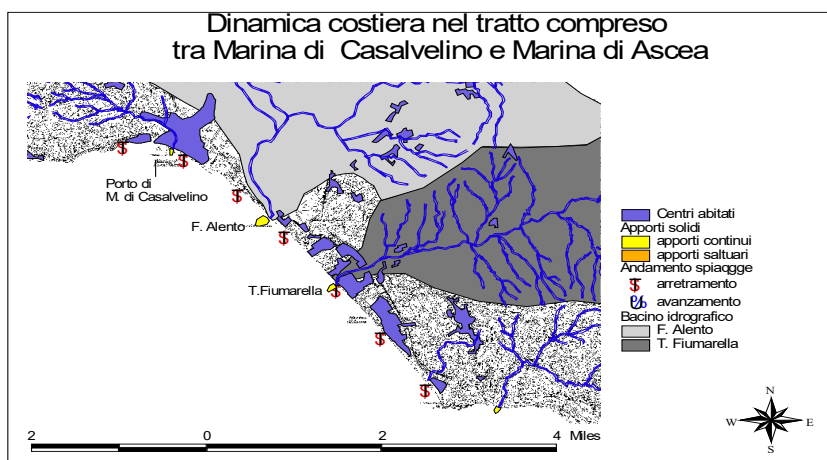


Figura 4 - Carta della dinamica litoranea (elaborazione MM. Calandrelli).

intensa attività umana sia nel bacino idrografico del F. Alento sia lungo la fascia costiera [4].

La carenza di sedimenti, utili a nutrire la spiaggia, può essere attribuita in parte ai fenomeni naturali in parte all'attività antropica. Da ricerche effettuate nell'area in esame, l'attività umana si è realizzata, già dall'inizio del '900, attraverso la costruzione di dighe sui corsi d'acqua, la regimazione di alvei e la realizzazione di canali, la sottrazione di inerti in alveo e, per ultimo, la costruzione di porti che ha impedito il regolare flusso di sedimenti lungo la costa.

Sono previsti lungo tutto il litorale interventi di mitigazione dell'erosione costiera e dei rischi ad essi connessi, mediante interventi di ripascimento di tipo protetto in celle attraverso la realizzazione di barriere sommerse longitudinali e di pennelli posti lateralmente alle foci dei due corsi d'acqua, allo scopo sia di contenere il materiale sabbioso deposto sull'arenile, sia di smorzare l'intensità del moto ondoso.

## Conclusioni

Nell'ambito di studi di carattere geomorfologico-ambientale sulla costa campana si è preso in esame il tratto litoraneo compreso tra Punta Licosa e Punta degli Infreschi, la cui estensione è di circa 120 km, condiviso tra 9 diverse amministrazioni comunali. Si tratta di un territorio accidentato, caratterizzato dalla presenza di alcuni massicci montuosi cospicui per dimensioni e conformazioni, percorso da rilevanti corsi d'acqua con i loro sistemi di affluenti e costituito da differenti litologie che determinano morfologie alquanto varie.

Per i suoi caratteri geo-litologici e geomorfologici, la fascia costiera cilentana è nello stesso tempo fonte di valori scenico-naturalistici di elevato valore e di dinamismi geo-ambientali che non di rado costituiscono fonte di pericolosità per l'uomo. Trattandosi di un'area protetta, sede del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano, la gestione dei valori e delle emergenze negative deve essere particolarmente attenta a conciliare gli obiettivi di valorizzazione delle risorse e di pubblica incolumità con quelli della tutela naturalistica.

Per questo le aree protette possono costituire a tutti gli effetti dei laboratori di sperimentazione di forme innovative di salvaguardia, gestione e pianificazione del paesaggio, fondate sull'interpretazione delle misure di tutela e conservazione del patrimonio naturale e culturale nelle politiche di sviluppo sostenibile del territorio.

L'evoluzione della piana compresa tra Marina di Casalvelino e Marina di Ascea è stata condizionata negli ultimi 100 anni dagli interventi antropici che hanno drasticamente ridotto la dinamica naturale. Tutto il litorale è caratterizzato da fenomeni di regressione, dovuti a fattori naturali e a fattori antropici, legati a interventi inadeguati sulla linea di costa o alla mancanza di apporti solidi da parte dei fiumi, dovuta alla sottrazione di inerti necessari alla costruzione di 6 dighe, mentre le regimazioni delle aste fluviali hanno aumentato il rischio dei fenomeni alluvionali e di esondazione.

La distribuzione degli eventi franosi, in relazione alle condizioni geologiche del territorio, mette in risalto che la pericolosità è da collegare a cause naturali e antropiche. Sicuramente i Flysch che costituiscono la principale componente dei rilievi cilentani rappresentano i terreni più vulnerabili. Ne consegue che tali instabilità costituiscono dei problemi di non facile soluzione vista l'estrema importanza ambientale ed economica del tratto litorale analizzato; possiamo, in questo contesto, suggerire alcune minime misure di mitigazione delle instabilità presenti e di valorizzazione di certi contesti ambientali.

Infatti, nell'ambito di progetti che riguardano la pianificazione territoriale ed

ambientale del territorio, si potranno esprimere pareri circa la necessità di realizzare interventi di ripascimento e di costruzione di barriere sommerse, che attualmente si ipotizzano, per ridurre i danni da arretramento delle spiagge. Bisognerà altresì tener conto anche di implicazioni biotiche, quali ad esempio, la protezione e valorizzazione dei pochi relitti integri di macchia mediterranea (anche come habitat delle specie animali che la popolano), dei posidonieti e di certi endemismi vegetali delle dune costiere.

In ambito collinare si potrà porre attenzione, tra l'altro, agli incrementi del rischio idrogeologico connesso alla recente diffusione di edifici sparsi in ambito rurale, che spesso incidono negativamente anche sulla qualità paesaggistica, ed al problema dei terrazzamenti agricoli in abbandono che incrementano di fatto la suscettibilità a franare dei pendii.

In ambito urbano sarà necessario effettuare la verifica degli spazi disponibili e geologicamente sicuri, per cercare di recuperare il disegno del tessuto urbano valorizzando alcuni elementi che lo caratterizzano, come ad esempio il sito emergente della Fondazione Alario, edificio risalente alla fine del 1700 o il Palazzo Ricci databile ai primi anni del 1800, e modificando alcuni elementi di disturbo come l'asse ferroviario che attraversa il territorio di Ascea Marina sovrapponendosi al sito archeologico di Velia.

## Bibliografia

- [1] Alexander D.E. - *Calamità naturali*, (1990), Pitagora Editrice, Bologna.
- [2] Anonimo, *Stili architettonici ed elementi costruttivi dei manufatti architettonici del territorio*
- [3] Autorità di Bacino Sinistra Sele, *Piano stralcio per l'assetto idrogeologico*, Regione Campania.
- [4] Cocco E., Musella F. - *Variazioni della riva e dinamica dei sedimenti tra Marina di Casalvelino e Marina di Ascea (Cilento, Campania)*, Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia, (1998), Vol. II, Genova, A.I.O.L., Picazzo M. (ed.), 341-350.
- [5] Fondi M., Franciosa L., Pedreschi L., Ruocco D. - *La casa rurale nella Campania*, (1964), Firenze.
- [6] Giannini G. - *La fascia compresa tra Marina di Casalvelino e Marina di Ascea: analisi tramite la metodologia SWOT*, in *Le coste salernitane*, a cura di F. Iannuzzi e M. Rosi, (2005), Giannini Editore, Napoli, pp. 205-211.
- [7] Gravagnuolo B. - *Architettura rurale e casali in Campania*, (1994), Napoli.
- [8] Leone U. - *Mutamenti del paesaggio e politiche dell'ambiente in Campania*, Boll.Soc.Geog.It., (2001), Roma, Serie XII, Vol. VI, pp. 457-465.
- [9] Martines R. Villani G.- (a cura di), *Catalogo delle tipologie di intervento architettonico nelle aree paesaggistiche del Cilento*, Beta Gamma Editrice, Viterbo 1998.
- [10] Mazzoleni D., Anzani G. - *Cilento Antico, I Luoghi dell'immaginario*, Electa, Napoli 1993.
- [11] Ortolani F., Pagliuca S. & Toccaceli R.M. - *Osservazioni sull'evoluzione geomorfologica nolocenica della piana costiera di Velia (Cilento, Campania) sulla base di nuovi rinvenimenti archeologici*, Congr. Fis. Dinam. Quat., (1991), 163-169.
- [12] Rosi A., "Le coste salernitane: breve profilo archeologico" in Rosi M., Iannuzzi F. (a cura di), *Le Coste Salernitane*, Giannini Editore, Napoli 2005.
- [13] Vallario A.- *Il dissesto idrogeologico in Campania*, (2001), CUEN, Napoli.



## APPENDICE

Scheda n.1 – I COMUNI DEL PARCO NAZIONALE DEL CILENTO E VALLO DI DIANO (Fonti: Istat, Ente Parco)							
N.	Comune	Pop. Res. al 01/01/2001	Pop. Res. al 20/10/1991	Andamento %	Superficie comunale complessiva (ha)	Superficie comunale protetta (ha)	%nel Parco
1	Agropoli	19.495	17.926	9	3.261	564	17,3
2	Aquara	1.831	1.958	-6	3.248	1.716	52,8
3	Ascea	5.469	5.186	5	3.763	3.763	100,0
4	Auletta	2.489	2.605	-4	3.564	227	6,4
5	Bellosguardo	1.024	1.165	-12	1.674	1.674	100,0
6	Buonabitacolo	2.729	2.825	-3	1.539	807	52,4
7	Camerota	6.969	7.322	-5	7.018	7.018	100,0
8	Campora	579	721	-20	2.890	2.890	100,0
9	Cannalunga	1.147	1.127	2	1.768	1.768	100,0
10	Capaccio	20.833	18.503	13	11.156	1.662	14,9
11	Casal Velino	4.602	4.464	3	3.179	1.603	50,4
12	Casalbuono	1.486	1.553	-4	3.445	1.280	37,2
13	Casaletto Spartano	1.676	1.905	-12	7.017	5.200	74,1
14	Caselle in Pittari	2.283	2.402	-5	4.462	3.282	73,6
15	Castel San Lorenzo	3.033	3.229	-6	1.411	241	17,1
16	Castelcivita	2.251	2.426	-7	5.733	3.516	61,3
17	Castellabate	7.636	7.414	3	3.701	3.701	100,0
18	Castelnuovo Cilento	2.261	2.158	5	1.815	320	17,6
19	Celle di Bulgheria	2.145	2.240	-4	3.154	3.154	100,0
20	Centola	4.944	4.805	3	4.754	4.754	100,0
21	Ceraso	2.583	3.055	-15	4.598	2.998	65,2
22	Cicerale	1.357	1.567	-13	4.112	968	23,5
23	Controne	1.000	1.047	-4	757	375	49,5
24	Corleto Monforte	785	965	-19	5.877	5.877	100,0
25	Cuccaro Vetere	645	695	-7	1.754	1.537	87,6
26	Felitto	1.434	1.578	-9	4.109	4.109	100,0
27	Futani	1.339	1.484	-10	1.488	1.136	76,3
28	Gioi	1.563	1.697	-8	2.805	2.250	80,2
29	Giungano	1.174	1.063	10	1.157	98	8,5
30	Laureana Cilento	1.117	1.105	1	1.369	509	37,2
31	Laurino	1.980	2.252	-12	6.994	6.994	100,0
32	Laurito	977	1.066	-8	1.993	1.103	55,3
33	Lustra	1.169	1.189	-2	1.511	397	26,3
34	Magliano Vetere	885	1.024	-14	2.256	2.256	100,0
35	Moio della Civitella	1.913	1.802	6	1.694	1.263	74,6
36	Montano Antilia	2.549	2.664	-4	3.341	1.328	39,7
37	Monte San Giacomo	1.659	2.050	-19	5.145	4.317	83,9

(continua)

(segue)

38	Montecorice	2.533	2.440	4	2.213	2.213	100,0
39	Monteforte Cilento	649	694	-6	2.201	2.201	100,0
40	Montesano sulla Marcellana	7.673	7.720	-1	10.936	552	5,0
41	Morigerati	830	877	-5	2.153	1.711	79,5
42	Novi Velia	2.108	2.015	5	3.464	3.464	100,0
43	Omignano	1.524	1.542	-1	1.017	484	47,6
44	Orria	1.312	1.443	-9	2.634	2.634	100,0
45	Ottati	833	998	-17	5.320	5.320	100,0
46	Perdifumo	1.844	1.873	-2	2.367	2.367	100,0
47	Perito	1.134	1.189	-5	2.381	712	29,9
48	Petina	1.294	1.352	-4	3.512	1.846	52,6
49	Piaggine	1.769	2.056	-14	6.231	6.231	100,0
50	Pisciotta	3.026	3.324	-9	3.073	3.073	100,0
51	Polla	5.559	5.635	-1	4.712	1.235	26,2
52	Pollica	2.624	2.912	-10	2.789	2.789	100,0
53	Postiglione	2.437	2.605	-6	4.800	1.263	26,3
54	Roccadaspide	7.429	7.519	-1	6.432	2.426	37,7
55	Roccalgoriosa	2.113	2.167	-2	4.223	2.536	60,1
56	Rofrano	2.160	2.304	-6	5.885	4.600	78,2
57	Roscigno	1.019	1.147	-11	1.486	1.486	100,0
58	Sacco	731	905	-19	2.367	2.367	100,0
59	Salento	2.074	2.136	-3	2.377	591	24,9
60	San Giovanni a Piro	4.002	4.414	-9	3.777	2.120	56,1
61	San Mauro Cilento	993	1.079	-8	1.512	1.512	100,0
62	San Mauro La Bruca	815	939	-13	1.893	1.893	100,0
63	San Pietro al Tanag.	1.669	1.686	-1	1.530	428	28,0
64	San Rufo	1.941	1.919	1	3.162	1.940	61,4
65	Santa Marina	3.355	3.285	2	2.823	85	3,0
66	Sant'Angelo a Fas.	812	989	-18	3.235	3.235	100,0
67	Sant'Arsenio	3.009	3.099	-3	2.019	644	31,9
68	Sanza	3.000	3.071	-2	12.711	11.353	89,3
69	Sassano	5.336	5.337	0	4.727	2.934	62,1
70	Serramezzana	398	441	-10	721	721	100,0
71	Sessa Cilento	1.507	1.628	-7	1.803	1.240	68,8
72	Sicignano degli Alb.	3.810	4.018	-5	8.045	1.572	19,5
73	Stella Cilento	874	908	-4	1.438	1.228	85,4
74	Stio	1.117	1.169	-4	2.446	2.446	100,0
75	Teggiano	8.251	8.582	-4	6.161	2.640	42,9
76	Torre Orsaia	2.419	2.718	-11	2.375	152	6,4
77	Tortorella	626	717	-13	4.969	519	10,4
78	Trentinara	1.807	1.781	1	2.338	1.981	84,7
79	Valle dell'Angelo	423	545	-22	3.701	3.701	100,0
80	Vallo della Lucania	8.718	8.142	7	2.509	875	34,9
	<b>TOTALE</b>	<b>226.568</b>	<b>229.557</b>	<b>-5</b>	<b>285.980</b>	<b>181.975</b>	<b>63,6</b>

Scheda n.2 - **AREE NATURALI PROTETTE**  
(Fonti: Ente Parco, Istat)

<b>N.</b>		<b>Sito</b>	<b>Superficie (ha)</b>
1	<b>SITI DI INTERESSE COMUNITARIO (S.I.C.)</b>	Alta valle del fiume Bussento	64
2		Alta valle del fiume Calore Salernitano	360
3		Balze di Teggiano	450
4		Capo Palinuro	175
5		Fascia interna di costa degli Infreschi e della Masseta	900
6		Fiume Alento	175
7		Fiume Mingardo	135
8		Grotta di Morigerati	< 1
9		Isola di Licosa	1
10		Montagne di Casalbuono	14.500
11		Monte Bulgheria	5.200
12		Monte Cervati, M.Centaurino e Montagne di Laurino	30.000
13		Monte della Stella	1.100
14		Monte Licosa e dintorni	1.200
15		Monte Motola	4.500
16		Monte Sacro e dintorni	8.000
17		Monte Soprano e Monte Vesole	5400
18		Monte Tresino e dintorni	1.000
19		Monti Alburni	26.000
20		Parco marino di S.Maria di Castellabate	5.800
21		Parco marino di Punta degli Infreschi	5.200
22		Pareti rocciose di cala del Cefalo	< 1
23		Pineta di Sant'Iconio	350
24		Rupi costiere della costa degli Infreschi e della Masseta	< 1
25		Scoglio del Mingardo e Spiaggia di Cala del Cefalo	< 1
26		Stazione a Genista Cilentana di Ascea	15
1	<b>(Z.P.S.)</b>	Capo Palinuro	159
2		Monti Alburni	23.882
3		Gole del fiume Calore Salernitano	1.360
1	<b>OASI WWF</b>	Grotte del Bussento	607
2		Gole del Calore	150
1	<b>OASI LEGAMBIENTE</b>	Oasi dunale Torre di Mare	11
2		Rifugio di Roscigno	
3		Oasi del Frassineto	

## L'HABITAT DUNALE COSTIERO: UN LABORATORIO PER PROGETTARE IL FUTURO

Giuliana Campioni Ferrara<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Studio Ferrara Associati, Via Ghibellina 81 – 50122, Firenze – Tel. 0552476221, Fax. 055244153,  
e-mail: [giuliana.campioni@tiscali.it](mailto:giuliana.campioni@tiscali.it), [http: www.ferrarassociati.it](http://www.ferrarassociati.it)

**Riassunto** - Sul litorale di Villasimius l'insediamento di piante psammofile e il successivo consolidamento ad opera di ginepri e specie sclerofilliche ha favorito la formazione di rilevati dunali in un'associazione tanto significativa sotto il profilo ambientale, quanto espressiva dei processi degradativi dovuti alla attuale pressione antropica. L'argomento della comunicazione riguarda le politiche da avviare, le attività da promuovere, le risorse umane da mobilitare per progettare il futuro di questo contesto rappresentativo delle coste orientali della Sardegna in una prospettiva di ampia percezione delle opportunità che presenta. Il metodo messo a punto prevede un sistema coeso di azioni materiali e immateriali, ivi compresa la realizzazione di nuovi elementi di qualità appositamente ricostruiti, per: a) recuperare e tutelare la diversità biologica e paesaggistica, b) garantire il processo di evoluzione naturale della vegetazione, c) esaltare gli aspetti culturalmente ed economicamente significativi del paesaggio. Il percorso si sviluppa nei termini seguenti: a) muove dalla parametrizzazione del sistema degli obiettivi ai risultati attesi, conseguenti ad un'opera di "conservazione innovativa", b) individua, sulla base delle condizioni dei soprassuoli, ambiti omogenei rispetto cui definisce strategie e misure in termini attuativi e integrati; c) traccia un piano d'azione per l'esplorazione guidata delle risorse naturali, in sinergia con l'adiacente Stagno di Notteri, e per la creazione di servizi e prestazioni d'eccellenza; d) valuta infine la compatibilità ambientale e paesaggistica delle proposte avanzate e definisce misure specifiche per ottimizzarne gli effetti. L'esperienza progettuale, nel superare lo schema del semplice disegno di un luogo di sosta e di ricreazione che la noncuranza degli aspetti strutturali rende povero sotto il profilo ecologico e banale sotto quello semiologico, assume un valore emblematico, esemplificativo del nuovo ruolo che i patrimoni congiunti di natura e di paesaggio sono chiamati a svolgere in un processo di crescita caratterizzato da operabilità sociale e durata nel tempo.

**Abstract** - *In south-eastern Sardinia, not far from Cagliari, there is a dune system that support an interesting floristic and vegetational diversity. They harbour the typical psammophile coastal association, from seashore alofite to juniper association. These dune, in spite of some damage due to trampling and sand digging, are still sufficiently preserved and worth of protection. Because Cala Giunco is a place of great resort, remarkable for local economy, paper deals with the problem of working out an innovative and integrated approach to landscape conservation. In short, looking to the future, "Parco delle dune" is conceived as laboratory to supervise reproductive vegetation processes and visitors behaviour evolution.*

## Testo

L'argomento della comunicazione riguarda, in senso ampio, le politiche da avviare, le attività da promuovere, le risorse umane da mobilitare per progettare il futuro di un contesto rappresentativo delle coste orientali della Sardegna che copre una superficie di circa 6 ha all'interno del SIC di Capo Carbonara, Serpentara e Isola dei Cavoli.

Sul litorale di Villasimius, in località Cala Giunco, scogliere granitiche e rilievi coperti da formazioni compatte a macchia mediterranea da un lato e un'ampia spiaggia dall'altro costituiscono i confini naturali di un sistema di dune costiere originato da apporti eolici di sabbie marine che ospita una interessante diversità floristica e vegetazionale. L'insediamento di piante psammofile e il successivo consolidamento ad opera di ginepri e specie sclerofilliche ha favorito la formazione di rilevati dunali in un'associazione tanto significativa sotto il profilo naturalistico e paesaggistico, quanto più integrata alla presenza di invasi e depressioni salse. Si tratta, nel caso specifico, dello Stagno litoraneo di Notteri, un biotopo che comprende, oltre alle formazioni dell'habitat prioritario lagunare, steppe salate, perticaie alofile mediterranee e pascoli inondatai mediterranei.

L'area è stata proposta per l'istituzione del "Parco delle dune", termine che la progettazione, tenuto conto dei punti di forza, dei punti di debolezza e delle opportunità che Cala Giunco presenta, ha tradotto nei fatti in quello di "laboratorio" per guidare e monitorare sia l'evoluzione dei processi naturali caratteristici del luogo sia gli effetti dell'usura cui è attualmente assoggettato a seguito dei comportamenti impropri dei frequentatori.

In breve, l'iniziativa non è stata finalizzata a realizzare una semplice zona di sosta e di ricreazione, ma, bensì interpretata come opportunità per sperimentare i nuovi traguardi della conservazione espressi negli obiettivi di seguito elencati e nei risultati conseguentemente attesi.

### *Principali obiettivi del Parco delle Dune*

1. proteggere gli endemismi, tutelare e valorizzare la diversità biologica e paesaggistica, il patrimonio di flora e fauna;
2. riportare l'ambiente a livelli di qualità, rimuovendo progressivamente i fattori e le cause di degrado e attuando un'azione costante di prevenzione;
3. limitare la pressione antropica regolamentando l'uso dei veicoli, indirizzando su percorsi prestabiliti l'accesso alla spiaggia;
4. creare, aggiornare e divulgare l'informazione sulle peculiarità dell'area anche attraverso la promozione di eventi e manifestazioni, ecc. con il concorso dell'associazionismo;
5. attivare servizi di monitoraggio e sorveglianza.

### *Risultati attesi*

1. ricostituzione e mantenimento della vitalità dell'ecosistema;
2. creazione di aree naturali o naturaliformi ecologicamente stabili ed in armonia con le caratteristiche geoclimatiche dei luoghi;
3. aumento della capacità di recupero e di evoluzione nel tempo dell'area dunale degradata conseguente al reintegro delle specie delle associazioni vegetali tipiche della zona fitogeografia;

4. opportunità di percorrenza mediante un itinerario ad anello che consenta in tutta sicurezza la migliore percezione e godimento dei due habitat principali: la duna e lo stagno;
5. qualificazione dell'area come laboratorio per la ricerca, la didattica e l'informazione ambientale.

A seguito di questa impostazione si è avvertita la necessità di verificare la compatibilità ambientale delle opzioni strategiche propedeutiche alla stesura del progetto e saggiarne la suscettibilità nei confronti di scenari diversi.

L'intento è compendiato nello schema accluso che consente di parametrare fra loro due fattori essenziali ai fini del controllo delle trasformazioni e dell'introduzione di prudenti innovazioni sin dalla fase istruttoria del procedimento. Essi consistono:

- nei criteri di sostenibilità stabiliti a livello internazionale per salvaguardare, gestire e recuperare i valori costitutivi afferenti la natura e il paesaggio, qui assunti non come semplici riferimenti culturali ma come indirizzi strategici;
- nelle politiche e nelle azioni ritenute possibili e praticabili nell'area considerata, in riferimento alle principali tessere del mosaico paesistico di cui si compone l'area del Parco, identificate a seguito di un'apposita analisi sulla ecologia del paesaggio.

Quadro sinottico	
<b>CRITERI DI SOSTENIBILITA' AMBIENTALE/ PROPOSTE DI PROGETTO</b> <small>PARCO DELLE DUNE</small>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Copertura delle piazzole del parcheggio con grigliato in plastica in modo ad evitare il calpestio della vegetazione erbacea presente ed il compattamento del suolo.</li> <li>➤ Creazione nell'area di parcheggio di zone ombreggiate e vegetate, corridoi e macchie, per una superficie totale 1000 mq c.a. con l'uso delle specie tipiche della boscaglia e macchia termofila</li> <li>➤ Ubicazione della sede del deposito materiali/meccanici in radura priva di vegetazione di interesse comunitario sistemata alla fine dei lavori a piazzola di sosta e manovra dei mezzi di emergenza</li> <li>➤ Viabilità d'accesso al deposito materiali/mezzi meccanici esclusivamente mediante tracciati e piste esistenti</li> </ul>
<b>CONSERVARE LA BIODIVERSITA' E GARANTIRE L'ESISTENZA DI VARIETA' INDIGENE DI FLORA E FAUNA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Aree di circa tre ettari destinato in via prioritaria alla salvaguardia degli endemismi e dei processi di evoluzione naturale della vegetazione, aree di impianto con finalità pioniere e azione di monitoraggio dei risultati conseguiti</li> <li>➤ Interventi sul soprassuoli effettuati utilizzando esclusivamente le medesime specie costituenti gli habitat caratteristici del SIC interessato.</li> <li>➤ Barriere verdi a tutela degli endemismi e delle formazioni vegetali peristagnali realizzate con l'uso delle specie caratteristiche della boscaglia e macchia termofila</li> <li>➤ Approvvigionamento del materiale vegetale preferibilmente sul posto, tramite spostamento di soggetti arbustivi o piante vegetate.</li> <li>➤ Sistema di percorrenza su passerella in legno distanziata dal terreno in modo da non costituire causa di frammentazione ambientale</li> </ul>
<b>RICOSTITUIRE I PAESAGGI NELLE ZONE DI SFRUTTAMENTO COME LUOGHI VITALI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Dimensionamento e disposizione del parcheggio per seicento posti auto, quale soglia di densità di traffico compatibile con la capacità di carico dell'area dunale e della spiaggia</li> <li>➤ Predisposizione di percorsi obbligati per l'accesso pedonale all'arenile con partenza dal parcheggio e servizio di sorveglianza e informazione</li> <li>➤ Collegamento diretto parcheggio-spiaggia in percorso breve di ml 250 c.a</li> <li>➤ Sistema di percorrenza su passerella in legno, predisposta all'uso da parte dei portatori di handicap (larghezza ml1,50, distanza dal suolo cm 15, pendenza massima non superiore all'8%.)</li> <li>➤ Dotazione dell'area di parcheggio di impianto di illuminazione a garanzia di sicurezza, realizzato con sorgenti luminose puntiformi orientate parallelamente al suolo e posizionate ad un'altezza di mt 0,5 dal piano di campagna.</li> </ul>
<b>CONTENERE IL CONSUMO DI SUOLO, RIDURRE LE AREE PAVIMENTATE E LE SUPERFICI IMPERMEABILI E PROMUOVERE LA CAPACITA' DI RIGENERAZIONE DELLE RISORSE RINNOVABILI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Valorizzazione dello stagno di Notteri mediante itinerario di visita tematico su passerella e pontile in legno predisposto per la sosta, l'osservazione naturalistica e l'educazione ambientale</li> <li>➤ Valorizzazione del sistema dunale mediante itinerario di visita tematico su passerella e piattaforma in legno predisposta per la sosta, l'osservazione naturalistica e l'educazione ambientale</li> <li>➤ Circuito ad anello ad uso pubblico della lunghezza totale di ml 460 c.a per la visita del Parco con inizio e termine nell'area di parcheggio</li> </ul>
<b>CRITERI DI SOSTENIBILITA' AMBIENTALE/ PROPOSTE DI PROGETTO</b> <small>PARCO DELLE DUNE</small>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Copertura delle piazzole del parcheggio con grigliato in plastica in modo ad evitare il calpestio della vegetazione erbacea presente ed il compattamento del suolo.</li> <li>➤ Creazione nell'area di parcheggio di zone ombreggiate e vegetate, corridoi e macchie, per una superficie totale 1000 mq c.a. con l'uso delle specie tipiche della boscaglia e macchia termofila</li> <li>➤ Ubicazione della sede del deposito materiali/meccanici in radura priva di vegetazione di interesse comunitario sistemata alla fine dei lavori a piazzola di sosta e manovra dei mezzi di emergenza</li> <li>➤ Viabilità d'accesso al deposito materiali/mezzi meccanici esclusivamente mediante tracciati e piste esistenti</li> </ul>
<b>CONSERVARE LA BIODIVERSITA' E GARANTIRE L'ESISTENZA DI VARIETA' INDIGENE DI FLORA E FAUNA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Aree di circa tre ettari destinato in via prioritaria alla salvaguardia degli endemismi e dei processi di evoluzione naturale della vegetazione, aree di impianto con finalità pioniere e azione di monitoraggio dei risultati conseguiti</li> <li>➤ Interventi sul soprassuoli effettuati utilizzando esclusivamente le medesime specie costituenti gli habitat caratteristici del SIC interessato.</li> <li>➤ Barriere verdi a tutela degli endemismi e delle formazioni vegetali peristagnali realizzate con l'uso delle specie caratteristiche della boscaglia e macchia termofila</li> <li>➤ Approvvigionamento del materiale vegetale preferibilmente sul posto, tramite spostamento di soggetti arbustivi o piante vegetate.</li> <li>➤ Sistema di percorrenza su passerella in legno distanziata dal terreno in modo da non costituire causa di frammentazione ambientale</li> </ul>
<b>RICOSTITUIRE I PAESAGGI NELLE ZONE DI SFRUTTAMENTO COME LUOGHI VITALI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Dimensionamento e disposizione del parcheggio per seicento posti auto, quale soglia di densità di traffico compatibile con la capacità di carico dell'area dunale e della spiaggia</li> <li>➤ Predisposizione di percorsi obbligati per l'accesso pedonale all'arenile con partenza dal parcheggio e servizio di sorveglianza e informazione</li> <li>➤ Collegamento diretto parcheggio-spiaggia in percorso breve di ml 250 c.a</li> <li>➤ Sistema di percorrenza su passerella in legno, predisposta all'uso da parte dei portatori di handicap (larghezza ml1,50, distanza dal suolo cm 15, pendenza massima non superiore all'8%.)</li> <li>➤ Dotazione dell'area di parcheggio di impianto di illuminazione a garanzia di sicurezza, realizzato con sorgenti luminose puntiformi orientate parallelamente al suolo e posizionate ad un'altezza di mt 0,5 dal piano di campagna.</li> </ul>
<b>CONTENERE IL CONSUMO DI SUOLO, RIDURRE LE AREE PAVIMENTATE E LE SUPERFICI IMPERMEABILI E PROMUOVERE LA CAPACITA' DI RIGENERAZIONE DELLE RISORSE RINNOVABILI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Valorizzazione dello stagno di Notteri mediante itinerario di visita tematico su passerella e pontile in legno predisposto per la sosta, l'osservazione naturalistica e l'educazione ambientale</li> <li>➤ Valorizzazione del sistema dunale mediante itinerario di visita tematico su passerella e piattaforma in legno predisposta per la sosta, l'osservazione naturalistica e l'educazione ambientale</li> <li>➤ Circuito ad anello ad uso pubblico della lunghezza totale di ml 460 c.a per la visita del Parco con inizio e termine nell'area di parcheggio</li> </ul>
<b>CRITERI DI SOSTENIBILITA' AMBIENTALE/ PROPOSTE DI PROGETTO</b> <small>PARCO DELLE DUNE</small>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Copertura delle piazzole del parcheggio con grigliato in plastica in modo ad evitare il calpestio della vegetazione erbacea presente ed il compattamento del suolo.</li> <li>➤ Creazione nell'area di parcheggio di zone ombreggiate e vegetate, corridoi e macchie, per una superficie totale 1000 mq c.a. con l'uso delle specie tipiche della boscaglia e macchia termofila</li> <li>➤ Ubicazione della sede del deposito materiali/meccanici in radura priva di vegetazione di interesse comunitario sistemata alla fine dei lavori a piazzola di sosta e manovra dei mezzi di emergenza</li> <li>➤ Viabilità d'accesso al deposito materiali/mezzi meccanici esclusivamente mediante tracciati e piste esistenti</li> </ul>
<b>CONSERVARE LA BIODIVERSITA' E GARANTIRE L'ESISTENZA DI VARIETA' INDIGENE DI FLORA E FAUNA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Aree di circa tre ettari destinato in via prioritaria alla salvaguardia degli endemismi e dei processi di evoluzione naturale della vegetazione, aree di impianto con finalità pioniere e azione di monitoraggio dei risultati conseguiti</li> <li>➤ Interventi sul soprassuoli effettuati utilizzando esclusivamente le medesime specie costituenti gli habitat caratteristici del SIC interessato.</li> <li>➤ Barriere verdi a tutela degli endemismi e delle formazioni vegetali peristagnali realizzate con l'uso delle specie caratteristiche della boscaglia e macchia termofila</li> <li>➤ Approvvigionamento del materiale vegetale preferibilmente sul posto, tramite spostamento di soggetti arbustivi o piante vegetate.</li> <li>➤ Sistema di percorrenza su passerella in legno distanziata dal terreno in modo da non costituire causa di frammentazione ambientale</li> </ul>
<b>RICOSTITUIRE I PAESAGGI NELLE ZONE DI SFRUTTAMENTO COME LUOGHI VITALI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Dimensionamento e disposizione del parcheggio per seicento posti auto, quale soglia di densità di traffico compatibile con la capacità di carico dell'area dunale e della spiaggia</li> <li>➤ Predisposizione di percorsi obbligati per l'accesso pedonale all'arenile con partenza dal parcheggio e servizio di sorveglianza e informazione</li> <li>➤ Collegamento diretto parcheggio-spiaggia in percorso breve di ml 250 c.a</li> <li>➤ Sistema di percorrenza su passerella in legno, predisposta all'uso da parte dei portatori di handicap (larghezza ml1,50, distanza dal suolo cm 15, pendenza massima non superiore all'8%.)</li> <li>➤ Dotazione dell'area di parcheggio di impianto di illuminazione a garanzia di sicurezza, realizzato con sorgenti luminose puntiformi orientate parallelamente al suolo e posizionate ad un'altezza di mt 0,5 dal piano di campagna.</li> </ul>
<b>CONTENERE IL CONSUMO DI SUOLO, RIDURRE LE AREE PAVIMENTATE E LE SUPERFICI IMPERMEABILI E PROMUOVERE LA CAPACITA' DI RIGENERAZIONE DELLE RISORSE RINNOVABILI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Valorizzazione dello stagno di Notteri mediante itinerario di visita tematico su passerella e pontile in legno predisposto per la sosta, l'osservazione naturalistica e l'educazione ambientale</li> <li>➤ Valorizzazione del sistema dunale mediante itinerario di visita tematico su passerella e piattaforma in legno predisposta per la sosta, l'osservazione naturalistica e l'educazione ambientale</li> <li>➤ Circuito ad anello ad uso pubblico della lunghezza totale di ml 460 c.a per la visita del Parco con inizio e termine nell'area di parcheggio</li> </ul>

Le decisioni circa gli interventi da operare sui soprassuoli sono stati guidati dal riaccorpamento, entro il sistema dunale considerato, delle tessere sopra citate in due grandi areali. Al loro interno caratterizzati da condizioni di stato verosimilmente analoghe, detti areali presentano dinamiche profondamente diverse che richiedono politiche e misure attuative altrettanto diverse per rendere credibile un percorso di riequilibrio dell'ecosistema.

Il primo areale, in cui l'ambiente dunale nonostante le aggressioni subite risulta sufficientemente conservato, ospita un largo spettro di tipi vegetazionali sia maturi che di primo insediamento, dalle tipiche associazioni psammofile delle dune embrionali, alle boscaglie e macchie termofile delle dune interne e dell'ambiente retro dunale, alle associazioni igroalofile delle depressioni umide circostanti lo Stagno di Notteri.

L'indirizzo assunto è stato quindi di tipo eminentemente *conservazionale* rivolto a tutelare gli endemismi e la vegetazione e ad assicurarne l'evoluzione naturale con interventi ancora una volta calibrati sulle specifiche "diversità" dei sub ambiti di cui l'areale stesso si compone. Speciale attenzione è stata rivolta alle zone particolarmente sensibili, significative o depauperate destinate ad aree di impianti con finalità pioniere in modo da accelerare i processi naturali di recupero della vegetazione. I settori della macchia e della boscaglia in evidente regresso a causa dei fenomeni erosivi avviati dall'azione antropica, previo sbarramento e interdizione dei sentieri di accesso, sono stati in tale prospettiva destinati a rinfoltimenti con specie caratteristiche del Ginepreto dunale e della Macchia retro dunale eliofila, ove possibile reperite sul posto mediante trapianti, raccolta semi e accrescimento in piccolo vivaio sperimentale.

Il secondo areale è costituito da un eucalipteto di origine artificiale ed in formazione monospecifica, scarsamente significativo sotto il profilo ecologico ed ulteriormente impoverito nelle componenti biotiche dall'uso logorante cui è stato sottoposto come sede di parcheggio incontrollato. Di conseguenza, si è assunto l'indirizzo della "*nature restoration*" interpretandolo con sfumature e accentuazioni diverse tenuto conto che il processo di recupero dovrà avvenire per singole particelle secondo più fasi attuative.

Anche in questo caso, per facilità di lettura, un apposito schema riporta i contenuti essenziali dei due indirizzi "Conservazione" e "Rinaturazione e nuovi interventi" relazionando gli ambiti di applicazione alle specifiche tecniche previamente selezionate.

### ***Interventi sui soprassuoli***

#### *Indirizzo conservazione*

**Ambito delle depressioni umide, habitat prioritario, altamente rappresentativo, *Steppe salate (Limonetalia)*, con presenza di endemismi floristici fra cui *Limonium dubium* e *Limonium retirameum* e Ambito peristagnale con prevalenza di associazioni igroalofile (*Juncetalia maritimi*) e lembi di boscaglie e macchie termofile:**

- salvaguardia degli endemismi ed evoluzione naturale delle formazioni vegetali mediante interdizione di attraversamento e percorrenza esclusivamente pedonale limitata alle passerelle;
- reintegro della copertura vegetale nelle zone depauperate con lavorazione del terreno e spargimento semi raccolti in loco;
- schermatura del parcheggio con barriere vegetali realizzate preferibilmente con individui spostati dall'area di intervento o da zone con caratteristiche geobotaniche

simili, dove saranno utilizzate le seguenti specie messe a dimora con impianto di una ogni metro quadrato: *Juniperus phoenicea ssp. turbinata* / *Pistacia lentiscus* / *Halimium halimifolium* / *Phillyrea angustifolia* / *Arbutus unedo*.

**Ambito dunale - con boscaglia a ginepri e partecipazione di *Pistacia lentiscus* - e retrodunale – con macchie secondarie silicicole a dominanza di *Pistacia lentiscus* – caratterizzato da fenomeni contenuti di erosione e degrado delle formazioni vegetali:**

- evoluzione naturale delle formazioni vegetali con interdizione di attraversamento e percorrenza esclusivamente pedonale limitata alle passerelle;
- aree di impianto con finalità pioniere realizzate preferibilmente con piote vegetate o singoli individui spostati dall'area di intervento o da zone con caratteristiche geobotaniche simili, dove saranno utilizzate le seguenti specie con impianto di una ogni metro quadrato: *Juniperus phoenicea ssp. turbinata* / *Pistacia lentiscus* / *Halimium halimifolium* / *Phillyrea angustifolia* / *Arbutus unedo*.

**Ambito rappresentativo del sistema dunale – dune embrionali e frazioni di dune interne – con associazioni psammofile discontinue e mosaico di tipi in successione dinamica e lembi di boscaglia a ginepri:**

- evoluzione naturale delle formazioni vegetali con interdizione di attraversamento e percorrenza esclusivamente pedonale limitata alle passerelle e azione di monitoraggio e controllo di possibili alterazioni nella normale seriazione ecologica dei tipi di vegetazione mirata a definire eventuali strategie di intervento.

#### ***Interventi sui soprassuoli***

##### *Indirizzo nuovi impianti e rinaturazione*

**Fasce di pertinenza delle attrezzature destinate al controllo dell'accesso e della sosta dei mezzi meccanizzati:**

- interventi per la costituzione di nuove formazioni lineari di boscaglie e macchie termofile attuati mediante trapianto di individui reperiti sul posto ( a seguito opere di cantiere, diradamenti della macchia, ecc.)o in situazioni analoghe, spostamento di piote vegetate o spargimento semi reperiti in modo analogo;
- saranno utilizzate le seguenti specie messe a dimora con un impianto di una ogni metro quadrato: *Juniperus phoenicea ssp. turbinata* / *Pistacia lentiscus* / *Halimium halimifolium* / *Phillyrea angustifolia* / *Arbutus unedo* / *Quercus ilex*;
- piantagione di alberi ad alto fusto in filare come da progetto: *Pinus pinea*.

#### *Prima Fase*

**Ambito interdunale contiguo al sistema delle zone umide, caratterizzato da fenomeni di alterazione delle componenti pedologiche e vegetazionali con popolamenti misti di specie prevalentemente estranee alla natura dei luoghi:**

- progressiva eliminazione delle specie alloctone infestanti o comunque inadatte mediante taglio al piede e eliminazione dell'apparato radicale con mezzi meccanici;



- scavo del terreno per una profondità max. di 50 cm con accatastamento provvisorio in loco dei materiali di risulta;
- rimodellamento e creazione di depressioni artificiali favorevoli al ristagno d'acqua;
- riposo del terreno per un congruo periodo di tempo (circa uno o due anni);
- sperimentazione, tramite spargimento di semi raccolti in loco e/o spostamento di piante vegetate dalle aree limitrofe, della possibilità di sviluppo di specie igroalofile in continuità con le associazioni delle zone umide limitrofe.

#### *Seconda Fase*

**Ambito interdunale caratterizzato da consistenti fenomeni di alterazione delle componenti pedologiche e vegetazionali, con popolamenti compatti e monospecifici di specie alloctone (*Eucalyptus globulus*):**

- analisi pedologica del terreno;
- **eliminazione degli esemplari di *Eucalyptus globulus* attuato per particelle a mezzo taglio meccanico al piede e estirpazione meccanica delle radici;**
- rippatura del terreno finalizzata a migliorarne le caratteristiche fisiche ed aggiunta di terreno vegetale con provenienza dagli scavi di cantiere o dalle stesse opere di rinaturazione di prima fase;
- tombatura dell'apparato radicale residuo e monitoraggio del processo di marcescenza
- riposo del terreno per un congruo periodo di tempo (circa uno o due anni);
- interventi per la costituzione di nuove formazioni a boscaglie e macchie termofile attuati mediante trapianto di individui reperiti sul posto (a seguito opere di cantiere, diradamenti della macchia, ecc.) o da situazioni analoghe, spostamento di piante vegetate o spargimento semi appositamente reperiti;
- la mescolanza delle specie, scelte fra quelle caratteristiche del Ginepreto dunale e della Macchia retrodunale eliofila, così come la tipologia e il sesto di impianto sono determinate negli schemi grafici acclusi;
- saranno utilizzate le seguenti specie messe a dimora con un impianto di una ogni metro quadrato: *Juniperus phoenicea ssp. turbinata* / *Pistacia lentiscus* / *Halimium halimifolium* / *Phillyrea angustifolia* / *Arbutus unedo* / *Quercus ilex*.

#### *Terza Fase*

**Ambito interdunale caratterizzato da consistenti fenomeni di alterazione delle componenti pedologiche e vegetazionali con popolamenti misti di specie alloctone, infestanti e comunque estranee alla natura dei luoghi:**

- attuazione degli stessi interventi previsti nella seconda fase, tenuto conto dei risultati conseguiti.

Se è vero che i processi degradativi dell'ambiente sono in massima parte dovuti all'emissione dall'esterno di agenti modificatori, è vero anche che una forma non controllata e consistente di frequentazione turistica di un contesto vulnerabile come quello considerato può essere stimato come il principale agente di una forma di usura delle componenti biotiche e abiotiche del paesaggio sino a farne un "non luogo" sempre meno appetibile e competitivo.

La proposta avanzata dal progetto è pertanto quella di interpretare la creazione del Parco delle dune come occasione per passare dal consumo alla “esplorazione guidata” delle risorse disponibili configurando un’offerta diretta a “vivere” “conoscere” e quindi “rispettare” l’ambiente del Parco.

Il primo dispositivo atto a calmierare la frequentazione da parte del pubblico e guidarlo a comportamenti di tipo non consumistico è la dotazione di Cala Giunco di un parcheggio a numero chiuso. Poiché si tratta di un’attrezzatura che sarà sottoposta a vigilanza durante i periodi estivi di maggiore affluenza, non sarà possibile superare una punta massima di visitatori calcolata sulla sostenibilità del carico antropico. Inoltre, l’attrezzatura è concepita come una “meta” da cui procedere con un atteggiamento di interesse di rispetto nei confronti di un luogo profondamente diverso dall’ambiente quotidiano.

A tale scopo l’accesso al Parco viene filtrato su un percorso a doghe di legno appoggiate su una struttura a travetti che di fatto lo solleva dal suolo, consentendo il libero passaggio delle radici delle piante e perfino il transito di animali. Tre piazzole di sosta collocate nei punti topici degli itinerari invitano il visitatore a fermarsi e a rendersi conto di ciò che lo circonda.

Tra tutte le considerazioni che potrebbero essere avanzate a conclusione delle presenti note, ci sembra di doverne sottolineare una in particolare che riguarda l’aspetto divulgativo del Parco come luogo di appartenenza e di identificazione della comunità locale che essa offre al godimento e al rispetto dei visitatori.

Si tratta di un messaggio fondamentale per garantire il successo sia degli interventi di tutela, recupero e valorizzazione, sia dell’attività di sperimentazione, gestione, monitoraggio e controllo del Parco, che il progetto ha tradotto dotandolo dei due itinerari tematici di seguito descritti

L’itinerario della macchia propone una breve camminata al centro della “macchia termofila” mettendo il visitatore in contatto diretto con una delle formazioni legnose più rappresentative dell’orizzonte mediterraneo. Il percorso è fiancheggiata da slarghi, aperture visive e da piazzole attrezzate per una sosta a carattere didattico e informativo sulle specificità della vegetazione e della flora circostante, sul ciclo evolutivo delle dune e sui valori paesistici e panoramici d’insieme.

L’itinerario dello stagno muove dal parcheggio e affianca un’area a steppa salata (*Limonietaia*) di particolare suggestione e di rilevante interesse floristico. Giunto allo specchio d’acqua di Notteri sbarca su un “pontile” che offre una visione generale dello stagno, e contiene informazioni sull’habitat lagunare. Nel suo complesso l’allestimento tende a documentare tutti quegli aspetti che fanno del biotopo di Notteri un elemento singolare e distinguibile dal contorno anche per gli elementi vivi che lo popolano e per le relazioni tra essi e l’ambiente fisico e biologico.

Quanto sin qui esposto avvalorava l’ipotesi che l’esperienza di Cala Giunco possa esemplificare il nuovo ruolo che i patrimoni congiunti di natura e di paesaggio sono chiamati a svolgere in un contesto di “sviluppo rivalutante”. Conferma anche che questo patrimonio necessita di innovazione, riqualificazione e manutenzione, entro un sistema coeso interventi, capace di utilizzare tutte le risorse disponibili, ivi compresi nuovi elementi di qualità appositamente ricostruiti, e di far leva sulla collaborazione dei vari attori coinvolti quali gli enti di governo del territorio, la comunità scientifica, i privati.

Nel caso in esame si è inteso soddisfare questa esigenza componendo il futuro di un habitat dunale costiero di particolare significato attorno due strumenti:

- un *piano* finalizzato a definire strumenti e regole utili al riequilibrio dell'ecosistema;
- un *disegno* mirato a creare valori e a fornire prestazioni rispondenti alle esigenze della realtà contemporanea.

Due strumenti, quindi, che pongono l'intervento sul Parco delle Dune in una prospettiva di sostenibilità sociale e ambientale la cui veridicità viene affidata al Piano d'azione conclusivo qui di seguito accluso..

PIANO D'AZIONE DEL PARCO DELLE DUNE FINALIZZATO ALLA TUTELA E AL RECUPERO DI CALA GIUNCO NEL RISPETTO DELLE CARATTERISTICHE SPECIFICHE DEL SIC "ISOLA DEI CAVOLI, SERPENTARA E PUNTA MOLENTIS" (CODICE ITB 040020)	
AMBITI DI RIFERIMENTO	POLITICHE QUADRO
1.- Ambito delle depressioni umide, habitat prioritario, altamente rappresentativo, <i>Steppe saline (Limonetalia)</i> , si con presenza di endemismi floristici ( <i>Limonium dubium</i> (Guss.) Litard e <i>Limonium retraneum</i> Greuter & Burdet)	1.- Preminente tutela indirizzata alla salvaguardia degli endemismi e a garantire l'evoluzione naturale delle formazioni vegetali e a valutare l'opportunità di limitate azioni di reintegro. Creazione di dispositivi protezione dell'habitat specifico e dello stagno di Notteri da realizzare quali semplici staccionate in legno, siepi basse realizzate con le specie caratteristiche delle depressioni umide, barriere vegetali realizzate con le specie tipiche delle boschaglie e macchie termofile. Rimozione e prevenzione delle cause di disturbo antropico con interdizione di attraversamento e percorrenza esclusivamente pedonale limitata alle passerelle.
2.- Ambito peristagiale con prevalenza di associazioni igrolofile ( <i>Juncetalia maritimi</i> ) e lembi di boschaglie e macchie termofile	2.- Tutela indirizzata a garantire l'evoluzione naturale delle formazioni vegetali e a valutare l'opportunità di limitate azioni di reintegro. Creazione di dispositivi di protezione dell'habitat specifico e dello stagno di Notteri quali barriere vegetali situate lungo il confine del parcheggio e realizzate con le specie tipiche delle boschaglie e macchie termofile. Rimozione e prevenzione delle cause di disturbo antropico con interdizione di attraversamento e percorrenza esclusivamente pedonale limitata alle passerelle.
3.- Ambito dunale - con boschaglia a ginepri e partecipazione di <i>Pistacia lentiscus</i> - e retrodunale - con macchie secondarie siliciose a dominanza di <i>Pistacia lentiscus</i> - caratterizzato da fenomeni contenuti di erosione e degrado delle formazioni vegetali	3.- Pratica gestionale indirizzata a favorire l'evoluzione naturale della vegetazione e, previo periodo di sperimentazione, ad accelerarne il processo di recupero con aree di impianto con finalità pioniere realizzate con le specie tipiche delle boschaglie e macchie termofile. Rimozione e prevenzione delle cause di disturbo antropico con interdizione di attraversamento e percorrenza esclusivamente pedonale limitata alle passerelle
4.- Ambito rappresentativo del sistema dunale - dune embrionali e frazioni di dune interne - con associazioni psammofite discontinue e mosaico di tipi in successione dinamica	4.- Azione di monitoraggio e al controllo di possibili alterazioni nella normale seriazione ecologica dei tipi di vegetazione caratteristici (Vegetazione dunale pioniera, Vegetazione alofila pioniera, Dune consolidate, Dune in consolidamento, Vegetazione di consolidamento dunale e retrodunale, Ginepro dunale). Rimozione e prevenzione delle cause di disturbo antropico con interdizione di attraversamento e percorrenza esclusivamente pedonale limitata alle passerelle
5.- Ambito interdunale contiguo al sistema delle zone umide, caratterizzato da fenomeni di alterazione delle componenti pedologiche e vegetazionali con popolamenti misti di specie prevalentemente estranee alla natura dei luoghi	5.- Creazione di aree naturaliformi in armonia con le caratteristiche geomorfologiche del territorio. PRIMA FASE : Progressiva eliminazione delle specie alloctone infestanti o comunque inadatte e realizzazione di depressioni artificiali ove sperimentare, in condizioni favorevoli al ristagno d'acqua, le possibilità di sviluppo di specie igrofile in continuità con le associazioni delle zone umide limitrofe.
6.- Ambito interdunale caratterizzato da consistenti fenomeni di alterazione delle componenti pedologiche e vegetazionali, con popolamenti compatti e monospecifici di specie alloctone ( <i>Eucalyptus globulus</i> ), peraltro sofferenti a causa delle condizioni climatiche del luogo	6.- Creazione di aree naturaliformi in armonia con le caratteristiche geomorfologiche del territorio. SECONDA FASE : Progressiva sostituzione in un arco di tempo quinquennale dei popolamenti compatti di <i>Eucalyptus globulus</i> con specie tipiche delle boschaglie e macchie termofile
7.- Ambito interdunale caratterizzato da consistenti fenomeni di alterazione delle componenti pedologiche e vegetazionali con popolamenti misti di specie alloctone, infestanti e comunque estranee alla natura dei luoghi	7.- Creazione di aree naturaliformi in armonia con le caratteristiche geomorfologiche del territorio. TERZA FASE : Progressiva sostituzione in un arco di tempo quinquennale dei popolamenti misti di specie alloctone, infestanti e comunque estranee alla natura dei luoghi con specie tipiche delle boschaglie e macchie termofile.
8 - Fasse di pertinenza delle attrezzature destinate al controllo dell'accesso e della sosta dei mezzi meccanizzati	8 - Creazione di strutture lineari di vegetazione con specie tipiche delle boschaglie e macchie termofile.

# WATER RESIDENCE TIMES AND FLUSHING FEATURES OF THE ORISTANO GULF AND CABRAS LAGOON

Andrea Cucco<sup>1</sup>, Angelo Perilli<sup>1</sup>, Georg Umgiesser<sup>2</sup>, Simone Simeone<sup>3</sup>, Serena Como<sup>3</sup>, Paolo Magni<sup>1</sup>, Giovanni De Falco<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CNR – Istituto per l’Ambiente Marino Costiero Sede di Oristano, Loc. Sa Maridini - 09072 Torre Grande, Oristano, Tel. 0783 22036, Fax. 0783 22002, e-mail: andrea.cucco@iamc.cnr.it.

<sup>2</sup>CNR – Istituto di Scienze del Mare, Sede di Venezia

<sup>3</sup>IMC – International Marine Center, Oristano

**Abstract** – In this work the water circulation in the Gulf of Oristano and in the Cabras Lagoon has been investigated by means of a 2D hydrodynamic model. The model is based on the finite element method. It solves the shallow water equations on a spatial domain representing the Gulf of Oristano, the Cabras Lagoon and the surrounding coastal sea. The hydrodynamic features of the two basins have been investigated when the basin is forced by different wind regimes and tide. In order to evaluate the renewal capacity of the Gulf and of the Lagoon, the residence and the transit times have been computed for each forcing scenarios.

The study reveals that the gulf is characterized by circulation patterns promoting strong trapping phenomena. The obtained results are partially confirmed by the heavy metals distribution in the sediments. In particular, the southern part of the basin is characterized by the presence of high heavy metal concentration in the bottom sediment, in the same areas where model results reveal strong trapping capacity.

What concerns the Cabras Lagoon, results reveal that, the water circulation is mainly wind driven and that the lagoon water renewal capacity is very weak. The obtained results have been compared with bottom sediment distribution in order to understand the influence of water circulation on erosion and deposition processes occurring in the lagoon basin.

## Introduction

The Gulf of Oristano (see figure 1) is a semi-enclosed embayment on the western coast of the Sardinia island (Italy - lat. 39° 50'; long. 8° 30' ). It is a shallow water basin with an average depth of about 15 m and a maximum value of about 25 m. It covers an area of 150 km<sup>2</sup> and it is connected to the Sardinian Sea through an opening of 9 km length between the San Marco cape, at the north, and Frasca cape, at the south.

The surrounding mainland is characterized by the presence of lagoon and salt marsh systems connected to the gulf through artificial narrow channels. In particular, a big lagoon system, the Cabras lagoon, discharges its water through an inlet (the Scolmatore channel) located in the northern part of the gulf. Along the eastern border of the basin, the Tirso river mouth is located between a touristic harbour (at the north) and an industrial one (at the south). In the northern part of the basin, between the San Marco cape and the eastern gulf border, there is a deep navigable channel with an average depth of about 15 m,

connecting the industrial harbour to the open sea. A further wide lagoon system, the Marceddi and S. Giovanni lagoons, discharges its water into the gulf through an inlet located in the southern part of the basin. The lagoons are interested by intense fishery and aquaculture activities and collect the sewage treatment plant discharges of the surrounding cities (Oristano and Cabras) into the gulf.

The typical wind regimes are the Mistral from northwest (NW), the Libeccio from southwest (SW) and the Sirocco from southeast (SE). The Mistral can be considered as the main meteorological forcing. The yearly average wind speed is about 10 m/s for the Mistral regime, 9 m/s for the Libeccio regime and 10 m/s for the Sirocco regime [3]. The astronomic tides in the area are very weak and the maximum water displacement measured in the gulf in absence of wind is about 20 cm ( $\pm 10$  cm) [2]. Therefore, the tidal induced water circulation can be neglected especially when strong wind events are occurring in the area.

In this work, the tide and wind driven circulation inside the Gulf of Oristano and Cabras Lagoon has been investigated by means of numerical modeling. Different meteorological forcings have been considered. For each forcing scenarios the root mean square velocity (RMSV) and the water residence times (WRTS) of the two basin have been computed and analysed. Furthermore, hydrodynamic activity and flushing features of the two basins have been compared with the bottom sediment distribution and features.

## Material and Methods

Hydrology of the Oristano Gulf and Cabras Lagoon has been investigated by means of a 2D hydrodynamic numerical model based on the finite element method. The model resolves the vertically integrated shallow water equations in their formulations with water levels and transports on a numerical domain represented by a staggered finite element grid. Details of the equations and of the numerical treatment adopted by the model are given in [6, 7 and 1].

In order to reproduce and analyse the general water circulation and the flushing features of the two basins, numerical simulations have carried out taking into account only the main meteo-marine forcings in the areas. Three different scenarios have been investigated for both the Oristano Gulf and Cabras Lagoon: the water circulation induced by the tides and a 10 m/s Mistral wind, by the tides and a 9 m/s Libeccio wind and by the tides and a 10 m/s Sirocco wind respectively. The wind intensities correspond to the yearly average values. From simulations results, the root mean square current velocity (RMSV) and the water residence times (WRTS) have been calculated from the simulations results.

RMSV have been computed for each element of the numerical domains. RMSV gives a good estimate of the hydrodynamic activity in the two basins. The WRTS of the two lagoons have been computed following both an Eulerian and a Lagrangian approach. In particular, following the Eulerian approach, WRTS has been defined as the time required for each element of the domain to replace most of the mass of a conservative tracer, originally released, with new water. To compute it we refer to the mathematical expression given by [4, 5] known as the remnant function. Whereas, following a Lagrangian approach WRTS have been defined as the time required for each water particles initially released in the basin to leave the embjment. In the following only the results obtained for the Mistral wind scenario are reported.

## Results and discussion

When a 10 m/s Mistral wind is forcing the Gulf of Oristano, the induced water circulation is mainly governed by an anticyclonic motion. In figure 1 the snapshot of the water circulation and water levels after 96 hours from the beginning of the numerical simulation is reported.

The sea water enters in the gulf through the inlet, in the nearby of the San Marco cape (northern cape), fills the basin and exits in the proximity of the Frasca cape (southern cape). The water masses follow the main channel of the gulf (see figure 1a) toward north-east then deviate to the south generating an intense long-shore stream that interests the whole central area of the basin. The circulation pattern is characterized by a rotation core located around the half length of the opening, slightly displaced to the mainland side.

From the transport time scales computation, the basin average values of the residence time and transit time are about  $1.2 \pm 0.8$  and  $1.4 \pm 1.7$  days respectively. Both residence and transit times are characterized by low average values which reveal the high cleaning efficiency of the water circulation when the Mistral wind is forcing the basin. The water residence time values increase from the northern to the southern part of the gulf, whereas the transit time values increase from south to north. In areas characterized by the

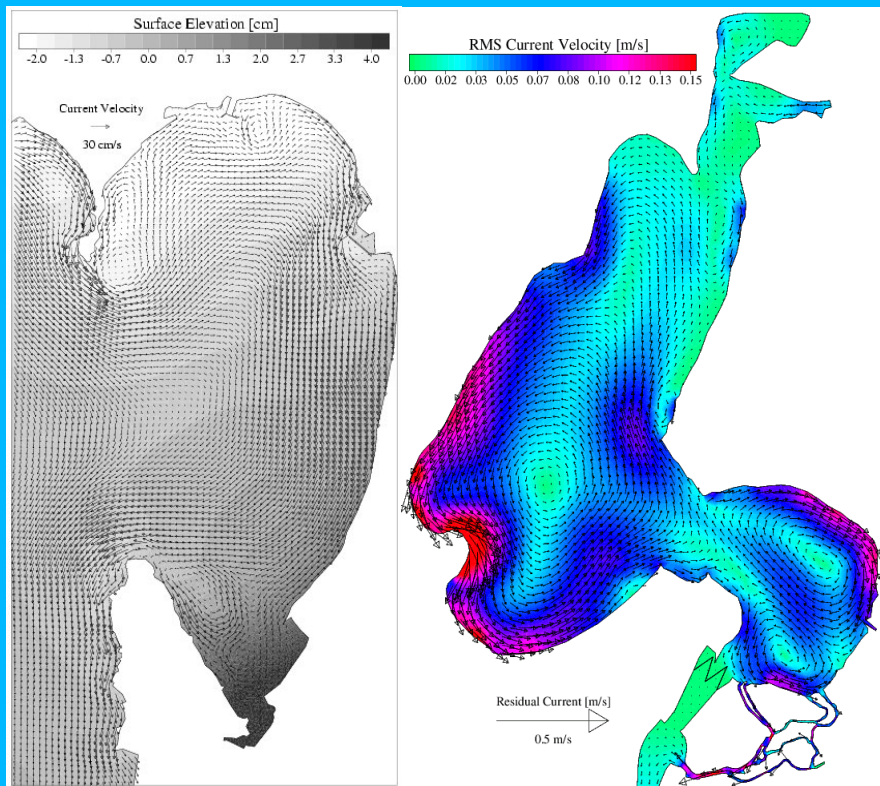


Figure 1 – Water circulation in the gulf of Oristano (a) and in the Cabras Lagoon (b).

presence of vortices, both the water residence and transit time present high values, revealing weak renewal efficiency. Strong trapping phenomena can be promoted in these areas where the current velocity is low.

These preliminary results are partially confirmed by the heavy metal distribution. In particular, in the Frasca cape area, high heavy metal concentrations are detected in the bottom sediment of areas where the model results reveal strong trapping capacity. These zones correspond to the cores of the two vortices generated by the wind action, where the low current speed values and the circulation pattern promote the sinking of the dispersed loads in the water.

What concerns the Cabras Lagoon in figure 1b the basin residual circulation is reported. The circulation patterns promoted mainly by the tide and the Mistral wind is characterised by the presence of cyclonic and anticyclonic vortices. In particular, in the central and northern part of the lagoon, a big cyclonic vortex dominates the hydrodynamics whereas, in the southern part, two smaller vortices characterise the residual circulation of the area.

RMSV values vary over the lagoon as being modulated by the residual circulation pattern. In particular, higher RMSV values are detected along the edge of the vortices and along the lagoon borders, whereas lower values are detected in the inner part of the lagoon and in the core of the vortices.

From the computation of the WRTS, the values vary between 30 days in the central part of the lagoon and few hours in the nearby of the river mouth and the net of channels connecting the basin with the main inlet. As for the RMSV, the spatial distribution of the WRTS, is strongly influenced by the residual circulation pattern. In particular, higher WRTS values are found in the core of the circulation cells whereas lower values along the edges of the vortices and the basin borders.

The obtained results reveal that, from a qualitative standpoint, the basin can be subdivided into two sub-basins characterised by different hydrodynamic features. In particular a northern sub-basin characterised by higher values of RMSV and WRTS and by the presence of a big circulation cell driving the water in an anticlockwise way, and a southern sub-basin dominated by a pair of vortex system moving in opposite wise and by lower values of RMSV and WRTS. Furthermore a buffer zone between the sub-basins can be detected. It can be considered as a transitional area where water exchanges between the two sub-basins occur.

RMSV and WRTS spatial distribution have been compared with the sediment transport direction in the lagoon. The obtained results (figure 2) reveal that over the most part of the lagoon, the transport direction follows the RMSV gradient, then in areas influenced by the presence of sources of sediment such as in the northernmost part of the lagoon.

Furthermore, even by the analysis of the sediment transport direction results, the proposed lagoon partition seems to be confirmed. In fact there is evidence of three different sediment transport patterns over the lagoon that interest the areas corresponding to the two main sub-basins and to the intermediate area between them.

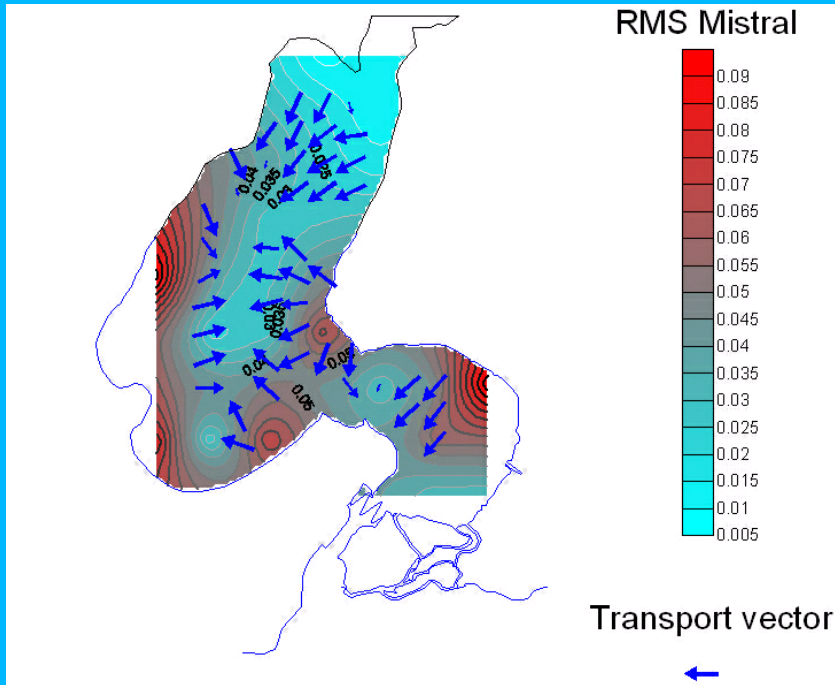


Figure 2 – RMSV distribution and direction of sediment transport in the Cabras Lagoon.

## Conclusion

In this work the circulation of the Oristano Gulf and the Cabras Lagoon has been investigated by means of a 2D hydrodynamic model. The study has been carried out considering the tide and the Mistral wind as the main forcing the water circulation of the basin. For each basin the water circulation and the transport time scales have been investigated.

What concern the Oristano Gulf the basin renewal efficiency is generally high under the Mistral wind forcing condition. In particular, 1.5 days are required to renew the 70 % of the gulf water. The obtained results are partially confirmed by the heavy metal distribution. In particular, in the Frasca cape area, high heavy metal concentrations are detected in the bottom sediment of areas where the model results reveal strong trapping capacity. These zones correspond to the cores of the two vortices generated by the wind action, where the low current speed values and the circulation pattern promote the sinking of the dispersed loads in the water.

What concerns the Cabras Lagoon, the model results reveal that both the hydrodynamic activity and the flushing features are mainly homogeneous over the basin and that, the water renewal capacity induced by the tidal action is very weak. In particular, higher current velocity and flushing capacity are detected in the shallow border areas whereas lower values are found in the deeper central areas. Therefore, the Cabras Lagoon, can be compared to a lake in which, exchanges are mainly promoted by the river inputs and



by the evaporation and precipitation processes and the water circulation is mainly promoted by the wind action which generates strong currents along the borders and lower currents in the deeper areas. The obtained results have been partially confirmed by the analysis of the sediment transport directions which are well correlated with the RMSV gradient obtained by the model results.

## Acknowledgments

This study has been carried in the framework of the SIGLA project. Authors wish to thank the UE for the financial support.

## References

- [1] Cucco A., Umgiesser G.. *Modeling the Venice Lagoon Water Residence Time*, Ecological Modeling. (2005) 193 (1-2), 123-145.
- [2] Ferrarin C., Umgiesser G. *Hydrodynamic modeling of a coastal lagoon: The Cabras lagoon in Sardinia, Italy*, Ecological Modeling (2005) 188, 340-357.
- [3] Pinna M. - *The climate, in Provincia di Oristano* (ed.), (1989) The Oristano Province: the territory, the nature and the men (In Italian). Pizzi Spa, Milano, 38-48.
- [4] Takeoka H. *Exchange and transport time scales in the Seto Inland Sea*, Continental Shelf Research (1984) 3 (4), 327-341.
- [5] Takeoka H. *Fundamental concepts of exchange and transport time scales in a coastal sea*, Continental Shelf Research (1984) 3 (3), 311-326.
- [6] Umgiesser G., Bergamasco A. *Outline of a primitive equation finite element model*, In: Rapporto e Studi. Vol. XII. Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Venice, Italy, (1995) 291-320.
- [7] Umgiesser G., Canu D. M., Cucco A., Solidoro C., *A finite element model for the Venice Lagoon. Development, set up, calibration and validation*, Journal of Marine Systems (2004) 51 (1-4), 123-145.

## PIANO DI MONITORAGGIO E DI RIQUALIFICAZIONE DELLE FASCE COSTIERE ITALIANE\*

Roberto de Rubertis<sup>1</sup>, Alessandra Cirafici<sup>2</sup>, Fabio Quici<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Università degli Studi di Roma La Sapienza – Dipartimento R.A.D.A.A.R.,  
Facoltà di Architettura Valle Giulia

<sup>2</sup>Seconda Università degli Studi di Napoli – Dipartimento di Cultura del Progetto,  
Facoltà di Architettura Luigi Vanvitelli

<sup>3</sup>Università degli Studi di Roma La Sapienza – Dipartimento R.A.D.A.A.R.,  
Facoltà di Architettura Valle Giulia

**Riassunto** - Il processo di sfruttamento selvaggio dei luoghi a più alto valore qualitativo del paesaggio italiano, quali quelli costieri, non può essere arrestato, né tantomeno invertito se non si prende coscienza delle leggi che regolano le tendenze in atto e se non si individuano le tecniche per disinnescare il circolo vizioso che alimenta il progressivo deterioramento di quelle zone. Un nuovo modo di riguardare deve sostituirsi ai palliativi di tutela oggi adottati, un modo di riguardare che sappia tener conto delle dinamiche in atto nel territorio, che sappia prevederle per governarle, che sappia riconoscere la qualità delle forze in campo per orientarle e utilizzarle a fini euristici. Un modo di riguardare che accetti senza riserve la realtà di un territorio che non è più quello cui si riferiscono i miti di un'estetica romantica, né quello sognato da un'ecologia nostalgica, ma quello di una realtà in trasformazione, sottoposta ai meccanismi inesorabili di uno sviluppo incontrollato.

Se attraverso lo studio della preesistenza è possibile fare emergere i valori antropici diffusi, anche dove si supponeva fossero assenti, e se è possibile individuare metodi di intervento che ne garantiscano la possibilità di integrazione con opere di rinnovamento, completamento, o rifunzionalizzazione, non necessariamente distruttive, è evidente che si aprono nuove prospettive di salvaguardia ambientale, di grande interesse anche sotto il profilo gestionale e politico.

***Abstract** - Uncontrolled exploitation of places of such high qualitative value as Italy's unique coastlines cannot be stopped or even reversed unless greater awareness is raised regarding the laws by which the initiatives currently in progress are regulated and techniques are identified to break the vicious circle which currently fuels the progressive deterioration of such areas. Today's protective measures must be replaced by a new approach which takes account and is able to forecast and thus govern the dynamics of the territory, an approach which recognizes the quality of the forces which orient such*

---

\* La ricerca che qui si presenta è l'esito di una ricerca nazionale PRIN condotta tra gli anni 2002-2004 da cinque sedi universitarie: la Facoltà di Architettura Valle Giulia di Roma "La Sapienza" (responsabile locale: Roberto de Rubertis); la Facoltà di Ingegneria di Roma 3 (resp. Loc.: Giuseppina Enrica Cinque); la Facoltà di Architettura di Pescara (resp. Loc.: Livio Sacchi); la Facoltà di Ingegneria di Perugia (resp. Loc.: Paolo Belardi). A queste si è aggiunto il contributo della Facoltà di Architettura Luigi Vanvitelli della Seconda Università di Napoli.

*dynamics towards heuristic uses. The study of pre-existence has revealed widespread human values, even in places in which human life was supposed to be absent, while methods which guarantee the integration of renovation, completion or refunctionalization initiatives have proved that such initiatives need not necessarily be destructive. Obviously this has opened up new perspectives as far as safeguarding the environment is concerned, perspectives which are also of great interest from a management and political point of view.*

## **Introduzione**

### **Come riguardare le coste**

Riguardare ha significato doppio: proteggere amorevolmente e osservare con spirito nuovo. Entrambi questi significati descrivono l'atteggiamento giusto con il quale oggi va affrontato il problema del degrado della costa italiana. Il doppio obiettivo è infatti quello di tutelarla da ulteriore impoverimento e di riqualificarla con interventi sapienti e mirati. Né l'uno né l'altro fine sono perseguibili se non si affronta la realtà con concretezza e con chiarezza d'intenti.

Il processo di sfruttamento selvaggio dei luoghi a più alto valore qualitativo del paesaggio italiano non può essere arrestato, né tantomeno invertito se non si prende atto delle leggi che regolano le tendenze in atto e se non si individuano le tecniche per disinnescare il circolo vizioso che alimenta il progressivo deterioramento di quello che fu uno dei più splendidi prodotti dell'equilibrio tra la natura e l'ingegno dell'uomo.

Un nuovo modo di riguardare deve sostituirsi ai palliativi di tutela oggi in atto, tanto miopi quanto fallimentari. Un modo di riguardare che sappia tener conto delle dinamiche in atto nel territorio, che sappia prevederle per governarle, che sappia riconoscere la qualità delle forze in campo per orientarle e utilizzarle a fini euristici. Un modo di riguardare che accetti senza riserve la realtà di un territorio che non è più quello cui si riferiscono i miti di un'estetica romantica, né quello sognato da un'ecologia nostalgica, ma quello di una realtà in trasformazione, sottoposta ai meccanismi inesorabili di uno sviluppo incontrollato.

La realtà da riguardare è quella vera, reale, da considerarsi con spietatezza, ma anche con speranza. La speranza di scorgervi forze giovani, qualità imprevedibili e fermenti di vita autentica che, senza ricorrere a modelli obsoleti di equilibrio eco-antropico non più proponibili, cerchino di stimolare il sorgere di una nuova qualità diffusa interstiziale, con potere autocatrizzante nei confronti dei guasti provocati dalle sciabolate dell'ottuso sfruttamento costiero.

## **Gli obiettivi della ricerca**

### **I metodi, i risultati, l'utilità politica del lavoro**

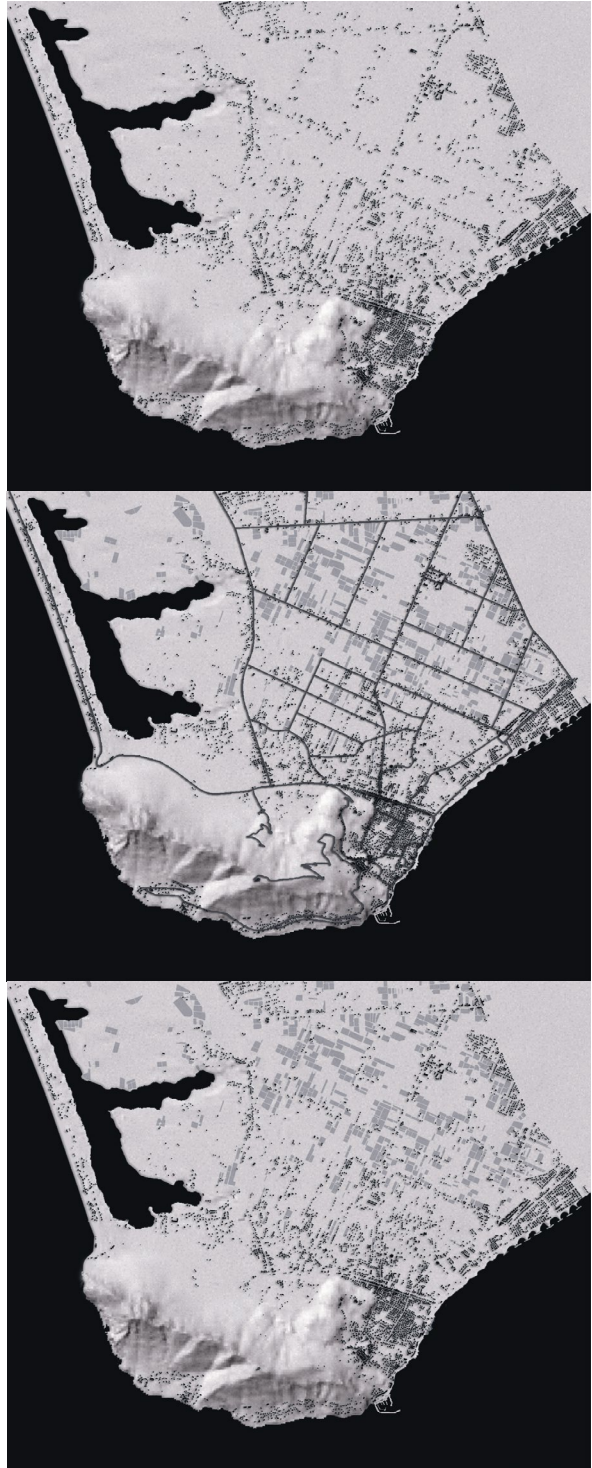
Sulla costa, dove si arresta ogni desiderio di espansione territoriale, si conclude e si concentra quell'ansia di conquista, alimentata dalla ricerca degli spazi vitali, le cui alterne vicende nell'entroterra hanno prodotto civiltà e culture. Il limite naturale delle terre argina l'avanzamento dell'antropizzazione del suolo, lasciando che sul bordo dell'acqua i processi di trasformazione si interrompano e si spengano, come fa l'onda sulla riva, talora serenamente,

**Figura 1 - Il litorale del Circeo.**

Individuazione di alcuni dei sistemi antropici e ambientali che caratterizzano il territorio. Si può notare come la parcellizzazione del territorio, per effetto della canalizzazione delle acque e della suddivisioni particellari, abbia determinato la sua urbanizzazione nel tempo mantenendo comunque alta la riconoscibilità della struttura originaria. Nel caso della fascia costiera, invece, la strutturazione del territorio si manifesta come adattamento ed esito di un'urbanizzazione sviluppatasi in tempi relativamente brevi e senza controllo (da *La riva perduta. Piano di monitoraggio e riqualificazione delle fasce costiere italiane*, a cura di Roberto de Rubertis, Officina Edizioni, Roma 2005).

**Figure 1 - The Circeo coastline.**

*Location of some of anthropic and environmental systems distinctive of the territory. To note how the fragmentation of territory, due to the water channelling and to the subdivision of landed estates, have brought to its urbanization keeping a high recognizability of the original framework in the same time. About the coastline instead, the framework of territory appear as arrangement and effect of an urbanization developed in short times and without control.*



talora con fragore distruttivo. Su quel bordo si addensano e si accalcano nel tempo assalti successivi di esigenze umane risolte e irrisolte che accumulano sul litorale i resti di conquiste compiute, ma anche di sconfitte patite, di trionfi ma anche di fallimenti, di glorie e di vergogne.

L'Italia possiede lungo la sua costa un patrimonio ambientale, culturale ed economico inestimabile. Vanta una storia profondamente nutrita dal rapporto con il mare, rapporto che l'ha indotta a riversare necessariamente sulla riva gran parte dei suoi interessi, traendo dal mare le principali energie vitali e stabilendo una relazione simbiotica tra l'acqua e la terra che sulla linea di confine ha fatto convergere memorie, programmi, tensioni, desideri e sogni.

L'accumularsi di eventi, fisici e immateriali, lungo le coste ha determinato nel tempo lo stratificarsi di una presenza antropica concentrata, sempre più attratta dal limite naturale dei territori abitabili e sempre più protesa all'affaccio sul margine. Nel bene e nel male.

Nel bene ha prodotto una selezione di accadimenti i cui segni concreti costituiscono una delle più eloquenti testimonianze del progresso della civiltà. Lungo le coste l'aggregarsi di attività d'ogni tipo ha delineato talora situazioni di equilibrio tra natura e artificio che sono l'esito di una selezione qualitativa prodottasi sui tempi lunghi e che, favorita dalla generosa bellezza originaria dei luoghi, ha prodotto in molti casi esempi di felice connubio tra innovazione umana e preesistenza ambientale, anzi di originale invenzione di nuove qualità naturali, conseguite proprio attraverso l'opera dell'uomo.

L'esito di questo processo evolutivo è segnato non di rado da manufatti eccellenti nei quali è oggi indistinguibile la natura dall'artificio e nei quali l'edificato si pone come atto di perfezionamento di un processo di trasformazione ambientale compiuto dall'opera dell'uomo. Opera che spesso genera anche i più preziosi gioielli del patrimonio ambientale italiano, fonte di godimento estetico, segno di agevole svolgimento delle attività ospitate e oggetto di interesse artistico e culturale per il mondo intero.

Ma nel male l'affaccio sul margine presenta una valenza opposta. Talora l'innovazione si è fatta largo verso lo sbocco sulla costa apportando irreversibile turbativa agli equilibri precedenti, devastandoli o compromettendone lo sviluppo. Talora il nuovo edificato non ha avuto tempo, o modo di trovare soluzioni armoniose con quanto lo precedeva e si è innestato con violenza o con insipienza lungo le coste, procurando gravi e talora gravissimi danni ambientali, attualmente di difficile risoluzione. Ampi tratti di costa hanno subito vere e proprie invasioni abusive, estranee ad ogni logico processo di sana amministrazione degli spazi e causa del loro progressivo degrado. Ne conseguono gravi problemi d'uso del territorio, nei confronti dei quali i provvedimenti legislativi del ripristino allo stato precedente o del condono generalizzato degli abusi sono impraticabili per l'estensione del danno e per l'improponibilità politica che spesso li caratterizza.

È a questi problemi che la presente ricerca intende proporre soluzioni. Dove più il litorale appare compromesso e devastato lì vanno individuate nuove strategie d'intervento. La riqualificazione delle fasce costiere deve prendere avvio proprio dalle aree maggiormente irrisolte, quelle dove il degrado appare nelle sue forme più disperate. È lì che vanno comprese le dinamiche in atto e le relazioni conflittuali in cui ha origine la perdita di qualità del territorio, nel convincimento che sia praticabile una terza via per la sua riqualificazione, che non passi né attraverso l'accettazione rassegnata di un processo di cui si è perduto il controllo, né attraverso reazioni di rigetto distruttivo, altrettanto dannose del male da estirpare.

Si delinea subito il metodo di lavoro che si è inteso proporre. La riqualificazione dei luoghi irrisolti passa per la scelta oculata di procedure “deboli” per la trasformazione della preesistenza; esclude invece, di massima, le soluzioni radicali e irreversibili, esito di pianificazioni autoritarie.

Il presupposto teorico della proposta qui avanzata nasce dalla constatazione che nei luoghi irrisolti, quelli più autenticamente comunicativi di esigenze vere e ineludibili, se pure mal rivelate, il caotico accostarsi di eventi edilizi incongrui riesca a produrre una sorta di habitat spontaneo, magari dequalificato e contraddittorio, ma efficacemente espressivo della civiltà contemporanea.

Accettare che anche le presenze edilizie “sgradevoli” possano essere incluse nel repertorio delle forme architettoniche rispettabili, costituisce una rivoluzione metodologica nell'approccio allo studio del territorio, dalla quale consegue la tendenza a ridurre il dominio della progettazione innovativa per estendere quello della progettazione per progressiva trasformazione.

In tal modo può favorirsi lo spontaneo autorinnovamento dell'edificato, senza programmi imposti, ma anche senza pericolosi cedimenti ad incontrollate improvvisazioni, in un equilibrio che può essere guidato solo da collaudata esperienza e da atteggiamento critico. Il convincimento che guida questa ipotesi di salvaguardia della qualità delle coste italiane è che assecondare e guidare selettivamente sia meglio che coartare e che rispettare l'identità dei luoghi, con tutta la dinamica delle loro trasformazioni, sia segno di civiltà e di evoluta capacità di convivenza con la realtà concreta.

Si tratta di un convincimento condiviso soprattutto in quegli ambiti culturali che hanno imparato ad apprezzare il valore delle testimonianze umane, comunque queste siano espresse, sia nelle loro manifestazioni nobili sia in quelle modeste, o addirittura dequalificate, in quanto comunque segnali di una volontà modellatrice che ha le sue radici nella storia della civiltà. È infatti sempre più riconosciuto che i manufatti, le strutture, le funzioni e i sistemi relazionali sorti progressivamente e liberamente sul territorio costituiscono un insieme il cui valore complessivo travalica la negatività di decisioni imposte in modo estemporaneo e affrettato, cui fanno seguito non di rado pentimenti tardivi. Infatti più volte nel tempo sono stati successivamente sottoposti a revisione giudizi di



Figura 2 - Stralcio della ricognizione fotografica del litorale di San Felice Circeo (da La riva perduta, cit.).

*Figure 2 - Excerpt photo reconnaissance of the San Felice Circeo coastline.*

ordine estetico, sociale e anche etico, emessi in origine sull'onda di valutazioni fallaci, così che talora gli esiti nefasti di distruzioni irriflessivamente compiute su manufatti poi rivelatisi di consistente spessore umano hanno prodotto perdite irrimediabili di valori antropici e conseguenti irreversibili danni nell'evoluzione della conoscenza.

Lo studio qui esposto ha affrontato il problema da due punti di vista. In primo luogo sono stati monitorati alcuni tra i campioni più significativi delle coste italiane, in modo da realizzare un censimento delle diverse condizioni in cui si presenta il rapporto tra natura e intervento antropico, sia quando esso ha prodotto esiti eccellenti, sia quando li ha gravemente compromessi.

In secondo luogo è stata proposta una serie di criteri operativi non distruttivi né palliativi che, proprio dall'analisi puntuale della situazione esistente, traggono indicazioni metodologiche per la riqualificazione delle coste.

Prima premessa fondamentale della ricerca è la certezza che sia oggi improcrastinabile un'opera di salvaguardia del valore figurativo e della godibilità di un bene inestimabile quale quello della fascia costiera. Seconda premessa ugualmente fondamentale è il convincimento che qualsiasi opera di riqualificazione debba basarsi su procedure efficienti ed efficaci, vale a dire tali da assicurare, con interventi concretamente fattibili, anche sotto il profilo economico e della rapidità attuativa, esiti apprezzabili su scala molto vasta.

Non può sfuggire che questo modo di affrontare il tema della riqualificazione offre alle amministrazioni locali una diversa e più attuabile procedura per la rivalorizzazione dei territori compromessi. Se attraverso lo studio della preesistenza è possibile fare emergere valori antropici diffusi, anche dove si supponeva fossero assenti, e se è possibile individuare metodi di intervento che ne garantiscano la possibilità di integrazione con opere di rinnovamento, completamento, o rifunzionalizzazione, non necessariamente distruttive, è evidente che si aprono nuove prospettive di salvaguardia ambientale, di grande interesse anche sotto il profilo gestionale e politico.

Nell'impossibilità di cancellare l'esondazione edilizia che ha invaso la fascia costiera, questa ricerca ha proposto forme di riqualificazione interstiziale, rispettose della preesistenza pregiata, ma anche interpreti delle particolari e spontanee identità locali che ormai hanno assunto le coste e che possono essere volte in positivo attraverso opportuni interventi mirati.

Per quanto precede sono stati perseguiti due obiettivi. Il primo ha riguardato il monitoraggio, per campionatura, delle aree costiere maggiormente aggredite dall'edilizia invasiva. Il prodotto di questo primo obiettivo è stato la messa a punto di un quadro conoscitivo concreto dello stato di antropizzazione delle coste italiane nella loro reale consistenza quantitativa e qualitativa; è stato perciò eseguito un rilievo tematico dello stato di fatto in alcune regioni campione, metodologicamente orientato alla valutazione delle loro potenzialità di miglioramento e applicabile all'intera fascia costiera nazionale.

Il secondo obiettivo ha riguardato la messa a punto di progetti pilota per la riqualificazione dei luoghi esemplarmente degradati, con simulazione degli esiti realizzata mediante architetture virtuali che hanno consentito di valutare realisticamente i risultati e i mezzi impiegati per conseguirli.

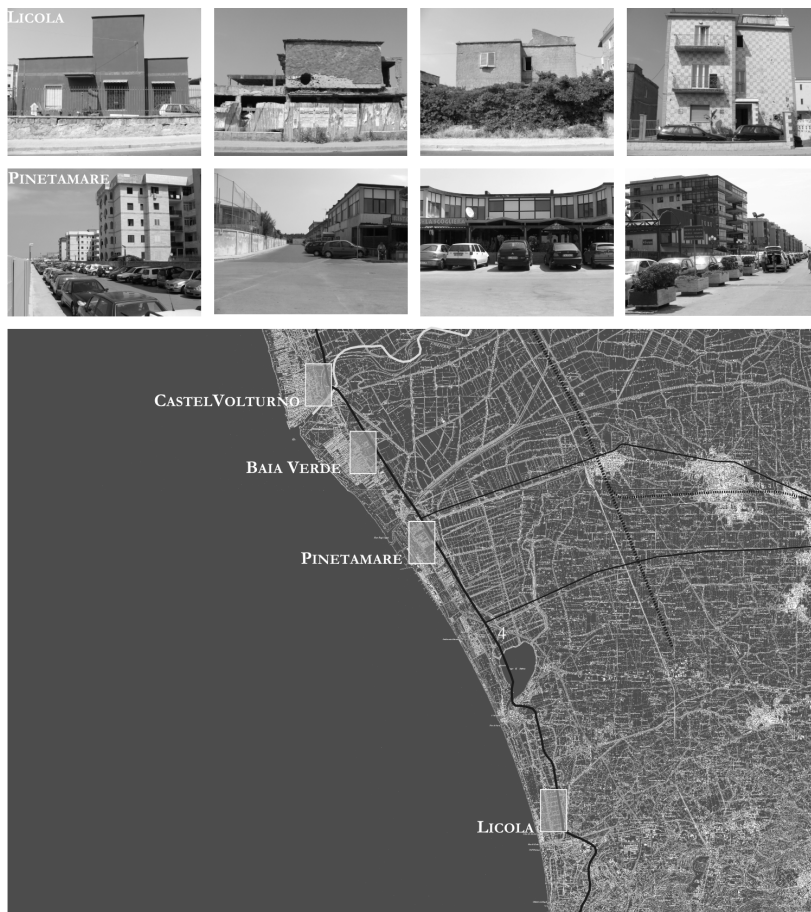


Figura 3 - **Tipologie abitative lungo la costa domizia.** La fascia costiera domizia è caratterizzata da un'attività antropica libera e incontrollata che nel tempo si è rivelata distruttiva per l'ambiente e per il territorio. Differenti tipologie residenziali si individuano nei seguenti abitati: l'insediamento di Licola, interessato negli anni '60 dalla realizzazione di villette monofamiliari; il Villaggio Coppola Pinetamare, dove alti condomini sorgono a pochi metri dalla battigia; gli abitati sviluppatasi lungo l'asse della Domiziana (Baia Verde), caratterizzati da palazzetti di due/tre piani, prospettanti la strada e con il pianterreno destinato al commercio; l'insediamento di Castelvolturno contraddistinto da abitazioni ad un solo piano con giardino annesso.

*Figure 3 - **Housing typologies along the domizia coastline.** The domizia coastline is marked from a free and uncontrolled anthropic activity that have been destructive for the landscape and territory. It's possibile to recognize different housing typologies in the following settled places: the Licola settlement, with single houses of the Sixties; the Coppola Pinetamare Village, where high blocks of flats rise near the shore-line; the settlements grown along the Domiziana axis (Baia Verde), marked from two/three storeys howses along the road with shops on the ground level; the settlement of Castelvolturno characterized from one storey housings with gardens.*



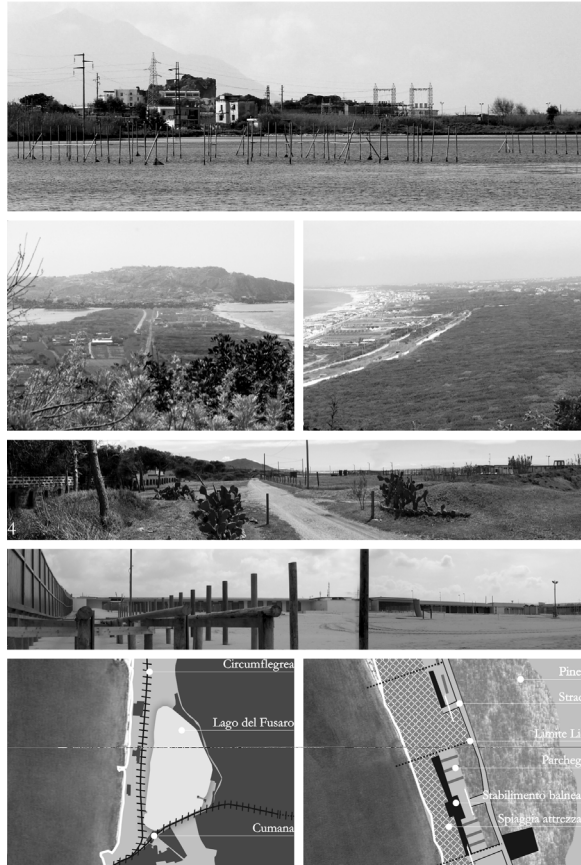


Figura 4 - **Le barriere percettive.** Lungo la costa si articolano tre tipi di barriere percettive: naturale (costituita dall'orografia e della macchia mediterranea) che crea un filtro innato tra il mare e la terra ferma; fisica (edilizia lungo la costa, attrezzature recettive e architettura balneare); infrastrutturale (strade, superstrade, linee ferrate). Le barriere costruite sono dovute agli interventi antropici non coerenti con l'assetto del territorio. Un esempio emblematico di barriera infrastrutturale lungo la costa è la Circumflegrea (1964); nel suo percorso da Torregaveta a Montesanto taglia la sottile lingua di terra che separa il lago Fusaro dal Mar Tirreno, ponendo un'interclusione per il potenziale spettatore, che percepirà in primo luogo la strada ferrata e i cavi dell'alimentazione. Barriera sia visiva che fisica è costituita per la maggior parte dall'architettura balneare, diffusa e intensiva su quasi tutto il tratto di costa analizzato.

*Figure 4 - **The perceptive barriers.** Along the coast it is possible to distinguish three different kind of perceptive barriers: natural (with mediterranean maquis and orography), that creates a innate filter between the sea and the ground; physical (buildings for tourism); infrastructural (roads, freeways, railways). The artificial barriera are due to the anthropic interventions incoherent with the country planning. A typical example of infrastructural barriera along the coast is the Circumflegrea (1964); along its run from Torregaveta to Montesanto it cut the thin tongue of land that separates the Fusaro lake from Tirrenian sea, putting an obstacle for the viewers in the sea direction. Visual and physical barriers are made up of seaside architectures, widespread and intensive on the most part of the coastline segment analized.*

# UNA METODOLOGIA DI APPLICAZIONE LOCALE DELLE LINEE GUIDA DELLA GESTIONE INTEGRATA DELLE ZONE COSTIERE: IL CASO DEL COMUNE DI TORINO DI SANGRO

Emilio Chiodo<sup>1</sup>, Andrea R. Natale<sup>2</sup>, Maria Laura Pierini<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze degli Alimenti - Facoltà di Agraria, Università di Teramo

<sup>2</sup> Gruppo di Ricerca, Applicazione, Progettazione e Pianificazione Ambientale, Assessorato all'Ambiente, Turismo e Cultura - Comune di Torino di Sangro (CH), P.za Donato Iezzi 14, 66020 - Torino di Sangro (CH); tel. 0873 91.31.21 - mob. 339 10.40.613; e-mail: ar.natale@aisa-on-line.org

<sup>3</sup> Dipartimento di Economia e Storia del Territorio - Facoltà di Economia, Università "G. D'Annunzio" (Chieti-Pescara)

**Riassunto** – Per una gestione, che tenda a rendere possibili tutti gli usi sostenibili del sistema costiero conservandone risorse naturali e capacità riorganizzative, è necessario conoscerne quindi: struttura, relazioni interne e esterne, capacità riorganizzative e obiettivi.

La metodologia elaborata, un strumento di analisi e gestione basato sulla definizione di Rete Locale degli Usi Costieri e Matrice della Conflittualità Generale, applicata sperimentalmente nella zona costiera di Torino di Sangro (Chieti), fornisce indicazioni circa: tipologie d'uso conflittuali, relazioni conflittuali e loro ubicazione e informazioni circa le possibilità di tenuta del sistema nel tempo per una data struttura d'usi, utilizzando indicatori di conflittualità ambientale; conflittualità tra gli usi e differenzialità degli usi, rendendo possibile sviluppare piani d'intervento considerando gli elementi di debolezza del sistema, le tipologie da modificare/eliminare e le zone nelle quali intervenire in modo prioritario.

*Abstract - The "management of the sea", referred to the coastal areas, consists to find and to put in practice models of organization for two sub-systems, respectively: the uses of the natural resources and the natural ecosystem.*

*The developed methodology, applied on the coastal zone of Torino di Sangro (Chieti) is useful to determine the Local net of the coastal uses and the Model of the relations between the coastal uses, with the proposed method and indicators (especially the three related to environmental conflictuality, use's conflictuality and use's diversity) is possible have clear and no expensive information for an integrated and sustainable coastal planning and management.*

## Introduzione

La compresenza di habitat terrestri, habitat marini, oltre a situazioni specifiche, caratteristiche delle zone ecotonali, fanno sì che le zone costiere siano ricche di biodiversità e allo stesso tempo molto fragili.

Le aree costiere sono aree importanti sia per gli ecosistemi marini che per quelli terrestri, il loro valore come "servizi ambientali" forniti all'uomo è pari al 40 % del valore complessivo dei servizi ambientali dell'intero Pianeta [2].

Le zone costiere, nonostante rappresentino circa il 10 % degli ecosistemi marini, sono aree chiave caratterizzate dalla massima produttività primaria marina: qui sono localizzate larga parte delle aree di riproduzione e crescita degli individui giovanili di molte specie.

Per gli ecosistemi terrestri le aree costiere sono zone importanti poiché da un lato sono dove viene minimizzata la perdita dei nutrienti e dall'altro (in particolare le zone umide) sono, anche per le specie terrestri, aree di riproduzione e crescita [3].

Nel tempo all'interno degli ecosistemi costieri, naturali, si è innestata una parte antropica che è diventata sempre più "importante" e impattante e ha dato origine ad un *sistema ambientale: natura (mare-costa) - uomo*.

La domanda di risorse (spazio, cibo, acqua potabile) e di usi (infrastrutture, trasporti, siti per rifiuti, turismo) sta crescendo e così i bisogni saranno sempre più conflittuali tra loro [3].

L'artificializzazione della costa, di fatto ha distrutto interi tratti di costa, abbiamo perso così una parte consistente delle nostre risorse naturali, della nostra biodiversità, specie rare, habitat estremamente preziosi e indispensabili, per poter sopravvivere, alle stesse attività che le hanno distrutte. Lungo tutto il litorale mediterraneo si ha una perdita di 2000 km<sup>2</sup> l'anno di aree naturali [8], tale perdita si ha su entrambe le interfacce antropizzate: il lato mare e il lato terra.

Le tipologie di uso delle risorse naturali sono aumentate notevolmente ed aumenteranno nel futuro; tale *sistema ambientale*, in molte realtà in Europa e nel Mondo, è oggi in una situazione di alta conflittualità degli usi costieri e conseguentemente di alta vulnerabilità ambientale. L'UNEP e l'Unione Europea hanno individuato le soluzioni a questa situazione preoccupante delle coste mondiali ed europee sviluppando la *Integrated Coastal Zone Management (ICZM)* – Gestione Integrata della Zona Costiera<sup>1</sup>.

## Inquadramento

L'area oggetto di studio ricade nel territorio comunale di Torino di Sangro (3.093 abitanti<sup>2</sup> e con superficie 32 km<sup>2</sup>), in Provincia di Chieti, situato nella parte centrale della Costa Teatina, anche nota come *Costa dei Trabocchi*, 45 km a sud di Pescara.

La zona studiata si estende lungo il fronte a mare per circa 6,5 km di lunghezza, tra le foci dei fiumi Sangro, a nord, e Osento, a sud. In senso trasversale, perpendicolarmente alla linea di costa, comprende una parte di spiaggia sommersa, dalla profondità di  $2 \div 2,5$  m ( $\lambda/2$ ), verso mare, mentre verso terra consideriamo come limite, limite variabile, la berma di tempesta.

---

<sup>1</sup> Per gestione integrata della zona costiera si intende: un processo Dinamico, Interdisciplinare e Iterativo, inteso a promuovere l'assetto sostenibile delle zone costiere, che copre l'intero ciclo di raccolta di informazioni, pianificazione, assunzione di decisioni, gestione e monitoraggio dell'attuazione. La Gestione Integrata delle Zone Costiere si avvale della collaborazione e della partecipazione informata di tutte le parti interessate al fine di valutare gli obiettivi della società in una determinata zona costiera, nonché le azioni necessarie a perseguire tali obiettivi. La Gestione Integrata delle Zone Costiere intende equilibrare, sul lungo periodo, gli obiettivi di carattere ambientale, economico, sociale, culturale e ricreativo nei limiti imposti dalle dinamiche naturali [1].

<sup>2</sup> <http://demo.istat.it>, 2005.

<i>Rete Locale degli usi costieri (Torino di Sangro)</i>	Tipologie	UCA (N)	UCA (P)	UCA (I)	UIEA (N)	UIEA (P)	UIEA (I)
1.8.1 alloggio per natanti e imbarcazioni	1						
3.1.1 rotte brevi	1						
3.3.1 lungo le coste	1						
5.3.1 per metano	1						
5.3.4 per altri tipi di gas	1						
5.5.1 limitate alla piattaforma continentale	1						
7.2.1 eliporti onshore	1						
8.1.2 pesca demersale	1						
8.1.4 raccolta di crostacei	1						
16.5.1 estuari	1						
16.6.5 gestione di singoli usi	1						
16.6.6 gestione di pluralità di usi	1						
18.1.1 conservazione di ambienti umidi	1						
18.1.3 riserve naturali	1						
18.1.5 aree speciali	1						
18.1.6 aree ecologicamente fragili	1						
18.1.7 aree protette anche per ragioni culturali	1						
18.1.8 specie terrestri protette	1						
18.1.9 specie volatili protette	1						
18.2.6 volatili marini protetti	1						
	54	17	18	20	27	7	20
Idt:	0,17	0,41	0,33	0,37	0,56	0,13	0,31

Figura 1 – Matrice UCA e UEIA. – *UCA and UEIA Matrix*

## Materiali e Metodi

Partendo dal lavoro di Vallega [10], denominato *Rete degli Usi del Mare* che sviluppava il modello GMIM (*Global Marine Interaction Model*) di Couper del 1983.

Il modello è basato su matrici quadrate e impostato in generale per le interazioni *Società-Oceani* e prevede 18 Categorie di usi del mare, 74 sub-categorie e 352 tipologie.

Individuate e localizzate le tipologie d'uso e le zone nelle quali esse hanno influenza è stata così identificata e definita la Rete Locale degli Usi Costieri (*LCUN – Local Coastal Uses Net*) che ha costituito la base per le indagini sul campo e per la prosecuzione del lavoro.

Dal *LCUN* si è passati all'elaborazione del Modello delle Relazioni degli Usi Costieri (*LCURM – Local Coastal Uses Relationships Model*): una matrice quadrata

all'interno della quale sono riportati, nello stesso ordine, sia nelle righe sia nelle colonne, gli usi costieri individuati nella rete comunale secondo la formula ( $X_i; X_j$ ), dove  $i$  e  $j$  sono compresi tra 1 e  $n$  (dove  $n$  è il numero di usi presenti) e nelle celle viene riportata la tipologia di relazione che intercorre tra i 2 usi considerati.

Dal *LCURM*, considerando per ogni uso le risposte degli ecosistemi e gli effetti indotti, otteniamo la Matrice della Conflittualità Generale (UCA-UEIA), riportata in figura 1, che ci permette sinteticamente di avere informazioni circa la Conflittualità esistente tra gli usi (*Use's Conflictuality Analysis - UCA*) e la Conflittualità tra gli usi e l'ambiente (*Use's Environmental Impacts Analysis - UEIA*).

Lo strumento sviluppato per lo screening ICZM considera i seguenti indici:

- Conflittualità ambientale ( $I_{CA}$ ), generale e relativo, riferito alla conflittualità ambientale, all'impatto/modalità di interazione di una tipologia, o di più tipologie presenti in una zona di costa, sull'ambiente naturale;
- Conflittualità tra gli usi ( $I_{UC}$ ), generale per tutti gli usi, relativo per un singolo uso su tutti gli usi, relativo tra due usi, o relativo ad una singola area di costa, prende in esame le interazioni tra usi e le modalità di interazioni reciproche (sinergia, indifferenza, danno);
- Differenzialità (diversità) degli usi ( $I_D$ ), generale per tutti gli usi della zona di costa in esame, o relativo riferito al numero di usi (singole categorie, sub-categorie e tipologie d'uso) riferiti ad una zona della costa.

Le informazioni date dai precedenti indici sono state poi utilizzate per costruire un set originale di indicatori di sostenibilità, ciascuno formato da un numero variabile di sotto-indicatori, e che riportiamo di seguito: **Acqua** (sotto-indicatori: *Qualità acque superficie, Qualità acque marino-costiere, Consumo, Allaccio rete fognaria*); **Biodiversità, Aree protette, Conflittualità** (sotto-indicatori: *Biodiversità, Aree protette, Nidificazione Frattino, UEIA*); Beni storico-artistico-culturali; Aria (sotto-indicatori: *CO, PM10, Benzene*); **Uso del territorio** (sotto-indicatori: *Aree urbanizzate, SAU, Aree Contaminate, Presenza aree/edifici a rischio idrogeologico*); **Densità abitativa** (sotto-indicatori: *Densità Abitativa, Tasso di Crescita*); **Rifiuti** (sotto-indicatori: *Raccolta differenziata, Adesione progetto gestione sostenibile dei rifiuti prodotta dagli operatori turistici*), **Gestione Costiera** (sotto-indicatori: *Concessioni (stabilimenti), Spiaggia Libera, Imbarcazioni da diporto, Darsene/porti, Difese (barriere), UCA*); **Certificazioni ambientali** (*ISO 9000 - 14000 - 14001; EMAS*); **Turismo** (sotto-indicatori: *Flusso turistico, Destagionalizzazione turisti*), **Istruzione, Occupazione e Reddito** (sotto-indicatori: *Tasso occupazione, Reddito pro-capite*), **Contatti e relazioni** (sotto-indicatori: *Luoghi svago e culturali, Qualità informatizzazione PPAA, Servizi on-line ai cittadini*).

Gli indicatori sono stati analizzati e sottoposti a *Normalizzazione*, procedura per la definizione di Indici sintetici, consente il confronto di indicatori dotati di diverse unità di misura poiché li rende dimensionali.

Fissati, per ciascun sotto-indicatore, un valore min e un valore MAX con la medesima unità di misura (valori desunti da leggi nazionali e regionali, documenti programmatici e dichiarazioni internazionali o in assenza di indicazioni, dalle esperienze di altri paesi, documenti interni, o dalla migliore performance dei comuni costieri della Provincia) si è applicata la formula:

$$sInd\ norm. = (Val. attuale - Val. min) / (Val. Max - Val. min)$$

1

dove *Val. Attuale* è il dato reale dimensionale più recente.

Ogni sotto-indicatore così definito ha valore compreso tra 0 e 1. L'indicatore è stato poi calcolato come media ponderata (pesi uguali e unitari) dei singoli sotto-indicatori normalizzati, assegnando a ciascuno di essi una valutazione qualitativa (da critica a eccellente), e indicando la percentuale di copertura dato, cioè della disponibilità del dato e facilità di accesso ad esso. Si è proceduto successivamente al calcolo della media degli indicatori, che ha finalmente restituito lo score finale totale del Comune, al quale sono stati poi abbinati l'indicazione qualitativa e un riferimento cromatico.

## Risultati

Complessivamente la zona costiera di Torino di Sangro presenta 54 tipologie di usi del mare su 327 con indice di Differenzialità generale  $I_{DT}$  pari a 0,17. Discreto il numero di sub-tipologie 26 su 69 con  $I_{Dst}$  (Differenzialità relativa) pari a 0,38.

Con 18 tipologie su 64, per le categorie Ricerca scientifica, Archeologia e Conservazione dell'ecosistema, abbiamo un più apprezzabile risultato di Differenzialità Relativa,  $I_{DR(Ct. 16/17/18)}$  pari a 0,28, valore positivo che testimonia, per le componenti a Compatibilità positiva, la presenza di elementi che, seppur non ancora coordinati ed integrati, possono costituire l'ossatura di un processo di gestione integrata e sostenibile degli usi costieri. Delle 54 tipologie d'uso presenti complessivamente, 15 sono localizzazione nel *Backshore*, 15 nel *Foreshore*, 25 nell'*Inshore*, 23 nel *Offshore* e 8 genericamente nella *Piattaforma continentale* (vedi figura 2).

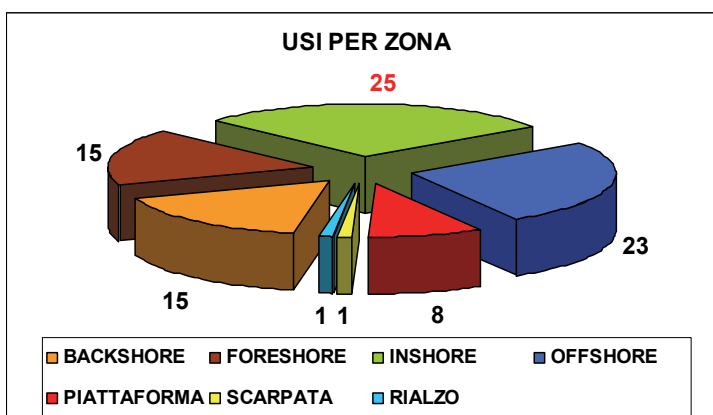


Figura 2 – Usi costieri per zona – *Coastal Uses for zone*

Le analisi congiunte dello Screening ICZM circa la Conflittualità esistente tra gli usi, UCA e la Conflittualità tra gli usi e l'ambiente, UEIA, hanno indicato come 15 le tipologie d'uso sulle quali intervenire in modo prioritario, così suddivise per categoria:

- Cat. 5, Condotte, con 2 tipologie d'uso conflittuali e con I<sub>UC</sub> indifferente e I<sub>CA</sub> negativo;
- Cat. 9, Idrocarburi, con 3 tipologie d'uso conflittuali e con I<sub>UC</sub> e I<sub>CA</sub> negativo;
- Cat. 13, Usi del tempo libero, con 3 tipologie d'uso conflittuali e con I<sub>UC</sub> e I<sub>CA</sub> negativo;
- Cat. 15, Scarichi, con 2 tipologie d'uso conflittuali e con I<sub>UC</sub> e I<sub>CA</sub> negativo;
- Cat. 16, ricerca scientifica, con 1 tipologia d'uso conflittuali e con I<sub>UC</sub> indifferente e I<sub>CA</sub> negativo.

Presentando l'attuale sistema degli usi costieri una buona percentuale di usi "convertibili" esiste la possibilità concreta di abbassare la vulnerabilità ambientale e perseguire la sostenibilità avviando seriamente un processo ICZM, che vada ad agire per migliorare il sistema nei punti critici e per aumentare le eccellenze, è possibile per ognuna delle categorie su elencate agire in modo coordinato e sviluppando apposite azioni sinergiche al fine di ridurre e/o convertire le modalità gestione dei singoli usi conflittuali [5].

La tabella A evidenzia, per ciascun indicatore e in totale, lo *score* o punteggio di sostenibilità totalizzato, la valutazione qualitativa, e la percentuale di copertura del dato<sup>3</sup>.

Tabella A – *Score di sostenibilità – Score of Sustainability.*

<b>Indicatore (n. sotto-indicatori)</b>	<b>Score (0-1)</b>	<b>Valutazione Qualitativa</b>	<b>Copertura</b>
Acqua (4)	0,64	Buona	100%
Biodiversità, aree protette, conflittualità (4)	0,39	Scarsa	100%
Beni storico-artistico-culturali (1)	0,5	Modesta	100%
Aria (3)	-	-	0%
Uso del territorio (4)	0,49	Modesta	100%
Densità abitativa (2)	0,93	Eccellente	100%
Rifiuti (2)	0,52	Accettabile	100%
Gestione Costiera (6)	0,63	Buona	100%
Certificazioni ambientali (1)	0	Critica	100%
Turismo (2)	0,19	Grave	100%
Istruzione (1)	0,51	Accettabile	100%
Occupazione e Reddito (2)	0,34	Scarsa	100%
Contatti e relazioni (3)	0,07	Critica	100%
<b>Totale</b>	<b>0,43</b>	<b>Modesta</b>	<b>92%</b>

<sup>3</sup> Un aspetto da sottolineare e tenere in debito conto è il fatto che le percentuali parziali e totali di copertura danno un'indicazione della disponibilità del dato, e sono dunque fondamentali ad integrare l'informazione quantitativa degli indicatori. Un dato non disponibile, non monitorato, o non fornito, rappresenta dunque una ulteriore informazione funzionale alla comprensione di un dato fenomeno e utile all'amministrazione per mettere in atto azioni correttive.

Gli aspetti negativi che influenzano lo score finale che si attesta su un punteggio intermedio (0,43) sono la mancanza di certificazioni ambientali, una non ottimale informatizzazione degli uffici della PA, l'assenza di servizi on-line offerti ai cittadini, una insufficiente percentuale di raccolta differenziata che non supera il 3 % sul totale dei RU prodotti. Buona invece la performance ottenuta nel campo della gestione costiera, dell'area urbana, scarsamente antropizzata, e dell'area protetta, oltre il 30 % dell'intero territorio, buoni i margini di miglioramento nei settori Rifiuti, Informatizzazione P.A. e Turismo.

## Considerazioni Finali

Il modello fornisce indicazioni circa le tipologie d'uso conflittuali, le relazioni conflittuali (tra gli usi, tra usi e risorse naturali) e la loro ubicazione, oltre a informazioni circa le possibilità di tenuta del sistema nel tempo per una data struttura d'usi, utilizzando indicatori di: conflittualità ambientale,  $I_{CA}$ ; conflittualità tra gli usi,  $I_{UC}$  e differenzialità degli usi  $I_D$ .

È stato possibile, semplicemente sottoponendo ad uno screening di *ICZM Analysis*, per una singola zona costiera conoscere gli elementi di debolezza del sistema *costa-società*, le singole tipologie da modificare/eliminare e le zone nelle quali si generano conflittualità e/o pressioni sugli ecosistemi naturali e nelle quali intervenire in modo prioritario.

Interessanti si sono dimostrati i possibili sviluppi futuri della metodologia in particolare riguardo gli indici applicati nel presente lavoro ( $I_{CA}$ ,  $I_{UC}$ ,  $I_D$ ) per verificarne la bontà teorica verificandoli in altre realtà e migliorare i set di indicatori proposti in modo da dare una informazione sintetica sul sistema *costa-società*.

Evidenziate le lacune informative che si sono riscontrate si è impostata una rete di monitoraggio della zona costiera che ci ha permesso di valutare quali- quantitativamente tutti gli elementi necessari a determinare lo stato dell'ambiente al momento di partenza e successivamente permetterà di verificare la bontà delle scelte intraprese per risolvere le criticità in atto.

L'applicazione del metodo proposto rende possibile perciò sviluppare piani d'intervento per riportare il sistema verso un'organizzazione interna sostenibile per l'ambiente e durevole nel tempo, impostandone una gestione integrata e coordinata dei vari usi presenti permettendone un riaggiustamento interno continuo, dinamico nel tempo e che consenta il massimo numero di usi possibili e sostenibili, oltre allo sviluppo di nuove tipologie d'uso future.

## Bibliografia

- [1] Commissione Europea - Allegato I della *Comunicazione circa la gestione integrata delle zone costiere europee* - COM (2000) 547, (2000), Commissione Europea, Bruxelles.
- [2] Costanza R., Arge D., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon M., Limburg K., Neeva S., O'neill R. V., Paruelo J., Roskin R., Sutton P., Van Der Belt M. -



- The Value of the World ecosystem services and natural capital*, Nature (1997) 387, 253-260.
- [3] Marotta L. - *Ecologia urbana e sistemi costieri*, in “Ecologia Urbana” a cura di Bettini V., (2003), Utet, Padova, 419-454.
- [4] Natale A. R. - *Gestione sostenibile della costa teatina*, (2005), Talea Edizioni, Atessa.
- [5] Natale A. R., Pierini M. L., Romano B., Di Marzio M., Palena I., Di Muzio S., Mancinone R. - *Insegnamenti per Avviare una Gestione Integrata della Zona Costiera in Provincia di Chieti*, (2006), Provincia di Chieti, WWF Italia Onlus - Sez. Provinciale Chieti, Lanciano.
- [6] Pierini M. L. - *Indicatori e metodologie per lo Sviluppo Sostenibile. Un'applicazione dell'Indice ISSI alla Provincia di Chieti*, (2005), Tesi di Laurea sperimentale in Economia Ambientale, Università degli Studi “G. D’Annunzio” Chieti-Pescara.
- [7] Ronchi E. (a cura di) - *Un futuro sostenibile per l'Italia. Rapporto ISSI 2002*, (2002), Roma, Editori Riuniti
- [8] Sauri D. e Breton. F. - *La mediterranea. Forces socioeconomiques i canvi ambiental*, Medi Ambient. Tecnologia i cultura (1998), 21, 47-53.
- [9] UNDP (United Nations Development Programme). - *Human Development Report 2001. Making new technologies work for human development*, (2001), Oxford University Press, New York.
- [10] Vallega A. - *Governo del mare e sviluppo sostenibile*, (1993), Mursia, Milano.

# GESTIONE SOSTENIBILE DEGLI AMBIENTI COSTIERI E BALNEAZIONE

Filomena D'Antò<sup>1</sup> Emiliano Esposito<sup>2</sup>, Adriana Lanni<sup>3</sup>, Mario Morra<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Libero professionista, via Pavia, 45 – 80021 Afragola (Na), Tel. 0818511107,  
e-mail: filomenadanto@yahoo.it

<sup>2</sup>Imprenditore – Monte di Procida, <sup>3</sup>Libero professionista - Napoli, <sup>4</sup>Imprenditore - Napoli

**Riassunto** – L'articolo si pone l'obiettivo di individuare i benefici derivanti da una certificazione (ISO 14001 e 9001) nel rispetto dei parametri qualitativi e ambientali che uno stabilimento balneare, in particolare in Campania, dovrebbe avere sia da un punto di vista di servizi verso le utenze, che per la salvaguardia dei litorali, valutando i punti di maggior criticità per una gestione ottimale del territorio.

*Abstract* – This work focuses on the individuation of the advantages, derived from a ISO 14001 / 9001 certification and the respect of the environmental and qualitative parameters that a bathing establishment, in Campania, should comply with from the point of view of the customer services as well as the protection of the coasts, weighting the critical issues to obtain the optimal handling of the landscape.

## Introduzione

La risorsa mare rappresenta uno degli elementi trainanti dell'economia del nostro paese, pertanto, la conoscenza del suo stato di qualità e di salute è presupposto sostanziale per la gestione sostenibile della fascia costiera e criterio indispensabile per predisporre interventi mirati al risanamento e alla protezione dell'ambiente marino-costiero. Le aree costiere meritano, quindi, una particolare attenzione per la loro salvaguardia e tutela, ma ciò non deve influenzare negativamente lo sviluppo di attività sociali ed economiche ad esse legate. In tale contesto si è pensato di porre particolare attenzione alle attività degli stabilimenti balneari, che, nel rispetto della normativa vigente e dello sviluppo sostenibile, possono non solo preservare l'ambiente culturale e naturale, ma anche essere strumenti di rivalutazione economico-sociale delle coste campane.

## Inquadramento territoriale

La regione Campania si presenta come un territorio litoraneo alquanto particolare costituito da un margine naturale, il mare, e un margine antropico, formato da insediamenti urbani, strade litoranee e tratti di ferrovia. La fascia costiera, con i suoi oltre 450 km è tra le più varie ed interessanti del bacino del Mediterraneo in quanto ricca di ambienti litoranei assai diversificati: 40 % bassi e sabbiosi (Piana del Volturno e del Sele), 60 % alti e

rocciosi (Penisola Sorrentina, Cilento), con aree marine protette, come l'area di tutela biologica "Santa Maria di Castellabate", il "Banco di Santa Croce", la riserva marina "Punta Campanella" e i parchi sommersi "Baia e Gaiola", che rappresentano un notevole patrimonio paesaggistico ed ambientale. In Tabella 1 si riporta la distribuzione dei chilometri di costa per le tre delle cinque province campane.

La singolarità del paesaggio rende le coste campane uno dei maggiori poli attrattivi del turismo sia nazionale che estero. Si pensi che quest'anno, sono state assegnate ben 8 Bandiere Blu a spiagge campane, in virtù della qualità delle acque e della costa, dei servizi, delle misure di sicurezza e dell'educazione ambientale. Risultato incoraggiante ed in linea con l'andamento degli ultimi 15 anni, come mostrato in figura 1, dove si evidenzia un lieve, ma continuo incremento dei tratti di costa balneabili, frutto della politica ambientale europea e del recepimento delle sue direttive da parte della regione Campania.

Tabella 1- Distribuzione tratti di costa per provincia.

*Table 1- Coast-line distribution by district.*

Provincia	Lunghezza Costa (km)
Caserta	46,00
Napoli	200,00
Salerno	256,00

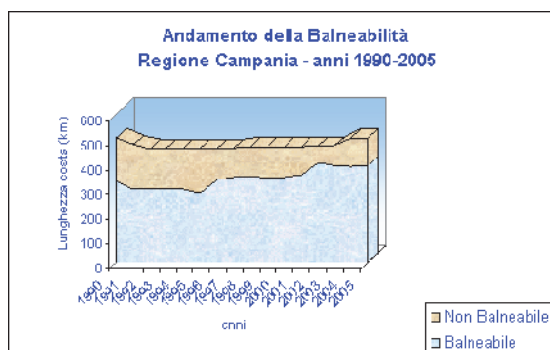


Figura 1 - Andamento balneabilità anni 1990-2005.

*Figure 1 - 1990-2005 bathing trend.*

## Normativa

Gli aspetti legislativi e gestionali della costa riguardano un ambito assai delicato che al momento attraversa una fase di transizione se si considera il passaggio che si è avuto negli ultimi anni della fascia costiera dal demanio dello Stato prima, alle Regioni e poi ai Comuni. La conoscenza della natura delle coste deve permettere di predisporre specifiche normative nel rispetto delle prescrizioni dei Piani Urbanistici Territoriali e in accordo con proposte che permettano la riqualificazione, il potenziamento e lo sviluppo, anche sotto il

profilo occupazionale, delle attività che si possono svolgere lungo i litorali. A tal proposito la regione Campania sta elaborando il Piano di Utilizzazione delle aree del demanio marittimo per attività turistico-ricreative (PUAD), che istituisce, a sua volta, l'obbligo per i comuni della redazione dei PAD "Piani particolareggiati delle aree demaniali marittime". Il PUAD costituisce lo strumento a valenza economica e di indirizzo per disciplinare l'uso del territorio costiero ai fini turistico-ricreativo (Legge 494/93) individuando le tipologie di insediamento, fissando regole e standard per i servizi, stabilendo le tipologie utilizzabili, i materiali, il tutto nel rispetto della natura del paesaggio e della normativa urbanistica, paesaggistica ed ambientale. Tuttavia c'è da sottolineare che nel medesimo comune ci si scontra sovente con la mancanza di omogeneità nella gestione degli arenili, e nella impossibilità di operare una corretta applicazione delle regole prescritte.

## **Evoluzione delle strutture balneari**

La particolare attenzione volta alla balneazione è conseguenza di un nuovo assetto delle attività turistiche ad essa legate, viste non più come iniziative accessorie e temporanee, ma protagoniste a pieno titolo dello sviluppo. Per poter meglio comprendere ciò bisogna considerare l'evoluzione che queste imprese hanno subito negli anni. La prima vacanza al mare sembra debba ascriversi alla Duchessa di Berry nel 1822, che su invito di un amico, andò a prendere il fresco in riva al mare: venne alla luce un rito estivo. Non era ancora la balneazione intesa come puro divertimento, ma piuttosto come terapia: i corpi erano infagottati da buffi costumi, i sessi erano divisi, ma di lì a poco l'idea della vacanza al mare avrebbe subito un'importante evoluzione. Nel giro, infatti, di pochi anni lo stesso rapporto terra-mare venne radicalmente aggiornato, a partire dai manufatti architettonici (strutture in ferro, legno e stoffa) ritenuti pienamente integrati con il paesaggio dell'epoca. Le coste, che fino a quel momento erano caratterizzate prevalentemente dalla presenza di impianti adibiti alla pesca, alla coltura dei prodotti ittici e alla lavorazione del sale, divennero scenario di nuove attività e installazioni: moli e pontili. In Italia, l'epoca della villeggiatura al mare ebbe inizio nel 1820 quando Paolina Bonaparte si fece costruire una magnifica villa sulla spiaggia di Viareggio. Di lì a poco comparvero sulle spiagge i primi "casotti" adibiti come spogliatoi per i bagnanti, ma l'avvento vero e proprio degli stabilimenti balneari si ebbe intorno al 1930. Ciò comportò la nascita dei "lungomare", di pontili e terrazze che si affacciavano sull'acqua, dei chioschi degli acquafrescai, dei caffè all'aperto e delle gelaterie: cambiava la fisionomia delle fasce costiere. Nel secondo dopoguerra poi, si ebbe l'esplosione del cosiddetto turismo di massa. Anche questo fenomeno di costume, però, ebbe vita breve e dai cosiddetti "Lidi", frequentati da un pubblico familiare e tendenzialmente stanziale, si è giunti oggi ad un'utenza diversificata ed esigente, per cui gli stabilimenti balneari hanno dovuto moltiplicare quantità e qualità dei servizi offerti, non necessariamente legati solo alla balneazione. Sulla base di tali cambiamenti, lo stabilimento balneare ha assunto il ruolo di vera e propria "impresa turistica" (Legge 494/93 e s.m.i. del 2001), che, consapevole del fatto che la fascia costiera rappresenta proprio la prima irripetibile risorsa, si deve porre con forza all'attenzione del pubblico come uno dei primi e più interessati manutentori e gestori di queste zone, esaltandone gli aspetti paesaggistici ambientali che rappresentano sempre più uno dei primari requisiti che gli utenti desiderano trovare.



Figura 2 - Bagnante anni Trenta.  
*Figure 2 - Thirties bather.*



Figura 3 - Pontile anni Settanta.  
*Figure 3 - Seventies dock.*

## Impatto ambientale ed economico

Negli ultimi anni, gli operatori turistici del settore balneare hanno puntato sempre più sull'offerta e la qualità dei servizi arricchendo le proprie strutture con attrezzature ricreative, ma tra le risorse cui più si punta per lo sviluppo delle aziende le qualità ambientali giocano un ruolo fondamentale. Purtroppo, però, se da un lato gli stabilimenti balneari fondano grande parte delle proprie attrattive su fattori ambientali di rilievo, risorse idriche, energetiche e alimentari, d'altro lato possono generare una forma di stress per l'ambiente, che si traduce in degrado: affollamento, abusivismo, abbandono di rifiuti solidi, emissioni in atmosfera, eccessi di infrastrutture, scarichi, sprechi di risorse non facilmente rinnovabili. L'impatto è la rottura di un equilibrio, dovuta all'introduzione di una variante in una parte di territorio, che produce delle reazioni indesiderate, imprevedibili. L'attività turistica genera impatti a molteplici livelli e spesso non circoscrivibili:

- *Impatto economico*, costi e benefici dovuti allo sfruttamento dei beni demaniali e all'erogazione di un servizio ai clienti;
- *Impatto sociale*, cambiamento del territorio sfruttato e della qualità della vita della popolazione ospitante;
- *Impatti ambientali*, cambiamenti geomorfologici e degli ecosistemi marini;
- *Impatti territoriali*, modifiche dell'uso del suolo e variazioni delle infrastrutture.

Bisogna, inoltre, considerare che queste azioni vanno a sommarsi a fatti già preesistenti, quali: l'urbanizzazione, le probabili fonti di contaminazione legate alle attività industriali, agricole e zootecniche, l'immissione in mare di fiumi, in cui si riversano scarichi di ogni genere e i reflui degli impianti di trattamento che possono agire negativamente sul clima e le caratteristiche idrogeologiche della fascia costiera. Il turismo costiero risulta, quindi, penalizzato da un degrado ambientale per il quale l'unico responsabile è l'uomo.

Le componenti su cui gli impatti agiscono maggiormente sono: acqua, aria, suolo, flora e fauna, ed è proprio in tale ambito che si è capito che per ridurre il degrado delle risorse in ambito turistico, si doveva dal turismo balneare stesso ricavare fondi per finanziare progetti di recupero e miglioramento delle stesse aree naturali interessate.

Analizziamo di seguito i possibili “danni” ambientali più significativi, che dipendono essenzialmente dal tipo di struttura ricettiva e dalle caratteristiche dell’area:

- *Inquinamento delle acque*: le falde acquifere possono essere inquinate dagli scarichi prodotti non preventivamente trattati;
- *Inquinamento dell’aria*: è essenzialmente legato ai gas di scarico dei mezzi di trasporto che i turisti utilizzano per raggiungere gli stabilimenti balneari cui si aggiungono anche fumi ed odori legati strettamente ad alcune specifiche attività dello stabilimento balneare, quali, per esempio, la ristorazione;
- *Inquinamento acustico*: è dovuto anch’esso ai mezzi di trasporto o alle attività ricreative legate all’intrattenimento turistico: discoteche, parchi per il divertimento;
- *Inquinamento visivo*: è forse la forma di danno più evidente dovuta essenzialmente ad una scarsa attenzione al paesaggio e al contesto ambientale della zona ove sorge lo stabilimento balneare, uso di materiali e colori non appropriati, uso di insegne o cartelli segnaletici troppo invadenti che ostruiscono viste panoramiche;
- *Inquinamento del terreno*: si ha essenzialmente per il cattivo funzionamento degli scarichi o di un inadeguato servizio di raccolta rifiuti. Non bisogna però sottovalutare la mancanza di educazione degli stessi utenti.

Sembrirebbe che da tali analisi le attività dello stabilimento producano, sempre e comunque, degli effetti negativi sull’ambiente circostante, in realtà non è così, dato che, con una gestione attenta e responsabile delle attività, gli effetti sul territorio possono rivelarsi benefici. Partendo dal presupposto che il turismo non deve essere sinonimo di sfruttamento indiscriminato si può ragionevolmente pensare che operando nel pieno rispetto della tutela dell’ambiente, della legalità e del risparmio oculato delle risorse non facilmente rinnovabili si possa costruire uno sviluppo socio-economico che agisca come volano positivo per il miglioramento ed il recupero degli ambienti in “sofferenza”.

Le principali “azioni” che vanno pensate e costruite in tale direzione devono privilegiare essenzialmente le seguenti priorità:

- *Conservazione e salvaguardia delle aree naturali*, il turismo può servire a preservare le aree naturali, grazie alla stimolazione da parte degli imprenditori degli stabilimenti balneari, di una coscienza ambientale condivisa;
- *Miglioramento della qualità ambientale*, l’ambiente è la risorsa principale su cui le attività balneari fondano la propria attrattiva, se ne deve preservare la qualità attraverso programmi di riqualificazione paesaggistica continuativi;
- *Rafforzamento della coscienza ambientale*, laddove l’utente percepisce un’attenzione particolare per l’ambiente circostante da parte del gestore dello stabilimento, è invogliato ad assumere atteggiamenti più consoni e consapevoli;
- *Occupazione*, essendo l’attività turistica varia e differenziata volta principalmente alla soddisfazione delle esigenze del cliente, ad essa è legata una forte richiesta di personale “capace” con una notevole diversità di ruoli da coprire;
- *Sviluppo di reti e infrastrutture*, i vari settori dell’organizzazione della “filiera” del turismo (tour operator, agenzie di viaggio) attraverso una cooperazione con gli stessi stabilimenti possono ottenere vantaggiosi incrementi della competitività sul mercato e contribuire ad aumentare anche la ricchezza delle popolazioni locali e delle relative amministrazioni, con maggiori capacità di autofinanziamento di iniziative a favore dell’ambiente e dello sviluppo ecocompatibile.

L'utilizzo ottimale delle aree costiere risulta, dunque, uno dei primi obiettivi da perseguire non solo per preservare le risorse ambientali tutt'ora esistenti ma principalmente per iniziare un recupero sistematico dei tratti di costa sino ad oggi soggetti all'incuria e ad uno sfruttamento erroneo assolutamente dannoso per l'ecosistema marino-costiero.

## **Certificazione ambientale e di qualità come punto forza**

Tra i diversi strumenti da utilizzare per il miglioramento qualitativo e quantitativo nell'erogazione dei servizi si collocano oggi con sempre maggiore rilievo i sistemi di gestione integrata, sia di qualità che ambientale. Gli standard di riferimento al tal proposito sono le norme ISO ed il regolamento EMAS, strumenti volontari di ecogestione che possono contribuire allo sviluppo sostenibile del turismo balneare. La loro importanza ha trovato piena condivisione da parte di pochi imprenditori campani, solo 5 su circa 600 risultano ad oggi in possesso di una delle certificazioni (e solo 1 le possiede entrambe).

Tabella 2 - Distribuzione per provincia degli stabilimenti balneari.

*Table 2 - Bathing resort distribution by district.*

Provincia	Stabilimenti	Stabilimenti Certificati
Napoli	138	2
Caserta	134	0
Salerno	216	1
Isole	116	2
Totale	604	5

Un esempio tangibile di quanto una certificazione possa migliorare la gestione di un'impresa turistica balneare, contribuendo parallelamente a minimizzare i possibili impatti ad essa dovuti, ci è dato da due Aziende Storiche che operano in Campania dotate di un sistema di gestione di qualità e ambientale: "Bagno Elena" (ISO 9001) e "Lido Miliscola" (ISO 9001e ISO 14001). Il contesto di esercizio delle due aziende pur facendo parte della medesima provincia (Napoli), risulta profondamente diverso: Bagno Elena, nato nel 1840 in un tratto di costa della Baia di Posillipo, è un'oasi in pieno centro cittadino, un luogo di incontro, in uno degli angoli più suggestivi del Golfo di Napoli. Oggi, tra tradizione e innovazione, rispetto dell'ambiente e potenziamento delle risorse turistiche, questo centro turistico si conferma uno dei più affermati della Regione, grazie alla particolare attenzione volta alla *customer satisfaction* e al proprio sistema di gestione qualità. In un'azienda di servizi, quale Bagno Elena, la dimensione "comunicazione" ha funto da indicatore della qualità del servizio erogato e di quello realmente percepito dal turista. Infatti in tale ottica, dopo aver attuato un proprio sistema di gestione qualità che comprendeva:

- **Aspetti tangibili**, della struttura (ricostruzione del pontile già esistente con legno a basso impatto ambientale, scarichi in pubblica fognatura, adozione di pannelli solari per le docce), formazione del personale;
- **Affidabilità**, capacità di prestare servizio in modo preciso e sicuro ( presenza in loco di un medico di primo soccorso, accessibilità ai portatori di handicap);
- **Capacità di risposta**, volontà di capire le esigenze del cliente per fornire prontamente ciò di cui ha bisogno (ristorazione, bar, docce, solarium);
- **Competenze**, possesso da parte del personale delle conoscenze necessarie a prestare il servizio nel miglior modo possibile (cortesia, disponibilità, brevetti);
- **Credibilità**, giusta risposta economica tra domanda del cliente e servizio offerto.

Bagno Elena ha adottato uno strumento d'indagine molto efficace, ossia un questionario somministrato ad un campione di clienti, che ha offerto, in termini di efficacia di rilevazione, la possibilità di confrontare la proposta con i servizi effettivamente prestati. Si tratta di una metodica d'indagine molto economica, in termini di tempo di erogazione e di analisi dei risultati, e più efficace in virtù della garanzia di anonimato che fornisce.

Lido Miliscola, costruito alla fine degli anni '40, è un'originale terrazza sul mare di Monte di Procida, paese arroccato su un piccolo promontorio che sembra volersi isolare dal territorio circostante per protendersi verso il mare. Vanta tra le sue peculiarità una conduzione da sempre a carattere familiare, che offre annesso allo stabilimento servizi (cabine, solarium, lettini, sdraio e ombrelloni, un attrezzato *baby park*), che, pienamente integrati, fanno da cornice, a quello che è il polo attrattivo per eccellenza di tale zona, ossia lo splendido panorama. Lido Miliscola, con non poche difficoltà iniziali dovuti agli adeguamenti strutturali, normativi, gestionali, ecc, ha potuto appurare che, conseguendo una certificazione sia ambientale che di qualità, si è ottenuto un miglioramento al *management*, riflesso su una maggiore attenzione verso l'ambiente e l'erogazione dei servizi ai clienti.

Le prime difficoltà che si sono dovute affrontare hanno riguardato, innanzitutto, i costi sostenuti per l'ottenimento delle due certificazioni, che ancora oggi risultano abbastanza elevati, ma anche per la copiosa documentazione a partire da tutta la normativa, fino a tutti i contratti da stipulare con aziende specializzate per lo smaltimento dei rifiuti speciali. Il punto da cui si è dovuti partire sono stati la gestione dei rifiuti solidi urbani, prodotti sia dallo stabilimento che dalla ristorazione annessa. Utile, a tal proposito, è stata l'applicazione da parte del Comune di Bacoli della raccolta differenziata, grazie alla quale con specifica cartellonistica su ogni raccoglitore si è riusciti a differenziare il 60 % dei rifiuti con il recupero di bottiglie di vetro, alluminio, carta, biologico, solo il 40 % è secco e indifferenziato. Per la gestione delle acque nere è stato stipulato un regolare contratto con una ditta di espurgo per lo smaltimento in attesa della costruenda rete fognaria. L'abbattimento dei fumi del forno a legna e della cucina è garantito con apposito sistema di filtraggio, che riducono al minimo le emissioni in atmosfera di agenti inquinanti, ma che hanno come contropartita negativa la produzione di rifiuti speciali, tipo filtri a lane di vetro, carboni attivi, fuliggini, il cui smaltimento deve essere affidato a ditte autorizzate. Le emissioni in atmosfera rientrano negli indici dell'inquinamento poco significativo, per le caldaie presenti viene usato il metano con attacchi in parallelo a pannelli solari per il riscaldamento dell'acqua. Residui di pittura, oli meccanici, lampadine, neon, oli esausti vengono ritirati da ditte specializzate. I gas per gli impianti frigo sono tutti a norma. I materiali usati per la costruzione dello stabilimento e le relative innovazioni sono prevalentemente in legno,



atossici. La formazione del personale e la sensibilizzazione della clientela al rispetto delle "nuove regole" hanno un ruolo cruciale per poter meglio comprendere quanto una gestione attenta possa migliorare la qualità del servizio e soprattutto dell'ambiente.

## Conclusioni

L'analisi effettuata ha sottolineato da un lato la valenza sociologica dello stabilimento balneare come nucleo di aggregazione e come momento qualificante del sistema di offerta turistica locale, da un altro i possibili apporti che tali strutture possono offrire in termini occupazionali ed economici alle singole realtà regionali laddove però vengono osservati scrupolosamente parametri gestionali improntati all'innovazione tecnologica ed al costante rispetto del risparmio massimo del consumo delle risorse. Si è cercato di capire inoltre quali potevano essere gli elementi di maggiore stimolo per gli altri stabilimenti balneari legati alla acquisizione di una certificazione, per abbattere i valori di maggior criticità nella gestione ottimale delle aziende e per minimizzare l'impatto ambientale dovuto alle situazioni di massimo stress estivo. C'è da tenere presente che molte località, prima sconosciute, sono state rese accessibili e fruibili, proprio per fini balneari, dall'iniziativa privata e che molte altre imprese sarebbero orientate ad ammodernare le proprie strutture in un quadro normativo più chiaro, che garantisca risposte in tempi brevi, con valutazioni non affidate a discrezionalità e che non veda ogni modifica proposta come un attentato all'ambiente! La regione Campania per sviluppare il comparto balneare, deve puntare a tutte le opzioni che ogni paese può offrire sul piano dell'arte, dei beni culturali e delle manifestazioni legate anche all'enogastronomia e alle tradizioni locali che si avvantaggiano anche di un clima ottimale per sviluppare il fenomeno della destagionalizzazione, con iniziative di intrattenimento differenziate.

Lo studio svolto, punto di partenza per futuri sviluppi soprattutto nell'individuazione e risoluzione delle problematiche maggiormente ricorrenti, può servire a motivare maggiormente coloro che abbiano deciso di certificare le proprie aziende per migliorare la gestione per qualità ed utenza, a tutto vantaggio dello sviluppo economico anche di quei territori che possono sembrare marginali, nel pieno rispetto però della tutela delle risorse e delle dignità di chi di esse usa.

## Bibliografia

- [1] Aletta B., De Francesco A.- *Bagno Elena in Posillipo dal 1840*, (2004), Rognosi, Napoli
- [2] Camera di Commercio di Napoli - *Mare, Turismo e Territorio*, (2004), Giannini, Napoli.
- [3] Rosi M. e Jannuzzi F. - *L'area costiera mediterranea*, (2000), Giannini, Napoli.
- [4] Rosi M. e Jannuzzi F. - *I luoghi costieri del Mediterraneo*, (2002), Giannini, Napoli.
- [5] Rosi M. e Jannuzzi F. - *Le coste napoletane*, (2003), Giannini, Napoli.

Siti internet: [www.arpac.it](http://www.arpac.it), [www.bagnoelena.it](http://www.bagnoelena.it), [www.lidomiliscola.it](http://www.lidomiliscola.it),  
[www.regione.campania.it](http://www.regione.campania.it).

# L'IMPATTO DEL TURISMO RURALE E DELL'AGRITURISMO SULLE AREE COSTIERE DELLA REGIONE LAZIO

Nicola Galluzzo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Università degli studi di Teramo Dipartimento di Scienze degli alimenti  
Unità di ricerca Economia agraria, Viale C. Lerici, 1 64023 Mosciano S. Angelo (Te)  
Tel. 0861 26672, Fax. 0861 266754, e-mail: nicoluzz@tin.it.

**Riassunto** – Le aree costiere della regione Lazio hanno subito una notevole pressione antropica nel corso degli anni, all'interno delle quali, inoltre, si è verificato un significativo sviluppo di attività turistiche complementari come l'agriturismo. Per riuscire a valutare l'impatto delle attività antropiche, turistiche ed agricole sulle zone costiere della regione è stato definito un indicatore lineare, con tre diverse simulazioni. L'analisi ha dimostrato il ruolo delle aree protette nella salvaguardia delle zone litoranee e degli strumenti di programmazione decentrata e concertata per garantire uno sviluppo condiviso del turismo e la salvaguardia dell'ambiente da parte delle imprese agricole multifunzionali.

*Abstract* – The coastal areas of Lazio region have had a notable anthropical pressure during last years, in which, there has been a notable increase of complementary tourism as farm holidays and rural tourism. The aim of the present research is to define a linear indicator, with three different simulations, to value the impact of anthropic activities, tourist activities and of agricultural activities on the coastal zones. The research work has shown the role of protected areas and natural park in the safeguard of coastal areas and, in particular, the importance of planned and shared decentralized planning to guarantee a sustainable development of the tourism and the environment safeguard from multifunctional farms.

## Introduzione

In Italia, dagli anni ottanta, si è osservato un fenomeno di controurbanizzazione, a seguito del quale si è registrato un consistente spostamento insediativo dai grossi centri urbani verso le aree agricole limitrofe, divenute aree rurali alle quali è stato demandato il compito di presidio e di salvaguardia del territorio. La segmentazione del mercato turistico, avvenuta negli ultimi venti anni, ha comportato una concentrazione degli arrivi nelle località marine, con una destagionalizzazione dei consumi turistici, e la necessità di abbinare i soggiorni in località marine con altre tipologie di turismo [3].

L'agriturismo ed il turismo rurale hanno raggiunto in Italia un notevole sviluppo, con una distribuzione territoriale abbastanza disomogenea, dando origine, in alcune aree della penisola, ed in modo particolare in quelle costiere, caratterizzate dalla presenza di siti turistici e/o naturalistici significativi, a tassi di crescita consistenti ed a discreti livelli di specializzazione territoriale. In alcune aree costiere il turismo rurale ha svolto e svolge una funzione sostitutiva rispetto alla ricettività alberghiera tradizionale, con la conseguenza di

generare delle pressioni ambientali negative, sia per le comunità ecologiche sia per quelle economiche che vi risiedono.

Lo scopo della presente ricerca è stato quello di valutare l'impatto che le forme di ricettività turistica rappresentate dall'agriturismo e dagli esercizi complementari hanno avuto sui comuni costieri della regione Lazio, valutandone l'evoluzione in un periodo di otto anni, verificare come l'attività agrituristica si sia inserita e/o integrata con le aree naturali e le aree costiere, anche alla luce della legge regionale n. 1 del 5 gennaio 2001, recante le norme per la valorizzazione e lo sviluppo del litorale del Lazio. Per capire come l'agriturismo si integra con le aree costiere sono state opportunamente valutate le problematiche e le criticità che i comuni costieri hanno manifestato in termini di balneabilità della costa, di diffusione di aree protette e di zone di protezione speciale e di siti di interesse comunitario il tutto integrandosi con le disposizioni normative della legge regionale n. 1/2001 e gli interventi messi in atto per la salvaguardia e la valorizzazione delle aree costiere per mezzo di strumenti programmatori decentrati, concertati e condivisi.

Il territorio costiero della regione Lazio interessa 24 comuni, la maggior parte dei quali si trova nella provincia di Latina ed in quella di Roma per complessivi 304 km di lunghezza con una balneabilità media del 73,5 % ed in crescita rispetto al valore di 44,70 % rilevato nel 1992 dal Ministero della salute, anche se con variazioni molto interessanti e sulle quali incidono, in maniera significativa, la densità abitativa ed i problemi insediativi (Tabella 1). L'incidenza percentuale della costa non balneabile per inquinamento permanente, nel corso del periodo di osservazione, è stata in Italia di poco superiore al 3 %, senza fare registrare grosse oscillazioni nel corso degli anni, mentre nell'area di studio si è rilevato un sensibile decremento (Figura 1).

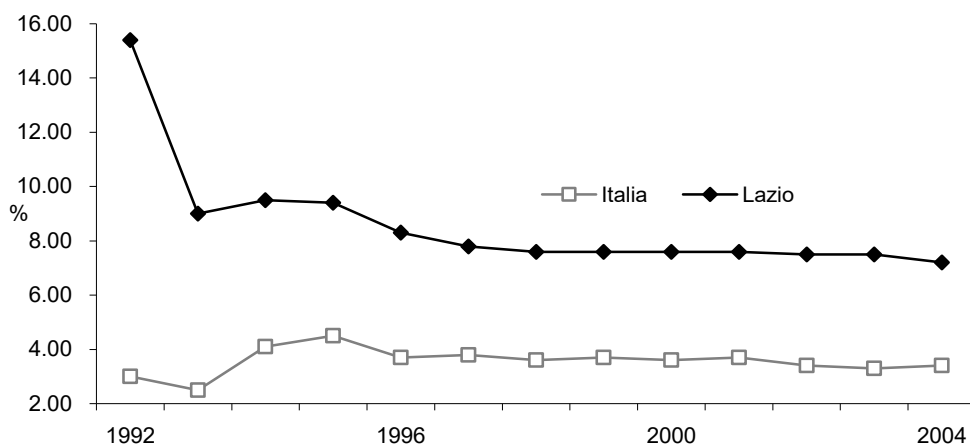


Figura 1- Incidenza percentuale della costa non balneabile (Fonte: Istat, Rapporto annuale, varie annate).

*Figure 1 - Percentage incidence of the coast not bathing (Source: Istat, Rapporto annuale, different years).*

Tabella 1 - Parametri ambientali e demografici rilevati nei comuni costieri della regione Lazio (Fonte: elaborazioni su dati [www.litoralespa.it](http://www.litoralespa.it)).

*Table 1- Environmental and demographic parameters in the coastal communes of Lazio region (Source: elaborations on data [www.litoralespa.it](http://www.litoralespa.it)).*

Comune	Lunghezza costa (km)	Costa balneabile (km)	Costa inquinata (km)	Incidenza superficie comunale (%)	Incidenza superficie costiera (%)	Incremento popolazione 2005/2001 (%)
Montalto di Castro	15	8,37	0,885	7,8	4,9	5,1
Tarquinia	22,5	17,51	1,26	11,6	7,4	4,7
Civitavecchia	14	7,00	0,63	3,0	4,6	1,7
Santa Marinella	20	14,00	2,00	2,0	6,6	8,3
Cerveteri	5	3,13	1,25	5,2	1,6	16,5
Ladispoli	7	5,60	1,40	1,1	2,3	13,1
Fiumicino	25	12,50	12,50	8,8	8,2	9,5
Roma	16	9,84	3,09	7,6	5,3	1,2
Pomezia	10	7,50	2,50	4,4	3,3	6,1
Ardea	7,5	3,47	4,04	2,1	2,5	19,5
Anzio	11,5	10,06	0,48	1,8	3,8	19,8
Nettuno	13	2,37	0,59	3,0	4,3	11,2
Latina	13	8,27	4,73	11,5	4,3	3,6
Sabaudia	10	10,00	-	5,9	3,3	7,1
San Felice Circeo	6	5,70	-	3,0	2,0	2,2
Terracina	16	12,58	0,58	1,2	5,3	13,8
Fondi	0,5	0,48	0,03	4,2	0,2	11,1
Sperlonga	7,5	6,56	-	1,7	2,5	3,6
Itri	25	25,00	-	0,4	8,2	4,9
Gaeta	18,5	12,80	3,55	6,0	6,1	1,6
Formia	17,5	9,29	6,56	1,3	5,8	4,8
Minturno	7,5	6,85	0,49	0,7	2,5	2,6
Ponza	9,5	9,31	-	5,6	3,1	4,1
Ventotene	6,5	6,29	-	0,1	2,1	8,0
<b>Totale</b>	<b>304</b>	<b>223,25</b>	<b>42,56</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>-</b>

## Materiali e metodi

La necessità di avere un indicatore specifico per valutare l'impatto dello sviluppo antropico e del turismo sulle aree costiere richiede di considerare una molteplicità di parametri, comunque non esaustivi, al fine di creare un modello applicativo dal quale ottenere degli indici utili per il confronto tra i diversi comuni e tra le aree costiere della regione. A tal fine, è stato preso in considerazione, come schema generale cambiando, ovviamente, gli indicatori, la metodologia utilizzata per valutare, tramite un modello lineare, la multifunzionalità e lo sviluppo delle zone montane [1].

Il modello utilizzato in formula può essere così riassunto:

$$Iac = f(C_1P_1 + C_2P_2 + C_3P_3 \dots + C_nP_n) \quad 1$$

$$Iac = \sum_{i=1}^n (C_i \cdot P_i) \quad 2$$

Iac = impatto sull'area costiera

$C_1, C_2 \dots C_n$  = parametro considerato

$P_1, P_2 \dots P_n$  = fattore di ponderazione

I parametri considerati sono stati 25 ed hanno tenuto conto di aspetti ecologico-ambientali (balneabilità, percentuale di costa non balenabile per inquinamento, ettari di aree protette e/o parchi), demografici (densità della popolazione, incremento della popolazione, variazione percentuale della popolazione), economici (incidenza attività agricola e degli altri settori produttivi), turistici (presenza agriturismi, seconde case, campeggi) e di progetti di sviluppo integrato e condiviso del/sul territorio. In quest'ultimo caso sono state individuate tre simulazioni; nella prima si è deciso di non considerare la presenza di intereventi progettuali di sviluppo integrato e partecipativo sul territorio (Prusst<sup>1</sup>, L.e.a.d.e.r.+<sup>2</sup>, Patti territoriali), nella seconda simulazione (simulazione A) è stato valutato, in maniera omogenea, il ruolo della programmazione decentrata, attraverso i Patti territoriali, il Prusst e l'iniziativa comunitaria L.e.a.d.e.r.+ , assegnando al fattore di ponderazione un peso identico; nella terza simulazione (simulazione B) è stato attribuito un maggiore peso al fattore di ponderazione inerente l'iniziativa comunitaria L.e.a.d.e.r.+ , la quale ha un maggiore impatto sullo sviluppo delle comunità rurali e sul presidio del territorio, rispetto agli altri strumenti di programmazione concertata e condivisa, quali Prusst e Patti territoriali, aventi anche loro un ruolo fondamentale per lo sviluppo integrato del territorio, ma con una valenza maggiore e prevalente verso iniziative nel settore industriale e nel terziario.

Il punteggio attribuito ha considerato la variazione dei parametri considerati attorno al valore medio definendo quattro classi, in funzione dell'intervallo di scostamento ( $\pm 25\%$ ,  $\pm 50\%$  e oltre il  $\pm 50\%$ ) ed attribuendo dei punteggi alti nei casi in cui si è osservata un maggiore scostamento positivo rispetto al valore medio e, attribuendo, invece, valori nulli nel caso di mancata rilevazione del parametro.

Il fattore di ponderazione, la cui definizione appare al momento in via di completamento, attraverso l'analisi dei componenti principali, ha avuto la funzione di assegnare, in base al contributo e all'impatto sul territorio dei parametri considerati, dei pesi specifici e differenziati.

---

<sup>1</sup> Prusst è l'acronimo di Programmi di riqualificazione urbana e di sviluppo sostenibile del territorio e prevede una serie di interventi promossi e finanziati dal Ministero dei Lavori Pubblici per il recupero e la riqualificazione dell'ambiente e dei tessuti urbani.

<sup>2</sup> L.e.a.d.e.r.+ è l'acronimo di *Liasion entre actions de développement de l'économie rurale* e fa parte di una serie di iniziative comunitarie nel modo rurale, introdotte dall'Unione europea, fin dagli anni novanta, aventi come obiettivo di fondo l'animazione locale ed il coinvolgimento delle comunità rurali attraverso la realizzazione di iniziative pilota ad elevato effetto imitativo.

## Risultati

Nella regione Lazio si è rilevato, nel periodo di osservazione, un calo delle presenze medie fatte registrare nelle strutture ricettive extra-alberghiere di circa il 20 % (presenze medie di 4,87 giornate contro le 6 riscontrate nel 1998), benché, negli ultimi anni, il maggiore incremento delle presenze complessive si sia registrato nella Tuscia e nella provincia di Latina. Gli esercizi complementari delle località costiere della regione Lazio hanno confermato di essere preferiti sia dai turisti italiani che da quelli stranieri, dimostrando come tali strutture appaiano essere molto utili per assorbire i flussi turistici estivi in queste aree. L'analisi delle provenienze delle presenze registrate nella regione Lazio, aggregate per macro-area di provenienza, ha fatto rilevare un afflusso prevalente dall'Italia centrale ed in crescita nel periodo di osservazione considerato, seguito dal sud Italia e dal nord; tuttavia, eliminando le provenienze intra-regionali, ossia dalla regione Lazio su Roma, si è avuto un grosso ridimensionamento delle provenienze, confermando come i maggiori flussi turistici provengano dall'Italia nord-occidentale e meridionale (Lombardia, Campania, Sicilia, Puglia e Calabria).

Nella regione Lazio si è rilevato un notevole incremento delle aziende agrituristiche ed un notevole incremento dell'ospitalità, espressa come numero di letti disponibili per i turisti; le province dell'area costiera hanno fatto emergere un notevole incremento delle aziende agrituristiche, soprattutto nel viterbese, seguita dalle province di Roma e Latina, provincia, quest'ultima, nella quale l'incremento di aziende è stato meno sensibile, in cui prevalgono altre tipologie di strutture ricettive e complementari all'agriturismo (secondo case e campeggi). L'analisi per valutare la disponibilità extra-alberghiera ha fatto registrare una maggiore diffusione dell'esercizio ricettivo complementare nelle province costiere laziali; in particolare, si è osservata una situazione opposta, a quella fatta rilevare per gli esercizi agrituristiche, con una notevole crescita dell'offerta extra-alberghiera nella provincia di Roma, Latina e Viterbo, anche se nelle aree costiere sembra prevalere una ricezione turistica, prettamente, tradizionale.

L'analisi inerente la diffusione e distribuzione territoriale di aziende agrituristiche nei comuni dell'area costiera laziale ha evidenziato una notevole concentrazione, prossima alle venti unità aziendali, nel comune di Roma; in tre comuni su diciotto si è registrata l'attivazione di un'unica azienda agrituristica nell'ultimo anno ed, in sei comuni su ventitre non si è rilevata la presenza di alcuna azienda agrituristica ed in modo particolare nelle isole della provincia di Latina. L'analisi ha confermato una crescita continua e costante negli ultimi anni in quei comuni marini del viterbese nei quali l'agriturismo si inserisce e si integra al territorio ed al paesaggio rurale.

Il confronto dei dati dell'Indice di impatto sull'area costiera tra le diverse aree costiere regionali, raggruppate per province, ha dimostrato come non prendendo in esame i progetti di sviluppo integrato (Prusst, Patti territoriali, L.e.a.d.e.r.+), i comuni delle aree costiere, dove elevato è stato l'effetto antropico nel corso degli anni, hanno manifestato significativi impatti sul territorio. Tutto questo sembra dimostrare come la presenza sul territorio di aree protette e di parchi regionali e nazionali sia un elemento positivo e qualificante capace di contrastare, efficacemente ed efficientemente, la pressione antropica delle zone costiere (Tabella 2).

Tabella 2 - Indice di impatto nelle tre province costiere dell'area di studio.  
*Table 2 - Index of impact in the three coastal provinces of study area.*

<b>Aree costiere</b>	<b>Iac senza progettazione concertata</b>	<b>Iac con progettazione concertata (simulazione A)</b>	<b>Iac con progettazione concertata (simulazione B)</b>
Latina	2,17	3,05	2,96
Viterbo	2,02	3,27	3,14
Roma	2,03	3,48	2,88

## Discussione

La correlazione tra due variabili quantitative quali presenze in agriturismo e numero di aziende agrituristiche attive ha evidenziato una correlazione diretta e positiva tra le due variabili dimostrando una diretta e significativa relazione ( $R = 0.97$ ;  $R^2 = 0.92$ ); inoltre, si è rilevato una correlazione diretta e positiva tra altre due variabili quantitative, quali le presenze rilevate negli esercizi complementari ed il numero di agriturismi attivi, ( $R = 0.83$ ,  $R^2 = 0.90$ ) nelle tre province della regione Lazio che si collocano nelle aree costiere.

I dati inerenti i flussi turistici all'interno della regione Lazio hanno evidenziato un forte incremento delle presenze con la conseguenza di poter determinare degli impatti significativi sul territorio e l'ambiente, soprattutto a seguito degli spostamenti verso altri centri turistici attrattori [2]. La regione Lazio, tuttavia, ha auspicato una distribuzione territoriale delle aziende agrituristiche finalizzata, in maniera indiretta, al presidio dell'ambiente e del territorio; tutto ciò sembra confermare come le imprese agrituristiche tendano a localizzarsi e diffondersi in vicinanza di aree rurali, ricche di tradizioni, dotate di prodotti tipici, e/o in aree caratterizzate dalla presenza di aree naturali e siti di interesse ambientale, il che potrebbe trovare una spiegazione nella necessità di decongestionare le aree costiere e sviluppare una nuova forma di turismo più vicina alla natura ed al mondo rurale e che sia capace di integrarsi con essa.

L'analisi dell'Indice di impatto sull'area costiera ha dimostrato come, nel momento in cui si attribuisce un ruolo strategico importante ai modelli di sviluppo locale decentrato e concertato, si è osservato che:

- il litorale romano risente fortemente degli strumenti di progettazione condivisa e partecipata e che appaiono essere fondamentali per assicurare uno sviluppo integrato del territorio costiero;
- l'iniziativa comunitaria L.e.a.d.e.r.+ assume un ruolo strategico per la salvaguardia dello spazio rurale di tutte le aree costiere; in particolare il L.e.a.d.e.r.+ appare mostrare il maggiore impatto positivo nelle province di Roma e Viterbo.

## Conclusioni

Il presente lavoro ha confermato come lo sviluppo dell'agriturismo e la crescita delle presenze turistiche abbia coinvolto le aree costiere ambientalmente interessanti, nei confronti delle quali è riuscito a mitigare l'antropizzazione, il che è indice della capacità

dell'agriturismo di contenere la pressione antropica e di salvaguardare lo sviluppo ambientale, presidiando il territorio. Tutto questo, inoltre, conferma l'importanza degli strumenti di pianificazione e progettazione regionali finalizzati a garantire uno sviluppo multifunzionale dell'agricoltura e dell'agriturismo. Da un punto di vista geografico, infatti, la regione Lazio ha individuato nel Piano regionale agrituristico e di rivitalizzazione delle aree rurali, dieci aree ben diversificate ed idonee per lo sviluppo rurale di cui solo due capaci di coinvolgere i comuni costieri [3]:

- 1) area costiera nord con una notevole offerta alberghiera ed extra-alberghiera alta con la conseguenza di alterare gli equilibri del territorio;
- 2) area dei monti Lepini caratterizzata da un'area costiera ricca di tesori architettonici, di aree protette e con un'offerta extra-alberghiera ed alberghiera consistente, anche se le precedenti edificazioni hanno degradato le zone litoranee, con la necessità di favorire lo sviluppo dell'agriturismo nelle zone interne per presidiare lo spazio rurale e le comunità che in esso risiedono, limitando i fenomeni di marginalizzazione e di abbandono delle campagne.

La necessità di una estensivizzazione delle aree protette, in questi territori costieri, ha contribuito a contenere alcuni fenomeni di degrado che caratterizzano queste aree, dovute ad un effetto di eccessiva concentrazione della popolazione, così come dimostrato dalla ponderazione dei fattori considerati con l'analisi delle componenti principali; infatti, l'analisi ha fatto emergere, nel modello lineare, l'importanza e l'impatto dei parametri ambientali (aree protette e parchi) e demografici considerati, confermando la scelta di attribuire ad essi un valore nella ponderazione significativo e consistente.

## Bibliografia

- [1] Finco A. Di Pronio G. Pollonara M. – *Multifunzionalità e sviluppo rurale delle zone montane*, Rivista di Economia Agraria (2005) 60 (2), 449-468.
- [2] Galluzzo N.– *Il ruolo dell'agriturismo sulle comunità rurali della regione Lazio. Un'analisi geostatistica, socio economica e ambientale*, Agribusiness Paesaggio & Ambiente (2006) 9 (3), 211-217.
- [3] Regione Lazio – *Approvazione piano regionale agrituristico e di rivitalizzazione delle aree rural*, *Burl* Supplemento ordinario parte I, (2000) 31 (4), 11-65.





## STRUMENTI INNOVATIVI DI PIANIFICAZIONE AMBIENTALE NELLE AREE COSTIERE: BET, IVE E ISSE

Giovanna Lanciani, Valentina Pierfelice, Tommaso Pagliani

Centro di Scienze Ambientali – Consorzio Mario Negri Sud

Via Nazionale 8/A – 66030 Santa Maria Imbaro (CH). Tel. 0872 507271, Fax. 0872 570416

e-mail: [lanciani@negrisud.it](mailto:lanciani@negrisud.it)

**Riassunto** – Sono stati elaborati indici per la stima delle prestazioni ambientali di un'area costiera: il Bilancio Ecologico Territoriale (BET), l'Indice di Vulnerabilità Ecologica (IVE) e l'Indice di Sviluppo Socio-Economico (ISSE). Si tratta di indici di valutazione della qualità territoriale che, considerando il valore di una serie di indicatori prescelti e pesandone la rispettiva importanza, assegnano al territorio un punteggio di qualità.

Il set di indicatori è combinato attraverso l'utilizzo di un modello matematico e di metodi multivariati (PCA) in indici sintetici parziali, che forniscono informazioni su temi specifici riguardanti lo stato dell'ambiente costiero, la sua funzionalità ecosistemica ed il livello di sviluppo di uno specifico settore. Questi serviranno per la valutazione degli indici complessivi BET, IVE e ISSE, rappresentati su mappe tematiche di prestazione ambientale-ecologica-socioeconomica. Ciò permette agli enti interessati nella gestione dell'area costiera di dotarsi di uno strumento di misura delle prestazioni e di supporto decisionale volto a valutare l'efficacia delle politiche locali in campo ambientale. Esso consente di conoscere lo stato attuale dell'ambiente, di proporre interventi di modifica e di compensazione delle situazioni in atto e, attraverso opportune simulazioni, di effettuare delle previsioni di impatto.

**Abstract** – Several indexes for estimating the environmental performances of a coastal area have been worked out: Territorial Ecological Balance (BET), Ecological Vulnerability Index (IVE) and Socioeconomic Development Index (ISSE). These are evaluation indexes of territorial quality which, taking into consideration the value of a series of chosen indicators and weighing the respective importance, assign a good quality score to the territory.

Environmental and socioeconomic partial quality indexes, give information on specific themes concerning the conditions of coastal environment, on its ecosystemic functionality and the development level of a specific field and are estimated by combination of the set of indicators with a mathematical model and multivariate methods (PCA). These indexes will serve for the evaluation of the total BET, IVE and ISSE indexes, represented on thematic environmental-ecological-socioeconomic performance maps. This allows the corporations interested in the management of coastal areas to have a tool for the measurement of environmental performances and of support for decisions aimed to evaluate the effectiveness of local policies in the environmental field. All this allows to establish the current state of the environment, to propose modificatory and compensatory interventions on present situations and, through opportune simulations, to carry out impact forecasts.

## Introduzione

La realizzazione di indici sintetici di qualità ambientale di un territorio rispondono alla necessità di disporre di uno strumento di conoscenza e gestione integrato, innovativo e dinamico del territorio. Si tratta di indici di tipo comparativo, poiché consentono di confrontare tra loro territori della stessa tipologia amministrativa (comuni, province, ecc.), per valutare la presenza di criticità ambientali e individuare le priorità di intervento.

Gli obiettivi del lavoro sono: 1) disporre di un quadro di riferimento ambientale, ecologico e socioeconomico di un'intera area costiera di riferimento e delle singole unità amministrative che la compongono; 2) riassumere tutte le informazioni che influenzano e caratterizzano il territorio attraverso indici sintetici parziali di qualità ambientale/ecologica/socioeconomica, al fine di valutare le carenze e le criticità presenti; 3) individuare gli elementi di omogeneità e di eterogeneità tra le unità amministrative considerate per la definizione di ambiti territoriali di riferimento per le attività di pianificazione; 4) fornire agli enti locali uno strumento di pianificazione ambientale e di previsione di impatto ambientale; 5) mettere a punto, in sede di pianificazione, strategie gestionali che risultano meglio efficaci alle diverse realtà territoriali e articolare le tipologie di interventi più idonee alle esigenze locali [5].

Gli indici sintetici presentati sono stati messi a punto e applicati nell'ambito del progetto "Rilevamento della qualità ambientale nel territorio del Patto Territoriale Sangro-Aventino (59 comuni, province di Chieti e L'Aquila) secondo il modello multidisciplinare di monitoraggio messo a punto nel progetto Qualità d'Area" [2], avviato nel 2003 dal Centro di Scienze Ambientali.

## Materiali e metodi

**1. Individuazione dei temi e degli indicatori per ogni tema.** Si esaminano le "matrici ambientali", intese come unità fondamentali che costituiscono l'ambiente naturale (acqua, aria, suolo e biodiversità) e le attività antropiche, cioè tutte le attività di uso del territorio costiero e delle sue risorse da parte dell'uomo (turismo, attività produttive, agricoltura e zootecnia, ambiente urbano, trasporti) che inevitabilmente consumano le matrici ed esercitano delle "pressioni" su di esse. Si seleziona un set di indicatori rappresentativi di ogni tema, facendo riferimento alla letteratura del settore e considerando la reperibilità e la significatività dei dati nel contesto territoriale studiato. Per l'individuazione del set si fa riferimento, in ogni caso, al criterio rappresentato dall'acronimo *S.M.A.R.T.* (*SIMPLE-MEASURABLE-ACHIEVABLE-RELEVANT-TIMELY*).

**2. Raccolta dei dati e conversione in indicatori.** I dati sono raccolti da fonti note, ricavati mediante elaborazioni cartografiche, misurati attraverso opportuni campionamenti e analisi di laboratorio o stimati mediante modelli matematici. In questo modo si crea una banca dati con tutte le informazioni necessarie a valutare lo stato dell'ambiente del territorio. Particolare importanza è rivestita da alcuni *landscape metrics*, indici in uso nell'ambito dell'ecologia del paesaggio che descrivono la struttura, la funzionalità ecologica e il livello di frammentazione. L'unità di riferimento per l'analisi è in genere quella amministrativa: un singolo comune, un gruppo di comuni appartenenti a specifici enti locali (patti territoriali, unioni di comuni, ambiti territoriali ottimali, bacini

ecc.), fino ad una scala più vasta, provinciale o regionale. I dati raccolti, convertiti in rapporti statici rappresentano gli “indicatori” [1] utilizzati per le analisi.

**3. Elaborazione del modello statistico per la stima degli indici di Vulnerabilità Ecologica (IVE) e di Sviluppo Socio-Economico (ISSE).** Per la stima dell’IVE il set di indicatori di base è classificato in 5 categorie/subset che esprimono aspetti ambientali e caratteristiche ecologiche specifici del territorio, quali chiavi di lettura dell’articolazione e della qualità ambientale dello stesso: naturalità territoriale, disturbo delle attività antropiche sul territorio (perturbazione), pressione esercitata sulle risorse naturali, protezione territoriale, compatibilità ambientale. Per la stima dell’ISSE il set è stato invece diviso in 7 categorie, che esprimono il livello di sviluppo del settore individuato: struttura demografica, aspetti sociali, attività turistiche, attività produttive, attività agricole, energia, trasporti e ambiente urbano. Le metodiche statistiche utilizzate sono, in sequenza:

1) Analisi di correlazione, finalizzata a individuare eventuali relazioni esistenti tra gli indicatori e ad eliminare le variabili ridondanti, caratterizzate da un coefficiente di correlazione  $r \leq -0,8$  oppure  $r \geq 0,8$  ( $p < 0,001$ ).

2) Standardizzazione degli indicatori rimanenti.

3) Analisi delle componenti principali (PCA): per stimare il numero di fattori necessari (componenti principali in grado di spiegare almeno il 60 % della varianza totale) a rappresentare l’intero set di dati costituito dai singoli subset di indicatori standardizzati e, successivamente, a quantificarne il valore in forma sintetica (indici sintetici per ogni unità territoriale). La quantificazione dei fattori si effettua attraverso una combinazione lineare delle variabili originarie. Per una data unità territoriale **c** (ad es. un comune), il valore del **j-esimo** fattore **F** sarà pari a:

$$F_{jc} = \sum_{i=1}^k w_{ij} X_i = w_{1j} X_1 + w_{2j} X_2 + \dots + w_{kj} X_k \quad 1$$

dove:  $i = 1, 2, 3 \dots k$ , con  $k = n$ . totale indicatori;  $j = 1, 2, 3 \dots n$ , con  $n = n$ . *fattori considerati*;  $w_{ij}$  è il peso assunto dal fattore  $j$  per la variabile  $i$  (indicatore) e  $X_i$  è il valore originario assunto dall’indicatore  $i$  espresso in forma standardizzata. Una volta stimati i valori dei fattori relativi a ciascuna unità territoriale, l’indice sintetico di qualità per ogni subset di indicatori e per ogni unità territoriale sarà dato da:

$$I_{sc} = \sum_{j=1}^n F_{jc} \quad 2$$

dove  $I_{sc}$  rappresenta l’indice sintetico  $s$  per l’unità  $c$ ,  $F_{jc}$  è il fattore  $j$  ( $j=1, 2, 3 \dots n$ ) per l’unità  $c$  ed  $n$  il numero di fattori ottenuti.

- Stima dell'indice sintetico finale (IVE, ISSE): calcolato come media pesata tra gli indici parziali e il numero di indicatori da cui si sono generati:

$$I_{fC} = \frac{\sum_{k=1}^m I_k \cdot n_k}{\sum_{i=1}^n m_i \cdot n_i} \quad 3$$

con  $k = 1, 2, 3, \dots, m$  e  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ;  $c$  sono le unità amministrative considerate,  $I_k$  rappresentano i singoli indici sintetici per l'unità amministrativa  $c$ ;  $n$  è il peso dato a ciascun indice (pari al numero di indicatori da cui origina) ed  $m$  è il numero di indici considerato.

**4. Elaborazione di un modello matematico per il calcolo dell'indice sintetico di qualità ambientale (BET).** Gli indicatori sono organizzati secondo la classica impostazione PSR [4] che esprime la sequenza causale esistente tra azioni antropiche (pressioni), gli impatti sulle condizioni ambientali (stato) e le risposte della società per mitigare gli impatti. È stato realizzato un modello matematico di tipo soggettivo, per la sintesi di tutte le informazioni raccolte, in un indice sintetico di qualità ambientale (BET) del territorio studiato. È stato necessario risolvere due problemi legati all'incomparabilità tra i dati raccolti: 1) il confronto diretto tra unità territoriali diverse è ostacolato dalla diversa dimensione fisica, demografica ed economica; 2) le informazioni sono tra loro eterogenee, non solo perché espresse in unità di misura diverse, ma anche per la diversa importanza nei riguardi del fenomeno studiato. Per eliminare il primo fattore di incomparabilità, i dati sono convertiti in rapporti statistici. Ogni indicatore è poi trasformato in un indice tra 1 e 5 ( $A_i$ ;  $i = 1, \dots, n$ ;  $n =$  numero di indicatori), dividendo in cinque classi il range tra il valore minimo e il valore massimo che lo stesso indicatore assume per il gruppo di unità territoriali studiate. In questa fase bisogna tener conto del "verso" dell'indicatore nei confronti del fenomeno studiato. Per indicatori che hanno un'influenza negativa sull'ambiente, si assegna una scala da 1 a 5 all'aumentare del loro valore. Occorre invece invertire il segno ai dati che si muovono in senso inverso, in modo che ai valori più bassi della scala assegnata corrispondano sempre connotazioni positive del fenomeno nei confronti dell'ambiente. Agli indicatori di risposta, infatti, si assegna una scala di valori da 5 (valore minimo, influenza negativa nei confronti dell'ambiente) ad 1 (valore massimo, influenza positiva). Allo scopo di eliminare il secondo fattore di incomparabilità, si attribuiscono agli indicatori dei pesi da 1 a 5 ( $B_i$ ;  $i = 1, \dots, n$ ;  $n =$  numero di indicatori) in base alla rilevanza che essi hanno sul bilancio ambientale territoriale (1=importanza minore; 5=importanza maggiore). La selezione di un sistema di pesi con cui ponderare i singoli indicatori elementari in funzione della loro diversa importanza nell'esprimere il fenomeno considerato, implica l'introduzione di una componente soggettiva [3]. Questa fase si esplica attraverso una concertazione tra gli esperti del settore ambiente e i rappresentanti degli enti competenti nel territorio studiato.

L'indice sintetico **Bilancio Ecologico Territoriale (BET)** si calcola come media ponderata dei punteggi ottenuti per gli indicatori e avrà un valore compreso tra 1 e 5 (secondo lo schema di Tab. 3):

$$\text{BET} = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \times B_i)}{\sum_{i=1}^n B_i}$$

4

**5. Individuazione di unità territoriali omogenee.** L'applicazione della *cluster analysis* permette una classificazione delle unità territoriali di riferimento in gruppi omogenei sotto il profilo ambientale, ecologico o socioeconomico che rappresentano gli "ambiti territoriali di riferimento" utili per le azioni di pianificazione. Sono utilizzate due tipologie di *cluster analysis*:

- Cluster analysis gerarchica di tipo agglomerativo. I dati di partenza utilizzati sono gli indici sintetici parziali emersi dalla PCA e/o dal modello matematico. Dal confronto tra i valori del coefficiente di distanza e la visualizzazione del dendrogramma si sceglie in quale punto dell'asse "tagliare" quest'ultimo per l'individuazione dei gruppi. Il metodo permette di identificare il numero di *cluster* necessari per la rappresentazione e classificazione dei dati.
- Cluster analysis partitiva o non gerarchica. Analisi adatta ad essere applicata ad un numero elevato di variabili e richiede che il numero dei *cluster* sia specificato a priori. In questo caso come input si utilizzano tutti gli indicatori ambientali/socioeconomici standardizzati ed il numero di *cluster* ricavati dall'analisi non gerarchica.

## Risultati

**1. Indici sintetici di qualità ecologica (IVE) e socioeconomica (ISSE).** Dalla combinazione degli indicatori (PCA) si ottengono gli indici parziali di qualità ecologica (descritti in Tab. 1) e socioeconomica (**indice demografico, di sviluppo sociale, delle attività produttive, delle attività turistiche, delle attività agricole, energia, trasporti e sviluppo urbano**). Dalla combinazione degli indici ecologici parziali si originano invece l'**Indice di Antropizzazione Costiera (IAC)** e l'**Indice di Vulnerabilità Ecologica (IVE)**. Il primo deriva dalla media pesata degli indici di disturbo e di pressione sulle risorse; il secondo, dalla combinazione dei 5 indici ecologici parziali. Quest'ultimo esprime la sensibilità intrinseca del sistema ambientale alle pressioni esterne e la sua rinnovabilità, cioè la capacità di riprendere autonomamente la condizione di equilibrio dopo un disturbo. La valutazione della vulnerabilità del territorio rappresenta un aspetto importante perché, ad alti livelli della stessa, anche fenomeni naturali e prevedibili si possono trasformare in calamità, amplificando gli effetti di eventi naturali che altrimenti avrebbero un impatto minimo o nullo. Inoltre, la vulnerabilità è una misura indiretta del livello di metastabilità degli ecosistemi e della loro capacità di evolversi e adattarsi ai cambiamenti ambientali.

L'**Indice di Sviluppo Sociodemografico (ISSD)** si genera dalla media pesata dei 3 indici parziali: demografico, sociale e di sviluppo urbano. L'**Indice di Sviluppo Socioeconomico (ISSE)** deriva invece dalla combinazione degli 8 indici sintetici socioeconomici ed esprime la struttura sociodemografica ed economica del territorio nella sua globalità.

Tabella 1 - Tipologia di indici ecologici realizzati e informazione fornita (in blu gli indici finali derivanti dalla combinazione degli indici parziali).

*Table 1 - Realized ecological index typology and given information (in blue the final indexes deriving from the combination of the partial indexes).*

Tipo di indice		Informazione fornita
<b>Impatto ambientale generato dalle attività umane</b>	<i>Indice di pressione sulle risorse (I<sub>pre</sub>)</i>	Livello di sovra/sotto utilizzo delle risorse del territorio da parte delle comunità locali, misurato indirettamente come grado di antropizzazione, attività economiche e produttive esistenti.
	<i>Indice di disturbo del sistema ambientale (I<sub>per</sub>)</i>	Livello di perturbazione del sistema generato da fattori di disturbo naturali o antropici. Esprimono, quindi, il livello di compromissione dei processi ecologici.
	<i>Indice di antropizzazione costiera (IAC)</i>	Combinazione di pressione sulle risorse e disturbo territoriale.
<b>Attuazione di politiche di gestione ambientale</b>	<i>Indice di naturalità del territorio (I<sub>nat</sub>)</i>	Presenza, estensione, configurazione e funzionalità degli ambienti naturali.
	<i>Indice di protezione del territorio (I<sub>pro</sub>)</i>	Grado di centralità o di marginalità delle singole realtà territoriali rispetto ad interventi diretti di protezione degli ambiti naturali.
	<i>Indice di compatibilità ambientale delle attività antropiche (I<sub>com</sub>)</i>	Livello di compatibilità degli interventi antropici o, in altri termini, livello di attuazione di interventi di mitigazione/compensazione.
<b>Stabilità del sistema ambientale</b>	<i>Indice di vulnerabilità ecologica (IVE)</i>	Capacità di “resistenza” a eventi perturbanti di origine naturale o antropica e di “resilienza”, ritorno ad un punto di equilibrio al termine dell’evento.

Tabella 2 - Classi di qualità degli indici ecologici e socioeconomici.

*Table 2 - Good quality classes of ecological and socio-economic indexes.*

Livello	Classi di qualità indici	
	Naturalità, Protezione, Compatibilità; Indici socioeconomici	Pressione, Disturbo; Antropizzazione costiera; Vulnerabilità
Molto basso	1	1
Basso	2	2
Medio	3	3
Alto	4	4
Molto alto	5	5

Il range di variazione di ciascun indice è poi suddiviso in opportune classi di intervallo, costituite da valori con una scala a numeri interi (1 ÷ 5) che esprimono il livello di qualità ecologica o di livello di sviluppo socioeconomico dell’unità territoriale di riferimento (Tab. 2).

**2. Indice sintetico di qualità ambientale (BET).** Riassume tutte le informazioni che caratterizzano l'ambiente di un dato territorio, assegnando dei pesi "reali"/soggettivi alle variabili considerate. La situazione ambientale (BET) viene suddivisa in 5 classi, in cui BET = 1 rappresenta la situazione ambientale migliore e BET = 5 la peggiore (Tab. 3). Lo stesso modello può essere utilizzato per calcolare indici parziali sintetici di qualità ambientale relativi ai singoli tematismi (qualità acque costiere, aria, suolo, turismo, ecc.), oppure indici di pressione, di stato e di risposta.

Tabella 3 - Classificazione della qualità ambientale di un territorio mediante il BET.

*Table 3 – BET classification of a territorial environmental quality.*

BET	Qualità ambientale
1	Molto alta
2	Alta
3	Media
4	Bassa
5	Molto bassa

**Individuazione degli ambiti territoriali di riferimento.** Dai *cluster* ricavati dall'analisi non gerarchica, sono separati in nuovi gruppi quelle unità territoriali che, nell'analisi gerarchica, non erano inserite nello stesso *cluster*. Da questo confronto incrociato tra le due composizioni di *cluster* si ottengono gruppi di unità territoriali omogenee sotto il profilo ambientale o socioeconomico, che possono costituire ambiti territoriali di riferimento per la pianificazione a scala locale.

## Discussione

Attraverso l'utilizzo dei modelli presentati sarà possibile, per gli enti locali:

- Estrapolare un quadro dell'assetto ambientale e socio-economico del territorio e valutare la qualità ecologica del sistema costiero, attraverso una determinazione del livello di sensibilità a fattori di disturbo e pressioni di tipo sia naturale che antropico.
- Disporre di un'informazione sulla validità e/o livello di sufficienza/efficienza delle politiche di gestione ambientale e socioeconomiche attuate. Ciò permette di orientare le amministrazioni locali verso politiche di gestione del territorio e/o interventi mirati sugli indicatori interessati.
- Classificare le aree per tipologie di qualità/sviluppo al fine di individuare gli ambiti territoriali di riferimento per la pianificazione territoriale locale.

La suddivisione degli indici in 5 classi di qualità permette una rappresentazione delle informazioni su mappe tematiche che consentono di semplificare la lettura cartografica, di valutare l'andamento spaziale degli indici e di mettere in evidenza l'esistenza di eventuali gradienti geografici. Le analisi conducono ad un'articolazione territoriale che localizza e contestualizza la relazione tra: fabbisogni e criticità emergenti sul



territorio e possibili settori di intervento, per la creazione di linee di indirizzo del sistema di azioni per la realizzazione di un sistema di pianificazione e gestione del territorio costiero.

## **Conclusioni**

La sovrapposizione e l'integrazione, attraverso utilizzo degli strumenti GIS, di mappe tematiche e strati informativi di carattere ambientale/ecologico, di tipo paesaggistico, economico e sociodemografico, potranno rappresentare un nuovo strumento di pianificazione compatibile con le esigenze di tutela dei siti e delle risorse.

L'obiettivo finale è la creazione di un software da distribuire agli enti preposti, che potranno misurare le proprie prestazioni ambientali e socioeconomiche, anche effettuando simulazioni, semplicemente inserendo le informazioni relative al territorio. Il software restituirà un indice di qualità per ogni singolo tema di carattere ambientale e socioeconomico, ed un voto complessivo funzione della combinazione dei risultati parziali. In questo modo, variando il valore degli indicatori, si può verificare come cambia lo stato di qualità ambientale e produttiva dell'area, informazioni che possono essere utilizzati per effettuare delle previsioni di impatto ambientale.

## **Ringraziamenti**

Si ringrazia per la collaborazione nella revisione del manoscritto la dott.ssa Patrizia Di Nardo del Centro di Scienze Ambientali - Consorzio Mario Negri Sud.

## **Bibliografia**

- [1] ANPA - *Selezione di indicatori ambientali per i temi relativi alla biosfera*. Agenzia Nazionale Protezione Ambiente, CTN-CON. (2000). Roma, 167 pp.
- [2] Consorzio Mario Negri Sud - Progetto di "*Rilevamento della qualità ambientale nel territorio del Patto Sangro-Aventino secondo il modello multidisciplinare di monitoraggio messo a punto nel progetto di Qualità d'Area*". CMNS (2006) dati non pubblicati.
- [3] Del Vecchio F. - *Scale di misura e indicatori sociali*. Cacucci Editore (1995), Bari.
- [4] OECD - *Trade and Environment: Process and Production Methods*. OECD, Parigi 1994. 206 pp. Reports prepared for a workshop sponsored by the OECD on Trade and Environment: Issues Pertaining to Process and Production Methods (PPMs); Helsinki, Finland 6-7 April, 1994.
- [5] Regione Campania - *Studio di fattibilità avente per oggetto la realizzazione della rete ecologica regionale*. A.G.C. Rapporti con gli organi nazionali ed internazionali in materia di interesse regionale. Settore studio e gestione progetti CEE (2001); Agriconsulting S.p.A., Roma.

# PRESENZA TURISTICA NELL'AREA MARINA PROTETTA "PENISOLA DEL SINIS – ISOLA DI MAL DI VENTRE" E SUOI EFFETTI SULLA FAUNA ITTICA COSTIERA: UTILIZZO DEL VIDEO-VISUAL CENSUS

Giorgio Massaro<sup>1,3</sup>, G. Andrea de Lucia<sup>2</sup>, Emanuela Molinaroli<sup>3</sup>, Bruno Paliaga<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>AMP "Penisola del Sinis – Isola di Mal di Ventre", P.zza Eleonora, 1 – 09072 CABRAS (OR)  
[info@areamarinasinis.it](mailto:info@areamarinasinis.it), tel. 0783 290071, fax. 0783 391097

<sup>2</sup>IAMC-CNR Sezione di Oristano, Oristano

<sup>3</sup>Università "Ca' Foscari" di Venezia, Dipartimento Scienze Ambientali, Venezia

**Riassunto** – Il censimento visivo subacqueo (*Underwater Visual Census – UVC*) è un gruppo di metodologie ampiamente adottate per raccogliere informazioni su un grande numero di specie che includono pesci, invertebrati e macroalghe per la determinazione "effetto riserva" nelle zone poste a tutela. Il transetto lineare ed il punto fisso, metodiche più utilizzate, permettono di avere stime puntuali di abbondanza e densità delle popolazioni ittiche di poche specie target (registrazioni manuali).

Lo studio della fauna ittica costiera all'interno dell'Area Marina Protetta "Penisola del Sinis – Isola di Mal di Ventre" è stato eseguito per la prima volta attraverso l'impiego del video-visual census (supporto video) su 10 siti. L'utilizzo della telecamera subacquea nell'AMP ha prodotto filmati che possono essere analizzati in tempi diversi e con obiettivi diversi; la loro analisi permette di esaminare l'intero ecosistema (macrofauna, macroalghe, morfologia del substrato) e consente di valutare le numerose specie ittiche presenti. Per lo studio sono stati scelti siti a facile e difficile accessibilità tra zone a differente grado di tutela ed è stato verificato quanto la frequentazione possa produrre cambiamenti sia nella ricchezza specifica che nella densità e nell'abbondanza delle specie ittiche costiere.

Dal lavoro svolto è emerso come l'impiego di personale specializzato sia richiesto essenzialmente nella fase di analisi dei filmati mentre l'acquisizione delle immagini potrebbe essere effettuata da un semplice operatore. L'efficacia del metodo e la rapidità di esecuzione fanno di questo sistema di monitoraggio uno strumento funzionale alle esigenze gestionali di riserve marine.

**Abstract** – *The Underwater Visual Census (UVC) is a set of methodology widely used to collect data concern fishes, invertebrates and macroalgae. UVC is usually apply for determination of "reserve effect" in Marine Protected Areas. This type of study was applied the first time in MPA "Penisola del Sinis – Isola di Mal di Ventre" with Video Visual Census Techniques (V.V.C.). Underwater video camcorder allow to make records of overall ecosystem. The records may be analysed by expertises according to their interests.*

*This research regards the evaluation of noise due to tourism activities on the coastal ichthyofauna. We chose sites with different accessibility and crowded.*

*The effectiveness of this method and rapidity of execution make it very useful to marine reserves needs.*

## Introduzione

Il censimento visivo subacqueo (Underwater Visual Census – UVC) è un insieme di metodologie ampiamente diffuso che permette di raccogliere informazioni su un grande numero di specie [5]. La metodologia non prevede il prelievo di organismi, quindi ben si adatta agli studi svolti nelle zone protette [4, 1].

L'applicazione dell'UVC alla fauna ittica si è dimostrata di notevole interesse proprio negli studi effettuati in ambienti eterogenei, *reef* e barriere artificiali [1], e nella valutazione dell'effetto riserva nelle Aree Marine Protette [7]. Le principali metodologie utilizzate sono le seguenti:

- A fascia (*Strip transects*) – dove la densità viene stimata da un subacqueo che nuota o viene trainato lungo una fascia di lunghezza e larghezza stimate o conosciute;
- A tempo (*Time transects*) – dove l'osservatore registra il numero degli animali avvistati durante un intervallo di tempo fisso;
- In linea (*Line transects*) – in cui l'osservazione avviene durante il nuoto lungo una linea e si stima la distanza e la direzione dell'animale bersaglio dalla linea;
- Punto fisso (*Point counts*) – in cui la densità o la distanza e la direzione degli animali vengono stimati da un subacqueo che compie scansioni a 360° da un punto fisso o mentre scende in un punto fisso [10]. Tale tecnica può essere implementata con l'uso di sistemi di acquisizione di immagini [1];
- Tecnica rapida (*Rapid visual techniques*) – dove un sub elenca le specie ittiche avvistate in ordine di taglia/gruppo dell'incontro iniziale per ogni specie [8, 3].

I metodi prevedono la registrazione *in situ* (lavagnetta) di tutti i dati prefissati ad opera di subacquei. Il metodo si rivela veloce nell'applicazione e nella raccolta dati, ma troppo legato alle capacità e all'esperienza del subacqueo (sistema molto soggettivo).

Nel presente studio viene proposta una metodologia diversa attraverso l'impiego del video-visual census (supporto video). L'utilizzo della telecamera subacquea può produrre filmati che possono essere analizzati in tempi diversi e con obiettivi diversi.

## Materiali e metodi

Per valutare l'impatto delle attività turistico-ricreative sulla componente ittica, in Area Marina Protetta (AMP) “Penisola del Sinis – Isola di Mal di Ventre”, sono state considerate aree a differente livello di frequentazione da parte dell'uomo (fonte di disturbo). In ognuna è stato associato un percorso i cui punti di inizio sono stati identificati in corrispondenza di spiagge, baie riparate dai venti dominanti e campi ormeggio. Allontanandosi dalla fonte di disturbo si sono scelti percorsi paralleli alla linea di costa e, per quanto possibile, con caratteristiche dell'habitat omogenee. Il percorso ha una durata totale di 15 min e viene suddiviso in tre parti continue di 5 min. Ognuna di esse rappresenta un livello di allontanamento dalla fonte di disturbo e copre una lunghezza di circa 50 m.

La campagna di acquisizione dei dati ha avuto luogo nel mese di agosto 2003, in corrispondenza del maggior afflusso turistico estivo. Le informazioni sul livello di fruizione dei siti e quindi di pressione antropica e disturbo lungo la costa dell'AMP sono state ricavate dalla “Campagna di informazione e sensibilizzazione” condotta all'interno

dell'area negli anni precedenti.

La figura 1 presentata l'area di studio, all'interno del golfo, l'area antistante il sito archeologico di Tharros e l'istmo di Capo San Marco è risultata essere preferita da imbarcazioni, anche di grandi dimensioni (barche a vela intorno ai 10 m), come zona di ancoraggio. Natanti di lunghezze inferiori occupano invece la Caletta (*La Caletta*). In condizioni di Scirocco (provenienza Sud-Est), la zona a nord-ovest di Capo San Marco viene preferita agli altri siti, poiché la costa alta del capo fornisce un efficace riparo e il fondale sabbioso, privo di Posidonia oceanica, permette l'ancoraggio (*Capo San Marco*).

Risalendo lungo la costa, dopo le spiagge di San Giovanni di Sinis e Funtana Meiga frequentate abitualmente da bagnanti, si trova il ridosso della parte sud di Torre Seu (*Seu*). Sono poche le imbarcazioni che danno fondo di fronte al litorale che si estende da Maimoni a Su Bardoni, dedicate invece alla balneazione o da ad altre attività (*Maimoni, Su Bardoni Sud e Su Bardoni Nord*). *Su Tingiosu* risulta essere frequentata da pescatori subacquei sportivi, mentre il *Catalano* ricade nella zona a protezione integrale.

Il lato occidentale dell'isola Mal di Ventre (*Cala Maestra e Faraglioni*), è poco frequentato per l'elevata esposizione ai Venti di Maestrale contrariamente a quanto accade nel lato orientale.

L'importanza di avere una stima quantitativa delle attività (diving, diportistiche e ricreative) permette di avere maggiori informazioni per trovare una relazione con il livello di disturbo sulle varie componenti ambientali e di valutare l'intensità degli impatti.

La profondità media dei percorsi campionamento non ha superato i 10 m, ad una distanza dal fondo variabile da 1 a 2 m. L'arrivo in prossimità dei punti di entrata in acqua è avvenuto per mezzo di un'imbarcazione o, dove possibile, direttamente da terra attraverso punti di accesso al mare.

Di ogni percorso sono stati annotati la data, il nome del sito, latitudine e longitudine, il numero del transetto, il nome degli osservatori, le condizioni meteo-marine. L'inizio di ogni registrazione è sempre avvenuta dopo circa 10 min dall'arrivo sul posto per attenuare il disturbo arrecato dall'imbarcazione stessa durante le manovre di ancoraggio.



Figura 1 – Localizzazione dell'area in cui si sono svolti i percorsi.

Figure 1 – Location of the transects.

Due operatori sono entrati in acqua, con attrezzatura completa ARA, muniti uno di videocamera subacquea (Sony DCR-VR30) e bussola e l'altro di tavoletta in PVC per eventuali annotazioni. La videocamera è stata impostata in modalità autofocus, zoom fisso (nessun ingrandimento) e mantenuta nella direzione di avanzamento dell'operatore, in posizione orizzontale, in registrazione continua.

L'analisi dei video è avvenuta in una fase successiva, annotando i dati (specie, numero di individui, intervallo di registrazione) implementando continuamente la lista delle specie ittiche considerate.

I filmati acquisiti sono stati esaminati al monitor, facendo avanzare i fotogrammi (*frames*) a velocità desiderata e riavvolgendo ogni volta che lo si è desiderato, per esempio quando potevano esserci dei dubbi sulla specie o sul numero degli individui esaminati. Si ha avuto così la possibilità di identificare e contare tutti gli organismi target intercettati dalla telecamera nel campo di ripresa. La trascrizione dei dati è avvenuta direttamente su foglio elettronico annotando specie, numero di individui, classe di grandezza e intervallo di avvistamento.

Il lavoro richiesto per la redazione di queste ultime ha previsto un'approfondita analisi bibliografica dei lavori svolti in Sardegna e in particolare nell'area presa in esame. Una seconda fase è stata dedicata alla verifica della presenza delle specie ritrovate in bibliografia e alla scelta di quelle da considerare ai fini del lavoro. Si sono ritenute necessarie alcune modifiche sulla base di *survey* finalizzati esclusivamente alla loro costruzione. L'elaborazione dati è avvenuta prendendo in considerazione ogni singolo percorso. Con la suddivisione temporale della registrazione (intervalli di 5 min), si sono confrontati numero di individui e diversità specifica. La ricchezza specifica è stata espressa considerando il numero di specie (S), la diversità specifica e l'omogeneità usando l'indice di diversità di *Shannon-Weaver* (Formula 1),  $H'$  [9] e l'*Evenness Index* (Formula 2),  $J'$  [7];

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{n} \ln \frac{n_i}{n} \quad 1$$

dove  $n_i$  è il numero di individui appartenendo alla  $i$ -esima specie S e  $n$  è il numero totale di individui del campione. La precedente equazione rappresenta la quantità media di informazione per individuo di una specie, una volta identificato, ho un contenuto di informazione tanto più rilevante quanto più la specie è rara.

$$J' = \frac{H'}{\ln S} \quad 2$$

rapporto tra  $H'$  e  $H'_{\max} (\ln S)$ .

## Risultati e discussione

Sono stati filmati 13 percorsi nelle 10 aree descritte in precedenza. In tre di esse, Seu, Su Tingiosu e La Caletta sono state compiute due repliche del percorso.

Si sono totalizzati tre ore e quindici minuti di filmati dal 5 al 27 agosto. Dall'analisi dei filmati è emerso un numero cospicuo di specie (tabella 1). Il riconoscimento delle specie attraverso i caratteri distintivi è stato facilitato dall'utilizzo del *video-taping*, per il fatto che è stato possibile bloccare e/o ingrandire i singoli fotogrammi (*frames*).

Tabella 1 - Specie individuati lungo i transetti, ordinate secondo il numero di individui (N).

Table 1- Check-list of fishes (N: number of fishes).

<i>Specie</i>	N	<i>Specie</i>	N
<i>Coris julis</i>	900	<i>Symphodus roissali</i>	15
<i>Symphodus tinca</i>	615	<i>Labrus merula</i>	8
<i>Sarpa salpa</i>	265	<i>Epinephelus marginatus</i>	6
<i>Diplodus vulgaris</i>	159	<i>Symphodus rostratus</i>	5
<i>Mullus surmuletus</i>	121	<i>Symphodus cinereus</i>	4
<i>Diplodus annularis</i>	88	<i>Liza aurata</i>	3
<i>Oblata melanura</i>	81	<i>Apogon imberbis</i>	3
<i>Thalassoma pavo</i>	46	<i>Symphodus ocellatus</i>	2
<i>Diplodus sargus</i>	38	<i>Spondylisoma cantharus</i>	2
<i>Serranus cabrilla</i>	35	<i>Diplodus puntazzo</i>	1
<i>Serranus scriba</i>	26	<i>Murena helena</i>	1
<i>Symphodus melanocercus</i>	21	<i>Epinephelus costae</i>	1

Per la conta degli individui l'utilizzo del fermo immagine si è rivelato indispensabile consentendo di distinguere ogni singolo individuo con estrema precisione.

Il numero di individui è stato calcolato con estrema esattezza anche nel caso di grandi banchi, ma è apparso opportuno escludere questi ultimi dall'analisi. La casualità con cui sono stati incontrati gruppi di *Atherina sp.*, *Chromis chromis* lungo i percorsi e l'entità numerica costituiscono una perturbazione nelle analisi [6].

Durante i transetti sono stati acquisiti dati riguardanti la stima delle taglie degli individui, identificandone l'appartenenza ad una classe di lunghezza. L'informazione, utile per introdurre considerazioni legate all'etologia delle singole specie (strategie di aggregazione, di alimentazione e ipotesi di adattamento al disturbo), non è stata considerata in fase di analisi poiché la quantità di informazione acquisita non è stata ritenuta sufficiente per essere elaborata attraverso analisi statistica. La media di individui per percorso è stato pari a 188 ( $\pm$  58 dev. standard) (Tabella 2). Ogni singolo intervallo presenta un valore totale di individui simile ma la deviazione standard del primo (primi cinque minuti di ogni percorso) è maggiore rispetto agli altri.

Dalla tabella 2 si vede un incremento del numero di individui allontanandosi dalle fonti di disturbo (da 788 a 857), con un valore della media molto simile nei tre intervalli di tempo (60,62 a 5 min; 61,62 a 10 min; 65,92 a 15 min). Analizzando i singoli transetti, si vede che solamente Maimoni, Su Bardoni Sud e Cala Maestra presentano un andamento crescente.

Tabella 2 - Numero di individui (N) osservati per transetto ad ogni intervallo di tempo (5 min), totale, media e deviazione standard.

Tables 2 - Number of fishes for each transect at different time.

	5 min	10 min	15 min	Totali	Media	Dev. St.
La Caletta I	70	38	82	190	63,33	22,74
La Caletta II	87	120	87	294	98,00	19,05
Capo San Marco	160	72	52	284	94,67	57,46
Seu I	18	84	62	164	54,67	33,61
Seu II	104	27	140	271	90,33	57,73
Maimoni	39	53	69	161	53,67	15,01
Su Bardoni Sud	30	35	95	160	53,33	36,17
Su Bardoni Nord	79	36	40	155	51,67	23,76
Su Tingiosu I	34	28	34	96	32,00	3,46
Su Tingiosu II	55	49	53	157	52,33	3,06
Cala Maestra	36	62	73	171	57,00	19,00
Faraglioni	61	97	14	172	57,33	41,62
Il catalano	15	100	56	171	57,00	42,51
<b>Totale</b>	<b>788</b>	<b>801</b>	<b>857</b>	<b>2446</b>		
Media	61	62	66	188		
Dev. Standard	40	31	32	58		
Minimo	15	27	14	96		
Massimo	160	120	140	294		

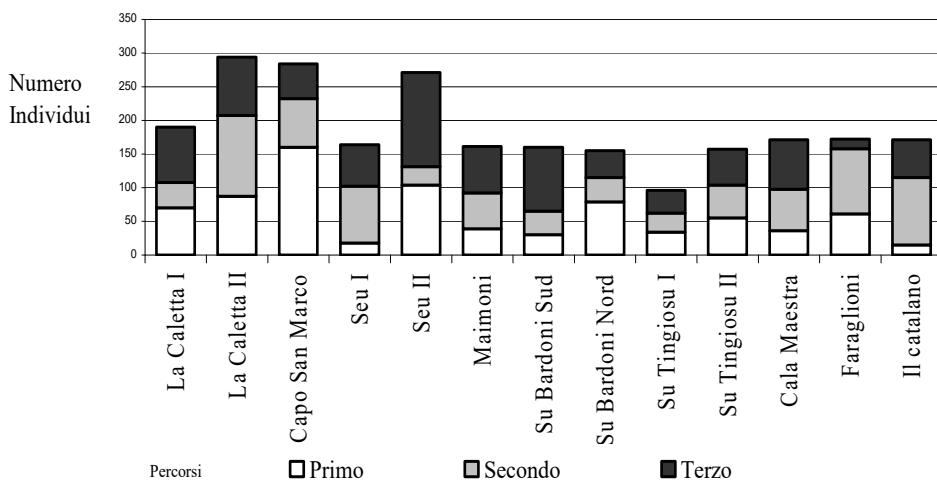


Figura 2 - Numero di individui (N) per intervallo di tempo.

Figure 2 - Plot of number of fishes (N) at different time interval.

Su Tingiosu I e Su Tingiosu II non mostrano variazioni apprezzabili, mentre Seu I, Faraglioni e il Catalano mostrano un numero di individui maggiore dopo 10 min di osservazioni. Di difficile interpretazione il caso di Capo San Marco dove nel primo tratto del percorso si è registrato il numero più elevato di individui tra tutti gli intervalli (160).

Tabella 3 - Indici su intervalli di 5 min per ogni transetto (S: numero di specie totale; H' indice di Shannon-Weaver; J' Evenness Index).

Table 3 - Index at 5 min interval for each transect (S: total number of species; H' Shannon-Weaver's Index; J' Evenness Index).

	Intervallo (min)	La Caletta I	La Caletta II	Capo San Marco	Seu I	Seu II	Maimoni	Su Bardoni Sud	Su Bardoni Nord	Su Tingiosu I	Su Tingiosu II	Cala Maestra	Faraglioni	Il Catalano
S	5	10	7	10	4	11	7	8	7	13	8	8	5	4
	10	8	10	12	12	6	9	6	7	8	10	8	8	7
	15	9	11	9	8	14	11	8	10	6	9	6	5	4
H'	5	1.68	1.36	1.39	1.21	1.38	1.07	1.68	1.04	2.14	1.54	1.55	1.10	0.86
	10	1.79	1.45	1.83	1.73	1.27	1.35	1.39	1.27	1.64	1.76	1.73	1.31	0.86
	15	1.78	1.72	1.84	1.46	1.63	1.95	1.26	1.84	1.32	1.27	1.09	1.38	0.62
J'	5	0.73	0.70	0.61	0.87	0.58	0.55	0.81	0.54	0.84	0.74	0.74	0.69	0.62
	10	0.86	0.63	0.74	0.69	0.71	0.61	0.78	0.65	0.79	0.77	0.83	0.63	0.44
	15	0.81	0.71	0.84	0.70	0.62	0.81	0.60	0.79	0.74	0.58	0.61	0.85	0.44

La figura 2 restituisce una rappresentazione grafica del numero di individui di ogni sito cumulando i valori dei singoli intervalli che lo compongono.

Il metodo di video visual census adottato ha permesso di raggiungere un ottimo livello di acquisizione di informazione complessivo e di rappresentazione della distribuzione della fauna ittica lungo la costa. La velocità di acquisizione dei dati restituisce un'immagine sinottica dei fenomeni che si sono indagati. Una caratterizzazione della componente ittica vagile è stata condotta in maniera esaustiva considerando le finalità del metodo. Si sono individuate le specie più abbondanti lungo le coste dell'AMP e quelle che si presentano con minor frequenza all'interno di una lista di controllo di specie ritenute presenti all'interno dell'area. La caratterizzazione dei popolamenti ittici ha riguardato un numero elevato di specie, contrariamente a quanto in uso con le metodiche tradizionali. La possibilità di rivedere alcune immagine, o addirittura di sottoporle ad altri esperti completa e migliora la qualità del risultato.

I video raccolti costituiscono un archivio da cui è possibile confermare i dati analizzati e considerarne di nuovi. Il susseguirsi degli studi può portare nel tempo all'implementazione del *database*. Studiosi di diverse discipline possono acquisire dati dagli stessi materiali video.

Da una visione complessiva dei dati di ciascun sito e degli indici, H' e J', ricavati dall'analisi, non è emerso chiaramente come la componente ittica sia influenzata dalla presenza di attività antropiche (diportismo e attività ricreative). Solo alcuni transetti (Maimoni, Su Bardoni Sud e Cala Maestra) hanno mostrato un numero crescente di individui man mano che ci si è allontanati dalla ipotizzata fonte di disturbo. Valutando lo stato della comunità ittica vagile attraverso il calcolo degli indici H' e di J', 3 transetti su 13 (Capo San Marco, Maimoni e Su Bardoni Sud) hanno presentato valori attesi, e quindi riconducibili ad un *effetto disturbo*.



## Conclusioni

L'efficacia del metodo e la rapidità di esecuzione fanno di questo sistema di monitoraggio uno strumento funzionale alle esigenze gestionali di riserve marine. I cambiamenti delle comunità, nel caso di quella ittica, in relazione alla fruizione delle coste ha bisogno di strumenti di monitoraggio adeguati ai tempi e alle risorse disponibili. L'acquisizione video può essere effettuata da personale non specializzato nel riconoscimento delle specie ittiche. L'implementazione continua del video data base porta alla costituzione di serie storiche di osservazioni.

## Ringraziamenti

Si ringrazia tutto lo staff dell'AMP "Penisola del Sinis – Isola di Mal di Ventre" che ci ha sempre aiutato nei lavori. Si ringrazia inoltre il Comune di Cabras, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e la sezione di Oristano dell'Istituto dell'Ambiente Marino Costiero (CNR).

## Bibliografia

- [1] Cappelletti, M., Speare, P. & De'ath G. – *Comparison of baited remote underwater video stations (BRUVS) and prawn (shrimp) trawls for assessments of fish biodiversity in inter-reefal areas of the Great Barrier Reef Marine Park*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology (2004) 302, 123 – 152.
- [2] De Girolamo M. & Mazzoldi C. – *The application of visual census on Mediterranean rocky habitats*. Marine Environmental Research (2001) 51, 1 – 16.
- [3] DeMartini E.E. & Roberts D. – *An empirical test of biases in the rapid visual technique for species-time censuses of reef fish assemblages*. Mar. Biol. (1982) 70, 129 – 134.
- [4] Harmelin-Vivien M.L. & Francour P. – *Trawling or visual censuses? Methodological bias in the assessment of fish populations in seagrass beds* P.S.Z.N. Marine Ecology (1992) 13 (1), 41 – 51.
- [5] Harmelin-Vivien M.L., Harmelin J.G., Chauvet C., Duval C., Galzin R., Lejeune P., Barnabe G., Blanc F., Ghevalier R., Duclerc J. & Lasserre G. – *Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons: methodes et problemes*. Rev. Ecol. (Terre Vie) (1985) 40, 468 – 539.
- [6] La Mesa G. & Vacchi, M. – *An analysis of the coastal fish assemblage of the Ustica Island Marine Reserve (Mediterranean Sea)*. Marine Ecology (1999) 20 (2), 147 – 165.
- [7] Pielou E.C. – *Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession*. J. Theor. Biol. (1966) 10, 370 – 383.
- [8] Sanderson S.L. & Solonsky A.C. – *Comparison of a rapid visual and a strip transect technique for censusing reef fish assemblages*. Bull. Mar. Sci. (1986) 39, 119 – 129
- [9] Shannon C.E. & Weaver N. – *The mathematical theory of communication* (1948), Univ of Illinois Press, Urbana.
- [10] Watson R. A. & Quinn II T. J – *Performance of transect and point count underwater visual census methods*. Ecological Modelling (1997) 104, 103 – 112.