Relazione

del progetto APPCoT

31/01/2014

Fase 1: Costituzione ATS definizione e gestione della rete di cooperazione del partenariato

In data 17 ottobre 2011, presso il notaio Barbara Pieri, è stato sottoscritto l'atto per la costituzione dell'Associazione Temporanea di Scopo tra gli otto partner appartenenti al progetto APPCoT. Con tale ATS i partner si sono stretti in un rapporto di impegno reciproco verso il raggiungimento degli obiettivi specifici previsti dal progetto APPCoT.
Le riunioni di coordinamento periodiche sono state svolte regolarmente a partire da prima dell'inizio ufficiale del progetto al fine facilitare una rapida partenza nel caso di valutazione positiva.
Alcune hanno interessato solamente una parte del partenariato mentre altre, aventi lo scopo di coordinamento e allineamento ha visto tutti coinvolti. Di seguito si riporta una breve sintesi delle principali:

- ⇒ 18 luglio 2011
- ⇒ 5 agosto 2011
- ⇒ 24 agosto 2011
- ⇒ 17 ottobre 2011
- ⇒ 27 ottobre 2011
- ⇒ 11 ottobre 2011
- ⇒ 28 maggio 2012 è stata organizzata una riunione tecnica per l'avvio ufficiale del progetto, sotto la direzione generale del capofila del PIF - APPCoT, il Consorzio Agrario di Siena. Alla riunione hanno partecipato tutti i partner del progetto APPCoT. Obiettivo della riunione era ufficializzare l'avvio del progetto e verificare l'iter degli adempimenti amministrativi procedurali. In tale occasione sono stati affrontati anche gli aspetti di rendicontazione economica.
- ⇒ 21 giugno 2012, sede CAPSI Sant'Isabella: è invece svolta una riunione di coordinamento per discutere problematiche operative legate all'imminente raccolto e pianificare le attività di progetto.
- ⇒ 28/06/2012 Trebbiatura
- ⇒ 18/07/2012 Incontro per prima valutazione risultati trebbiatura e programmazione delle operazioni di preparazione del letto di semina
- ⇒ 3/10/2012 Riunione presso UNIFI per coordinare le attività e programmare l'incontro del 20 ottobre.
- ⇒ 20/10/2012 Sant'Isabella (CAPSI) - Riunione di coordinamento per discutere problematiche operative legate alla semina e concimazione di precisione e pianificare le attività di progetto per il secondo anno.
- ⇒ 4/12/2012 Incontro presso UNIFI per definizione attività, valutazione delle attività svolta e programmazione delle attività successive.

Fase 2 : Messa a punto del disegno sperimentale ed istallazione della rete di rilievo agrometeorologica

In prima battuta è stato messo a punto il disegno sperimentale. Sono state individuate due varietà di frumento duro, Claudio e Miradoux, che risultano quelle più comunemente coltivate nell'area di studio, questo sulla base delle caratteristiche produttive e delle esperienze e competenze del Consorzio Agrario di Siena ed Arezzo. Le due varietà sono state testate per la risposta quali quantitativa della produzione in funzione della fertilizzazione azotata. A tale scopo sono stati applicati 3 livelli di fertilizzazione azotata (basso, medio e alto). A ognuna delle tesi, rappresentate dalla combinazione varietà-livello di fertilizzazione azotata è stata dedicata una parcella di 1 ettaro di superficie e ogni parcella è stata replicata tre volte, per un totale di 18 ettari. Il disegno sperimentale è stato effettuato da ciascuna delle tre aziende agricole al fine di avere una rappresentatività anche in funzione delle differenti caratteristiche climatiche, pedologiche e orografiche dell'area coltivata della Val d'Orcia. Questa prova sperimentale è stata ripetuta per due annate colturali consecutive, 2012 e 2013.
Inoltre, per l'analisi sperimentale si sono individuati i punti di rilievo eco fisiologico, fenologico e quantitativo da effettuare sulla coltura per avere i dati necessari alla messa a punto e alla calibrazione del modello per la fertilizzazione di precisione.
In seconda battuta sono stati individuati i punti ove rilevare le informazioni meteo-climatiche sito specifiche. La rete di rilievo ha consentito di caratterizzare e monitorare il comportamento delle principali variabili agrometeorologiche e di rappresentarne la variabilità spaziale e temporale, anche in relazione alla complessa orografia locale. A supporto della rete di rilievo agrometeorologico, prevista a carico delle aziende agricole, è stata istallata una rete di monitoraggio "leggero" integrativa per rilevare temperatura e umidità dell'aria in 6 postazioni e precipitazioni in 3 postazioni.
I siti di istallazione sono stati individuati tramite una pre-indagine conoscitiva basata sull'analisi di dati climatici pregressi che ha consentito di individuare le località più rappresentative per il monitoraggio di temperatura, umidità dell'aria, umidità del terreno, bagnatura fogliare, ecc. e quindi più idonee all'installazione delle stazioni automatiche. Tali località sono state scelte non solo in base alla rappresentatività rispetto all'azienda di competenza ma anche rispetto all'intera area di indagine, ossia all'area coltivata della Val d'Orcia. In particolare, le caratteristiche climatiche sono state estrapolate a partire dai dati storici disponibili raccolti dalle stazioni meteorologiche (5-6) già presenti nelle vicinanze dell'area di studio da diversi anni.

Fase 3 : Allestimento e gestione dei campi sperimentali

F3.1: Allestimento e gestione del primo campo sperimentale (AZIENDA AGRICOLA PALAZZI di NARDI ENZO)

a) Allestimento delle parcelle, preparazione del letto di semina e semina parcellare.

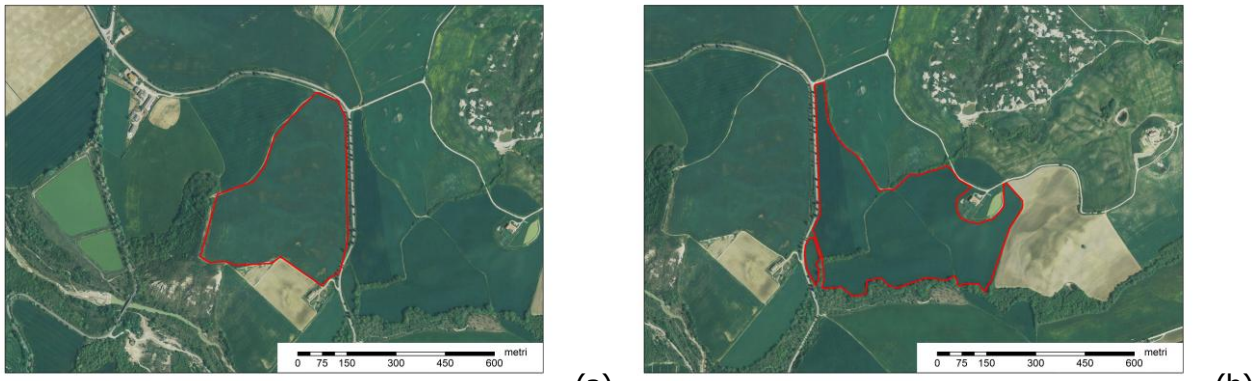
Le due annate produttive 2011-2012 e 2012-2013 sono iniziate con la preparazione del letto di semina nel mese di settembre, sia 2011 che 2012, attraverso un'aratura profonda 35-40 cm e una successiva frangizollatura.

Successivamente, dopo aver effettuato il campionamento del terreno e la fertilizzazione pre-semina, sono state seminate le due varietà (Claudio e Miradoux) secondo il disegno sperimentale descritto nella fase 2. La quantità di seme impiegato, in entrambi gli anni del progetto, è stato di 300 kg/ha per ciascuna varietà ed è stato seminato avvalendosi della seminatrice pneumatica trainata.

Dopo la preparazione del letto di semina, ma prima della semina, è stato effettuato il prelievo dei campioni di suolo destinati all'analisi completa delle caratteristiche fisico-chimiche.

I punti di terreno campionati sono stati 4 ad azienda, per ogni campo sono state identificate zone omogenee (es. terreno chiaro o scuro alla vista, terreno sabbioso, terreno ciottoloso, etc.), cercando di mettere in evidenza le differenze riscontrate all'interno dell'appezzamento.

Per ciascuna area omogenea sono stati prelevati due campioni di suolo, successivamente uniti per avere un unico campione rappresentativo, ed ognuno di questi campioni è costituito dalla mescolanza di 4-5 punti campionati, secondo il disegno sperimentale a croce. La profondità di campionamento è risultata indifferente, poiché a seguito dell'aratura effettuata per la preparazione del letto di semina gli strati erano rovesciati. Il campionamento, quindi, è risultato effettuato sui primi 30-35 cm di suolo.



(a) (b)

Figura - Parcelle sperimentali anno 2012 (a) e 2013 (b) Azienda Agricola di Nardi Enzo.\

b) Gestione interventi colturali di fertilizzazione, trattamenti fitosanitari, trattamenti erbicidi e concimazioni fogliari.

Ogni parcella, caratterizzata da una varietà ed un livello d'azoto, ha interessato un'area di un ettaro di superficie ed è stata replicata tre volte secondo il disegno sperimentale descritto in fase 2. La descrizione di seguito riporta (ed i quantitativi di prodotto utilizzati) è risultata identica per entrambe le annate produttive (2011-2012 e 2012-2013). Il primo anno di sperimentazione la

semina è stata effettuata nella prima decade di novembre 2011, mentre nel secondo anno, a causa della stagione climatica, è stata effettuata ad inizio gennaio 2013.
Per quanto riguarda gli interventi colturali di fertilizzazione sono stati effettuati una concimazione pre-semina, due concimazioni in copertura e una concimazione fogliare (solo nell'annata produttiva 2011-2012, e solamente come ulteriore prova sperimentale).
La concimazione in pre-semina è stata effettuata con il fosfato biammonico (18-46) ed è stato applicato il quantitativo di 250 kg/ha uguale per tutte le parcelle sperimentali.
Le due fertilizzazioni azotate in copertura sono state effettuate utilizzando due dosi differenti. Nella prima è stato utilizzato come fertilizzante il nitrato ammonico (26-0-0) ed è stato preso come riferimento la quantità media di 200 kg/ha di concime,aumentata e diminuita di un 20-25% per le differenti somministrazioni. Quindi le tre diverse applicazioni azotate sono state: concimazione bassa 150 kg/ha, media 200 kg/ha ed alta 250 kg/ha.
Nella seconda è stato utilizzato sempre con lo stesso concime, cioè il nitrato ammonico (26-0-0), aumentando il quantitativo medio fino a 250 kg/ha di concime, quindi le tre diverse applicazioni sono state: concimazione bassa 200 kg/ha, media 250 kg/ha ed alta 300 kg/ha.
La seconda fertilizzazione di copertura nel secondo anno di prove è stata effettuata impiegando le stesse dosi medie, ma distribuendole secondo le indicazioni della mappa di prescrizione successivamente descritta, impiegando lo spandiconcime di precisione.

Figura - Sistema di controllo per la distribuzione di fertilizzante.

Per quanto riguarda la tempistica degli interventi previsti, il primo anno di sperimentazione, la prima fertilizzazione azotata di copertura è stata effettuata tra il 27 e il 29 gennaio 2012, mentre la seconda il 2 aprile 2012. Il secondo anno di sperimentazione, a causa di un andamento climatico avverso, la prima fertilizzazione azotata di copertura è stata eseguita tra il 25 febbraio e il primo marzo 2013, mentre la seconda il 19 aprile 2013.
La gestione dei trattamenti per la lotta contro infestanti e patogeni è stata effettuata poco dopo la seconda fertilizzazione azotata di copertura ed è stato effettuato un diserbo comprendente due prodotti disseccanti per le infestanti, l'Axial Pronto disseccante foglia stretta, il Marox disseccante foglia larga e il Bumper P un fungicida organico generico, efficace contro mal del piede da Cercosporella, fusariosi, oidio e ruggini.

c) Raccolta parcellare.
L'operazione di raccolta parcellare di precisione ha previsto in prima battuta il montaggio dei dispositivi elettronici atti a questo scopo, in particolare computer di bordo, sensori di carico, etc. sulla mietitrebbia per il monitoraggio in continuo della produttività delle parcelle. Dopo una successiva fase di cablatura dell'impianto e di taratura dei macchinari necessari, la macchina operatrice per la raccolta ha consentito il monitoraggio delle rese.
Le diverse parcelle sono state raccolte separatamente sia per tesi varietà/livello azoto che per replica e sono stati acquisiti sottocampioni georeferiti per eseguire le analisi quanti-qualitative. Successivamente le informazioni sono state riportate in forma cartografica e allo scopo di alimentare il database e il software gestionale previsto nelle successive fasi.
Inoltre, questa operazione ha permesso la mappatura puntuale della resa all'interno delle parcelle, in modo da individuare eventuali anomalie di produzione e poter indagare successivamente sulle soluzioni da adottare per ottenere una resa il più possibile omogenea in tutto l'appezzamento.
La raccolta ha avuto luogo il 28 giugno 2012 per quanto riguarda il primo anno del progetto e il 18 luglio 2013 nel secondo anno, sotto un'immagine dell'appezzamento prima della raccolta.

(a)

(b)
Figura - Sistema di controllo della resa (a) installato sulle mietitrebbiatrice (b).

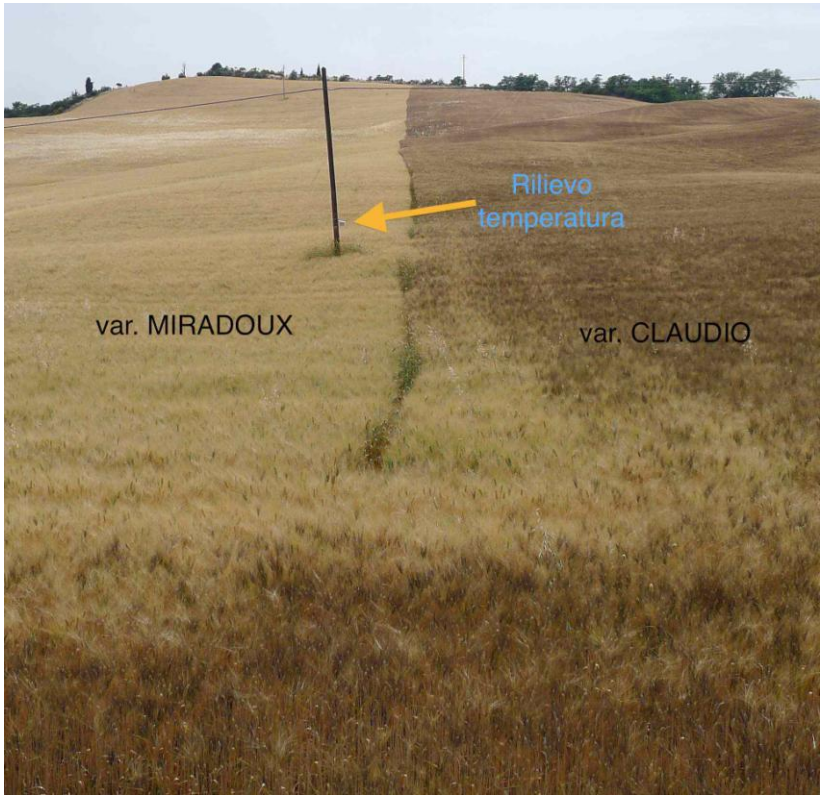


Figura 2 - Parcella sperimentale del primo anno Azienda Agricola di Nardi Enzo.

F3.2: Allestimento e gestione dei secondo campo sperimentale (RAPPUOLI MASSIMILIANO)

a) Allestimento delle parcelle, preparazione del letto di semina e semina parcellare.

Le due annate produttive 2011-2012 e 2012-2013 sono iniziate con la preparazione del letto di semina nel mese di settembre, sia 2011 che 2012, attraverso un'aratura profonda 35-40 cm e una successiva frangizollatura.

Successivamente, dopo aver effettuato il campionamento del terreno e la fertilizzazione pre-semina, sono state seminate le due varietà (Claudio e Miradoux) secondo il disegno sperimentale descritto nella fase 2. La quantità di seme impiegato, in entrambi gli anni del progetto, è stato di 300 kg/ha per ciascuna varietà ed è stato seminato avvalendosi della seminatrice pneumatica trainata.

Dopo la preparazione del letto di semina, ma prima della semina, è stato effettuato il prelievo dei campioni di suolo destinati all'analisi completa delle caratteristiche fisico-chimiche.

I punti di terreno campionati sono stati 4 ad azienda, per ogni campo sono state identificate zone omogenee (es. terreno chiaro o scuro alla vista, terreno sabbioso, terreno ciottoloso, etc.), cercando di mettere in evidenza le differenze riscontrate all'interno dell'appezzamento.

Per ciascuna area omogenea sono stati prelevati due campioni di suolo, successivamente uniti per avere un unico campione rappresentativo, ed ognuno di questi campioni è costituito dalla mescolanza di 4-5 punti campionati, secondo il disegno sperimentale a croce. La profondità di campionamento è risultata indifferente, poiché a seguito dell'aratura effettuata per la preparazione del letto di semina gli strati erano rovesciati. Il campionamento, quindi, è risultato effettuato sui primi 30-35 cm di suolo.

(a) (b)

Figura - Perimetro parcelle sperimentali anno 2012 (a) e 2013 (b) di Rappuoli Massimiliano

b) Gestione interventi colturali di fertilizzazione, trattamenti fitosanitari, trattamenti erbicidi e concimazioni fogliari.

Ogni parcella, caratterizzata da una varietà ed un livello d'azoto, ha interessato un'area di un ettaro di superficie ed è stata replicata tre volte secondo il disegno sperimentale descritto in fase 2. La descrizione di seguito riporta (ed i quantitativi di prodotto utilizzati) è risultata identica per entrambe le annate produttive (2011-2012 e 2012-2013). Il primo anno di sperimentazione la

semina è stata effettuata nella prima decade di novembre 2011, mentre nel secondo anno, a causa della stagione climatica, è stata effettuata ad inizio gennaio 2013.
Per quanto riguarda gli interventi colturali di fertilizzazione sono stati effettuati una concimazione pre-semina, due concimazioni in copertura e una concimazione fogliare (solo nell'annata produttiva 2011-2012, e solamente come ulteriore prova sperimentale).
La concimazione in pre-semina è stata effettuata con il fosfato biammonico (18-46) ed è stato applicato il quantitativo di 250 kg/ha uguale per tutte le parcelle sperimentali.
Le due fertilizzazioni azotate in copertura sono state effettuate utilizzando due dosi differenti. Nella prima è stato utilizzato come fertilizzante il nitrato ammonico (26-0-0) ed è stato preso come riferimento la quantità media di 200 kg/ha di concime,aumentata e diminuita di un 20-25% per le differenti somministrazioni. Quindi le tre diverse applicazioni azotate sono state: concimazione bassa 150 kg/ha, media 200 kg/ha ed alta 250 kg/ha.
Nella seconda è stato utilizzato sempre con lo stesso concime, cioè il nitrato ammonico (26-0-0), aumentando il quantitativo medio fino a 250 kg/ha di concime, quindi le tre diverse applicazioni sono state: concimazione bassa 200 kg/ha, media 250 kg/ha ed alta 300 kg/ha.
La seconda fertilizzazione di copertura nel secondo anno di prove è stata effettuata impiegando le stesse dosi medie, ma distribuendole secondo le indicazioni della mappa di prescrizione successivamente descritta, impiegando lo spandiconcime di precisione.
Per quanto riguarda la tempistica degli interventi previsti, il primo anno di sperimentazione, la prima fertilizzazione azotata di copertura è stata effettuata tra il 27 e il 29 gennaio 2012, mentre la seconda il 2 aprile 2012. Il secondo anno di sperimentazione, a causa di un andamento climatico avverso, la prima fertilizzazione azotata di copertura è stata eseguita tra il 25 febbraio e il primo marzo 2013, mentre la seconda il 19 aprile 2013.
La gestione dei trattamenti per la lotta contro infestanti e patogeni è stata effettuata poco dopo la seconda fertilizzazione azotata di copertura ed è stato effettuato un diserbo comprendente due prodotti disseccanti per le infestanti, l'Axial Pronto disseccante foglia stretta, il Marox disseccante foglia larga e il Bumper P un fungicida organico generico, efficace contro mal del piede da Cercosporella, fusariosi, oidio e ruggini.

c) Raccolta parcellare.

L'operazione di raccolta parcellare di precisione ha previsto in prima battuta il montaggio dei dispositivi elettronici atti a questo scopo, in particolare computer di bordo, sensori di carico, etc. sulla mietitrebbia per il monitoraggio in continuo della produttività delle parcelle. Dopo una successiva fase di cablatura dell'impianto e di taratura dei macchinari necessari, la macchina operatrice per la raccolta ha consentito il monitoraggio delle rese.
Le diverse parcelle sono state raccolte separatamente sia per tesi varietà/livello azoto che per replica e sono stati acquisiti sottocampioni georeferiti per eseguire le analisi quanti-qualitative. Successivamente le informazioni sono state riportate in forma cartografica e allo scopo di alimentare il database e il software gestionale previsto nelle successive fasi.
Inoltre, questa operazione ha permesso la mappatura puntuale della resa all'interno delle parcelle, in modo da individuare eventuali anomalie di produzione e poter indagare successivamente sulle soluzioni da adottare per ottenere una resa il più possibile omogenea in tutto l'appezzamento.
La raccolta ha avuto luogo il 28 giugno 2012 per quanto riguarda il primo anno del progetto e il 18 luglio 2013 nel secondo anno, sotto un'immagine dell'appezzamento prima della raccolta.

Figura - Parcella sperimentale del secondo anno di Rappuoli Massimiliano.

F3.3: Allestimento e gestione dei terzo campo sperimentale (SOCIETA' AGRICOLA DI DONATO ANICETO, ROBERTO, VITTORIO E ENZO S.S.)

a) Allestimento delle parcelle, preparazione del letto di semina e semina parcellare.

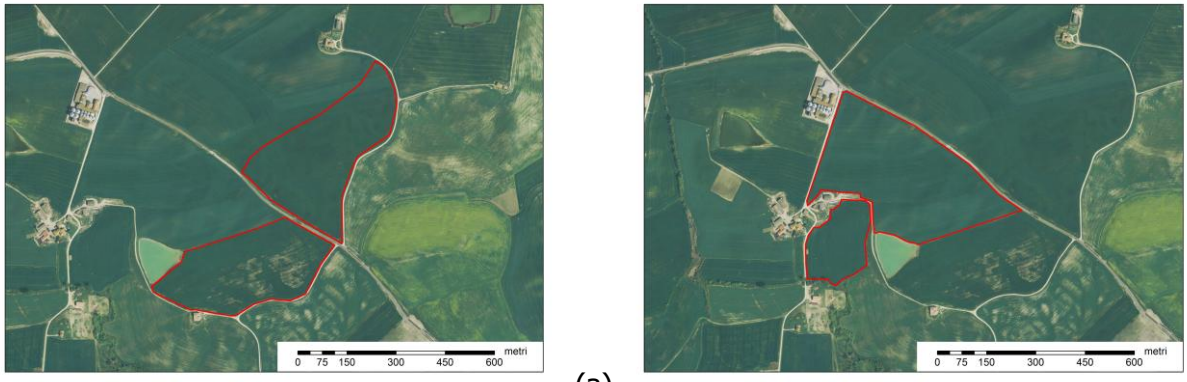
Le due annate produttive 2011-2012 e 2012-2013 sono iniziate con la preparazione del letto di semina nel mese di settembre, sia 2011 che 2012, attraverso un'aratura profonda 35-40 cm e una successiva frangizollatura.

Successivamente, dopo aver effettuato il campionamento del terreno e la fertilizzazione pre-semina, sono state seminate le due varietà (Claudio e Miradoux) secondo il disegno sperimentale descritto nella fase 2. La quantità di seme impiegato, in entrambi gli anni del progetto, è stato di 300 kg/ha per ciascuna varietà ed è stato seminato avvalendosi della seminatrice pneumatica trainata.

Dopo la preparazione del letto di semina, ma prima della semina, è stato effettuato il prelievo dei campioni di suolo destinati all'analisi completa delle caratteristiche fisico-chimiche.

I punti di terreno campionati sono stati 4 ad azienda, per ogni campo sono state identificate zone omogenee (es. terreno chiaro o scuro alla vista, terreno sabbioso, terreno ciottoloso, etc.), cercando di mettere in evidenza le differenze riscontrate all'interno dell'appezzamento.

Per ciascuna area omogenea sono stati prelevati due campioni di suolo, successivamente uniti per avere un unico campione rappresentativo, ed ognuno di questi campioni è costituito dalla mescolanza di 4-5 punti campionati, secondo il disegno sperimentale a croce. La profondità di campionamento è risultata indifferente, poiché a seguito dell'aratura effettuata per la preparazione del letto di semina gli strati erano rovesciati. Il campionamento, quindi, è risultato effettuato sui primi 30-35 cm di suolo.



(a) (b)

Figura - Perimetro parcelle sperimentali anno 2012 (a) e 2013 (b) Società Agricola Di Donato A.R.V.E.

b) Gestione interventi colturali di fertilizzazione, trattamenti fitosanitari, trattamenti erbicidi e concimazioni fogliari.

Ogni parcella, caratterizzata da una varietà ed un livello d'azoto, ha interessato un'area di un ettaro di superficie ed è stata replicata tre volte secondo il disegno sperimentale descritto in fase 2. La descrizione di seguito riporta (ed i quantitativi di prodotto utilizzati) è risultata identica per entrambe le annate produttive (2011-2012 e 2012-2013). Il primo anno di sperimentazione la

semina è stata effettuata nella prima decade di novembre 2011, mentre nel secondo anno, a causa della stagione climatica, è stata effettuata ad inizio gennaio 2013.
Per quanto riguarda gli interventi colturali di fertilizzazione sono stati effettuati una concimazione pre-semina, due concimazioni in copertura e una concimazione fogliare (solo nell'annata produttiva 2011-2012, e solamente come ulteriore prova sperimentale).
La concimazione in pre-semina è stata effettuata con il fosfato biammonico (18-46) ed è stato applicato il quantitativo di 250 kg/ha uguale per tutte le parcelle sperimentali.
Le due fertilizzazioni azotate in copertura sono state effettuate utilizzando due dosi differenti. Nella prima è stato utilizzato come fertilizzante il nitrato ammonico (26-0-0) ed è stato preso come riferimento la quantità media di 200 kg/ha di concime,aumentata e diminuita di un 20-25% per le differenti somministrazioni. Quindi le tre diverse applicazioni azotate sono state: concimazione bassa 150 kg/ha, media 200 kg/ha ed alta 250 kg/ha.
Nella seconda è stato utilizzato sempre con lo stesso concime, cioè il nitrato ammonico (26-0-0), aumentando il quantitativo medio fino a 250 kg/ha di concime, quindi le tre diverse applicazioni sono state: concimazione bassa 200 kg/ha, media 250 kg/ha ed alta 300 kg/ha.
La seconda fertilizzazione di copertura nel secondo anno di prove è stata effettuata impiegando le stesse dosi medie, ma distribuendole secondo le indicazioni della mappa di prescrizione successivamente descritta, impiegando lo spandiconcime di precisione.
Per quanto riguarda la tempistica degli interventi previsti, il primo anno di sperimentazione, la prima fertilizzazione azotata di copertura è stata effettuata tra il 27 e il 29 gennaio 2012, mentre la seconda il 2 aprile 2012. Il secondo anno di sperimentazione, a causa di un andamento climatico avverso, la prima fertilizzazione azotata di copertura è stata eseguita tra il 25 febbraio e il primo marzo 2013, mentre la seconda il 19 aprile 2013.
La gestione dei trattamenti per la lotta contro infestanti e patogeni è stata effettuata poco dopo la seconda fertilizzazione azotata di copertura ed è stato effettuato un diserbo comprendente due prodotti disseccanti per le infestanti, l'Axial Pronto disseccante foglia stretta, il Marox disseccante foglia larga e il Bumper P un fungicida organico generico, efficace contro mal del piede da Cercosporella, fusariosi, oidio e ruggini.

c) Raccolta parcellare.

L'operazione di raccolta parcellare di precisione ha previsto in prima battuta il montaggio dei dispositivi elettronici atti a questo scopo, in particolare computer di bordo, sensori di carico, etc. sulla mietitrebbia per il monitoraggio in continuo della produttività delle parcelle. Dopo una successiva fase di cablatura dell'impianto e di taratura dei macchinari necessari, la macchina operatrice per la raccolta ha consentito il monitoraggio delle rese.
Le diverse parcelle sono state raccolte separatamente sia per tesi varietà/livello azoto che per replica e sono stati acquisiti sottocampioni georeferiti per eseguire le analisi quanti-qualitative. Successivamente le informazioni sono state riportate in forma cartografica e allo scopo di alimentare il database e il software gestionale previsto nelle successive fasi.
Inoltre, questa operazione ha permesso la mappatura puntuale della resa all'interno delle parcelle, in modo da individuare eventuali anomalie di produzione e poter indagare successivamente sulle soluzioni da adottare per ottenere una resa il più possibile omogenea in tutto l'appezzamento.
La raccolta ha avuto luogo il 28 giugno 2012 per quanto riguarda il primo anno del progetto e il 18 luglio 2013 nel secondo anno, sotto un'immagine dell'appezzamento prima della raccolta.

Figura 4 – Sistema di monitoraggio della produzione Società Agricola Di Donato A.R.V.E.

Fase 4 : Acquisizione ed elaborazione dei dati

I) Suolo

Le informazioni relative alle caratteristiche chimico fisiche del suolo sono state acquisite all'inizio dello studio effettuando 12 rilievi, 4 per ogni azienda. Per ogni parcella sono state identificate zone omogenee (es. terreno chiaro o scuro alla vista, terreno sabbioso, terreno ciottoloso, etc.), cercando di mettere in evidenza le differenze riscontrate all'interno dell'appezzamento.
Per ciascuna area omogenea sono stati prelevati due campioni di suolo, successivamente uniti per avere un unico campione rappresentativo, ed ognuno di questi campioni è costituito dalla mescolanza di 4-5 punti campionati, secondo il disegno sperimentale a croce, con vanga. La profondità di campionamento è risultata indifferente, poiché a seguito dell'aratura effettuata per la preparazione del letto di semina gli strati erano rovesciati. Il campionamento, quindi, è risultato effettuato sui primi 30-35 cm di suolo.

Figura - Campionamento terreno eseguito nel Novembre 2011.

(a)

(b)

(c)

Figura – Terreno lavorato (pre-semina) degli appezzamenti di Di Donato (a), Nardi (b) e Rappuoli (c).

L'individuazione e la caratterizzazione delle proprietà sito-specifiche del suolo ha avuto come scopo quello di offrire la possibilità di aumentare l'efficienza d'impiego, da parte delle coltivazioni, degli input agronomici somministrati (fertilizzanti, diserbanti, prodotti fitosanitari) guidando la somministrazione degli input sulla base delle effettive necessità.
I 12 campioni prelevati il primo anno sono stati sottoposti ad analisi sia da parte dell'azienda sia dell'Università, per maggiore scrupolosità.
In particolare, sui campioni di suolo opportunamente trattati (asciugatura, vagliatura a 2 mm e 0,2 mm), è stata determinata la granulometria (argilla, limo, sabbia) (vedi Tab.), tramite levigatori con il metodo di Esenwein (Esenwein levigator), e le seguenti caratteristiche chimico-fisiche:

- carbonio organico
- azoto totale
- rapporto C/N
- zolfo totale
- fosforo assimilabile
- pH

- capacità di scambio cationico
- saturazione Basica (S.B.)
- rapporto Mg/K
- calcare totale e attivo
- boro solubile
- microelementi assimilabili (Ferro, Rame, Zinco, Manganese)
- conducibilità Elettrica (C.E.)
- sodicità (E.S.P.)

Figura – Immagine campioni di suolo prelevati nel 2011

Azienda	n	Sabbia(%)	Limo(%)	Argilla(%)	Tessitura USDA
Di Donato	1	12.6	41.6	45.7	Argilloso limosa
	2	10.7	50.6	38.6	Franco limosa argillosa
	3	7.5	49.7	42.9	Argilloso limosa
	4	13.5	39.5	47.0	Argilloso limosa
Nardi	1	25.9	41.9	32.2	Franco argillosa
	2	22.1	48.0	29.9	Franco argillosa
	3	58.1	26.5	15.3	Franco sabbiosa
	4	25.4	44.4	30.1	Franco argillosa
Rappuoli	1	22.5	46.6	30.9	Franco argillosa
	2	13.7	49.1	37.2	Franco limosa argillosa
	3	18.5	45.7	35.8	Franco limosa argillosa
	4	26.8	42.0	31.2	Franco argillosa

Tabella - Analisi della tessitura dei campioni di terreno effettuata nei laboratori del DISPAA

Descrizione Analisi		Di Donato				Nardi				Rappuoli			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
pH (in KCl)		7.1	7.4	7.5	7.2	7.2	7.4	7.4	7.3	7.4	7.5	7.3	7.4
Conducibilità elettrica 20°C	mS/cm	0.6	0.7	1	0.6	0.9	0.8	0.5	0.7	0.6	2.4	0.9	0.7
Salinità		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1
Calcare totale	%	3.8	16.3	11.5	12.5	1.9	16.3	30.7	17.3	21.1	19.2	19.2	20.1
Calcare attivo	%	0.4	6.9	6.6	7.6	0.1	6.3	6.1	6.3	6.8	6.8	7.5	6.4
NO_3^-	mg/kg	38.0	25.7	23.5	33.8	48.2	42.1	30.1	85.9	73.1	96.2	49.0	36.9
NH_4^+	mg/kg	3.2	3.2	3.3	3.0	0.0	0.0	0.0	17.2	0.0	17.0	1.0	0.6
N-assimilabile	mg/kg	11.1	8.3	7.9	10.0	10.9	9.5	6.8	32.8	16.5	35.0	11.9	8.8
Azoto totale	g/kg	1.96	1.5	1.31	1.57	1.48	1.24	0.9	1.66	1.25	1.04	1.43	1.64
PO_4^{3-}		402.9	210.1	100.8	242.6	340.0	301.7	246.2	291.5	428.5	473.6	430.9	345.1
P_2O_5		301.0	157.0	75.3	181.2	254.0	225.4	183.9	217.7	320.1	353.8	321.9	257.8
PO_4^{3-} -assimilabile		55.3	52.6	32.6	25.3	39.9	46.0	44.5	54.2	56.1	50.3	39.8	37.9
P_2O_5 -assimilabile		41.3	39.3	24.3	18.9	29.8	34.4	33.2	40.5	41.9	37.5	29.7	28.3
Fosforo assimilabile	mg/kg	3	7	2	3	4	5	1	21	7	6	2	5
Sostanza organica	g/kg	30.34	19.83	22.21	23.62	27.38	18	3.5	19.1	12.62	6.43	15.26	15.22
Carbonio organico	g/kg	17.6	11.5	12.88	13.7	15.88	10.44	2.03	11.08	7.32	3.73	8.85	8.83
Ferro Assimilabile	mg/kg	19.1	28.5	29.3	17.6	14.3	27.8	10.5	19.6	21.8	18.8	15.4	20.8
Manganese Assimilabile	mg/kg	14.3	13.8	8	14.4	17	14.7	10	23.1	20.1	11.3	13.3	22
Rame Assimilabile	mg/kg	2.4	3.1	3.5	2	1.8	3.1	0.8	2.5	2.5	1.8	1.5	2.3
Zinco Assimilabile	mg/kg	0.3	1.5	0.8	0.2	0.3	0.5	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3
Boro solubile	mg/kg	0.5	0.8	0.6	0.8	0.4	1	0.3	0.7	0.4	1.5	0.5	0.5
Cloruri Solubili	mg/kg	7	8	23	11	21	11	8	11	7	95	21	8
Rapporto Mg/K		5.8	7.4	9.2	6.9	7.8	8.8	9.4	6.1	4.5	9.7	7.1	7.4
Rapporto C/N		9	7.7	9.8	8.7	10.7	8.4	2.2	6.7	5.9	3.6	6.2	5.4
E.S.P.		0.8	1.2	1.9	1	0.7	1.6	0.9	1	0.7	0.6	1.2	0.9
S.A.R.		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1
pH (in acqua)		8.1	8.1	8.2	8.1	8.2	8.1	8.2	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
Potassio Scambiabile	mg K/kg	248	228	364	277	224	247	145	218	238	266	206	212
Potassio Scambiabile (come K_2O)	mg K_2O/kg	299	275	439	334	270	298	174	263	286	320	249	256
Magnesio Scambiabile	mg Mg/kg	447	528	1045	595	544	675	421	416	333	797	457	486
Magnesio Scambiabile (come MgO)	mg MgO/kg	740	876	1733	987	903	1119	699	689	551	1321	758	805
CaCO3	g/kg	28.381	61.658	48.673	40.152	11.205	64.734	56.782	58.191	70.454	68.326	63.161	51.544
Calcio Scambiabile	mg Ca/kg	6989	3390	3136	6289	7890	3324	3218	5070	4302	3291	4728	4200
Calcio scambiabile (come CaO)	mg CaO/kg	9778	4743	4387	8798	11038	4650	4502	7093	6018	4604	6614	5876
Sodio Scambiabile	mg/kg	72	63	114	85	71	83	42	69	40	31	76	55
Capacità Scambio Cationico	meq/100g	39.5	22.1	25.7	37.4	44.7	23.1	20.1	29.6	25	23.8	28.2	25.7
Acidità complessiva	meq/kg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Saturazione basica	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabella - Analisi terreno ISVEA-DISPAA anno 2011

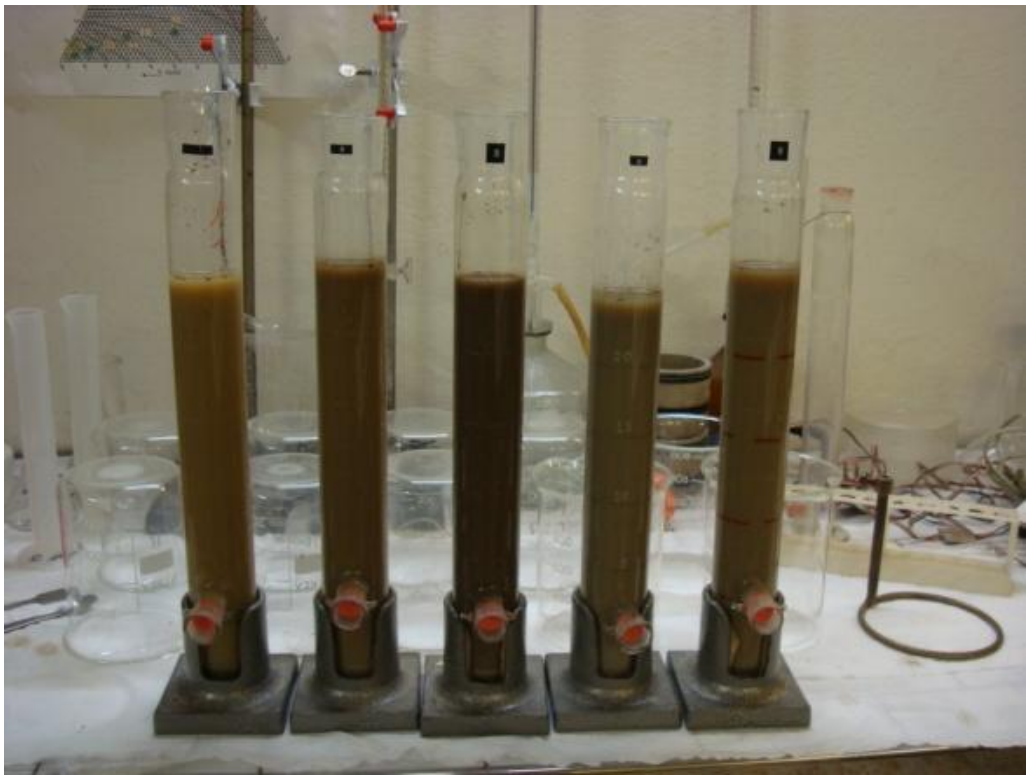


Figura - Immagine levigatori (Esenwein levigator) per analisi tessitura tramite il metodo di Esenwein.

Nel secondo anno le analisi sono state effettuate sulle stesse parcelle del primo anno. Si è infatti preferito, alla luce dei risultati del primo anno, concentrare l'attenzione sulla elevata variabilità del suolo all'interno dei singoli appezzamenti.
Per questo sono state effettuate le rimanenti 18 analisi, in particolare per cercare la causa delle differenze cromatiche rilevate, in buona parte associate a differenti capacità di strutturazione del terreno e di produttività delle colture.

II) Clima

I dati meteo-climatici sono stati raccolti da diverse fonti e a diverse risoluzioni spaziali e temporali:

a) stazioni meteorologiche a terra

Da prima dell'inizio ufficiale del progetto sono state installate 6 stazioni agrometeorologiche provvisorie nelle aree scelte per il monitoraggio (vedi Tab.), dotate con sensori di temperatura e umidità dell'aria, tutte e 6 le stazioni, mentre solo 3 sono dotate di pluviometro per le precipitazioni. Successivamente sono state integrate con 3 stazioni agrometeorologiche, installate una per azienda, a trasmissione automatica. Quest'ultime stazioni prevedono una dotazione di sensori completa: temperatura e umidità dell'aria e del suolo, velocità e direzione del vento, precipitazioni, radiazione solare, bagnatura fogliare. Le stazioni saranno dotate di un sistema di trasmissione dei dati automatico al PC dell'azienda.
I dati raccolti hanno avuto come scopo quello di descrivere da una parte la variabilità spaziale e temporale dei principali parametri ed indici agrometeorologici, anche in relazione alla complessa topografia locale, dall'altro sono serviti all'acquisizione di informazioni dettagliate e

rappresentative, utili per la realizzazione di strati informativi, su cartografia digitale, da mettere in relazione alle equivalenti acquisite per suolo e coltura.

b) Informazioni climatiche a larga scala e indici climatici

Sono stati raccolti ed elaborati i principali dati meteo-climatici di temperatura dell'aria e precipitazioni, acquisibili gratuitamente dai siti web, per l'area di interesse allo scopo di verificare la possibilità di un loro utilizzo nei modelli di simulazione in sostituzione dei dati meteorologici raccolti dalle stazioni. I dati acquisiti sono stati quelli delle stazioni per il monitoraggio della Regione Toscana (Arsia, Centro Funzionale (SIR)) e dei Reanalisis.

Inoltre, sono state raccolte ed elaborate le informazioni meteo-climatiche a larga scala e sono state analizzate le possibili relazioni tra queste e la produzione quantitativa e qualitativa del frumento duro in Val d'Orcia. In particolare, sono stati utilizzati i dati riguardanti la GPH a 500 hPa (altezza del geopotenziale) e la SST (temperatura superficiale del mare) del dominio europeo e mediterraneo per stabilire le teleconnessioni esistenti e quindi con particolare attenzione alla possibilità di utilizzare tali informazioni a scopo predittivo.

I principali dati meteo-climatici e le informazioni climatiche a larga scala sono disponibili dal 1948 ad oggi a livello globale, per diversi domini e a diverse risoluzioni, al NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center, Boulder, Colorado, USA, dal website "http://www.cdc.noaa.gov/" ed elaborati da NCEP/NCAR Reanalysis Project.

Uno degli indici climatici analizzati nel progetto è stato il NAO index (North Atlantic Oscillation) definito come la differenza normalizzata della pressione atmosferica misurata nelle Azzorre e in Islanda. Il NAO è in pratica la fluttuazione temporale della forza dei venti zonali attraverso l'Oceano Atlantico dovuta alle variazioni di pressione atmosferica sia nella fascia dell'anticiclone subtropicale che subpolare. Tale fenomeno risulta particolarmente importante nella stagione invernale (da dicembre a marzo) quando esercita una grossa influenza sul clima dell'emisfero nord mostrando una correlazione significativa e forte con la temperatura e la precipitazione nonché, indirettamente, con la radiazione solare. Per questo motivo, è stata analizzata l'influenza del NAO sui parametri di interesse studiati nel progetto allo scopo di valutare il suo utilizzo come variabile dei modelli di simulazione. Anche in questo caso, così come per le informazioni climatiche a larga scala, è stato valutato il potenziale predittivo dell'indice per quanto riguarda la produzione finale della coltura, con lo scopo di mettere a punto un sistema di previsione del raccolto utile a tarare le operazioni colturali di precisione quali la concimazione.

c) Previsioni meteorologiche e climatiche

Attraverso l'impiego delle previsioni meteorologiche (12-72 ore) e climatiche a medio termine (1-3 mesi), in termini di anomalie termo-pluviometriche, è stata verificata la possibilità di prevedere le principali caratteristiche produttive della coltura (contenuto in proteine, peso specifico della granella, etc.). Successivamente, sono stati analizzati i rapporti tra l'andamento meteorologico e lo sviluppo della coltura e tra le anomalie termo-pluviometriche e la produzione del frumento sia in termini di resa che di qualità della granella.

Hobo	Sensore	Azienda	Quota (m)	Longitudine EST(X)	Latitudine NORD(Y)
VdO_01	°T e P	Nardi	409	724752	4763146
VdO_02	°T e P	Carletti	284	717617	4767687
VdO_03	°T e P	S.Isabella	293	716015	4766327
VdO_04	°T	Nardi	350	725156	4763401
VdO_05	°T	Rappuoli	330	723963	4764697
VdO_06	°T	Di Donato	311	716899	4766243

Tabella - Posizione, caratteristiche e parametri rilevati dalle 6 stazioni agroclimatiche di rilievo (lat e log in WGS84 Gauss-Boaga)

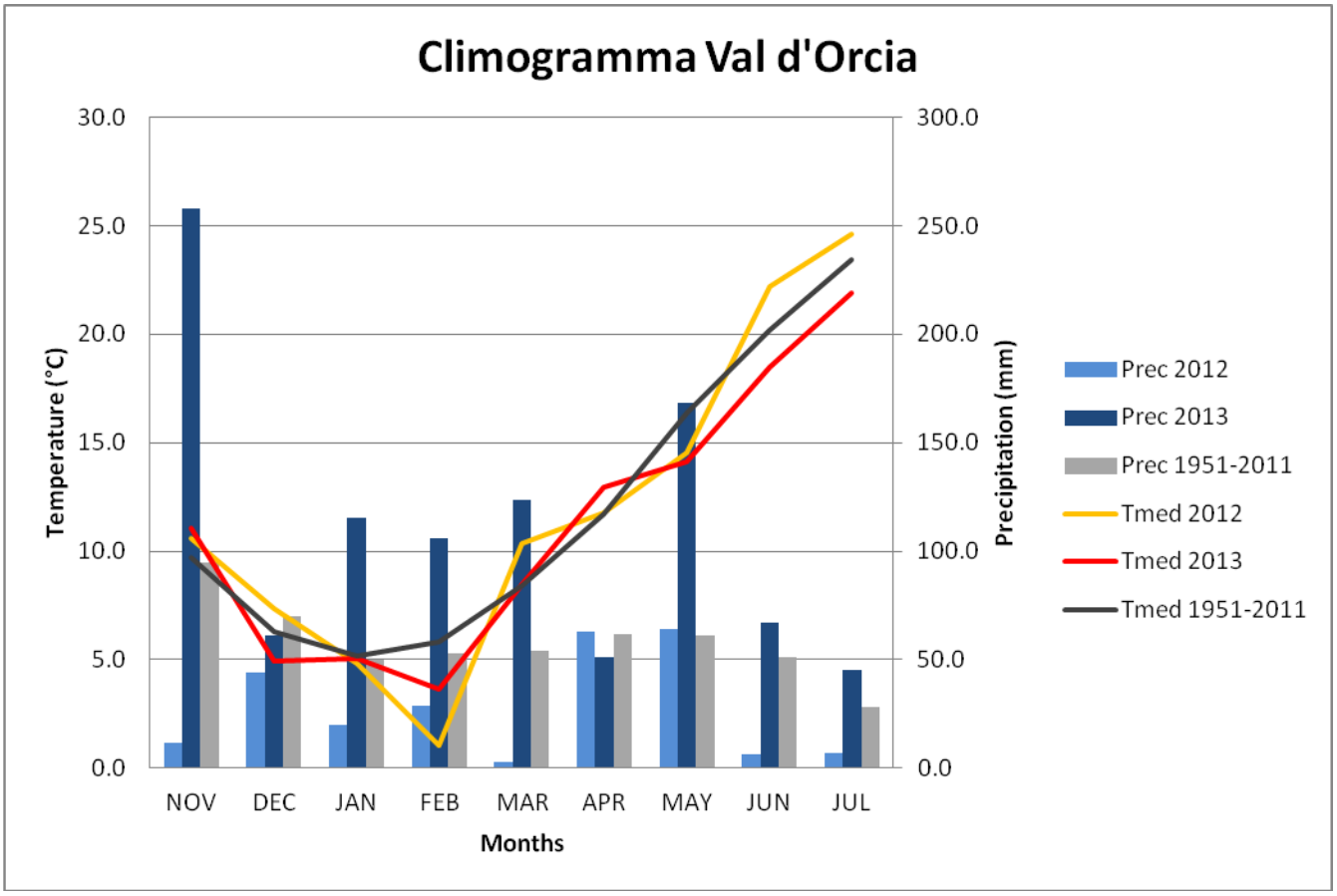


Figura - Climogramma della Valdorcia con riferimento alla temperatura media (Tmed) e alle precipitazioni (Prec) del periodo novembre – luglio, riguardante la prima stagione di sperimentazione (2012), la seconda stagione (2013) e la serie storica (1951-2011).

III) Coltura

I dati relativi alla coltura (crescita, sviluppo, ecofisiologia, etc.) raccolti in campo durante il periodo dell'attività progettuale hanno avuto un duplice scopo. Da una parte sono serviti per la validazione dei dati telerilevati a media ed alta risoluzione, dall'altra per la validazione delle relazioni semi-empiriche messe a punto. Per quanto riguarda la validazione delle informazioni derivate dagli indici telerilevati, i rilievi a terra hanno riguardato l'indice di area fogliare (LAI) e la frazione di radiazione

fotosinteticamente attiva assorbita dalla canopy (fAPAR). Inoltre sono anche stati raccolti attraverso dei campionamenti distruttivi i dati sul contenuto di azoto nelle piante. Tali rilievi sono stati effettuati in sincronia con l'acquisizione dei dati telerilevati al fine di ottenere informazioni sulle caratteristiche della coltura nell'esatto momento in cui essa viene fotografata da remoto e quindi ne ha permesso il confronto.

Per quanto riguarda, invece, la raccolta dei dati colturali necessari alla messa a punto e alla validazione delle relazioni semi-empiriche verranno eseguiti campionamenti riguardanti:

a. Fenologia (principali stadi fenologici)
b. Crescita (altezza delle piante, numero di foglie, LAI, biomassa)
c. Ecofisiologia (clorofilla, fotorespirazione)
d. Contenuto di azoto
e. Presenza di avversità biotiche e abiotiche (malattie, parassiti, stress idrico, allettamento)
f. Produzione (resa frumento, contenuto proteico e peso specifico della granella).

Tutte le operazioni di questa fase sono state eseguite dai centri di ricerca in collaborazione con il personale individuato dal Consorzio Agrario di Siena al fine di trasferire le competenze necessarie per la riuscita ed il proseguimento del modello e della metodologia proposta anche dopo la fase di sperimentazione prevista dal presente progetto.

Al fine di relazionare le informazioni telerilevare con lo stato della coltura sono stati eseguiti rilievi eco fisiologici e quantitativi in due periodi chiave del ciclo vegetativo del frumento duro quali l'inizio della levata (prima della seconda concimazione azotata di copertura) e l'antesi (fine fioritura). Questo perché sono i due momenti più importanti e critici collegati alla qualità e alla quantità della produzione finale, ed infatti sono stati messi in relazione anche con i dati relativi a quest'ultima.

In particolare, sono stati prelevati 6 campioni per ogni azienda (uno per ogni tesi descritta in precedenza). In totale sono stati prelevati 18 campioni , precedentemente scelti attraverso un sopralluogo dove è stato inserito un picchetto di controllo per individuare il centro del campionamento. Per ogni campione sono stati presi 5 sottocampioni da 0,4 m^2 ,per un totale di 2 m^2 di biomassa ogni punto campionato. Questi hanno seguito lo stesso metodo dei campionamenti di terreno, cioè con uno schema a croce, partendo dal picchetto centrale e spostandosi di circa 5m in ognuna delle 4 direzioni principali. La metodologia di rilievo è stata condizionata dalla dimensione del pixel dell'immagine tele rilevata, che è di 5m x 5m.

Durante il prelievo di biomassa in campo è stato possibile campionare anche il valore di SPAD, 50 punti ogni punto campionato (10 punti ogni sottocampione), e il valore di LAI (Leaf Area Index – Indice di Area Fogliare).

Dall'analisi della biomassa sono stati ricavati dati sul peso fresco della biomassa, peso secco della biomassa, LAI, SPAD, concentrazione percentuale di azoto (N) e carbonio (C) nelle piante di frumento duro.

Figura - Campionamento nel periodo vegetativo della levata

.(a).

(b)

Figura - Immagini del campionamento effettuato in inizio levata (a) ed in antesi (b)

Figura - Immagine punto di riferimento per il monitoraggio colturale

Ogni sottocampione è stato pesato con bilancia di precisione, dopodiché è stato preso un quinto del peso totale, ed insieme agli altri 5 sottocampioni è stato accorpato in un unico campione rappresentativo dei 5 sottocampioni, quindi ogni campione è riferito ad una superficie di 0,4 m^2 . Il campione risultante è stato pesato per avere il dato della biomassa fresca e successivamente messo in stufa alla temperatura di 70°C per una settimana, infine è stato pesato nuovamente per il dato della biomassa secca.
Per le analisi della quantità percentuale di azoto e carbonio è stata presa una pianta di frumento duro (la più rappresentativa) ogni sottocampione, per un totale di 5 piante ogni punto campionato. Queste sono state prima triturate insieme, successivamente disgregate le parti vegetali grazie alla lavorazione in azoto liquido. Dopodiché ogni campione è stato inserito all'interno del liofilizzatore, in modo da estrarre tutta l'acqua rimasta, e successivamente setacciato e preso il solo materiale rimasto sottoforma di polvere che poi è stato successivamente analizzato all'analizzatore di elementi "FlashEA 1112", permettendo di identificare la concentrazione di azoto e carbonio presenti nel materiale vegetale.
Nelle tabelle successive si possono vedere i dati riguardanti la biomassa secca, il LAI e la concentrazione d'azoto presenti sui campioni vegetali di frumento duro nei due periodi distinti del ciclo vegetativo, in levata e in antesi.

Figura – Immagine dell'analizzatore di elementi "FlashEA 1112".

Azienda	Campione		Levata			Antesi		
			PS(g/m²)	N (%)	LAI(m²/m²)	PS(g/m²)	N (%)	LAI(m²/m²)
Di Donato Aniceto	1	Miradoux	126.50	3.607	1.242	571.45	2.975	4.992
	2	Miradoux	127.90	3.810	1.391	574.73	3.078	4.946
	3	Miradoux	149.25	4.083	1.369	604.30	2.395	3.138
	4	Claudio	138.90	3.810	1.467	706.60	2.211	7.135
	5	Claudio	159.38	4.104	1.787	693.80	2.867	7.714
	6	Claudio	140.38	3.458	1.326	635.08	2.786	4.624
Nardi Enzo	1	Miradoux	153.28	4.043	1.576	896.33	2.987	4.370
	2	Miradoux	68.48	4.465	0.759	501.43	3.528	3.730
	3	Miradoux	102.00	4.050	1.098	471.70	2.453	3.156
	4	Claudio	120.83	3.674	1.269	662.90	3.371	3.762
	5	Claudio	102.53	3.751	1.032	474.43	2.872	3.950
	6	Claudio	98.08	3.785	0.968	518.08	2.948	3.458
Rappuoli Massimiliano	1	Miradoux	137.63	2.937	1.134	681.30	2.682	3.982
	2	Miradoux	185.53	3.969	1.803	659.48	2.696	5.276
	3	Miradoux	153.10	4.165	1.690	653.45	2.816	5.332
	4	Claudio	177.23	3.430	1.664	672.98	2.907	4.406
	5	Claudio	199.10	3.499	1.851	616.35	2.960	5.224
	6	Claudio	271.38	4.180	2.812	712.08	2.843	6.290

Tabella – parametri colturali rilevati durante la campagna cerealicola 2012

Azienda	Campione		Levata			Antesi		
			PS(g/m²)	N (%)	LAI(m²/m²)	PS(g/m²)	N (%)	LAI(m²/m²)
Di Donato Aniceto	1	Miradoux	207.130	2.179	1.799	768.577	1.822	5.045
	2	Miradoux	245.914	2.694	2.469	807.416	2.150	5.888
	3	Claudio	118.218	2.272	0.922	623.905	1.875	4.195
	4	Claudio	43.518	1.605	0.287	276.152	2.372	2.215
	5	Claudio	170.898	1.588	1.292	637.032	1.857	4.157
	6	Miradoux	54.482	1.723	0.301	345.370	2.593	3.073
Nardi Enzo	1	Miradoux	141.324	2.572	1.115	563.512	2.111	4.702
	2	Claudio	168.119	2.286	1.303	706.342	1.459	5.247
	3	Miradoux	130.619	2.648	1.235	638.860	1.632	5.173
	4	Miradoux	56.662	1.524	0.347	300.437	2.220	2.925
	5	Claudio	102.415	1.605	0.672	480.341	2.336	3.999
	6	Claudio	167.034	2.364	1.421	735.568	1.382	5.708
Rappuoli Massimiliano	1	Miradoux	79.672	2.421	0.652	390.843	2.016	3.508
	2	Miradoux	102.113	2.034	0.898	441.397	2.221	2.802
	3	Miradoux	124.298	1.819	0.920	485.671	1.932	1.563
	4	Claudio	109.172	1.903	0.741	522.414	1.852	2.777
	5	Claudio	85.223	1.918	0.551	544.658	1.959	2.751
	6	Claudio	211.629	1.897	1.887	652.695	1.672	3.242

Tabella – parametri colturali rilevati durante la campagna cerealicola 2013

Per la raccolta e l'analisi della produzione finale è stata seguita la stessa metodologia utilizzata per il campionamento della biomassa. Quindi in definitiva sono stati prelevati 18 campioni, cioè uno per tesi (6 per ogni azienda), e per ciascun campione raccolto è stata suddivisa e pesata la granella e la paglia e pula prodotte, quindi sono state effettuate analisi quantitative della produzione finale del raccolto. Successivamente sono state effettuate analisi qualitative in entrambi i prodotti, in particolare tramite l'analizzatore di elementi "FlashEA 1112" è stata analizzata la quantità di azoto e carbonio presente sulla paglia, mentre sulla granella sono state fatte analisi specifiche tramite l'analizzatore per cereali "Infratec 1241 Grain Analyser" eseguite nei laboratori del distaccamento di Sinalunga (SI) del Consorzio Agrario di Siena ed Arezzo rilevando le quantità di proteine, glutine, peso specifico, colore e tenore di umidità del campione (vedi Tabb.).

Figura - Immagine dell'analizzatore per cereali "Infratec 1241 Grain Analyser"

Azienda	Campione		Infratec 1241				
			umidità %	proteina %	glutine %	Colore	WhI
Di Donato Aniceto	1	Miradoux	9.2	15.4	12.3	15.14	81.7
	2	Miradoux	9.2	14.8	11.0	14.29	85.5
	3	Miradoux	9.1	15.6	12.4	15.16	80.3
	4	Claudio	9.6	13.7	9.8	14.27	84.6
	5	Claudio	9.7	15.8	11.7	14.53	83.7
	6	Claudio	9.1	15.4	11.5	14.17	85.1
Nardi Enzo	1	Miradoux	9.6	14.9	11.6	15.44	82.4
	2	Miradoux	10.4	15.8	12.4	15.60	80.1
	3	Miradoux	10.1	15.7	12.2	15.07	80.6
	4	Claudio	10.2	15.0	11.0	14.52	87.1
	5	Claudio	9.9	15.5	11.6	14.39	84.2
	6	Claudio	9.7	13.6	9.9	13.76	84.7
Rappuoli Massimiliano	1	Miradoux	9.7	12.1	9.0	14.61	84.6
	2	Miradoux	9.7	13.6	10.4	14.97	82.5
	3	Miradoux	9.3	14.8	11.8	15.18	81.4
	4	Claudio	9.7	13.6	9.6	14.33	85.3
	5	Claudio	9.4	12.5	9.5	14.63	82.3
	6	Claudio	10.3	13.4	9.4	13.67	86.9

Tabella - Analisi qualitative effettuate sulla produzione della granella al raccolto, anno 2012.

Azienda	Campione		Infratec 1241				
			umidità %	proteina %	glutine %	Colore	Whl
Di Donato Aniceto	1	Miradoux	12.8	11.8	7.7	12.6	74.8
	2	Miradoux	12.0	13.3	8.8	12.5	74.4
	3	Claudio	11.7	12.7	7.6	11.9	79.8
	4	Claudio	12.2	11.3	6.4	11.6	78.9
	5	Claudio	11.9	12.7	7.6	11.8	78.5
	6	Miradoux	11.9	11.9	7.5	12.4	70.5
Nardi Enzo	1	Miradoux	13.7	11.6	8.1	12.5	74.0
	2	Claudio	13.0	12.0	7.2	11.2	78.1
	3	Miradoux	13.4	12.1	8.5	12.5	76.3
	4	Miradoux	13.1	10.7	6.8	12.5	75.8
	5	Claudio	13.4	12.0	7.1	12.1	79.5
	6	Claudio	13.1	12.5	7.6	11.6	79.7
Rappuoli Massimiliano	1	Miradoux	12.5	13.1	8.2	11.9	76.6
	2	Miradoux	12.1	12.3	7.4	11.7	77.5
	3	Miradoux	12.8	11.2	6.6	11.2	77.2
	4	Claudio	12.1	12.0	6.6	11.5	80.8
	5	Claudio	13.4	10.8	6.1	11.8	77.5
	6	Claudio	12.9	13.4	8.3	11.2	78.6

Tabella - Analisi qualitative effettuate sulla produzione della granella al raccolto, anno 2013.

Fase 5 : Acquisizione ed elaborazione di informazioni telerilevate

In questa fase sono stati svolti i compiti propri degli ambiti della geomatica, ovvero testare e sperimentare gli strumenti e le tecniche più appropriate per acquisire (in modo metrico e tematico), integrare, trattare, analizzare, archiviare e distribuire dati spaziali georeferiti con continuità in formato digitale. In questo ambito sono state inserite due sottofasi che hanno riguardato l'acquisizione ed elaborazione dei dati telerilevati per il monitoraggio della coltura (programmazione dell'acquisizione delle immagini) e la stima distribuita di parametri agronomici (elaborazione delle immagini), ossia la produzione di informazioni ad alta risoluzione sulla variabilità spazio temporale delle caratteristiche e dei parametri delle colture.
Il monitoraggio tramite telerilievo è stato dettato da una serie di caratteristiche tecniche, quali la risoluzione spaziale minima accettabile (che è condizionata dalla definizione dell'elaborazione statistica), la tempestività nell'avere l'immagine elaborata disponibile (essenziale per avere un monitoraggio da telerilievo e in tempi rapidi fornire informazioni per la fertilizzazione di copertura), la flessibilità nel programmare la data di acquisizione dell'immagine telerilevata (l'acquisizione deve avvenire con condizioni di atmosfera trasparente, quindi in assenza di nuvolosità), ecc.
Quindi, in prima analisi, sono state acquisite informazioni utili a mettere a punto le relazioni che permettono di derivare i parametri fenologici chiave (emergenza, levata, fioritura) a partire dalle immagini telerilevate. Il successivo passo è stato quello di acquisire immagini nel corso della stagione produttiva in corrispondenza delle fasi fenologiche più significative e utili in termini di gestione di interventi tempestivi in campo. In base a ciò sono stati acquistati 3 telerilievi satellitari su ordinazione, in concomitanza con i campionamenti effettuati in campo, nella prima annata di sperimentazione (inizio accestimento, levata e fioritura). Nel secondo anno del progetto invece le immagini acquistate su ordinazione sono state 2, in concomitanza con le fasi fenologiche più significative rispetto alla produzione quali-quantitativa del frumento duro, che sono risultate il periodo di levata e quello di antesi. Per ogni telerilievo sono stati calcolati gli indici di vegetazione descritti in seguito.
Il primo passo di questa attività è stato la programmazione del'acquisizione delle immagini da satellite. Le immagini telerilevate ad alta risoluzione (metrica) rappresentano una fonte di informazioni unica per la valutazione della variabilità spaziale a diverse scale (campo, azienda, consorzio) in quanto sono misure di per se spaziali. I dati multispettrali con bande nelle regioni del visibile e dell'infrarosso consentono, infatti, di misurare i comportamenti diagnostici delle colture riconducibili, dopo opportuna analisi, a caratteristiche di morfologia, stato e condizione fitosanitaria della pianta, risposta a input agronomici e ambientali.
Nel presente progetto il satellite commerciale utilizzato è il Rapid Eye, che rappresenta una costellazione di 5 satelliti tedeschi per il telerilevamento della superficie terrestre. I 5 satelliti, che hanno lo stesso tipo di equipaggiamento di sensori, viaggiano uno dietro l'altro nella stessa orbita (orbita elio-sincrona a 630 km), permettendo quindi un tempo di rivisitazione molto breve e di conseguenza una celerità fra ordine dell'immagine e l'acquisizione (in tutti i casi da noi provati entro una settimana), dipendente principalmente dallo stato di copertura nuvolosa del cielo che spesso caratterizza il periodo primaverile.
Le immagini acquisite hanno le seguenti caratteristiche:

- Risoluzione a terra: metrica (5,0 m);

- Nuvolosità massima: 20%;
- Area telerilevata: 3500 kmq;
- Area informazioni elaborate con indici vegetazionali: 150 kmq;
- Bande acquisite: RGB (Red-Green-Blue) (Fig. 15), NIR (vicino infrarosso) e Red Edge;
- Ortorettificate;
- Georeferenziate;
- Comprensive di ortofotorettifica, elaborazioni di NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDVI RE (NDVI Red Edge) e Indice di Clorofilla.

Il secondo passo è stato l'elaborazione delle immagini acquisite. Le immagini multispettrali acquisite sono state elaborate cin indici vegetazionali al fine di enfatizzare all'interno dell'immagine specifici comportamenti. Le nuove variabili così generate, Indici di Vegetazione (IV), sono state usate per stimare la distribuzione spaziale di parametri colturali di interesse.
Gli indici di vegetazione telerilevati calcolati sono stati:

- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)
- NDVI RE (Normalized Difference Vegetation Index Red Edge)
- CHL (Chlorophyll Index)
- MCARI (Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index)
- OSAVI (Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index)
- TCARI (Trasformed Chlorophyll Absorption in Reflectance Index)

L'NDVI (NIR – Red/NIR + Red) mostra le differenze nel vigore delle piante. Questo indice combina l'alto assorbimento della clorofilla nella banda spettrale del Rosso (Red) e la riflettanza fogliare nella banda dell'Infrarosso Vicino (NIR). L'NDVI risulta efficace soprattutto in situazioni intermedie, quando la crescita delle piante non è eccessivamente abbondante. Infatti, durante le prime fasi della coltura, quando l'area verde della foglia è ancora contenuta, l'indice è molto sensibile agli effetti del suolo sottostante indotti dalla lavorazione, dai residui delle colture o dall'umidità. Inoltre, l'indice tende a saturare una volta che la pianta ha raggiunto la copertura completa (Fig. 16). In quest'ultimo caso un altro indice utilizzato è l'NDVI Red Edge (NIR – RedEdge/NIR + RedEdge), che si basa sullo stesso principio dell'indice NDVI. La scelta del canale Red Edge al posto della banda spettrale del Rosso fornisce una minore saturazione dell'indice rispetto all'NDVI nelle zone con una ricca copertura di vegetazione (Fig. 17). Infine, nello studio è stato utilizzato l'indice CHL (Chlorophyll Content), che mostra lo stato nutrizionale di azoto delle piante all' interno di un campo. Data la stretta correlazione tra l'N e il contenuto di clorofilla, si può utilizzare questo indice per generare mappe di tipo applicativo relative alla variabilità dell'azoto (Fig. 20).
MCARI (Fig. 21) è una misura della capacità di assorbimento della clorofilla a 670 nm (nella banda spettrale del Rosso) relativa alla riflettanza a 550 (nel Verde) e a 700 nm (nel canale Red Edge). Tale indice minimizza gli effetti combinati di riflettanza del suolo sottostante la copertura della vegetazione e delle componenti della pianta che non partecipano alla fotosintesi, risultando sensibile a questi solo per bassi valori di concentrazione di clorofilla. L'indice risulta sensibile alla riflettenza circostante fornendo una non agevole interpretazione in caso di bassi valori di LAI. Risulta fortemente correlato alla concentrazione di clorofilla. L'Indice Trasformato di Riflettanza Assorbita dalla Clorofilla (TCARI) contiene gli effetti di riflettenza dell'ambiente circostante e mostra un miglioramento riguardo gli effetti della biomassa non vegetativa e suolo circostante (Fig. 22). Con l'Indice di Vegetazione Ottimizzato Rettificato per il Suolo (OSAVI), grazie alla combinazione con la linea dei suoli, si ha un miglioramento dei contributi di riflettanza

dell'ambiente circostante e un miglioramento della sensibilità alle variazioni di contenuto di clorofilla fogliare (Fig. 23). Si rivela un indice utile nello scenario agricolo operativo in quanto la sua determinazione non necessita di informazioni sulle proprietà ottiche del suolo e fornisce ottimi risultati per molti tipi di colture. Sensibile alle variazioni di contenuti di clorofilla ,resistente alle variazioni di LAI e all' angolo di zenith di illuminazione solare.

Indice	Formula	Bibliografia
NDVI	$(R_{780} - R_{670})/(R_{780} + R_{670})$	Rouse et al., 1974
NDVI RE	$(R_{780} - R_{700})/(R_{780} + R_{700})$	Gitelson e Merzlyak, 1997
MCARI	$[(R_{700} - R_{670}) - 0.2(R_{700} - R_{550})] R_{700}/R_{670}$	Daughtry et al., 2000
TCARI	$3[(R_{700} - R_{670}) - 0.2(R_{700} - R_{550}) R_{700}/R_{670}]$	Haboudane et al., 2002
OSAVI	$(1 + 0.16)(R_{800} - R_{670})/(R_{800} + R_{670} + 0.16)$	Rondeaux et al., 1996
CHL	$R_{780}/R_{550} - 1$	Gitelson et al., 2003

Tabella 8 - Indici di vegetazione utilizzati in questo studio, dove R è riflettanza alla lunghezza d'onda (nm).

A partire da tali prodotti e grazie all'acquisizione sincrona di misure di campo puntuali, sono stati testati sia metodi di spazializzazione, sia modelli semi-empirici per la stima di parametri bio-fisici della vegetazione su tutta l'area d'interesse. I metodi di spazializzazione sfruttano i dati telerilevati come informazione ausiliaria nella definizione dei campi di variabilità spaziale. I modelli semi-empirici invece si basano sulla definizione di una relazione statistica che intercorre tra le variabili bio-fisiche della vegetazione e la risposta spettrale misurata dal sensore. A partire da analisi di correlazione tra misure di campo e spettrali, sintetizzate sotto forma di indici di vegetazione, sono stati sviluppati modelli semi-empirici in grado di predire e quindi spazializzare le misure di campo.

Figura 15 - Visione d'insieme dal satellite Rapid Eye nel visibile (RGB) delle parcelle della campagna cerealicola 2012, in giallo le parcelle di campionamento delle 3 aziende ed i punti rossi rappresentano i punti di monitoraggio distruttivo e non della coltura.

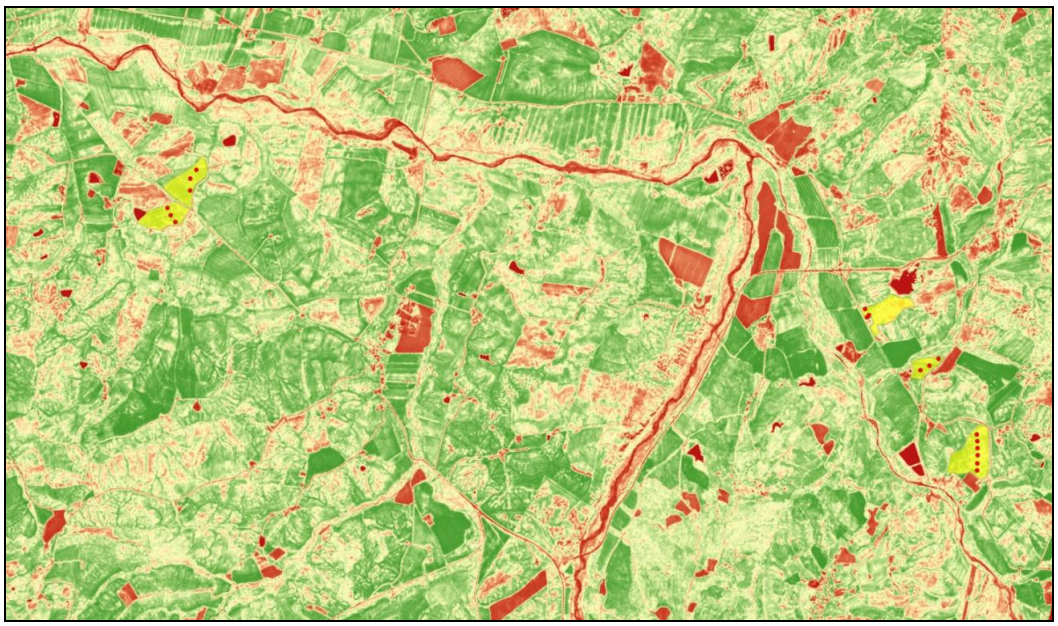


Figura 16 - Monitoraggio vegetazionale effettuato con telerilevamento sull'intera Val d'Orcia. Evidenziate le parcelle sperimentali ed i punti di campionamento del 2012. Immagine NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), in verde scuro possiamo vedere le zone con maggiore vegetazione ed in verde chiaro quelle con minore vegetazione.

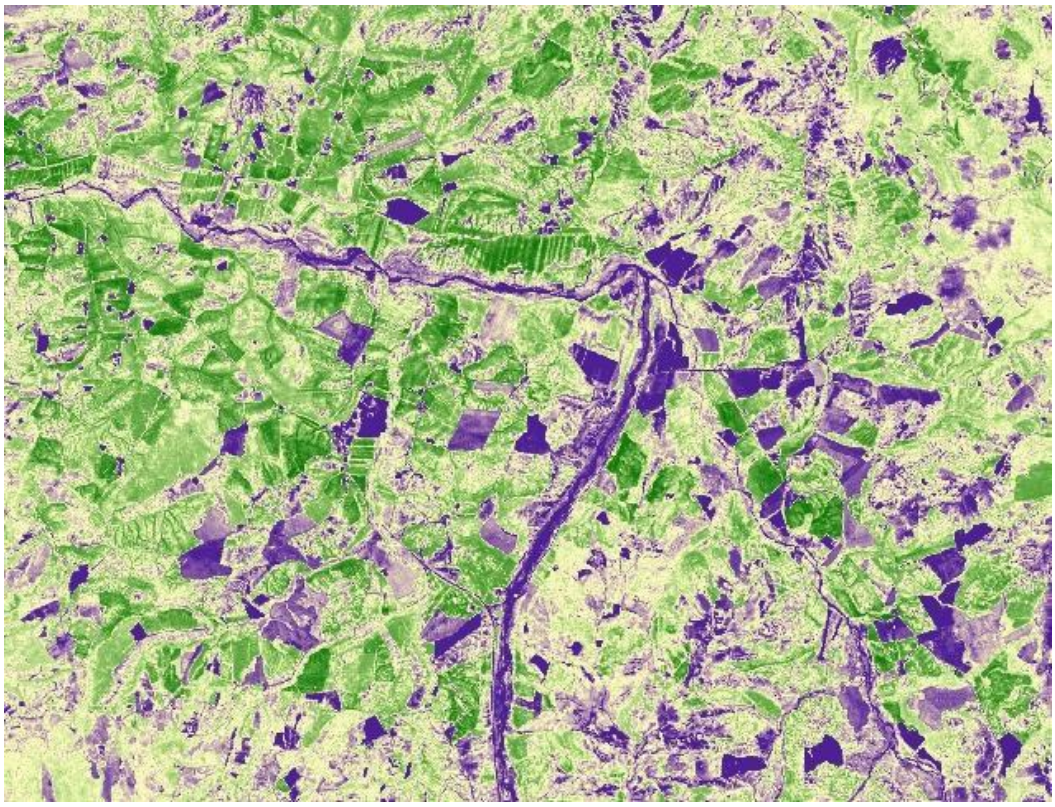
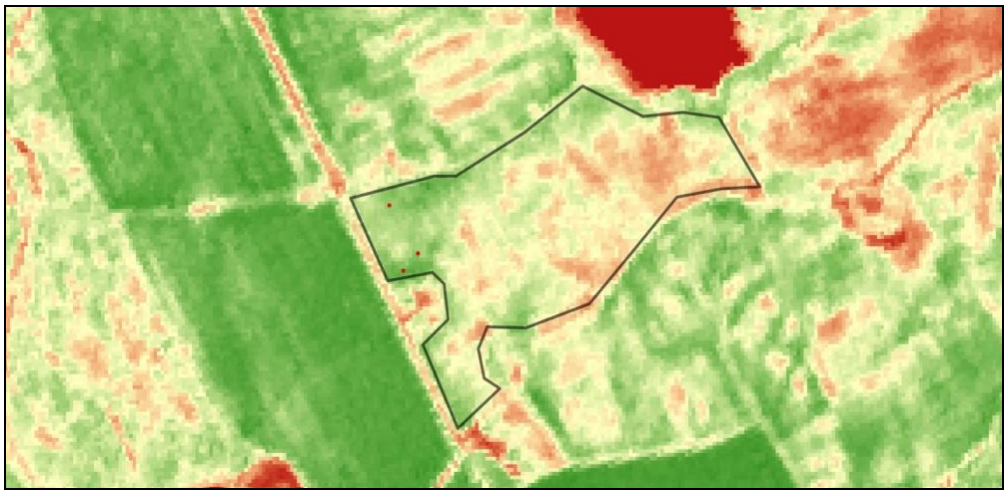


Figura 17 - NDVI RE (Normalized Difference Vegetation Index Red Edge) aprile 2012

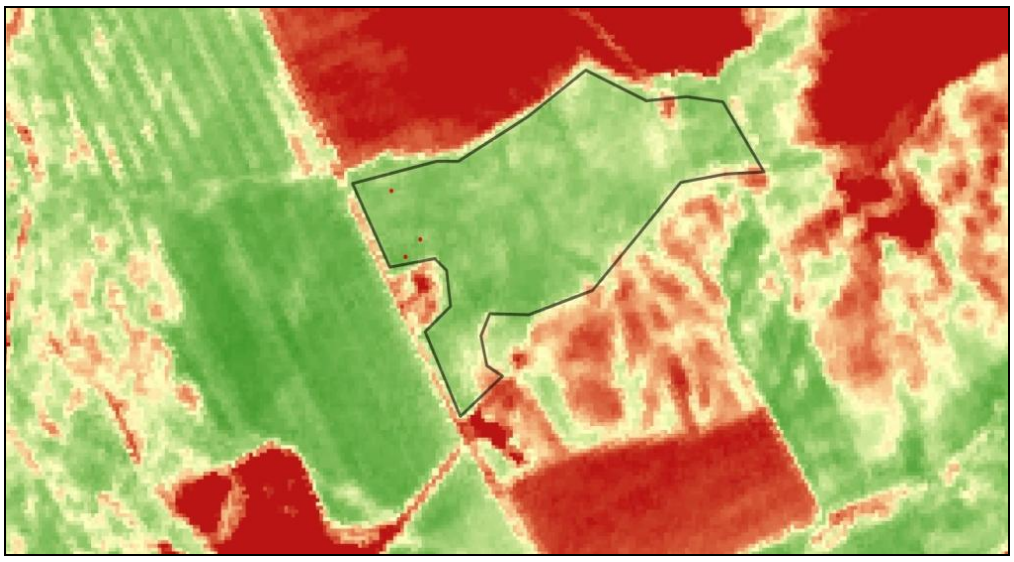
(a)



(b)

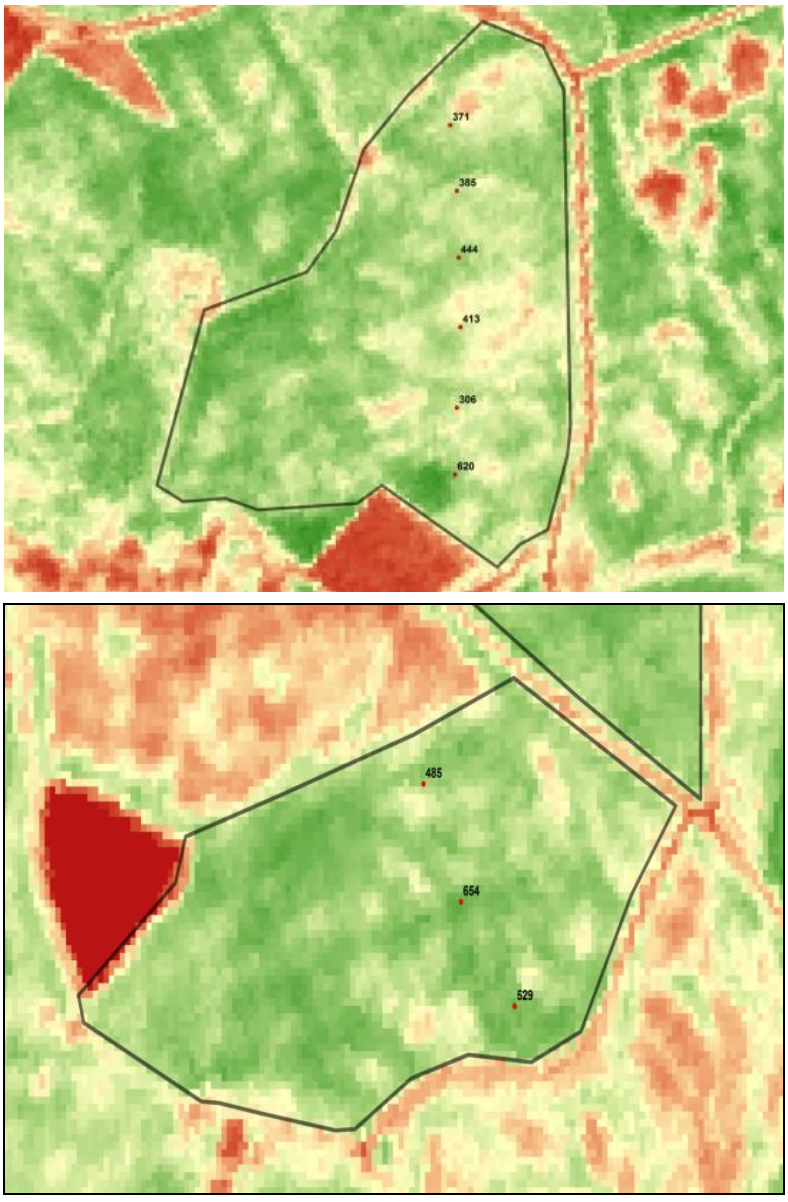
Figura 18 - Immagine del 12 Aprile 2012 dal satellite Rapid Eye sul visibile (RGB) (a) e dell'indice di vegetazione NDVI (b), parcelle Rappuoli.

(a)



(b)

Figura 19 - Immagine del 11 Maggio 2012 dal satellite Rapid Eye sul visibile (RGB) (a) e dell'indice di vegetazione NDVI (b), parcelle Rappuoli.



(a)

(b)

Figura 20 – Esempio di stima del contenuto di azoto nella vegetazione (centigrammi a m^2), effettuato nei punti di campionamento/verifica, parcelle Nardi (a) e Di Donato (b).

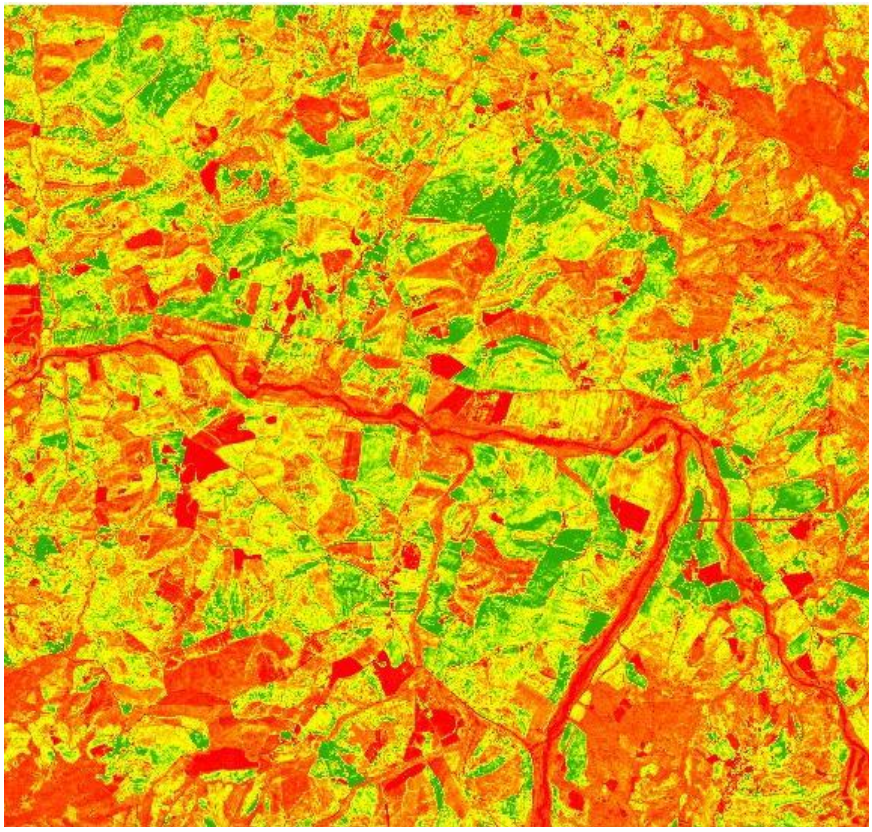


Figura - Mappa di **fPAR** (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation) Frazione di Radiazione Solare Incidente Assorbita dalla Vegetazione calcola la quantità di radiazione fotosinteticamente utile assorbita dalla copertura della pianta, ovvero alle lunghezze d'onda del visibile (0,4 - 0,7 micron). E' una variabile biofisica che insieme all'indice **LAI** (Indice di Area Fogliare) descrive la struttura della copertura della pianta ed è legata ai processi funzionali di scambio di energia e di massa. Sia il LAI che FPAR ottenuti da satellite sono stati largamente utilizzate per il calcolo della fotosintesi di superficie, l' evapotraspirazione e la stima di produzione annua netta primaria.

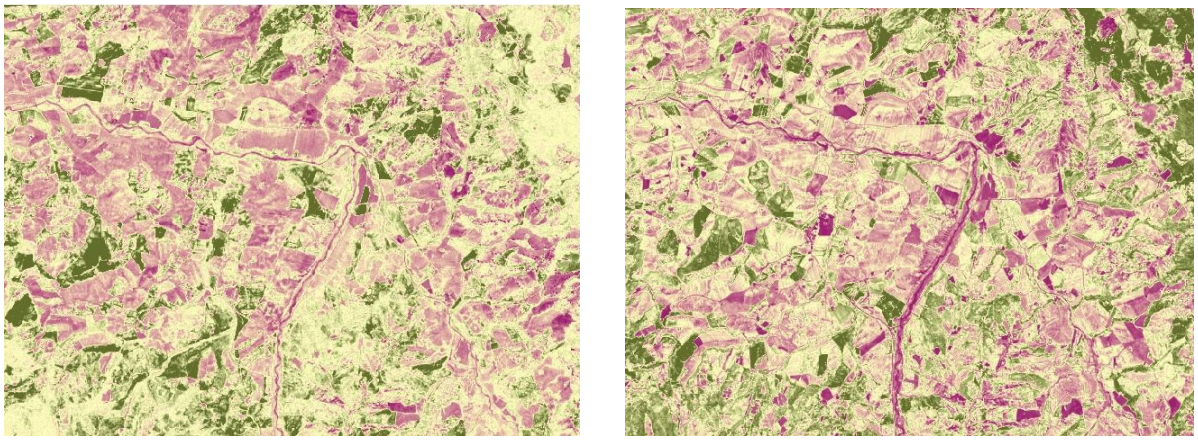


Figura 21 - Immagini della zona d'indagine MCARI (Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index)

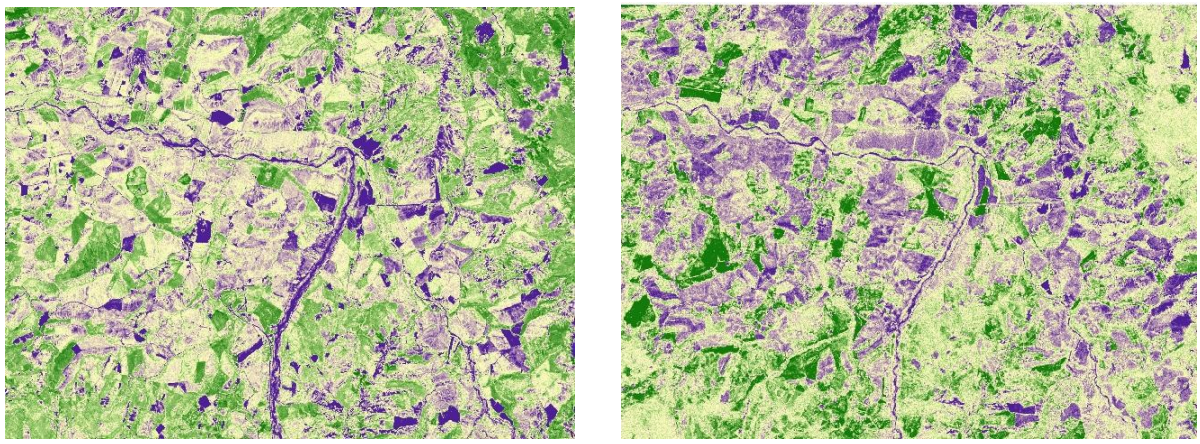
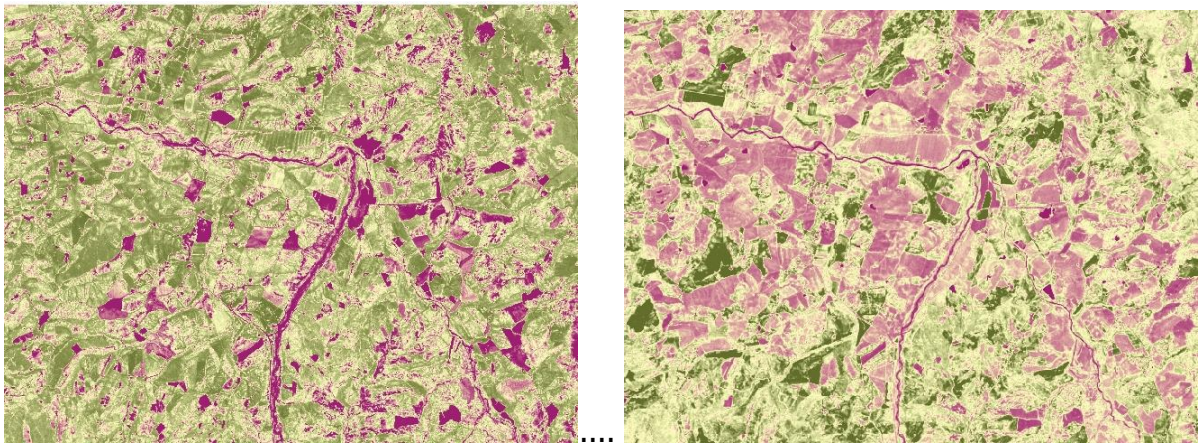


Figura 22 - Indice Trasformato di Riflettanza Assorbita dalla Clorofilla (TCARI: Transformed Chlorophyll Absorption in Reflectance Index)



....

Figura 23 - Con l'Indice di Vegetazione Ottimizzato Rettificato per il Suolo (OSAVI: Optimized Soil Adjusted Vegetation Index)

Azienda	Campione		Levata					
			NDVI	NDVI RE	CHL	MCARI	OSAVI	TCARI
Di Donato Aniceto	1	Miradoux	0.707	0.449	2.167	111.772	0.820	114.535
	2	Miradoux	0.696	0.434	2.168	111.840	0.807	120.339
	3	Miradoux	0.728	0.464	2.264	124.099	0.844	118.522
	4	Claudio	0.822	0.525	2.614	168.556	0.953	100.509
	5	Claudio	0.857	0.540	3.060	225.312	0.993	80.003
	6	Claudio	0.703	0.450	2.177	112.940	0.815	119.459
Nardi Enzo	1	Miradoux	0.786	0.536	2.309	129.810	0.911	104.975
	2	Miradoux	0.597	0.359	1.915	79.662	0.693	106.294
	3	Miradoux	0.616	0.378	2.032	94.539	0.714	121.170
	4	Claudio	0.728	0.459	2.237	120.593	0.844	112.774
	5	Claudio	0.618	0.391	1.883	75.631	0.717	95.399
	6	Claudio	0.671	0.396	2.172	112.400	0.778	121.533
Rappuoli Massimiliano	1	Miradoux	0.737	0.441	2.431	145.259	0.855	121.802
	2	Miradoux	0.845	0.561	2.715	181.494	0.979	96.463
	3	Miradoux	0.796	0.539	2.221	118.568	0.922	98.012
	4	Claudio	0.736	0.505	2.018	92.709	0.853	94.455
	5	Claudio	0.752	0.519	2.105	103.883	0.872	100.972
	6	Claudio	0.872	0.624	2.668	175.468	1.011	88.826

Tabella 9 – Dati elaborati degli indici di vegetazione nel periodo di levata. Anno 2012.

Azienda	Campione		Antesi					
			NDVI	NDVI RE	CHL	MCARI	OSAVI	TCARI
Di Donato Aniceto	1	Miradoux	0.922	0.626	4.003	430.229	1.069	48.654
	2	Miradoux	0.912	0.623	3.583	362.483	1.058	55.087
	3	Miradoux	0.736	0.490	2.165	133.990	0.854	125.836
	4	Claudio	0.935	0.660	4.239	468.134	1.084	15.784
	5	Claudio	0.932	0.677	3.789	395.645	1.081	37.660
	6	Claudio	0.868	0.600	2.888	250.415	1.007	100.851
Nardi Enzo	1	Miradoux	0.862	0.609	2.525	191.924	1.000	95.061
	2	Miradoux	0.950	0.677	4.663	536.562	1.102	18.087
	3	Miradoux	0.906	0.650	3.067	279.334	1.050	63.899
	4	Claudio	0.925	0.663	3.636	370.981	1.072	50.764
	5	Claudio	0.873	0.591	2.925	256.414	1.012	90.517
	6	Claudio	0.893	0.633	3.045	275.792	1.036	91.974
Rappuoli Massimiliano	1	Miradoux	0.918	0.642	3.298	316.578	1.064	38.199
	2	Miradoux	0.967	0.696	6.007	753.113	1.122	159.074
	3	Miradoux	0.963	0.670	6.574	844.474	1.117	174.650
	4	Claudio	0.904	0.604	3.658	374.552	1.048	65.549
	5	Claudio	0.892	0.606	3.337	322.855	1.034	84.392
	6	Claudio	0.901	0.588	3.956	422.665	1.045	71.926

Tabella 10 - Dati elaborati degli indici di vegetazione nel periodo di antesi. Anno 2012.

Fase 6 : Analisi delle relazioni, validazione delle relazioni e messa a punto del modello di trasferimento delle informazioni

F6.1: Analisi e validazione delle relazioni e messa a punto del modello di gestione agronomica di precisione

Tutti i dati raccolti nelle precedenti fasi sono stati analizzati per valutare il contributo che ciascuna variabile è in grado di dare per la messa a punto degli algoritmi necessari a guidare le operazioni colturali di precisione.
Dopo aver acquisito tutte le informazioni necessarie sono state analizzate e quindi formalizzate le relazioni esistenti tra le variabili, i parametri acquisiti e lo stato della coltura. Sulla base di tali relazioni, che servono a spiegare e a descrivere la variabilità spazio-temporale, sono stati sviluppati indici.
Successivamente sono state individuate, descritte e sviluppate tutte le fasi necessarie a tradurre le informazioni acquisite dai diversi strumenti utilizzati (stazioni meteorologiche, modelli previsionali, campionamenti, indici di vegetazione, etc.) e prodotte dalle elaborazioni (indici e modelli) in matrici alfa-numeriche e mappe da cui poi sono state estrapolate le indicazioni sulla necessità di operare i diversi trattamenti di fertilizzazione, diserbo e fitosanitari, in modo da distribuire la più opportuna dose di prodotto su ogni parte dell'appezzamento.
A questo scopo sono stati utilizzati GIS (Geographic Information Systems), strumenti informatici che consentono l'associazione di dati attributo a dati geografici (le rappresentazioni cartografiche), essendo in grado di gestire in modo perfettamente integrato dati alfanumerici, raster e vettoriali.
L'utilizzo del GIS è un elemento chiave non solo per quanto riguarda l'elaborazione a livello tecnico delle informazioni ma anche per lo sviluppo del modello di trasferimento delle informazioni stesse. Attraverso il GIS, infatti, i dati riguardo alle parcelle sperimentali (localizzazione geografica, pendenza, esposizione, quota, etc.) e alle informazioni necessarie alla gestione sito specifica verranno lette dalla strumentazione installata a bordo dei mezzi meccanici utilizzati per le operazioni colturali di precisione. Il ricevitore GPS del mezzo e il sistema di teleguida saranno in grado di leggere le informazioni e di gestire in modo differenziato l'applicazione dei trattamenti, delle concimazioni e la raccolta.
Un ulteriore campo esplorativo è stato il verificare la possibilità di prevedere con alcuni mesi di anticipo la qualità delle produzioni attraverso indicatori climatici. Fino ad ora, infatti, l'analisi delle relazioni fra clima e colture è stata basa quasi unicamente sull'utilizzo di dati di stazione mentre l'impiego di informazioni a larga scala e indici climatici per la stima o la previsione dei principali parametri colturali e produttivi è tuttora poco studiato. L'integrazione dei dati meteo-climatici con gli indici derivati da immagini telerilevate, le previsioni meteorologiche e le previsioni climatiche a 1-3 mesi ha dato la possibilità, invece, non solo di avere il controllo sulle condizioni della coltura a un dato momento della stagione, ma anche di predirne l'evoluzione nell'immediato futuro. Questo tipo di conoscenza potrà avere, in tempi futuri, delle grandi ricadute nella gestione aziendale dando la possibilità agli operatori di programmare le attività in modo preciso e tempestivo non solo per quanto riguarda gli aspetti strettamente agronomici ma anche quelli legati agli aspetti economici e di marketing.

Di seguito sono riportati i dati acquisiti, analizzati, valutati attraverso i campionamenti effettuati nelle annate del ciclo vegetativo-produttivo del frumento duro 2011-2012 e 2012-2013.
In Tabella 11 e 12 possiamo vedere il riassunto dei dati vegetativi nelle due annate del progetto e nelle due fasi del ciclo prese in considerazione nello studio, la fase di levata (GS30) e la fase di antesi (GS65). Quest'ultime mostrano il dato medio (mean), minimo (min), massimo (max), la deviazione standard (SD) ed il coefficiente di variazione (CV) riguardanti le caratteristiche vegeto-qualitative quali la biomassa indicata con il peso secco (DW) e con il LAI, e la parte qualitativa indicata con il contenuto di azoto (N) nelle piante di frumento duro.
Nell'anno 2012, all'inizio della fase di levata (GS30) , la media biomassa secca era 145,1; la media LAI era 1,5; mentre la concentrazione di biomassa N era 38,2 mg/g (Tab. 11) . All'antesi (GS65), la biomassa secca è aumentata fino a 628,1 g/m^2, il LAI è aumentato ad un valore medio di 4,7 e la concentrazione di N piante diminuito a 28,5 mg/g (Tab. 11) .
Nel secondo anno del progetto, invece, all'inizio della fase di levata, la media biomassa secca era 128,8, la media LAI era 1, mentre la concentrazione di biomassa N era 20,6 mg/g (Tab. 12). All'antesi, la biomassa secca è aumentata fino a 551,2 g/m^2, il LAI è aumentato ad un valore medio di 3,8 e la concentrazione di N piante diminuito a 19,7 mg/g (Tab. 12).
Nei due anni di analisi si nota come dal periodo della levata a quello dell'antesi il coefficiente di variazione (CV) diminuisce o rimane invariato per tutti i parametri osservati. Infatti nel 2012 il peso secco passa da 0,31 nel periodo di levata a 0,16 all'antesi, mentre il LAI, da 0,31 a 0,27; e la concentrazione d'azoto, da 0,09 a 0,11; rimangono pressoché invariati (Tab. 11). Nel 2013 si verifica la diminuzione del CV da 0,45 alla levata a 0,29 all'antesi per quanto riguarda la biomassa secca, il LAI passa da un CV di 0,56 a 0,33 e la concentrazione di azoto rimane, come nell'anno precedente, pressoché invariata da 0,19 a 0,16 (Tab. 12).
Come si intuisce da questi primi dati l'anno 2012 è stato un anno dove il ciclo del frumento duro è stato migliore sia sotto l'aspetto quantitativo sia sotto quello qualitativo.
Questo andamento è confermato anche prendendo in considerazione i dati della produzione finale avvenuta alla raccolta.
Nel 2012 la raccolta ha avuto un rendimento medio di 504,1 g/m^2. La concentrazione di proteine del grano, che è legato alla qualità del raccolto , ha mostrato un valore medio di 145,1 mg/g con gli estremi di 158 e 121 mg/g. Considerando la produzione di proteine totali, la media era di 72,8 g/m^2 (Tab. 13).
Nel 2013, la raccolta ha avuto un rendimento medio di 346,9 g/m^2. La concentrazione di proteine del grano ha mostrato un valore medio di 120,8 mg/g con gli estremi di 134 e 107 mg/g. Considerando la produzione di proteine totali, la media era di 42 g/m^2 (Tab. 14).
Anche per quanto riguarda il peso specifico della granella nel 2012 in media è stato di 83,5 kg/hl mentre nel 2013 solo di 77,1 kg/hl. Se nel primo anno variando da 80,1 a 87,1 kg/hl il risultato era comunque ottimo, ciò non si può affermare per il 2013 dove la variazione è stata da 70,5 kg/hl, dato molto basso che sicuramente porta ad un deprezzamento della granella, a 80,8 kg/hl, che risulta essere un dato buono.
Per i dati della produzione il coefficiente di variazione (CV) rimane invariato tra le due annate per quanto riguarda la concentrazione di proteine (0,07) e il peso specifico (0,03), mentre varia sulla resa, raddoppiando il suo valore, passando da 0,16 nel 2012 a 0,30 nel 2013.
Da questi ultimi dati emerge che il 2012 oltre ad un'annata migliore sotto il profilo quali-quantitativo è risultata anche con minore variabilità complessiva per tutti i parametri campionati.

2012		DW	LAI	N	N
Date	**Sample**	**(g/m²)**	**(m²/m²)**	**(g/m²)**	**(mg/g)**
GS30	**mean**	145.1	1.5	5.5	38.2
	min	68.5	0.8	3.1	29.4
	max	271.4	2.8	11.3	44.7
	SD	45.36	0.46	1.90	3.58
	CV	0.31	0.31	0.34	0.09
GS65	**mean**	628.1	4.7	17.9	28.5
	min	471.7	3.1	11.6	22.1
	max	896.3	7.7	26.8	35.3
	SD	102.96	1.29	3.38	3.14
	CV	0.16	0.27	0.19	0.11

Tabella 11 – Parametri di vegetazione del frumento duro misurati a GS30 (levata) e GS65 (antesi), anno 2012. DW = Peso secco; LAI (Leaf Area Index); N = Azoto; SD = Deviazione Standard; CV = Coefficiente di variazione.

2013		DW	LAI	N	N
Date	**Sample**	**(g/m²)**	**(m²/m²)**	**(g/m²)**	**(mg/g)**
GS30	**mean**	128.8	1.0	2.8	20.6
	min	43.5	0.3	0.7	15.2
	max	245.9	2.5	6.6	26.9
	SD	57.34	0.59	1.51	3.84
	CV	0.45	0.56	0.55	0.19
GS65	**mean**	551.2	3.8	10.5	19.7
	min	276.2	1.6	6.6	13.8
	max	807.4	5.9	17.4	25.9
	SD	159.15	1.26	2.51	3.19
	CV	0.29	0.33	0.24	0.16

Tabella 12 - Parametri di vegetazione del frumento duro misurati a GS30 (levata) e GS65 (antesi), anno 2013. DW = Peso secco; LAI (Leaf Area Index); N = Azoto; SD = Deviazione Standard; CV = Coefficiente di variazione.

2012		Yield	PC	PC	GC	GC	WHL
Date	Sample	(g/m²)	(g/m²)	(mg/g)	(g/m²)	(mg/g)	(kg/hl)
GS90	mean	504.1	72.8	145.1	109.5	83.5	83.5
	min	334.7	52.2	121.0	90.0	80.1	80.1
	max	659.0	89.3	158.0	124.0	87.1	87.1
	SD	78.69	10.63	11.70	11.60	2.17	2.17
	CV	0.16	0.15	0.08	0.11	0.03	0.03

Tabella 13- Parametri di resa del frumento duro misurati a GS90 (maturazione), anno 2012. Yield = Resa; PC = Contenuto Proteine; GC = Contenuto Glutine; WHL = Peso Ettolitrico o specifico; SD = Deviazione Standard; CV = Coefficiente di variazione.

2013		Yield	PC	PC	GC	GC	WHL
Date	Sample	(g/m²)	(g/m²)	(mg/g)	(g/m²)	(mg/g)	(kg/hl)
GS90	mean	346.9	42.0	120.8	26.2	74.5	77.1
	min	157.5	17.6	107.0	10.4	61.0	70.5
	max	505.0	61.1	134.0	42.9	88.0	80.8
	SD	105.64	12.95	7.88	9.23	7.57	2.55
	CV	0.30	0.31	0.07	0.35	0.10	0.03

Tabella 14 - Parametri di resa del frumento duro misurati a GS90 (maturazione), anno 2013. Yield = Resa; PC = Contenuto Proteine; GC = Contenuto Glutine; WHL = Peso Ettolitrico o specifico; SD = Deviazione Standard; CV = Coefficiente di variazione.

Facendo riferimento al primo anno del progetto, si può notare come nel periodo di inizio levata (GS30), tutti gli indici hanno mostrato un rapporto positivo e altamente significativo con la biomassa secca. In particolare , per quanto riguarda gli indici telerilevati, la migliore correlazione è stata osservata con NDVI RE ($r = 0,894$, $P \leq 0,001$) (Tab. 15), mentre nel caso del rapporto tra la pianta e lo stato di N, nessuno degli indici è risultato idoneo a descrivere la concentrazione di N. Tuttavia, se si considera la quantità totale di N, tutti gli indici sono stati altamente correlati (questo dato dipende molto dalla correlazione con la biomassa).
All'antesi (GS65), i risultati sono stati completamente diversi, con nessuna correlazione significativa osservata tra i parametri vegetativi e gli indici (Tab. 15).
Per spiegare le relazioni tra la produzione finale e gli indici telerilevati misurati, rispettivamente, sulle due date, 3 e 2 mesi prima della raccolta, è necessario indagare come sono legati tra loro i parametri osservati da misure distruttive e non distruttive e la produzione finale. Per quanto riguarda le relazioni tra gli indici di vegetazione a GS30 e GS65 e le caratteristiche dei parametri alla raccolta, i dati mostrano l'NDVI RE a GS30 come l'indice con il coefficiente di correlazione più elevato ($r = 0,676$, $P \leq 0,01$) per quanto riguarda la correlazione con la resa finale (Tab. 15).
Per quanto riguarda le caratteristiche qualitative del grano, si può osservare che la concentrazione proteica è correlata debolmente con i parametri osservati durante il periodo di crescita. La migliore correlazione è stata trovata tra la concentrazione di proteine del grano e la concentrazione di azoto

nella pianta a GS30 (Tab. 16), tuttavia, quest'ultima risulta difficile da determinare attraverso l'uso del telerilevamento, avendo una relazione negativa, e da quanto osservato non significativa, con gli indici di vegetazione (Tab. 15).
Il ruolo importante che si ricava dal dato del LAI nel determinare la produzione finale è stato confermato, risultando la correlazione positiva più elevata a GS30 ($r = 0,663$, $P \leq 0,01$) (Tab. 16).
Per quanto riguarda il periodo GS65, è stato confermato come i parametri osservati forniscono meno informazioni sulle caratteristiche della produzione finale, nonostante sia più vicina temporalmente alla raccolta. Per spiegare questo, è necessario confrontare i parametri in due fasi differenti. Infatti, esiste una correlazione positiva entro gli stessi parametri alle due date , che mostrano come i vantaggi acquisiti dalle piante nella fase iniziale sono state mantenute durante il resto del ciclo.
Tra gli indici , il migliore coefficiente di correlazione è stato trovato nel periodo GS30 tra NDVI-RE e il LAI ($r = 0,921$,con $P \leq 0.001$) (Tab. 15).

2012		DW	N	N	LAI	Yield	PC	PC	GC	GC	WHL
Date	VI	(g/m²)	(mg/g)	(g/m²)	(m²/m²)	(g/m²)	(g/m²)	(mg/g)	(g/m²)	(mg/g)	(kg/hl)
GS30	NDVI	0,790***	0,070	0,794***	0,822***	0,590**	0,413	-0,381	0,310	-0,403	0,281
	NDVI RE	0,894***	0,113	0,900***	0,921***	0,676**	0,495*	-0,383	0,392	-0,396	0,254
	CHL	0,520*	0,128	0,558*	0,577**	0,415	0,337	-0,196	0,237	-0,262	0,236
GS65	NDVI	-0,001	0,301	0,145	0,417	0,521*	0,484*	-0,192	0,448	-0,205	0,136
	NDVI RE	0,008	0,260	0,135	0,330	0,425	0,462*	-0,058	0,457*	-0,066	0,024
	CHL	0,034	0,104	0,057	0,395	0,464*	0,440	-0,111	0,472*	-0,030	-0,141

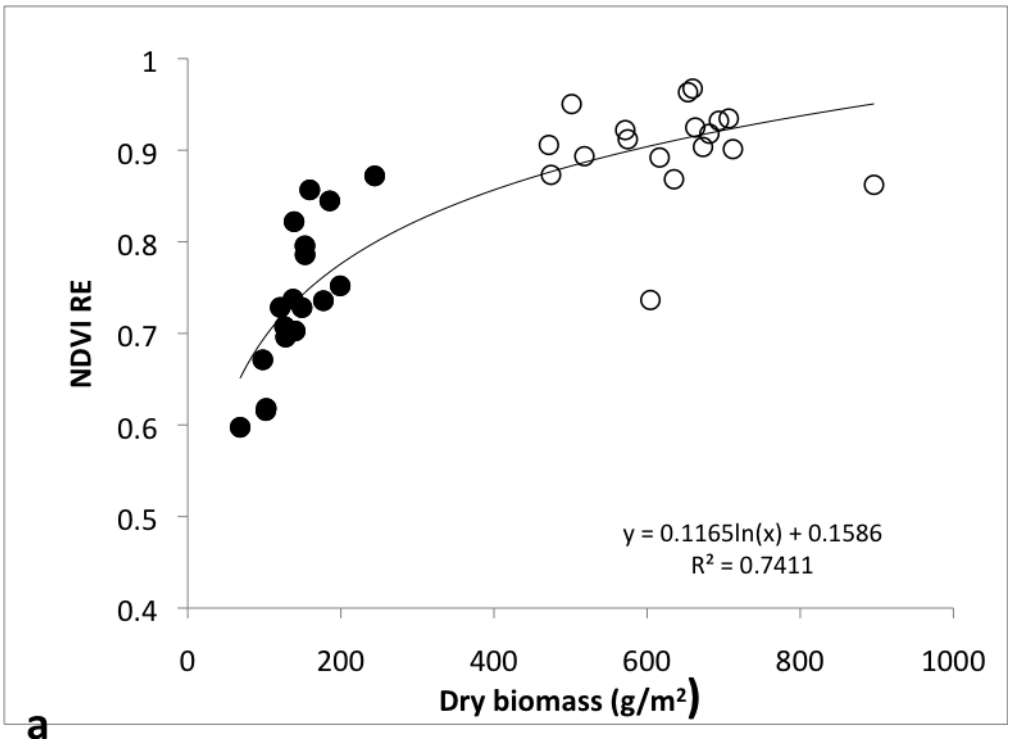
Tabella 15 - Coefficiente di correlazione tra gli indici scelti e i parametri vegetativi a GS30 e GS 65 e la produzione finale. NDVI = Normalized Difference Vegetation Index; NDVIRE = Normalized Difference Vegetation Index Red Edge; CHL = Indice di Clorofilla; DW = Peso secco; LAI (Leaf Area Index); N = Azoto; Yield = Resa; PC = Contenuto Proteine; GC = Contenuto Glutine; WHL = Peso Ettolitrico o specifico; Significatività statistica: P(*)≤0.05 per r>0.4555, P(**)≤0.01 per r≥0.571, P(***)≤0.001 per r≥0.6932.

2012			Yield	PC	PC	GC	GC	WHL
Date	Parameter		(g/m²)	(g/m²)	(mg/g)	(g/m²)	(mg/g)	(kg/hl)
GS30	DW	(g/m²)	0,599**	0,331	-0,499*	0,202	-0,517*	0,319
	LAI	(m²/m²)	0,663**	0,479*	-0,362	0,346	-0,412	0,321
	N	(g/m²)	0,642**	0,469*	-0,327	0,355	-0,352	0,224
	N	(mg/g)	0,246	0,551*	0,551*	0,603**	0,544*	-0,429
GS65	DW	(g/m²)	0,462*	0,342	-0,295	0,278	-0,301	0,266
	LAI	(m²/m²)	0,472*	0,423	-0,155	0,311	-0,253	0,262
	N	(g/m²)	0,494*	0,464*	-0,146	0,417	-0,166	0,312
	N	(mg/g)	0,148	0,267	0,173	0,277	0,146	0,136

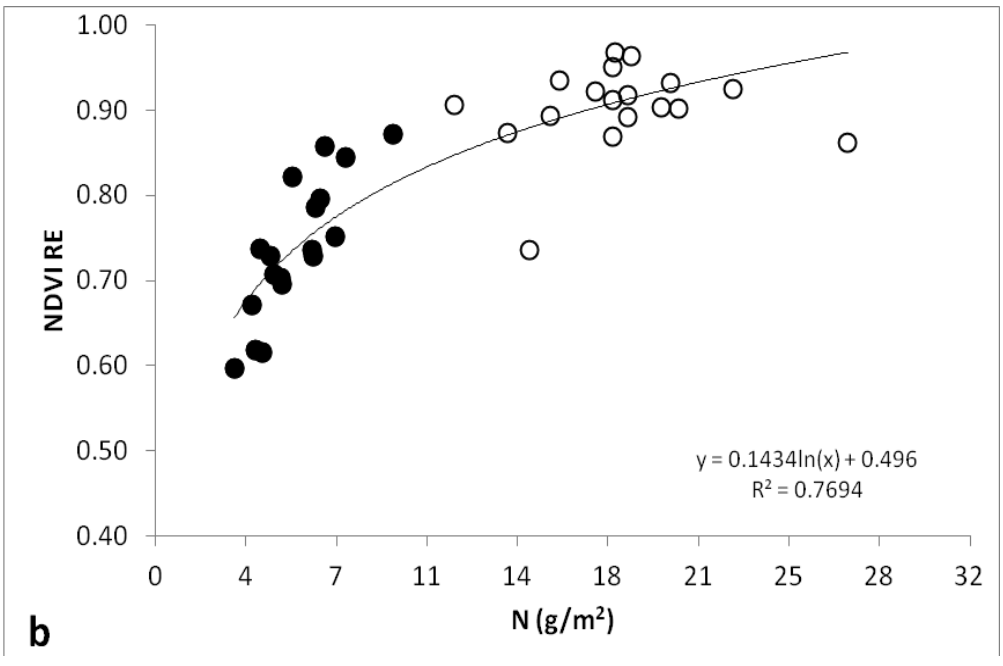
Tabella 16 – Coefficiente di correlazione tra i parametri vegetativi a GS30 e GS 65 e la produzione finale. DW = Peso secco; LAI (Leaf Area Index); N = Azoto; Yield = Resa; PC = Contenuto Proteine; GC = Contenuto Glutine; WHL = Peso Ettolitrico o specifico;Significatività statistica: P(*)≤0.05 per r>0.4555, P(**)≤0.01 per r≥0.571, P(***)≤0.001 per r≥0.6932.

I dati dimostrano che la possibilità di descrivere e monitorare la crescita delle colture e la produzione mediante telerilevamento è evidente nel periodo di inizio levata (GS30), mentre all'antesi (GS65) gli indici hanno quasi completamente perso questa capacità. Questi risultati possono essere parzialmente spiegati tenendo conto dell'effetto di saturazione degli indici di vegetazione che si verificano nel corso del tempo attraverso il monitoraggio dei parametri quantitativi (peso secco, quantità d'azoto e LAI) (Fig. 24 a, b, c). La risposta radiometrica della copertura del frumento duro durante il periodo di crescita non è lineare. Infatti, l'NDVI è molto sensibile alle variazioni di copertura quando il LAI è intermedio, quindi è utile per la stima ad inizio stagione, man mano che la copertura aumenta l'indice perde di significatività.
Quando si considera la concentrazione di azoto, gli indici hanno inoltre dimostrato una scarsa correlazione nel periodo pre-antesi. Ciò può essere spiegato dalla incapacità dei sensori satellitari per ricevere informazioni dagli strati più bassi della chioma, limitando la loro analisi al livello superiore, che nel caso del frumento, è rappresentato principalmente da foglie.
Tuttavia, il frumento accumula l'azoto non solo le foglie, ma anche nello stelo, che dà un contributo significativo.
Questi dati suggeriscono che l'uso di indici di vegetazione telerilevati, come NDVI e NDVIRE, potrebbe essere un'opzione interessante per il monitoraggio del raccolto, infatti, a GS30, NDVI e NDVIRE hanno mostrato una buona capacità di fornire informazioni predittive sulla quantità del raccolto, evidenziando correlazioni significative con la resa (Tab. 15). In particolare, la capacità di catturare la variabilità spaziale della crescita delle colture e la produzione è evidente nella fase di inizio levata, durante il quale la coltura fornisce una copertura sufficiente per il suolo e allo stesso tempo non causa saturazione degli indici.
Questi risultati sono di particolare interesse perché GS30 è il periodo durante il quale viene eseguita la seconda fertilizzazione azotata di copertura. Di conseguenza, informazioni accurate sullo stato della vegetazione in questo momento risultano importanti per ottimizzare la gestione della fertilizzazione sulla base della crescita delle colture e sul loro stato di azoto.
I dati ottenuti hanno evidenziato l'idoneità del satellite RapidEye per monitorare lo sviluppo delle colture su vaste aree del territorio. Gli indici spettrali derivanti dalla sua immagini ad alta risoluzione, in particolare NDVI e NDVIRE, rappresentano indicatori ottimali dei principali parametri quantitativi di crescita delle colture e di sviluppo. Questa capacità di descrivere lo stato del raccolto è particolarmente efficace a GS30, per due ragioni principali: in primo luogo, la variabilità della vegetazione è sufficientemente elevata da essere catturata e descritta dagli indici telerilevati, e in secondo luogo, GS30 rappresenta il momento ottimale in cui il suolo è completamente coperto mentre la quantità di biomassa non è ancora sufficiente per saturare gli indici.
Come precedentemente indicato, informazioni accurate sullo stato della vegetazione nel periodo di GS30 risultano importanti per ottimizzare la gestione della fertilizzazione sulla base della crescita delle colture e sul loro stato di azoto. In base ai l'analisi delle immagine satellitari e degli indici calcolati da quest'ultime, si è proceduto a realizzare mappe di prescrizione che sono servite alle aziende per eseguita la seconda fertilizzazione azotata di copertura. Quest'ultima è stata effettuata dando i valori indicati dagli studi effettuati.
Nella pratica, per ogni azienda è stata realizzata la mappa di prescrizione per la seconda fertilizzazione azotata di copertura, ricavata dall'indice di vegetazione NDVI-RE (Fig. 25, 27, 29), e successivamente suddivisa in 3 quantità prestabilite di fertilizzazione (Fig. 26, 28, 30). Queste

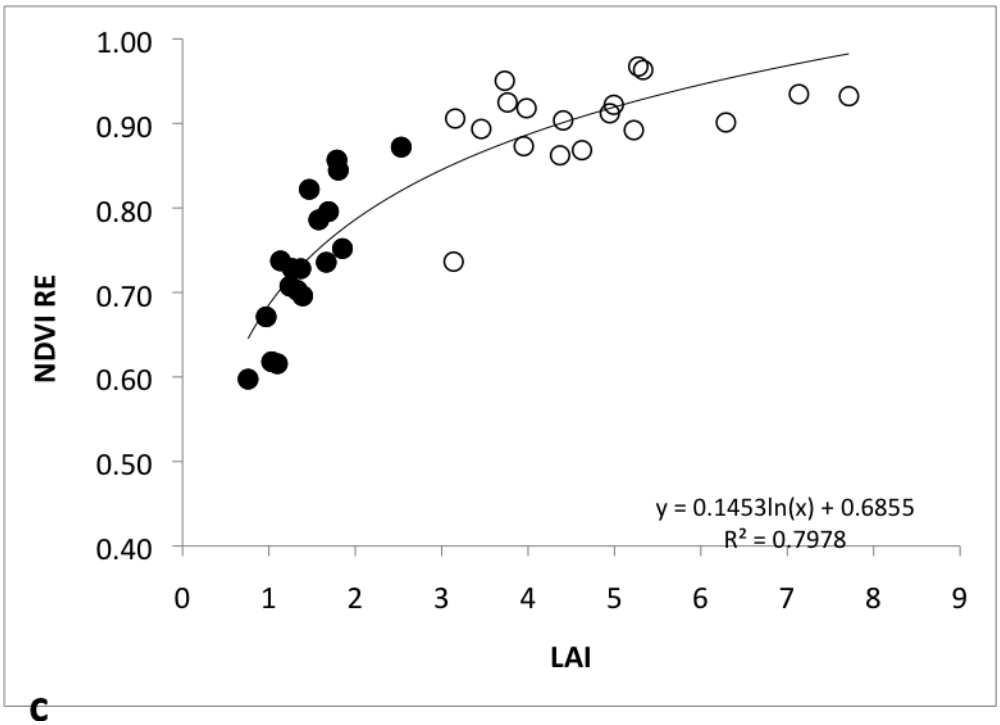
mappe, per il secondo anno di sperimentazione, sono state utilizzate per guidare lo spandiconcime pneumatico di precisione e quindi per effettuare la concimazione prestabilita impiegando una dose media di 250 kg/ha di nitrato d'ammonio, variata di circa il +/- 30% in funzione delle effettive necessità e aspettative di produzione.



(a)

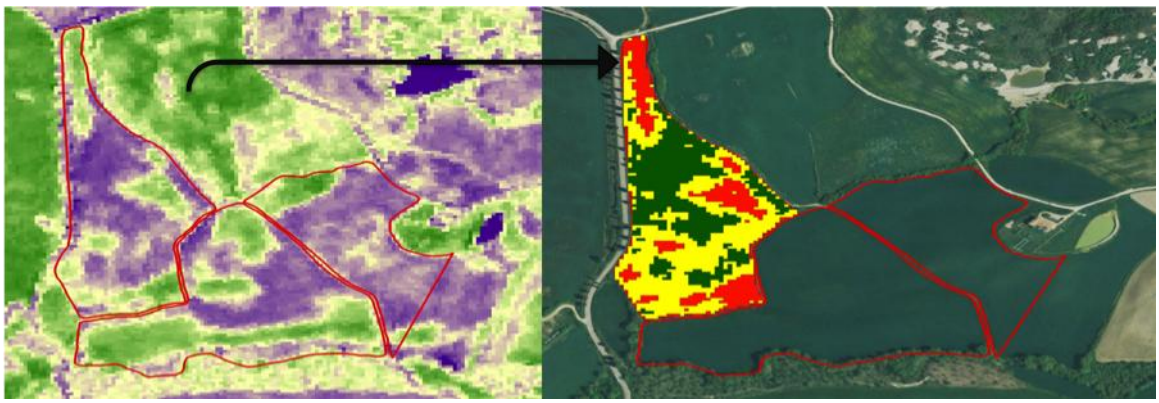


(b)



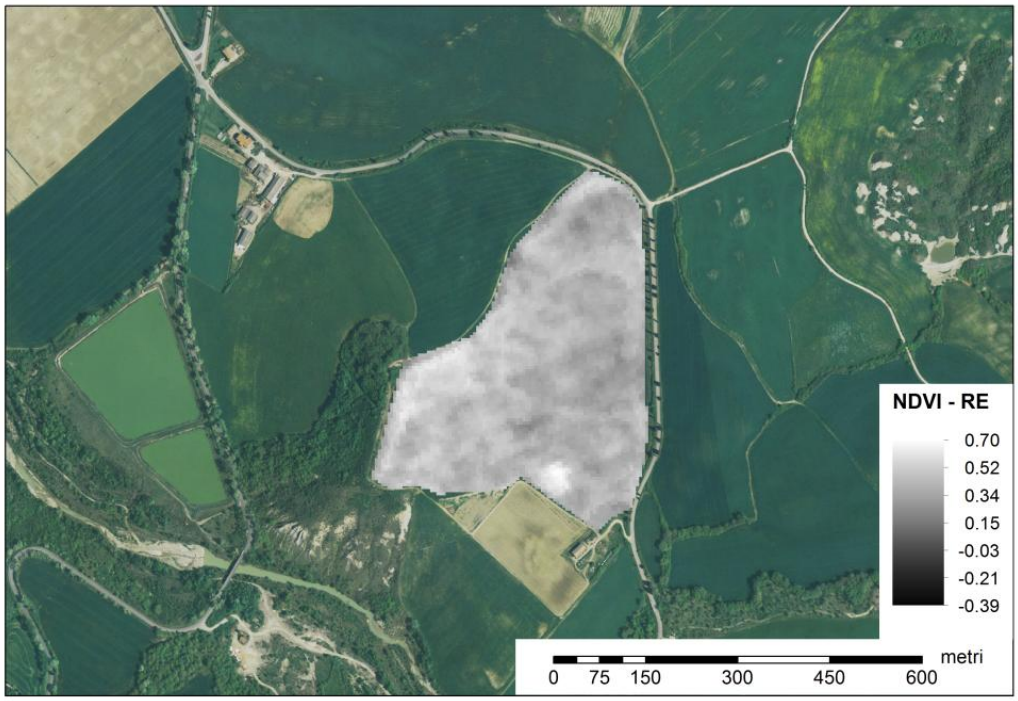
C (c)

Figura 24 - Relazione tra NDVI RE e la biomassa secca (a), NDVI RE e quantità d'azoto (b) ed NDVI RE e LAI (c) nelle due fasi di sviluppo considerate, i punti pieni indicano i dati in levata e i punti vuoti indicano quelli in antesi.

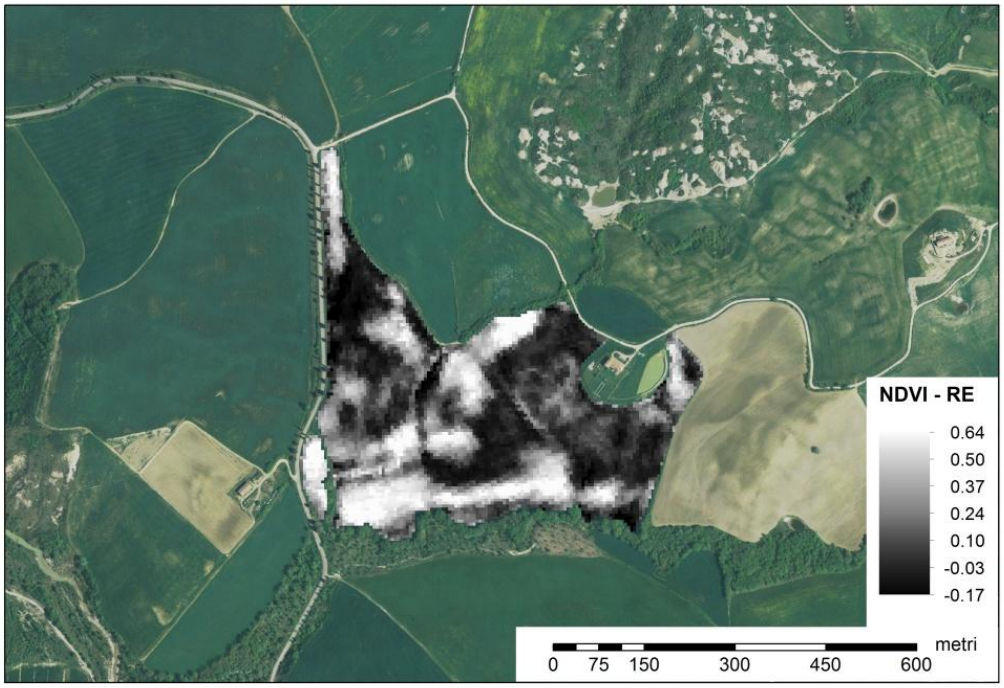


Indice di vegetazione NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) elaborato da immagine satellitare Rapid Eye acquisita in fase di botticella (12 Aprile 2013)

Mappa di prescrizione della fertilizzazione azotata di copertura elaborata da indici vegetazionali. Tre livelli: alto=verde; medio=giallo; basso=rosso.

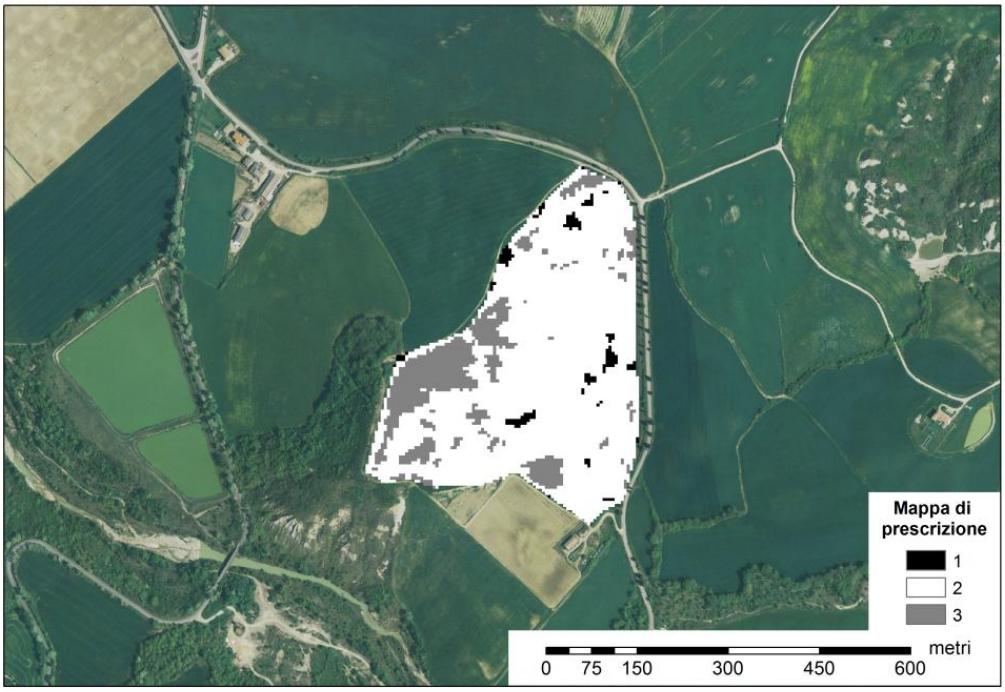


(a)

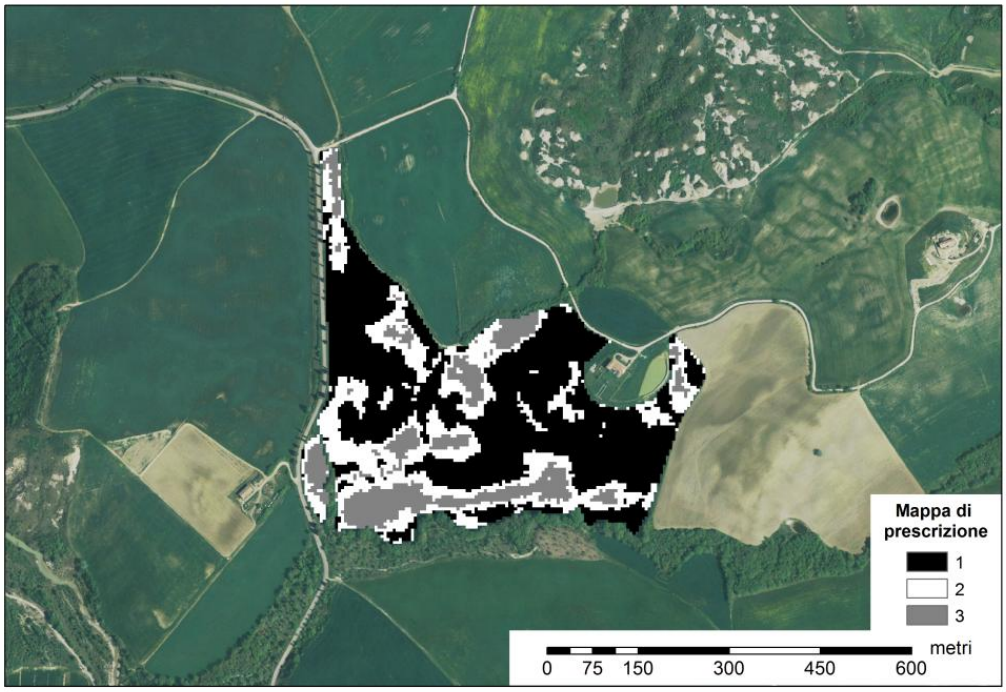


(b)

Figura 25 – Immagini, acquisite in fase di botticella, del 12 Aprile 2012 (a) e del 12 Aprile 2013 (b), dal satellite Rapid Eye dell'indice di vegetazione NDVI-RE; parcelle Nardi.



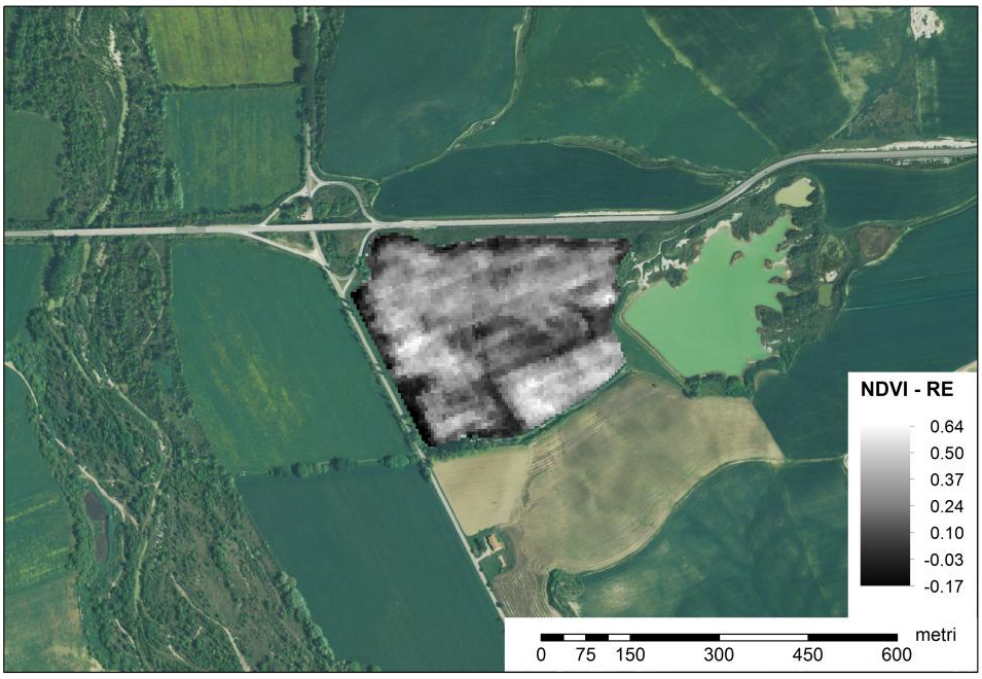
(a)



(b)

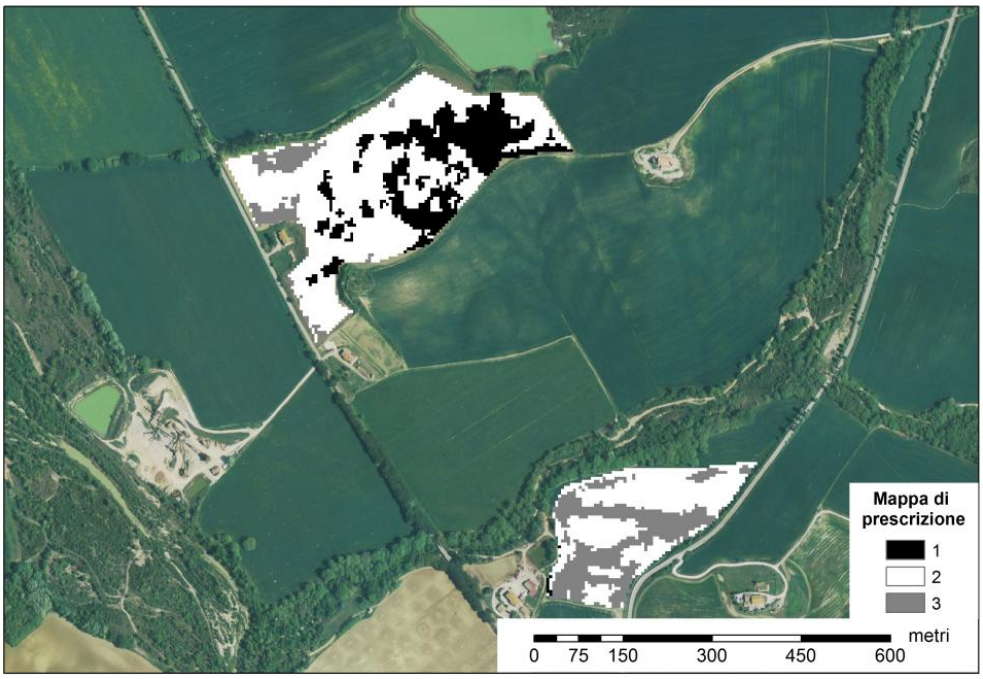
Figura 26 - Mappe di prescrizione per la seconda ipotetica fertilizzazione azotata di copertura per l'anno 2012 (a) e per quella effettiva dell'anno 2013 (b) creata dalle immagini satellitari (Fig. 25), suddivisa in tre livelli: 1=alto; 2=medio; 3= basso; parcelle Nardi.

(a)



(b)

Figura 27 - Immagini, acquisite in fase di botticella, del 12 Aprile 2012 (a) e del 12 Aprile 2013 (b) dal satellite Rapid Eye dell'indice di vegetazione NDVI-RE; parcelle Rappuoli.

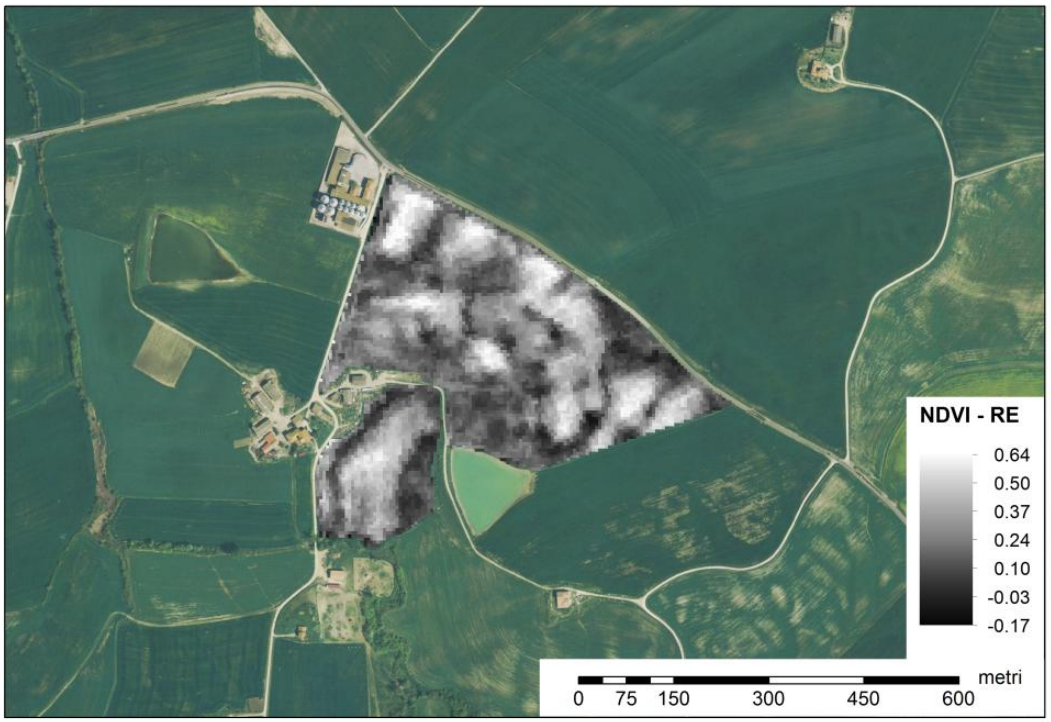


(a)

(b)

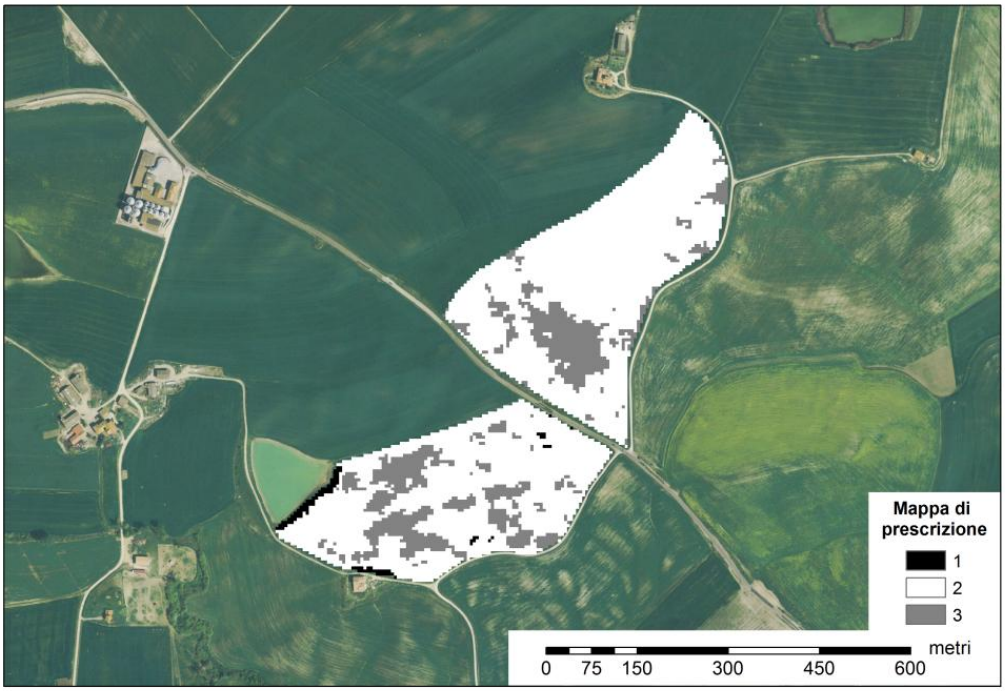
Figura 28 - Mappe di prescrizione per la seconda ipotetica fertilizzazione azotata di copertura per l'anno 2012 (a) e per quella effettiva dell'anno 2013 (b) creata dalle immagini satellitari (Fig. 27), suddivisa in tre livelli: 1=alto; 2=medio; 3= basso; parcelle Rappuoli.

(a)

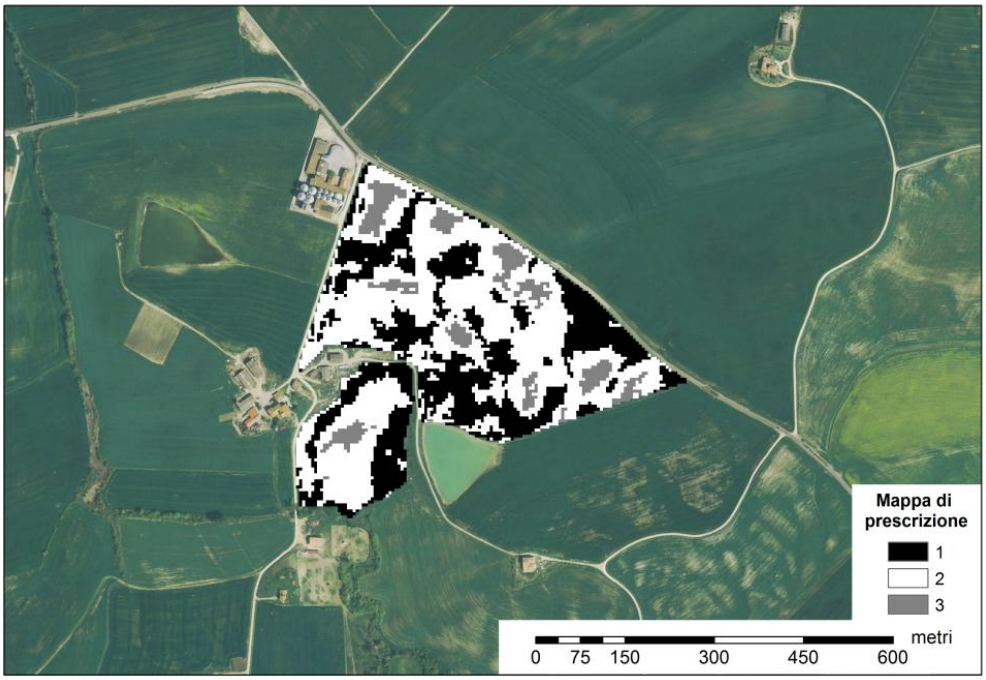


(b)

Figura 29 - Immagini, acquisite in fase di botticella, del 12 Aprile 2012 (a) e del 12 Aprile 2013 (b) dal satellite Rapid Eye dell'indice di vegetazione NDVI-RE; parcelle Di Donato.



(a)



(b)

Figura 30 - Mappe di prescrizione della seconda fertilizzazione azotata di copertura per l'anno 2012 (a) e per l'anno 2013 (b) creata dalle immagini satellitari (Fig. 29), suddivisa in tre livelli: 1=alto; 2=medio; 3= basso; parcelle Di Donato.

Durante la raccolta sono poi state realizzate le mappe di resa.

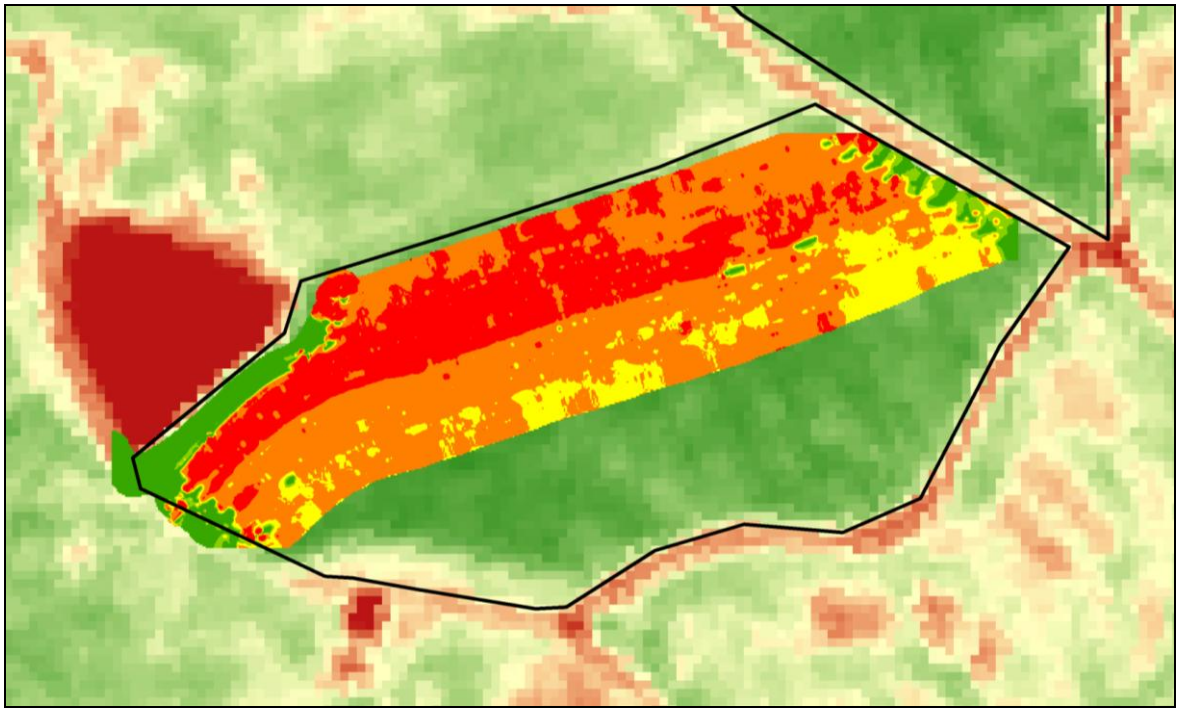
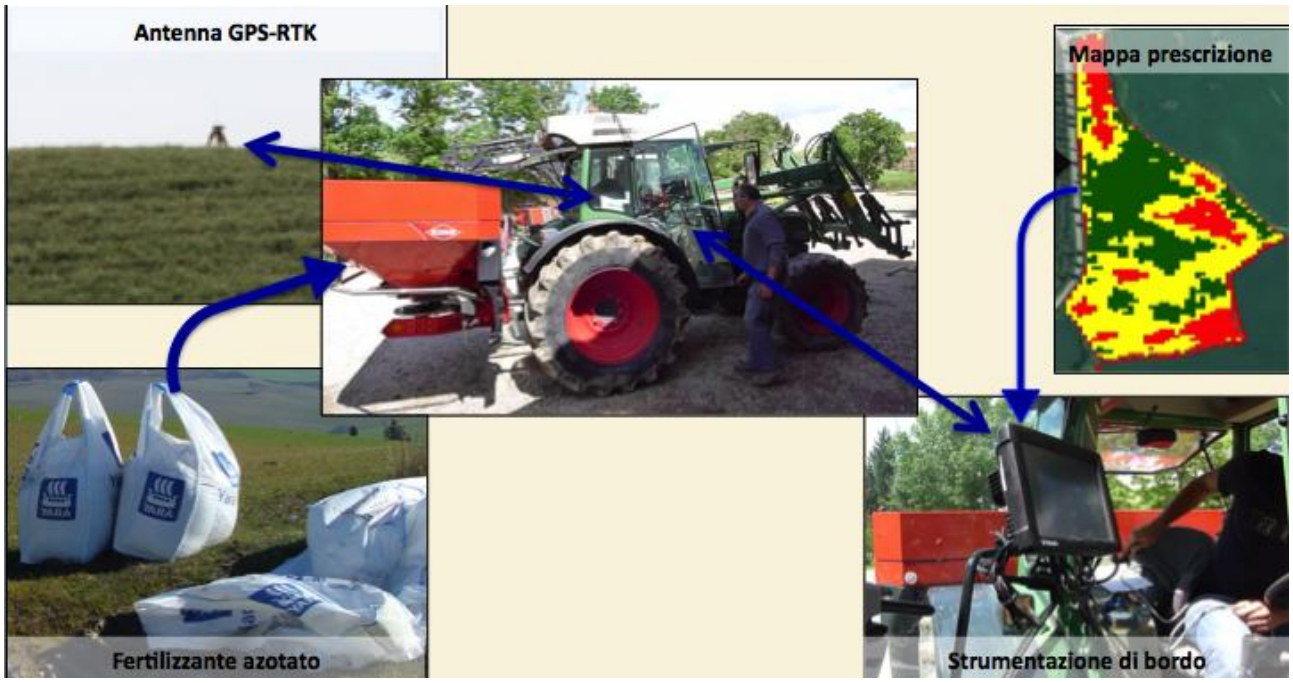


Figura 31 – Esempio mappe di resa (anno 2012) con distinguibile le fasi di taratura del sistema, parcella Di Donato, sovrapposta alla mappa di NDVI.

F6.2: Trasferimento delle competenze per la gestione del processo produttivo innovativo

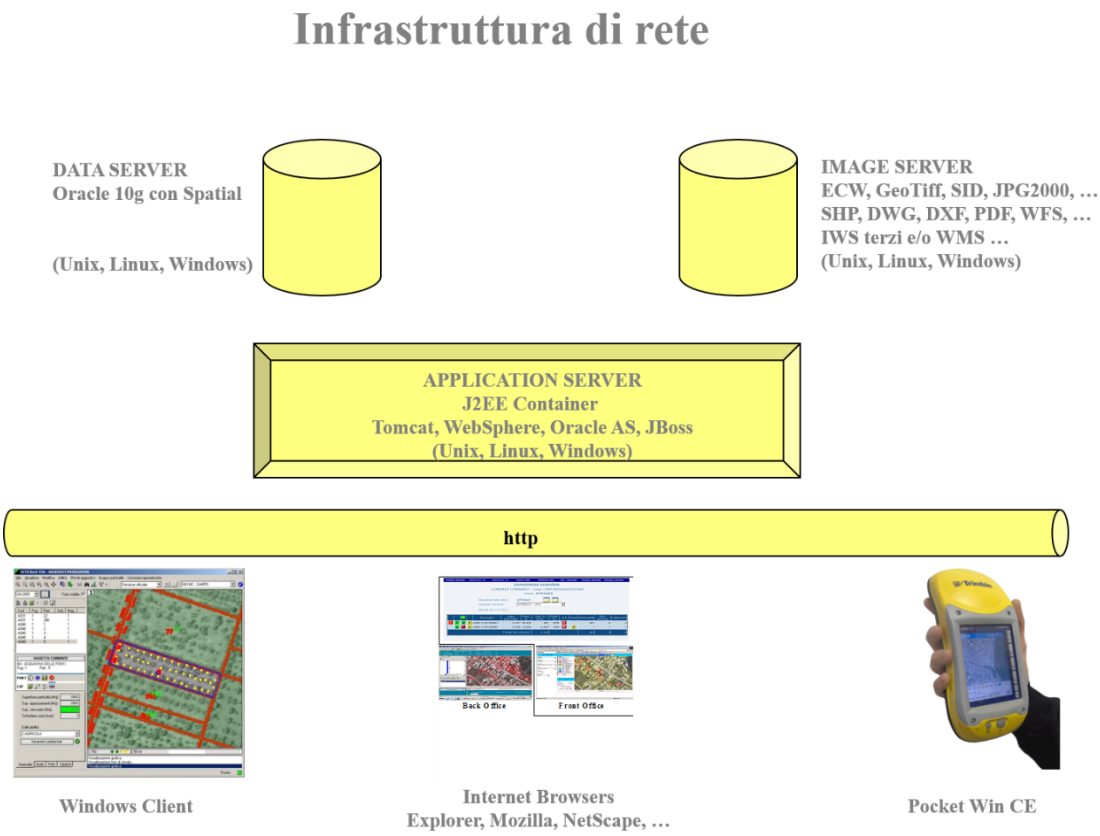
Le aziende sono state seguite dai tecnici del Consorzio Agrario in tutta la gestione del processo produttivo. Le informazioni e le tecnologie impiegate nei mezzi meccanici, il modello innovativo proposto è stato quindi trasferito dai centri scientifici, detentori dell'innovazione derivante competenze acquisite nell'ambito della ricerca (portata avanti nel corso degli anni precedenti al progetto), a tecnici ed operatori del settore, in una combinazione atta a rendere operativo un modello produttivo che si avvale delle più moderne tecnologie di monitoraggio e di coltivazione.
Quindi, questa fase, è risultata di grande importanza perché ha riguardato il trasferimento delle competenze dagli enti di ricerca ed innovazione alle aziende, dando a quest'ultime tutti gli strumenti necessari per la gestione del nuovo processo produttivo .



Data base relazionale

Il punto di partenza del progetto informatico per APPCoT è stato realizzato sulla struttura e sui moduli software che compongono SITI AGRI KNOWLEDGE. Sistema di conoscenza a servizio del comparto agricolo.
Tale sistema viene già utilizzato in diverse realtà nazionali ed europee per la gestione delle consistenze delle aziende Agricole e per il controllo delle richieste di sussidio.
Le sue funzioni di base ed in particolare le funzioni evolute di LPIS (Land Parcel Identification System) in ambiente web lo rendono facilmente adattabile alle esigenze del Progetto.

Architettura del sistema Base SITI AGRI per APPCoT



Formato dei dati standard

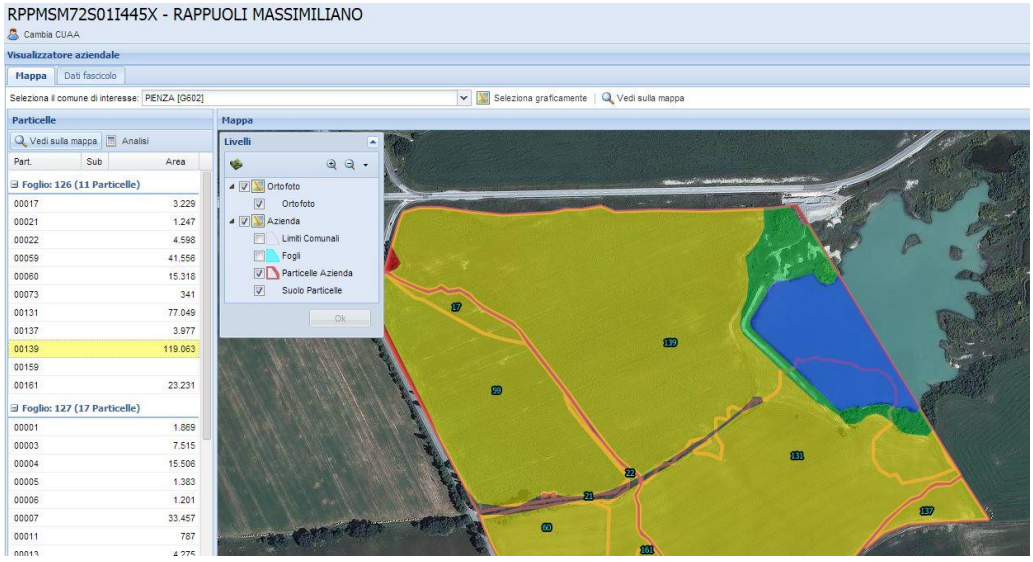
La base dati ed il geodatabase sono interamente gestite all'interno di tavole standard di Oracle®. Le immagini da satellite o da rilievo aereo, ortorettificate e georiferite, sono gestiti come files raster nei formati compressi più diffusi (ECW, SID, GEOTIFF, JPG2000) oppure GeoRASTER.
L'eventuale piano quotato del terreno (DTM) può essere in uno qualunque dei files standard normalmente utilizzati (GRD, DEM, ASC, …).

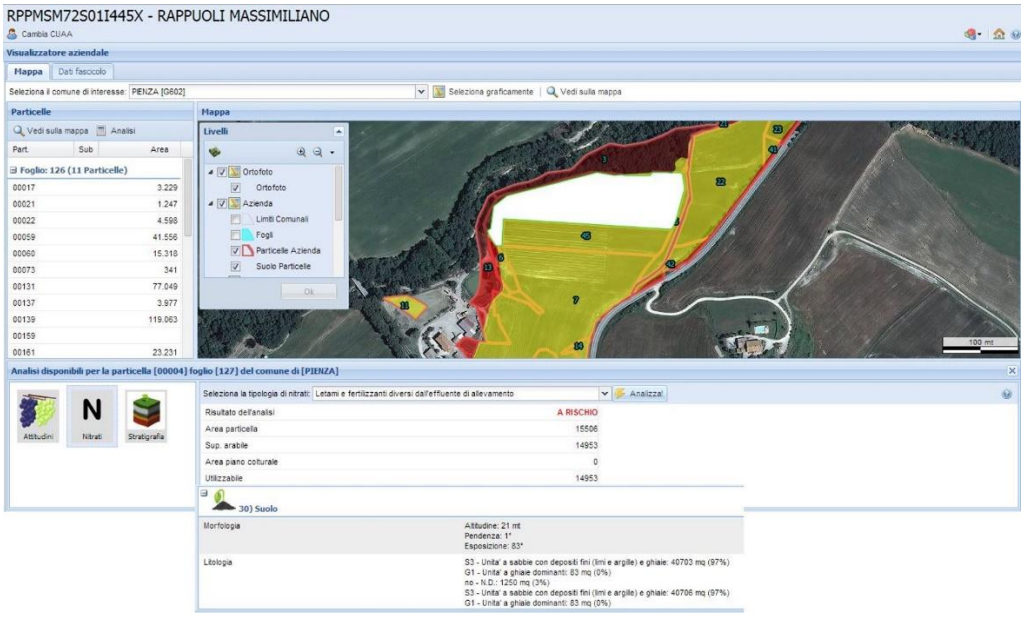
Le fonti cartografiche di supporto informativo nella consultazione GIS sono a loro volta inserite nel geodatabase oppure gestite come files vettoriali nei formati più diffusi (SHP, DWG, …). Possono eventualmente essere prelevate da remoto mediante servizi WMS o WFS.
L'intero modello dati è gestito storicizzato per singolo oggetto, in base alle variazioni subite nel tempo, traccia la fonte di acquisizione iniziale o periodica dei dati e delle variazioni nonché l'utente-operatore che ne ha eseguito l'inserimento o la modifica. E' prevista una struttura dati referenziata ed una serie di funzioni di base per l'inserimento e la modifica che ne garantiscono la congruenza nonché la coerenza topologica ove necessaria.

Queste scelte garantiscono la massima interoperabilità ed integrazione della base dati con qualunque S.I. esistente, locale o remoto, ed assicurano la massima fruibilità con strumenti standard di reporting, business intelligence, desktop mapping e webgis.
Tuttavia la soluzione che abbiamo adottato include già tools ed SDK evoluti che consentono lo sviluppo di specifiche interfacce di consultazione, di elaborazione e di aggiornamento, sia in modalità interattiva che automatizzata, della base dati alfanumerica e spaziale 2D e 3D.

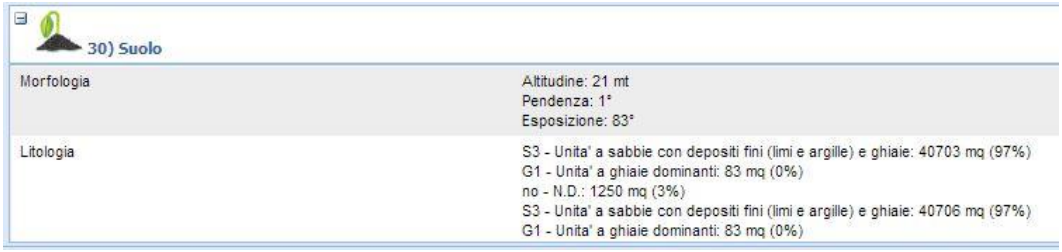
Attività

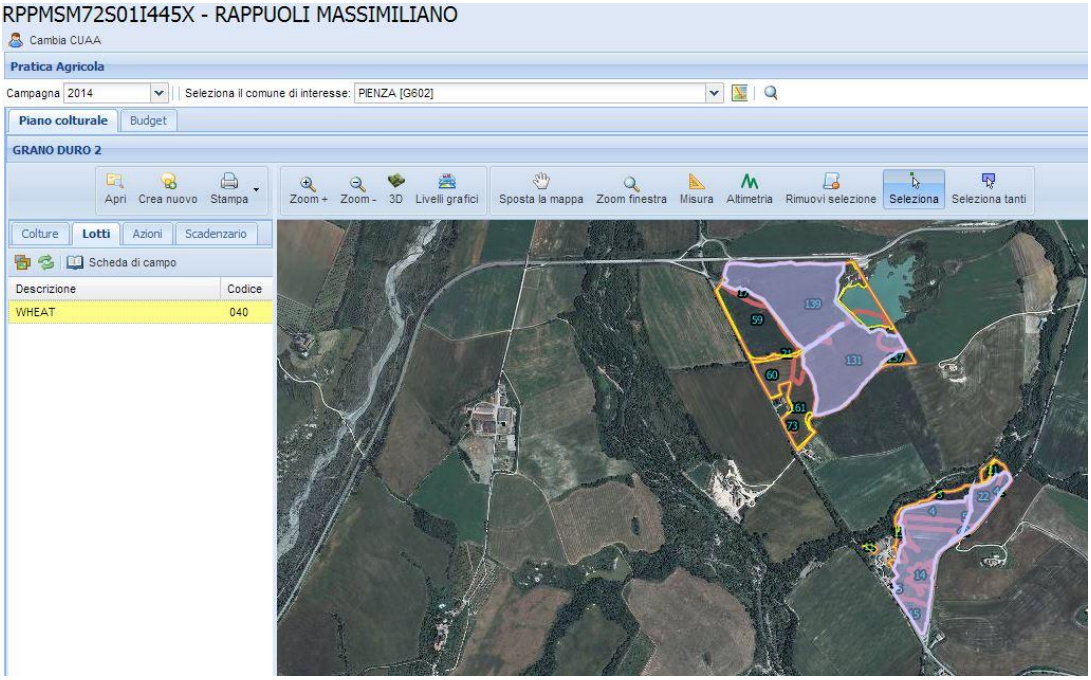
1. Impostazione di un server web in modalità hosting con installazione Siti Agri knowledge ed impostazione degli accessi per i tecnici dell'Università di Firenze, del Consorzio Agrario di Siena ed eventualmente delle Aziende Campione
2. Caricamento di aereofoto georiferite di base del territorio su cui ricadono le aziende campione
3. Caricamento dei dati cartografici di base dell'azienda, dell'uso del suolo, del fascicolo e di eventuali altri dati reperibili

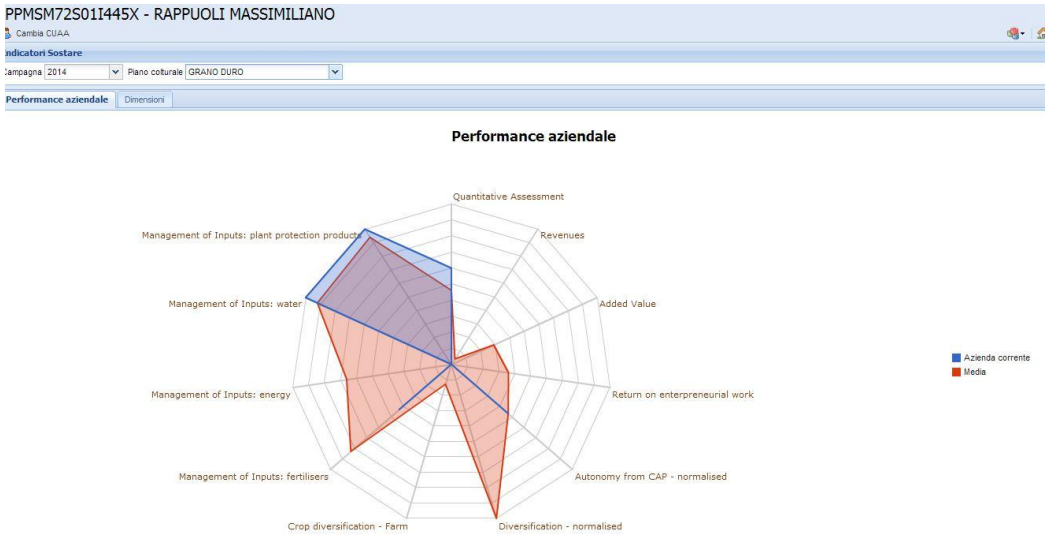




4. Analisi ed importazione su Siti Agri Farmer dei dati delle foto satellitari dello stato della vegetazione sulla base di 2 distinte immagini satellitari
5. Analisi ed importazione sul sistema dei dati grafici in file shape con le zone relative alla fertilizzazione azotata
6. Analisi ed importazione sul sistema dei dati grafici delle mappe di raccolto
7. Analisi e verifica degli automatismi per la compilazione del quaderno di campagna
8. Analisi e gestione dei file pdf delle analisi del terreno con geolocalizzazione
9. Analisi e realizzazione dei link ai dati delle centraline di rilevamento dei dati metereologici




RPPMSM72S01I445X - RAPPUOLI MASSIMILIANO
Cambia CUAA
Pratica Agricola
Campagna 2014
Seleziona il comune di interesse: PIENZA [G602]
Piano colturale
Budget
GRANO DURO 2
Apri
Crea nuovo
Stampa
Zoom +
Zoom -
3D
Livelli grafici
Sposta la mappa
Zoom finestra
Misura
Altimetria
Rimuovi selezione
Seleziona
Seleziona tanti
Colture
Lotti
Azioni
Scadenzario
Scheda di campo
Descrizione
Codice
WHEAT
040


PPMSM72S01I445X - RAPPUOLI MASSIMILIANO
Cambia CUAA
ndicatori Sostare
Campagna 2014
Piano colturale GRANO DURO
Performance aziendale
Dimensioni
Performance aziendale
Quantitative Assessment
Revenues
Added Value
Return on enterpreneurial work
Autonomy from CAP - normalised
Diversification - normalised
Crop diversification - Farm
Management of Inputs: fertilisers
Management of Inputs: energy
Management of Inputs: water
Management of Inputs: plant protection product
Azienda corrente
Media

Fase 7 : Verifica dell'efficienza del nuovo modello produttivo

1.1- OBIETTIVO DELLO STUDIO

L'obiettivo principale dello studio è di calcolare l'impronta di carbonio della coltivazione di frumento duro in Val D'Orcia (Toscana) per la produzione di pasta. La coltivazione del frumento avviene secondo una tecnica di agricoltura di precisione in grado di dosare la fertilizzazione azotata e verificare le rese associate, lo studio è finalizzato anche all'analisi degli scenari di tre differenti dosi di fertilizzante azotato somministrato. Oltre alla carbon footprint (CF) si determinano anche i risultati di impatto per il consumo di risorse non rinnovabili e il consumo di acqua della stessa coltivazione.

1.2 - CAMPO DI APPLICAZIONE

1.2.1- LA FUNZIONE

La funzione del sistema è di tipo alimentare.

1.2.2- Il sistema studiato

Il sistema studiato è la produzione di frumento tenero nella zona della Val D'Orcia in Toscana, con l'utilizzo di tecniche di agricoltura di precisione. In particolare vengono studiati 3 sistemi di coltivazione ciascuno con una propria specifica concimazione azotata, tali sistemi vengono indicati come:

1. Coltivazione con concimazione basso contenuto N,
2. Coltivazione con concimazione medio contenuto N,
3. Coltivazione con concimazione alto contenuto N.

1.2.3- L'unita' funzionale

L'unità funzionale del processo di coltivazione del frumento duro è la resa per ha (kg/ha) calcolata come media di produzione dell'ultimo triennio (2009-2013) per un campione di 3 aziende. Le unità funzionali relative ad ogni sistema di coltivazione sono indicate in tab. 1.

SISTEMA	UF
Coltivazione con concimazione basso contenuto N	4420 kg/ha
Coltivazione con concimazione medio contenuto N	4220 kg/ha
Coltivazione con concimazione alto contenuto N	3830 kg/ha

Tab. 1 – Unità funzionali di ogni sistema studiato.

I risultati della Carbon Footprint (CF) di ciascuno dei 3 sistemi e gli altri indicatori saranno espressi per 1 kg di prodotto.

1.2.4- I confini del sistema

I confini del sistema vanno dalla preparazione del terreno per la semina e la coltivazione fino alla raccolta del prodotto e al suo trasporto al centro di stoccaggio.
Inclusioni:

- semi di frumento e relativo imballaggio;
- consumi di gasolio per attività agricole: pratiche di coltivazione (aratura, erpicatura, concimazione di fondo, semina, ecc.), raccolta del frumento e pressatura della paglia.;
- produzione di fertilizzanti per la coltivazione e produzione dei relativi imballaggi;

- emissioni da uso di fertilizzanti: protossido di azoto (N_2O) ed Ammoniaca (NH_3) in aria, Nitrati (NO_3) in acqua;
- produzione di fitofarmaci per la coltivazione e produzione dei relativi imballaggi;
- consumo idrico per la diluzione dei fitofarmaci;
- trasporto di semi, fertilizzanti e fitofarmaci dal fornitore all'azienda che coltiva frumento;
- scenari di fine vita degli imballaggi di semi, fertilizzanti e fitofarmaci;
- trasporto del frumento raccolto dall'azienda di coltivazione al centro di stoccaggio.

Per quanto riguarda i consumi idrici il frumento non viene irrigato e l'unico consumo è quello per la diluzione dei fitofarmaci.
Esclusioni: macchinari e trattrici per le operazioni agricole, strutture e depositi per le rimesse dei mezzi agricoli, emissioni da uso di fitofarmaci.

In fig. 1 si descrive il diagramma di flusso e i confini del sistema dell'oggetto di studio.

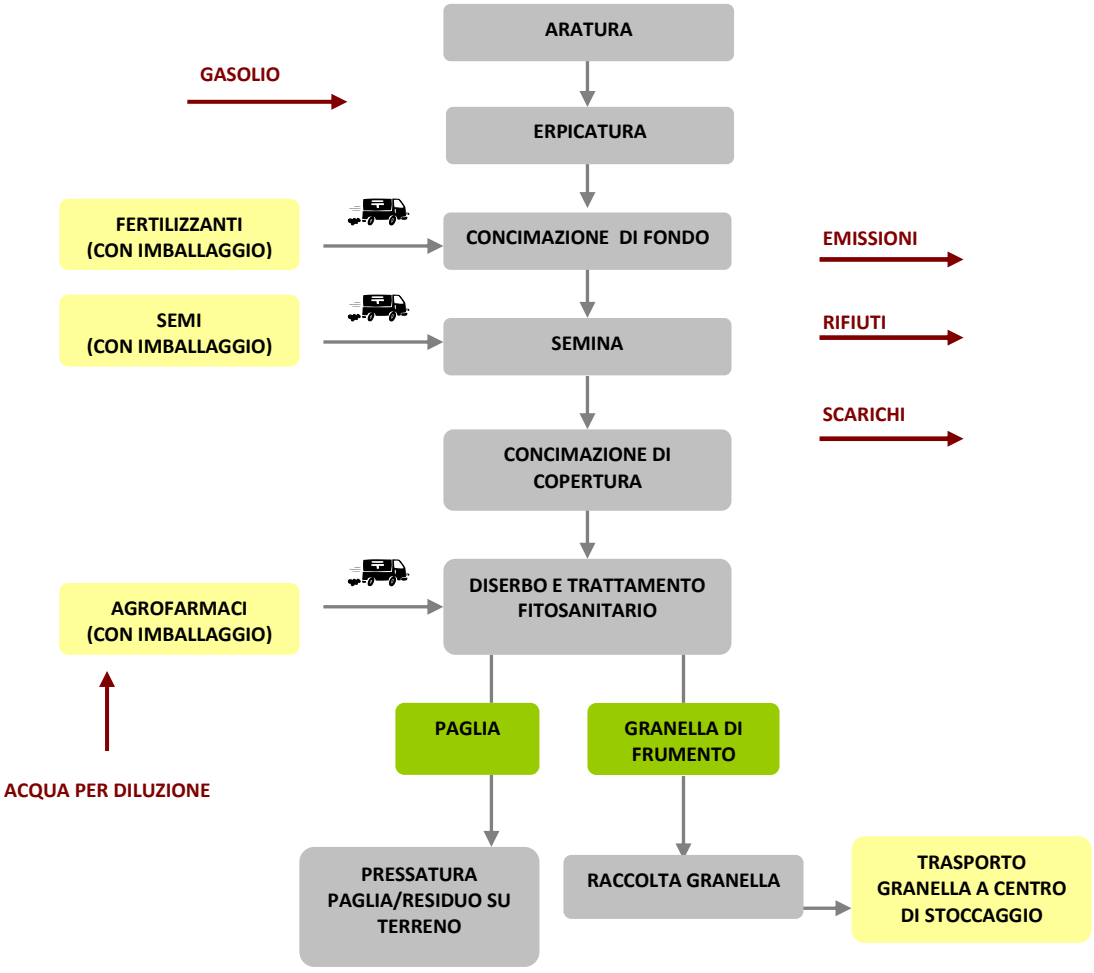


Fig. 1 - Diagramma di flusso, confini del sistema e schema input/output del ciclo di vita della coltivazione del frumento.

1.3- TIPO E REQUISITI DI QUALITÀ DEI DATI

I requisiti di qualità dei dati rispecchiano generalmente le caratteristiche dei dati necessari per lo studio. In questo caso sono stati utilizzati i dati raccolti sul campo (dati primari) presso un campione di aziende agricole.
Copertura temporale: i dati di coltivazione si riferiscono a una media di dati che comprendono 4 anni d campagna: dal 2009 al 2013.
Copertura geografica: zona della Val D'Orcia, Toscana, Italia.
Copertura tecnologica: il riferimento è a pratiche agricole definite secondo le tecniche di agricoltura di precisione per quanto riguarda la concimazione azotata di copertura.
La banca dati LCA utilizzata è Ecoinvent, v.2.2. Per l'elaborazione dei dati é stato utilizzato il codice di calcolo SimaPro (versione 7.3.3.).[1]

1.4- TIPOLOGIE DI IMPATTI E METODI

Gli indicatori di impatto potenziale e le fonti dei metodi usati per il calcolo sono indicati in tab. 1.

INDICATORE DI IMPATTO	UNITÀ DI MISURA	METODO DI RIFERIMENTO
RISCALDAMENTO GLOBALE	kg CO_2 eq	Fattori di caratterizzazione dell'IPCC –*Intergovernmental Panel on Climate Change*- 2007 v.1.2
CONSUMO RISORSE NON RINNOVABILI	MJ	CED –Cumulative Energy Demand (v.2.0)[2]
CONSUMO ACQUA	litri	Inventario delle sostanze. Comprende consumi diretti e indiretti

Tab. 2 – Elenco degli indicatori di impatto ambientale e dei relativi metodi utilizzati per lo studio.

1.5- INVENTARIO

1.5.1- Raccolta dati

Procedimento: la raccolta dati è stata effettuata mediante apposite check-list elaborate ad hoc e riempite da un referente di progetto che ha coinvolto le 3 aziende del campione. In tab. 3 si indica la sintesi dei dati raccolti.
L'inventario fa riferimento a tre scenari, ciascuno con le proprie dosi di fertilizzazione e rispettive rese, tutti gli altri dati sono comuni ai tre scenari: i dati diversi (quantità concime di copertura e resa) vengono evidenziati in giallo per ciascuno scenario, tutti gli altri dati si ripetono uguali.

[1] Pré (Product Ecology), "SimaPro 7.1 – Reference Manual", 2007.
[2] Frischknecht R., Jungbluth N., et.al. (2003). Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Final report ecoinvent 2000, Swiss Centre for LCI. Duebendorf, CH, www.ecoinvent.ch

	COLTIVAZIONE FRUMENTO CON CONCIMAZIONE BASSO CONTENUTO N	COLTIVAZIONE FRUMENTO CON CONCIMAZIONE MEDIO CONTENUTO N	COLTIVAZIONE FRUMENTO CON CONCIMAZIONE ALTO CONTENUTO N
FRUMENTO IN GRANELLA (kg/ha)	**3830**	**4220**	**4420**
PAGLIA (kg/ha)	**2553**	**2813**	**2947**
DATI DI INPUT			
SEMI (kg/ha)	300	300	300
IMBALLAGGIO PER SEMI(kg)	Big-bag in PP/PET	Big-bag in PP/PET	Big-bag in PP/PET
PESO VUOTO IMBALLAGGIO PER SEMI (kg)	1,305	1,305	1,305
CAPACITÁ IMBALLAGGIO SEMI (kg)	500	500	500
DISTANZA FORNITORE SEMI (km)	8	8	8
GASOLIO PER OPERAZIONI COLTURALI (l/ha)	80,3	80,3	80,3
FERTILIZZANTE PER CONCIMAZIONE DI FONDO	FOSFATO BIAMMONICO	FOSFATO BIAMMONICO	FOSFATO BIAMMONICO
COMPOSIZIONE FERTILIZZANTE CONCIMAZIONE DI FONDO	18% N, 46% P	18% N, 46% P	18% N, 46% P
QUANTITÁ FERTILIZZANTE CONCIMAZIONE DI FONDO (kg/ha)	250	250	250
IMBALLAGGIO PER FERTILIZZANTE CONCIMAZIONE DI FONDO (kg)	Big-bag in PP	Big-bag in PP	Big-bag in PP
PESO VUOTO IMBALLAGGIO PER FERTILIZZANTE CONCIMAZIONE DI FONDO (kg)	1,09	1,09	1,09
CAPACITÁ IMBALLAGGIO FERTILIZZANTE CONCIMAZIONE DI FONDO (kg)	500	500	500
DISTANZA FORNITORE FERTILIZZANTE CONCIMAZIONE DI FONDO (km)	8	8	8
FERTILIZZANTE PER CONCIMAZIONE DI FONDO	NITRATO AMMONICO	NITRATO AMMONICO	NITRATO AMMONICO
COMPOSIZIONE FERTILIZZANTE CONCIMAZIONE DI FONDO	26% N	26% N	26% N
QUANTITÁ FERTILIZZANTE CONCIMAZIONE DI COPERTURA (kg/ha)	350	440	530
IMBALLAGGIO PER FERTILIZZANTE CONCIMAZIONE DI COPERTURA (kg)	Big-bag in PP	Big-bag in PP	Big-bag in PP
PESO VUOTO IMBALLAGGIO PER FERTILIZZANTE CONCIMAZIONE DI COPERTURA (kg)	1,09	1,09	1,09
CAPACITÁ IMBALLAGGIO FERTILIZZANTE CONCIMAZIONE DI COPERTURA (kg)	500	500	500
DISTANZA FORNITORE FERTILIZZANTE CONCIMAZIONE DI COPERTURA (km)	8	8	8
PRINCIPIO ATTIVO DISERBANTE PRE-LAVORAZIONE	GLYPHOSATE: 30%	GLYPHOSATE: 30%	GLYPHOSATE: 30%
QUANTITÁ DISERBANTE PRE-LAVORAZIONE (l/ha)	0,875 kg[3]	0,875 kg	0,875 kg
IMBALLAGGIO PER DISERBANTE PRE-LAVORAZIONE (kg)	Contenitore PP	Contenitore PP	Contenitore PP
PESO VUOTO IMBALLAGGIO PER DISERBANTE PRE-LAVORAZIONE (kg)	1,38	1,38	1,38
CAPACITÁ IMBALLAGGIO DISERBANTE PRE-LAVORAZIONE (l)	20	20	20
DISTANZA FORNITORE DISERBANTE PRE-LAVORAZIONE (km)	8	8	8
PRINCIPIO ATTIVO DISERBANTE IN COPERTURA GRAMINICIDA	PINOXADEN: 5,05%; CLOQUINTOCET-MEXYL: 1,26%	PINOXADEN: 5,05%; CLOQUINTOCET-MEXYL: 1,26%	PINOXADEN: 5,05%; CLOQUINTOCET-MEXYL: 1,26%
QUANTITÁ DISERBANTE IN COPERTURA GRAMINICIDA (l/ha)	1	1	1
IMBALLAGGIO PER DISERBANTE IN COPERTURA GRAMINICIDA (kg)	Contenitore PP	Contenitore PP	Contenitore PP
PESO VUOTO IMBALLAGGIO PER DISERBANTE IN COPERTURA GRAMINICIDA (kg)	0,6	0,6	0,6
CAPACITÁ IMBALLAGGIO DISERBANTE IN COPERTURA GRAMINICIDA (l)	5	5	5
DISTANZA FORNITORE DISERBANTE IN COPERTURA FOGLIA LARGA (km)	8	8	8
PRINCIPIO ATTIVO DISERBANTE IN COPERTURA FOGLIA	TIFENSULFURON METILE:	TIFENSULFURON METILE:	TIFENSULFURON METILE:

[3] La quantità di diserbante pre-lavorazione viene calcolata come la metà della quantità totale impiegata, poiché tale diserbo viene effettuato ogni due anni: 1,75/2=0,875.

LARGA	33,3% TRIBENURON METILE PURO: 16,7%	33,3% TRIBENURON METILE PURO: 16,7%	33,3% TRIBENURON METILE PURO: 16,7%
QUANTITÁ DISERBANTE IN COPERTURA FOGLIA LARGA (l/ha)	0,05	0,05	0,05
DISTANZA FORNITORE FUNGICIDA (km)	8	8	8
PRINCIPIO ATTIVO FUNGICIDA	PROCLORAZ PURO: 34,8% PROPICONAZOLO PURO: 7,8%	PROCLORAZ PURO: 34,8% PROPICONAZOLO PURO: 7,8%	PROCLORAZ PURO: 34,8% PROPICONAZOLO PURO: 7,8%
QUANTITÁ FUNGICIDA (l/ha)	1,10	1,10	1,10
IMBALLAGGIO PER FUNGICIDA (kg)	Contenitore PP	Contenitore PP	Contenitore PP
PESO VUOTO IMBALLAGGIO PER FUNGICIDA (kg)	0,860	0,860	0,860
CAPACITÁ IMBALLAGGIO FUNGICIDA (l)	10	10	10
DISTANZA FORNITORE FUNGICIDA (km)	8	8	8
ACQUA PER DILUIZIONE DISERBANTI VARI E FUNGICIDA	415	415	415
GASOLIO PER RACCOLTA FRUMENTO (dato medio fra due carri elevatori da 25q e 50 q)	20	20	
DISTANZA MEDIA FRA AZIENDE E CENTRO STOCCAGGIO	8	8	8
GASOLIO PER PRESSATURA PAGLIA (kg/ha)	7[4]	7	7
RIFIUTI GENERATI	IMBALLAGGI VARI E FILO PER PAGLIA	IMBALLAGGI VARI E FILO PER PAGLIA	IMBALLAGGI VARI E FILO PER PAGLIA
QUANTIÁ RIFIUTI GENERATI (kg)	4,7	4,7	4,7
MODALITÁ DI SMALTIMENTO	RICICLO	RICICLO	RICICLO

Tab. 3 – Dati raccolti per lo studio LCA della coltivazione di frumento: 3 scenari di coltivazione.

[4] La quantità di gasolio viene calcolata come la metà della quantità totale impiegata, poiché una metà delle aziende pressa la paglia e l'altra metà la lascia sul terreno: 14/2=7.

1.5.2- Modelli

In base ai dati raccolti si costruisce il modello LCI *(Life Cycle Inventory)*, ovvero il modello di inventario che rappresenta la coltivazione del frumento per pasta: l'inventario contiene dati primari raccolti sul campo e descritti da processi di banca dati Ecoinvent v.2.2 rappresentativi per analogia geografica e tecnologica. Poiché l'unico dato di input che cambia per i 3 scenari è la quantità di concime impiegata, la variazione dei dati riguarda solo tale quantità (tab. 3) e le relative emissioni (tab. 4).

EMISSIONI DA USO FERTILIZZANTI: ***CALCOLO PER I 3 SCENARI DI COLTIVAZIONE DEL FRUMENTO***			
	COLTIVAZIONE FRUMENTO CON CONCIMAZIONE BASSO CONTENUTO N	**COLTIVAZIONE FRUMENTO CON CONCIMAZIONE MEDIO CONTENUTO N**	**COLTIVAZIONE FRUMENTO CON CONCIMAZIONE ALTO CONTENUTO N**
N_2O emessa n aria	4,5601 kg	5,3409 kg	6,1227 kg
NH_3 emessa in aria	4,07 kg	4,538 kg	5,006 kg
NO_3 emessa in acqua	180,8 kg	211,8 kg	242,9 kg

Tab. 4 – Inventario delle emissioni derivanti da uso dei fertilizzanti.

1.6- ANALISI DEGLI IMPATTI POTENZIALI ED INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Con riferimento agli indicatori di tab.2 si procede all'analisi degli impatti dei 3 scenari di coltivazione del frumento (tab. 5 e fig. 2, 3 e 4).

INDICATORE DI IMPATTO	**UDM**	**COLTIVAZIONE FRUMENTO CON CONCIMAZIONE BASSO CONTENUTO N**	**COLTIVAZIONE FRUMENTO CON CONCIMAZIONE MEDIO CONTENUTO N**	**COLTIVAZIONE FRUMENTO CON CONCIMAZIONE ALTO CONTENUTO N**
RISCALDAMENTO GLOBALE	kg CO_{2eq}	0,449	0,468	0,506
CONSUMO RISORSE NON RINNOVABILI	MJ	1,791	1,82	1,925
CONSUMO ACQUA	litri	276,81	279,05	288,17

Tab. 5 – Potenziali impatti ambientali dei 3 scenari di coltivazione e della raccolta di frumento (UF=1kg).

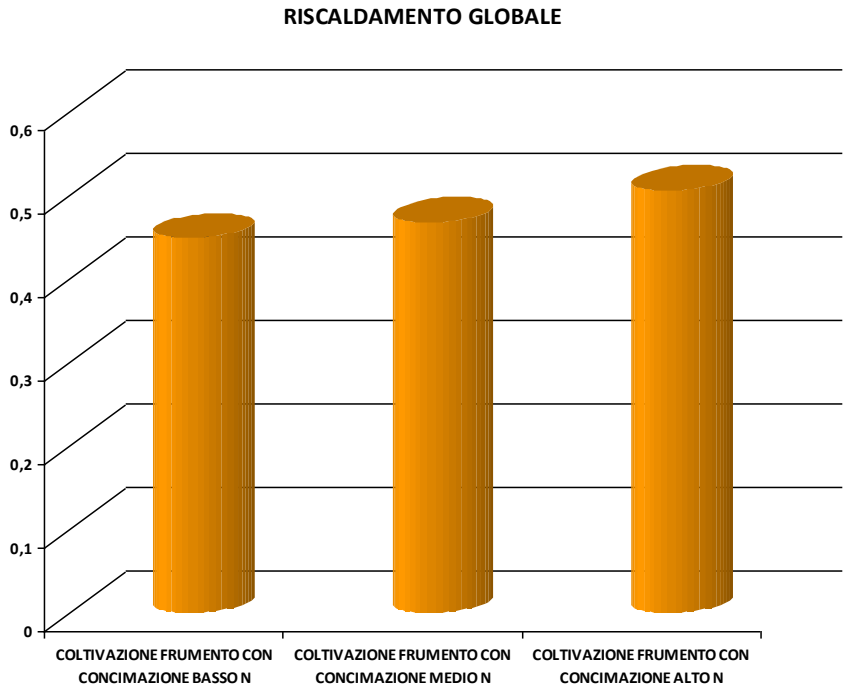


Fig. 2 - Confronto impatti su riscaldamento globale per i 3 scenari di coltivazione [UF:1kg].

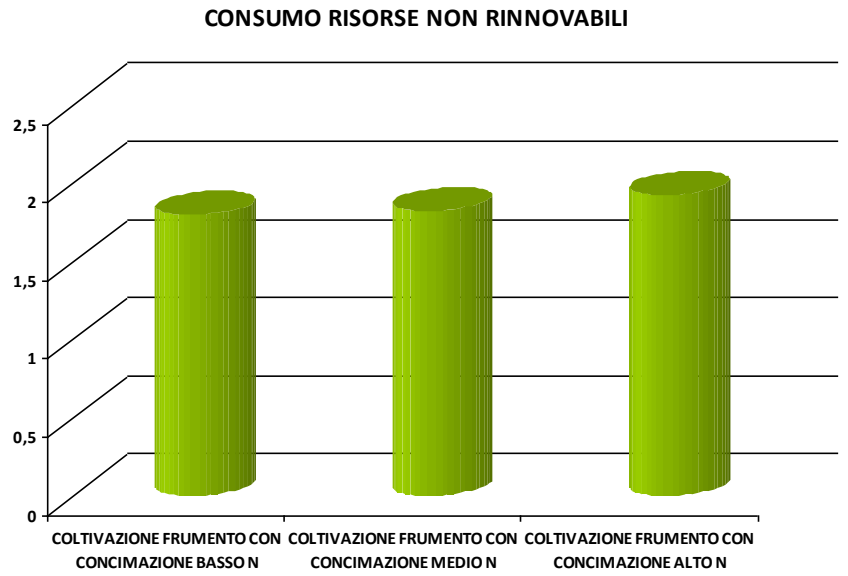


Fig. 3 - Confronto impatti su consumo risorse non rinnovabili per i 3 scenari di coltivazione [UF:1kg].

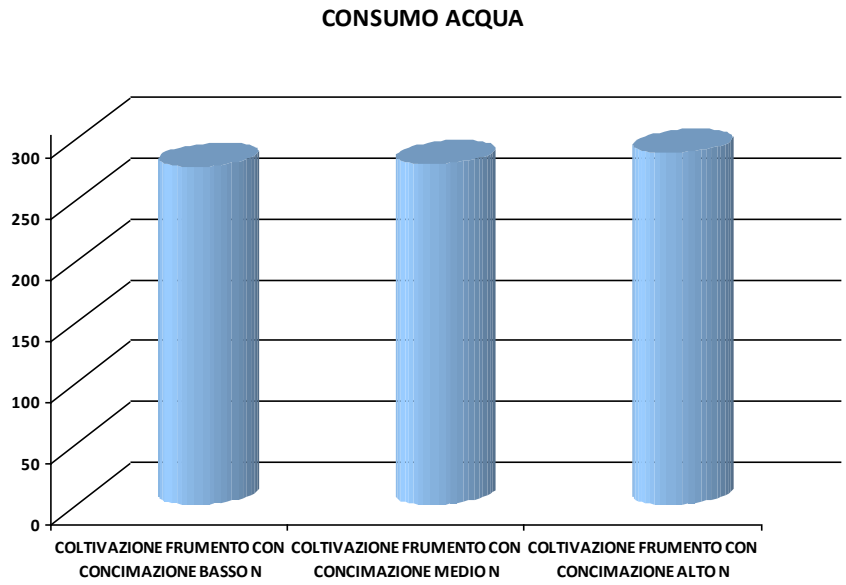


Fig. 4 - Confronto impatti su consumo acqua per i 3 scenari di coltivazione [UF:1kg].

Dai risultati in tabella 6 e figura 2 si nota come l'andamento dell'entità degli impatti sia allineato con la maggiore quantità di concime adottato: gli impatti maggiori, riferiti ad 1 kg di prodotto, infatti sono quelli dello scenario con concimazione ad alto contenuto di N. Si calcola che, passando dallo scenario a basso contenuto di N a quello ad alto contenuto di N, con un incremento della resa del 15% e dell'azoto del 51%, si ha un aumento degli impatti pari a:

- 13% per il riscaldamento globale;
- 7% per il consumo di risorse non rinnovabili;
- 4% per il consumo di acqua.

L'aumento degli impatti legati al riscaldamento globale è dovuto sia alle emissioni di CO_2 fossile per la produzione di quantità maggiori di fertilizzanti utilizzati e sia all'aumento di protossido di azoto emesso in aria in fase di uso dei fertilizzanti (fenomeni di nitrificazione legati allo spandimento del concime sul suolo).
Il consumo di risorse rinnovabili e di acqua aumentano poiché aumenta la quantità di fertilizzante per la concimazione di copertura e quindi aumentano i consumi in fase di produzione di questi fertilizzanti.

Per ciascuno degli scenari, inoltre, la distribuzione del contributo degli impatti si ripete in maniera molto simile, si analizza, nello specifico lo scenario a basso contenuto di N (tab.7 e fig. 5, 6, 7).

	SEMI	IMBALLAGGI VARI	TRASPORTI DI FORNITURA	FERTILIZZANTI	AGROFARMACI	EMISSIONI DA USO FERTILIZZANTI	CONSUMO GASOLIO
RISCALDAMENTO GLOBALE	0,001722	0,001539	0,001525	0,170389	0,004948	0,213441	0,055829
CONSUMO RISORSE NON RINNOVABILI	7,92E-05	0,040147	0,026024	1,62729	0,096454	0	0,000128
CONSUMO ACQUA	48,00	2,42	2,95	162,00	50,41	0,00	10,86

Tab. 6 – Distribuzione dei potenziali impatti ambientali per lo scenario di coltivazione frumento a basso N (UF=1kg).

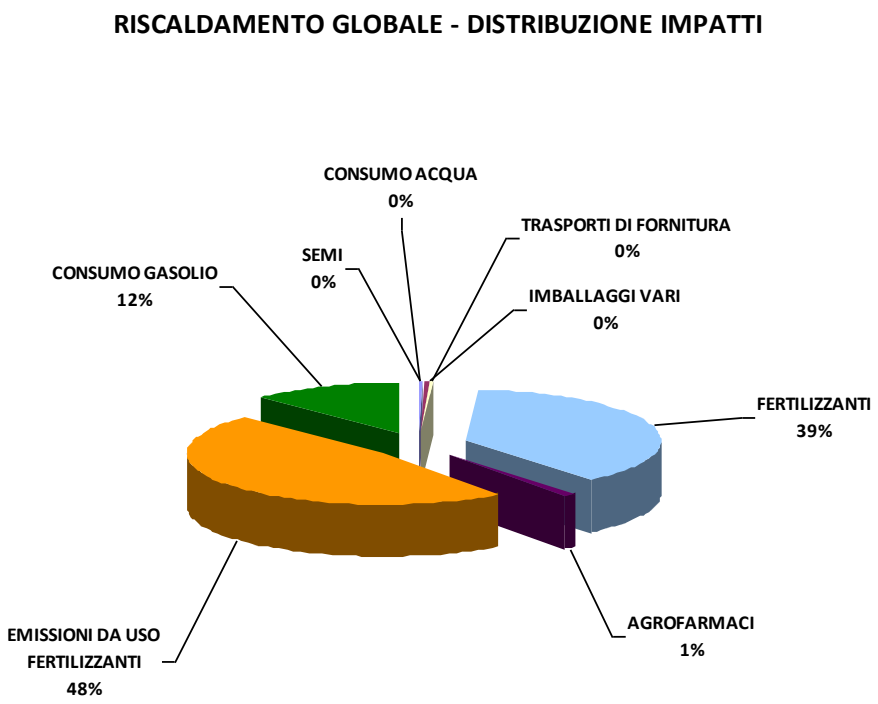


Fig. 5 – Distribuzione impatti per lo scenario di coltivazione frumento a basso N (riscaldamento globale).

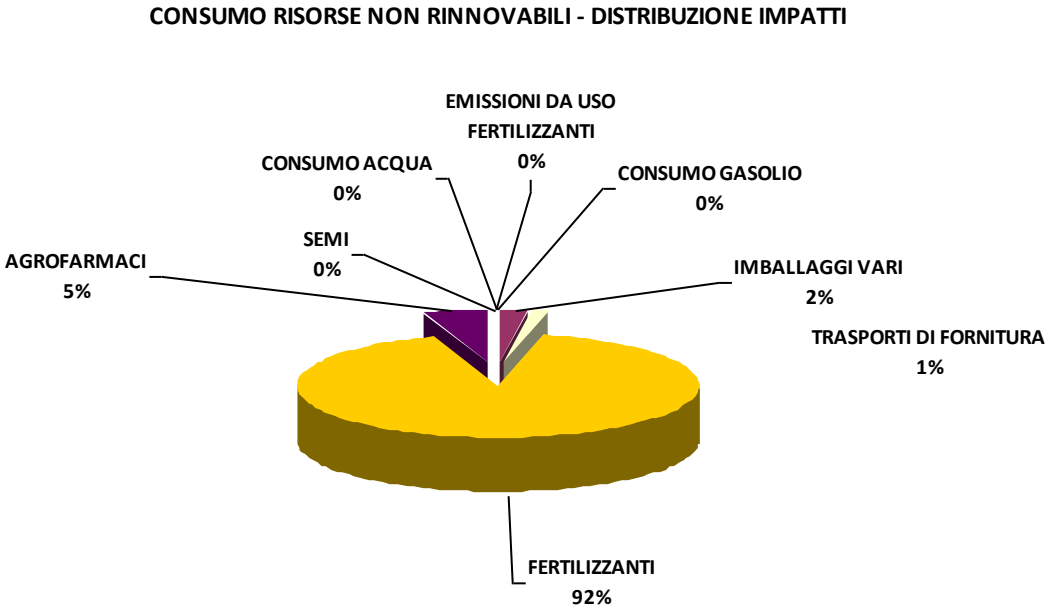


Fig. 6 – Distribuzione impatti per lo scenario di coltivazione frumento a basso N (consumo risorse non rinnovabili).

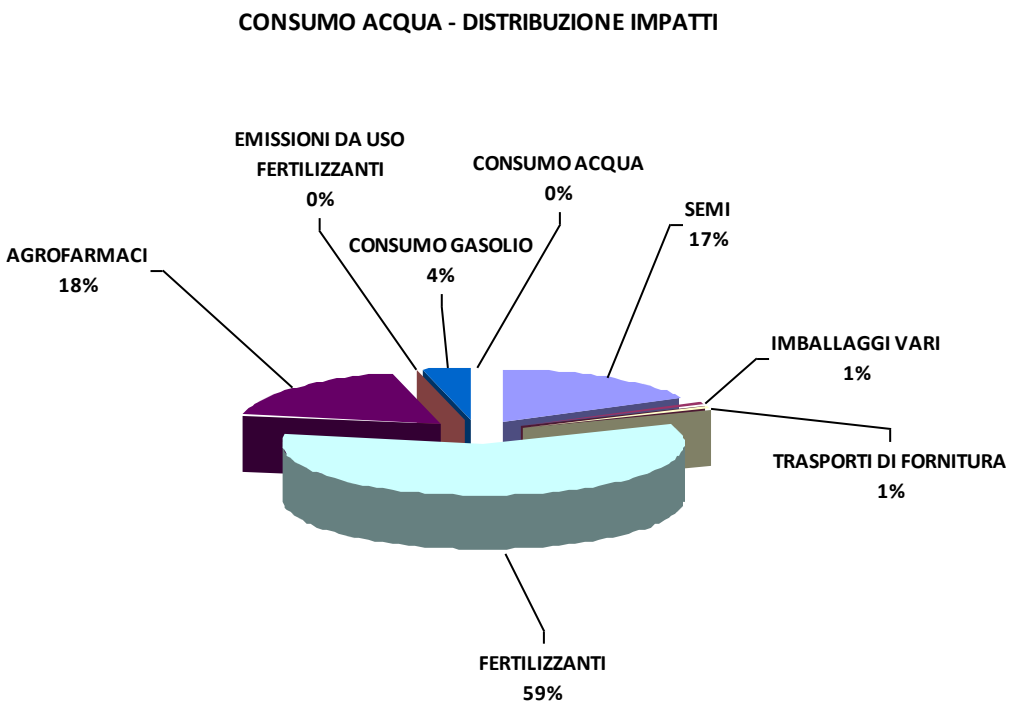


Fig. 7 – Distribuzione impatti per lo scenario di coltivazione frumento a basso N (consumo risorse acqua).

Nel complesso, quindi, i dati più sensibili dal punto di vista ambientale sono la produzione dei fertilizzanti impiegati e le relative emissioni e il consumo di gasolio, nel caso del consumo di acqua anche la produzione del seme e degli agro farmaci impiegati hanno un contributo significativo. Soprattutto per l'indicatore legato alla carbon footprint, quindi, tenere sotto controllo il contributo dell'azoto nella fase di concimazione ha conseguenze importanti dal punto di vista ambientale.

GLOSSARIO

Allocazione: Ripartizione nel sistema di prodotto allo studio dei flussi in entrata e in uscita di una unità di processo.
Analisi dell'inventario del ciclo di vita - LCI: Fase della valutazione del ciclo di vita che comprende la compilazione e la quantificazione dei flussi in entrata e in uscita, per un dato sistema di prodotti nel corso del suo ciclo di vita.
Aspetto ambientale: Elemento di un'attività, prodotto o servizio di un'organizzazione, che può interagire con l'ambiente.
Categoria di impatto: Classe che rappresenta i fattori ambientali interessati, ai quali i risultati dell'LCI possono essere assegnati.
Ciclo di vita: Fasi consecutive e interconnesse di un sistema di prodotti, a partire dall'acquisizione delle materie prime o dalla generazione delle risorse naturali, fino allo smaltimento finale.
Confine del sistema: Interfaccia fra un sistema di prodotto e l'ambiente o un altro sistema di prodotto.
Co-prodotto: Uno qualsiasi di due o più prodotti che escono dalla medesima unità di processo, di un sistema di prodotto, o dai risultati della valutazione del ciclo di vita.
Ecoinvent: The Swiss centre for Life Cycle Inventories

Effetto serra: Presenza nell'atmosfera di gas serra che assorbono radiazione infrarossa emessa dalla terra, l'aumento della loro concentrazione provoca l'incremento della temperatura che può avere conseguenze gravi sul clima terrestre.
Energia di processo: Energia in ingresso richiesta da un'unità di processo per il funzionamento del processo stesso o di un'apparecchiatura di processo, escludendo l'energia in ingresso necessaria per produrre e distribuire detta energia.
Fattore di caratterizzazione : Fattore derivato da un modello di caratterizzazione, che è applicato per convertire i risultati assegnati dell'LCI nell'unità comune dell'indicatore di categoria. Nota: L'unità comune permette di raggruppare i risultati nell'indicatore di categoria.
Flusso di energia: Quantità in ingresso o in uscita da un'unità di processo o da sistemi di prodotti, espresse in unità di energia.
Flusso elementare: 1) materia o energia che entra nel sistema allo studio, prelevati dall'ambiente senza alcuna preventiva trasformazione operata dall'uomo; 2) materia o energia che esce dal sistema allo studio, scaricati nell'ambiente senza alcuna ulteriore trasformazione operata dall'uomo.
Flusso in entrata (input): Materia o energia che entra in una unità di processo. Nota: La materia può essere costituita da materie prime e da prodotti.
Flusso in uscita (output): Materia o energia che esce da una unità di processo. Nota: La materia può essere costituita da materie prime, da prodotti intermedi, da prodotti, da emissioni e da rifiuti.
Global warming (GWP 100): Riscaldamento Globale (misura del contributo all'effetto serra, riferito ad un periodo di 100 anni).
Indicatore di categoria di impatto del ciclo di vita: Rappresentazione quantificabile di una categoria di impatto.
Interpretazione del ciclo di vita: Fase della valutazione del ciclo di vita, nella quale l'analisi dell'inventario o la valutazione dell'impatto, o entrambi, sono combinati coerentemente con l'obbiettivo prestabilito e lo scopo da raggiungere, al fine di ricavare conclusioni e raccomandazioni.
ISO: International Standard Organisation
LCA: Life Cycle Assessment, analisi del ciclo di vita
LCI: Life Cycle Inventory, analisi di inventario del ciclo di vita
LCIA: Life Cycle Impact Assessment, valutazione di impatto del ciclo di vita.
Materia prima: Materia primaria o secondaria utilizzata per realizzare un prodotto.
Materiale ausiliario in ingresso: Materiale in ingresso che viene utilizzato dall'unità di processo per realizzare il prodotto, ma che non costituisce una parte del prodotto stesso.
Prodotto finale: Prodotto che non necessita di ulteriori trasformazioni prima del suo utilizzo.
Prodotto intermedio: Prodotto in ingresso o in uscita da un'unità di processo che richiede un'ulteriore trasformazione.
Qualità dei dati: Caratteristica dei dati consistente nella capacità di soddisfare i requisiti stabiliti.
Rifiuto: Tutto ciò che esce dal sistema di prodotto, che è destinato allo smaltimento.
Risultato dell'analisi di inventario del ciclo di vita/risultato dell'LCI: Esito dell'analisi di inventario del ciclo di vita, che comprende i flussi che attraversano i confini del sistema e che fornisce il punto di partenza per la valutazione dell'impatto del ciclo di vita.
Sistema di prodotti: Insieme elementare di unità di processo connesse tra loro per quanto riguarda materia e energia, che perseguono una o più funzioni definite.
UNI: Ente nazionale italiano di unificazione.
Unità di processo: La più piccola parte di un sistema di prodotto, per la quale sono stati raccolti i dati nel corso della valutazione del ciclo di vita.

Fase 8 : Divulgazione dei risultati

Questa fase ha previsto vari sistemi di divulgazione dei risultati ottenuti:

- Presentazione all' Expo Rurale 2013 tenutosi a Firenze;
- Esercitazioni pratiche durante il Corso di Agronomia della Scuola di Agraria tenuto dal Prof. Simone Orlandini, anni 2012 e 2013
- Poster informative presso le aziende agricole coinvolte;
  Video pubblicitario per web

Di seguito vengono riportati I poster esposti presso le aziende agricole.

•

Azienda Agricola Di Donato A.R.V.E. (Aniceto, Roberto, Vittorio, Enzo)

Misura 124 del PSR 2007-2013 –
"Cooperazione per lo sviluppo di nuovi prodotti, processi e tecnologie nei settori agricolo e alimentare e in quello forestale"
Bando PIF fase 1 – 2011 - Filiera di riferimento CEREALICOLA

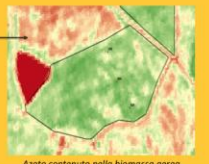
APPCoT - Agricoltura di Precisione per la Pasta dei Coltivatori Toscani

ASPETTI INNOVATIVI

Il progetto prevede l'adozione di tecniche di agricoltura sito specifica per la coltivazione del frumento duro.
In particolare si distingue da progetti simili perché prende in considerazione l'intera area della Val d'Orcia e coinvolge più agricoltori che adottano un modello innovativo di gestione agronomica delle fertilizzazioni azotate di copertura.
Gli aspetti innovativi specifici più importanti riguardano:

- Impiego di immagini telerilevate per il monitoraggio vegetazionale del frumento duro;
- Impiego di equipaggiamenti GPS-RTK nelle trattrici e nelle mietitrebbiatrici per la georeferenziazione;
- Installazione della rete RTK per la copertura dell'intera area della Val d'Orcia;
- Adozione di un modello agronomico per la gestione sito specifica della fertilizzazione azotata di copertura;
- Messa a punto di un geodatabase per l'archiviazione di tutte le informazioni in forma di fascicolo aziendale.

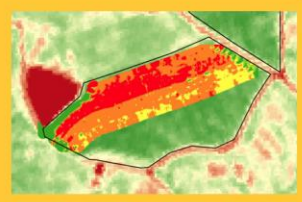
Monitoraggio vegetazionale effettuato con telerilevamento sull'intera Val d'Orcia. Evidenziate le parcelle sperimentali ed i punti di campionamento del 2012. Il colore indica il diverso rigoglio vegetazionale.



Azoto contenuto nella biomassa aerea (centigrammi per m²) in fase di levata, stimato a partire da informazioni telerilevate.

Indice di vegetazione NDVI-RE (Normalized Difference Vegetation Index Red Edge) elaborato da immagine satellitare Rapid Eye acquisita in fase di botticella (12 Aprile 2013)

Mappa di prescrizione della fertilizzazione azotata di copertura elaborata da indici vegetazionali. Tre livelli: alto=1; medio=2; basso=3.



Esempio mappa di resa (anno 2012) in cui sono distinguibili le fasi di taratura del sistema di misurazione

Sistema di controllo della resa installato sulle mietitrebbiatrice

SOGGETTI PARTNER

- Consorzio Agrario di Siena
- Az. Agr. Palazzi di Nardi Enzo
- Rappuoli Massimiliano
- Azienda Agricola Di Donato A.R.V.E. (Aniceto, Roberto, Vittorio e Enzo)
- Dipartimento di scienze delle produzioni agroalimentari e dell'ambiente (DiSPAA) - Università degli Studi di Firenze
- Fondazione per il Clima e la Sostenibilità (FCS)

COSTO TOTALE: 474.900,00 €
CONTRIBUTO: 390.180,00 €
DURATA: dicembre 2011 - gennaio 2014

OBIETTIVO

Obiettivo generale del progetto è lo sviluppo di un modello produttivo innovativo basato sull'integrazione della conoscenza agronomica con la più moderna tecnologia per il monitoraggio ambientale e la localizzazione spaziale delle macchine operatrici e la sua applicazione alle aziende della Val d'Orcia.
In particolare, gli obiettivi innovativi posti sono:

- equipaggiare le macchine operatrici con sistemi GPS e di teleguida che permettano di gestire le informazioni georiferite e di trasferirle ai mezzi meccanici impiegati per le operazioni colturali;
- impiegare le immagini satellitari ad alta risoluzione spaziale (5x5 m), acquisite su commissione, per ottenere informazioni sullo stato della coltura, quali quantità di biomassa presente, vigoria, contenuto di azoto, operando su tutta la Val d'Orcia;
- interpretare le mappe degli indici di vegetazione e tradurle in mappe di prescrizione per alimentare i computer di bordo delle trattrici e guidare la fertilizzazione azotata di copertura;
- raccogliere ed archiviare tutte le informazioni in un geodatabase, utile non solo per la tracciabilità di tutte le attività svolte, ma anche per affinare sempre di più le operazioni colturali e adottare nuovi modelli produttivi.

CONTATTI

Soggetto capofila:
Roberto Ceccuzzi
r.ceccuzzi@capsi.it; 0577 230225 (Consorzio Agrario di Siena)

Soggetti scientifici:
Simone Orlandini
simone.orlandini@unifi.it; 055 3288257 (DISPAA-UNIFI)

Marco Mancini
fcs@ibimet.cnr.it; 055 3033726 (FCS)

Pasta dei Coltivatori Toscani

Azienda Agricola di Rappuoli Massimiliano

Misura 124 del PSR 2007-2013 –
"Cooperazione per lo sviluppo di nuovi prodotti, processi e tecnologie nei settori agricolo e alimentare e in quello forestale"
Bando PIF fase 1 – 2011 - Filiera di riferimento CEREALICOLA

APPCoT - Agricoltura di Precisione per la Pasta dei Coltivatori Toscani

ASPETTI INNOVATIVI

Il progetto prevede l'adozione di tecniche di agricoltura sito specifica per la coltivazione del frumento duro.
In particolare si distingue da progetti simili perché prende in considerazione l'intera area della Val d'Orcia e coinvolge più agricoltori che adottano un modello innovativo di gestione agronomica delle fertilizzazioni azotate di copertura.
Gli aspetti innovativi specifici più importanti riguardano:

- Impiego di immagini telerilevate per il monitoraggio vegetazionale del frumento duro;
- Impiego di equipaggiamenti GPS-RTK nelle trattrici e nelle mietitrebbiatrici per la georeferenziazione;
- Installazione della rete RTK per la copertura dell'intera area della Val d'Orcia;
- Adozione di un modello agronomico per la gestione sito specifica della fertilizzazione azotata di copertura;
- Messa a punto di un geodatabase per l'archiviazione di tutte le informazioni in forma di fascicolo aziendale.

Monitoraggio vegetazionale effettuato con telerilevamento sull'intera Val d'Orcia. Evidenziate le parcelle sperimentali ed i punti di campionamento del 2012.
Il colore indica il diverso rigoglio vegetazionale.

Azoto contenuto nella biomassa aerea in fase di levata, stimato a partire da informazioni telerilevate.

SOGGETTI PARTNER

- Consorzio Agrario di Siena
- Az. Agr. Palazzi di Nardi Enzo
- Rappuoli Massimiliano
- Azienda Agricola Di Donato A.R.V.E. (Aniceto, Roberto, Vittorio e Enzo)
- Dipartimento di scienze delle produzioni agroalimentari e dell'ambiente (DiSPAA) - Università degli Studi di Firenze
- Fondazione per il Clima e la Sostenibilità (FCS)

COSTO TOTALE: 474.900,00 €
CONTRIBUTO: 390.180,00 €
DURATA: dicembre 2011 - gennaio 2014

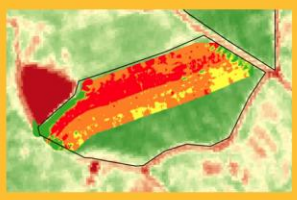
Indice di vegetazione NDVI-RE (Normalized Difference Vegetation Index Red Edge) elaborato da immagine satellitare Rapid Eye acquisita in fase di botticella (12 Aprile 2013)

Mappa di prescrizione della fertilizzazione azotata di copertura elaborata da indici vegetazionali. Tre livelli: alto=1; medio=2; basso=3.

OBIETTIVO

Obiettivo generale del progetto è lo sviluppo di un modello produttivo innovativo basato sull'integrazione della conoscenza agronomica con la più moderna tecnologia per il monitoraggio ambientale e la localizzazione spaziale delle macchine operatrici e la sua applicazione alle aziende della Val d'Orcia.
In particolare, gli obiettivi innovativi posti sono:

- equipaggiare le macchine operatrici con sistemi GPS e di teleguida che permettano di gestire le informazioni georiferite e di trasferirle ai mezzi meccanici impiegati per le operazioni colturali;
- impiegare le immagini satellitari ad alta risoluzione spaziale (5x5 m), acquisite su commissione, per ottenere informazioni sullo stato della coltura, quali quantità di biomassa presente, vigoria, contenuto di azoto, operando su tutta la Val d'Orcia;
- interpretare le mappe degli indici di vegetazione e tradurle in mappe di prescrizione per alimentare i computer di bordo delle trattrici e guidare la fertilizzazione azotata di copertura;
- raccogliere ed archiviare tutte le informazioni in un geodatabase, utile non solo per la tracciabilità di tutte le attività svolte, ma anche per affinare sempre di più le operazioni colturali e adottare nuovi modelli produttivi.



Esempio mappa di resa (anno 2012) in cui sono distinguibili le fasi di taratura del sistema di misurazione

Sistema di controllo della resa installato sulla mietitrebbiatrice

Pasta dei Coltivatori Toscani

CONTATTI

Soggetto capofila:
Roberto Ceccuzzi
r.ceccuzzi@capsi.it; 0577 230225 (Consorzio Agrario di Siena)

Soggetti scientifici:
Simone Orlandini
simone.orlandini@unifi.it; 055 3288257 (DISPAA-UNIFI)

Marco Mancini
fcs@ibimet.cnr.it; 055 3033726 (FCS)

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DISPAA DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLE PRODUZIONI AGROALIMENTARI E DELL'AMBIENTE

CONSORZIO AGRARIO SIENA

Fondazione Clima e Sostenibilità

Azienda Agricola Palazzi di Nardi Enzo

Misura 124 del PSR 2007-2013 –
"Cooperazione per lo sviluppo di nuovi prodotti, processi e tecnologie nei settori agricolo e alimentare e in quello forestale"
Bando PIF fase 1 – 2011 - Filiera di riferimento CEREALICOLA

Comunità Europea
Fondo Europeo agricolo per lo sviluppo rurale (FEASR)
L'Europa investe nelle zone rurali

REGIONE TOSCANA

Coltiviamo il Futuro
PSR PROGRAMMA DI SVILUPPO RURALE 2007-2013

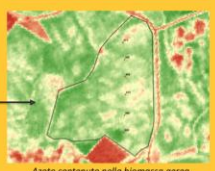
APPCoT - Agricoltura di Precisione per la Pasta dei Coltivatori Toscani

ASPETTI INNOVATIVI

Il progetto prevede l'adozione di tecniche di agricoltura sito specifica per la coltivazione del frumento duro.
In particolare si distingue da progetti simili perché prende in considerazione l'intera area della Val d'Orcia e coinvolge più agricoltori che adottano un modello innovativo di gestione agronomica delle fertilizzazioni azotate di copertura.
Gli aspetti innovativi specifici più importanti riguardano:

- Impiego di immagini telerilevate per il monitoraggio vegetazionale del frumento duro;
- Impiego di equipaggiamenti GPS-RTK nelle trattrici e nelle mietitrebbiatrici per la georeferenziazione;
- Installazione della rete RTK per la copertura dell'intera area della Val d'Orcia;
- Adozione di un modello agronomico per la gestione sito specifica della fertilizzazione azotata di copertura;
- Messa a punto di un geodatabase per l'archiviazione di tutte le informazioni in forma di fascicolo aziendale.

Monitoraggio vegetazionale effettuato con telerilevamento sull'intera Val d'Orcia. Evidenziate le parcelle sperimentali ed i punti di campionamento del 2012. Il colore indica il diverso rigoglio vegetazionale.



Azoto contenuto nella biomassa aerea (centigrammi per m²) in fase di levata, stimato a partire da informazioni telerilevate.

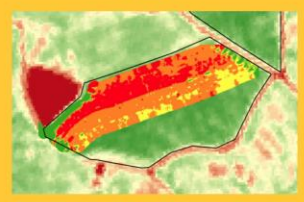
SOGGETTI PARTNER

- Consorzio Agrario di Siena
- Az. Agr. Palazzi di Nardi Enzo
- Rappuoli Massimiliano
- Azienda Agricola Di Donato A.R.V.E. (Aniceto, Roberto, Vittorio e Enzo)
- Dipartimento di scienze delle produzioni agroalimentari e dell'ambiente (DiSPAA) - Università degli Studi di Firenze
- Fondazione per il Clima e la Sostenibilità (FCS)

COSTO TOTALE: 474.900,00 €
CONTRIBUTO: 390.180,00 €
DURATA: dicembre 2011 - gennaio 2014

Indice di vegetazione NDVI-RE (Normalized Difference Vegetation Index Red Edge) elaborato da immagine satellitare Rapid Eye acquisita in fase di botticella (12 Aprile 2013)

Mappa di prescrizione della fertilizzazione azotata di copertura elaborata da indici vegetazionali. Tre livelli: alto=1; medio=2; basso=3.



Esempio mappa di resa (anno 2012) in cui sono distinguibili le fasi di taratura del sistema di misurazione

Sistema di controllo della resa installato sulla mietitrebbiatrice e sul trattore con spandiconcime

OBIETTIVO

Obiettivo generale del progetto è lo sviluppo di un modello produttivo innovativo basato sull'integrazione della conoscenza agronomica con la più moderna tecnologia per il monitoraggio ambientale e la localizzazione spaziale delle macchine operatrici e la sua applicazione alle aziende della Val d'Orcia.
In particolare, gli obiettivi innovativi posti sono:

- equipaggiare le macchine operatrici con sistemi GPS e di teleguida che permettano di gestire le informazioni georiferite e di trasferirle ai mezzi meccanici impiegati per le operazioni colturali;
- impiegare le immagini satellitari ad alta risoluzione spaziale (5x5 m), acquisite su commissione, per ottenere informazioni sullo stato della coltura, quali quantità di biomassa presente, vigoria, contenuto di azoto, operando su tutta la Val d'Orcia;
- interpretare le mappe degli indici di vegetazione e tradurle in mappe di prescrizione per alimentare i computer di bordo delle trattrici e guidare la fertilizzazione azotata di copertura;
- raccogliere ed archiviare tutte le informazioni in un geodatabase, utile non solo per la tracciabilità di tutte le attività svolte, ma anche per affinare sempre di più le operazioni colturali e adottare nuovi modelli produttivi.

CONTATTI

Soggetto capofila:
Roberto Ceccuzzi
r.ceccuzzi@capsi.it; 0577 230225 (Consorzio Agrario di Siena)

Soggetti scientifici:
Simone Orlandini
simone.orlandini@unifi.it; 055 3288257 (DISPAA-UNIFI)

Marco Mancini
fcs@ibimet.cnr.it; 055 3033726 (FCS)

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
DISPAA DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLE PRODUZIONI AGROALIMENTARI E DELL'AMBIENTE

CONSORZIO AGRARIO SIENA

Fondazione Clima e Sostenibilità

Pasta dei Coltivatori Toscani

Pasta dei Coltivatori Toscani