

ALLEGATO 5

Indagine tecnologie pubblicizzate

A cura di:

Lapo Canuti

Fondazione per il Clima e la Sostenibilità (FCS)

“Progetto MODERNO”

MOdello di Distretto Energetico Rurale inNOvativo

POR FESR 2007 - 2013 ATTIVITA' 1.1 LINEE D'INTERVENTO A E B
BANDO REGIONALE 2008 PER IL SOSTEGNO A PROGETTI DI RICERCA
CONGIUNTI TRA
GRUPPI DI IMPRESE E ORGANISMI DI RICERCA IN MATERIA
DI AMBIENTE, TRASPORTI, LOGISTICA, INFOMOBILITA' ED ENERGIA

Gassificazione della biomassa e generazione elettrica con motori alternativi a combustione interna o microturbine

La gassificazione è una tecnologia di conversione termochimica mediante la quale un combustibile solido viene trasformato in un combustibile gassoso di sintesi, comunemente denominato “syngas”. La gassificazione può essere applicata sia a combustibili fossili (ad esempio carbone) che a combustibili classificati come rinnovabili, quali la biomassa legnosa, che producono syngas con composizione diversa ma con problematiche tecnico-gestionali simili.

Il gas di sintesi syngas è costituito da una miscela dei seguenti elementi e composti chimici :

- Monossido di carbonio (CO)
- Idrogeno molecolare (H₂)
- Metano (CH₄)
- Anidride carbonica (CO₂)
- Vapore (H₂O)
- Azoto (N₂)
- Idrocarburi in tracce (etilene, etano)
- Contaminanti (ceneri, tar, char, olii)

Il syngas può essere prodotto mediante combustione parziale della biomassa (utilizzando aria od ossigeno) oppure mediante gassificazione pirolitica (utilizzando vapore). In generale si può dire che nella gassificazione sono presenti, a seconda della tecnologia utilizzata, 4 fasi :

Essiccazione -----→ eliminazione di acqua dalla biomassa

Pirolisi -----→ formazione gas di pirolisi, char e tar

Ossidazione (incompleta) -→ fornisce calore per la fase di riduzione

Riduzione (endotermica)--→ produzione syngas

Il vantaggio della gassificazione è costituito dalla facilità di accensione, trasporto e completa combustione del gas di sintesi prodotto mentre lo svantaggio è costituito dal minor potere calorifico inferiore (PCI) del gas prodotto rispetto a quello del materiale di partenza.

In Italia risultano essere attivi i seguenti sviluppatori di impianti di gassificazione di biomassa solida legnosa ad uso cogenerativo (Fonte : Indagine tecnico-economica sullo stato della gassificazione da biomasse vegetali per impianti a media e bassa potenza in Italia – Enrico Tenaglia – Greenergy 2010 – Milano – 17 Novembre 2010):

- Caema-Rivoira-E++ : licenziatari della Ankur Scientific, offrono impianti di taglia fra 500 e 1000 kW
- Guascor : costruttore spagnolo di motori alternativi a combustione interna per cogenerazione di taglia superiore a 200 kW
- Bio&Watt : licenziatari della Ankur Scientific, offrono gassificatori che differiscono da quelli di Caema per il sistema di filtraggio del gas di sintesi
- A.G.T. (Advanced Gasifier Technology) : è una società di ingegneria che progetta impianti di gassificazione
- C.I.P. (Compagnia Italiana Pellets) : società appartenente al gruppo Autogas Nord
- Cover-gas : società con sede a Verbania comprendente anche un detentore di tecnologia di gassificazione (Solenia)
- Flenco Biosolar : società nata per la progettazione e realizzazione di impianti solari termici ed impianti biogas che ha diversificato negli impianti utilizzando cicli Rankine a fluido organico (ORC)
- Di Gas : società di ingegneria che progetta impianti di pirolisi pura e distillazione frazionata

Sviluppatore	Gassificatore	Agente gassificante	Ceneri	Sistema di filtraggio	Motore
Caema/Rivoira/E++	Letto fisso downdraft	Arricchimento ossigeno	4-6%	Dry : cicloni Wet : scrubber (lavaggio gas)	Perkins 600 kW
Guascor	Letto fluido atmosferico	Aria preriscaldata	5%	Dry : manica e/o ceramica	Guascor 500 kW
Bio&Watt	Letto fisso downdraft	Aria diretta	5-10%	Dry : cicloni e filtri elettrostatici	IVECO Kerso 350 kW bifuel : 95% syngas e 5% gasolio
AGT	Letto fisso downdraft	Aria diretta	5%	Dry : filtri elettrostatici	Bifuel (gasolio 5%)
CIP	Letto fisso downdraft	Aria diretta	3%	Wet : torre di quench	IVECO 400 kW
Cover-Energy	Letto fisso downdraft				Microturbina Ingersoll Rand 250 kW
Di Gas	Distillazione gassificata	Assenza di ossigeno	3% inerti	Dry : cicloni Wet : torre di quench	Fiat 2800 metano, Fire 1200 metano
Flenco Biosolar	ORC + schema integrato solare	Aria diretta	Basse	Pulizia filtri, turbina ORC	Turbina ORC ad olio diatermico

Tabella 1 – Tecnologie e taglia pirogassificatori -

Nella tabella 1 sono riportati i parametri tecnici delle tecnologie di gassificazione ed il tipo di motore utilizzato per la generazione elettrica proposto da ciascuno degli sviluppatori di impianti di pirogassificazione citati in precedenza.

Nella tabella 2 vengono invece riportate le taglie degli impianti ed il prezzo di vendita degli stessi da parte dei relativi sviluppatori.

Sviluppatore	Potenza impianto	Prezzo di vendita	Costo per kWe installato
Caema/Rivoira/E++	1 MWe	3.000.000 €	3000 €/kWe
Guascor	1 MWe	4.000.000 €	4000 €/kWe
Bio&Watt	250 kWe	1.000.000 €	3200 €/kWe
AGT	250 kWe	820.000 €	3300 €/kWe
CIP	400 kWe	1.300.000 €	3250 €/kWe
Di Gas	150 kWe	450.000 €	3000 €/kWe
Flenco Biosolar	120 kWe	500.000 €	4000 €/kWe

Tabella 2 – Taglia potenza elettrica e prezzo pirogassificatori -

Sebbene dalle informazioni raccolte risultasse già evidente che i pirogassificatori proposti dagli sviluppatori italiani non fossero una tecnologia adatta per la realizzazione dell'impianto di microgenerazione di interesse ai fini del progetto, in quanto avevano taglia troppo grande, la Fondazione per il Clima e la Sostenibilità ha tentato ugualmente di contattare un costruttore (Solenia, gruppo Cover Energy) per avere informazioni sulla possibile realizzazione di un microgassificatore adatto all'alimentazione di un motore alternativo a combustione interna di piccola taglia (fra 3 a 15 kW) ma non ha ottenuto alcuna risposta di interesse in proposito.

Del resto lo stesso autore del rapporto sui pirogassificatori presentato al Greenergy di Milano nel Novembre 2010, ha scritto nelle slides presentate al convegno che :

- “Non è facile trarre conclusioni su quali tecnologie siano più mature ed efficienti in quanto bisognerebbe avere accesso a dati che sono riservati oppure non sono stati ancora prodotti”
- “Il costo di un impianto va da 3000 €/kWe per impianti a letto fisso a 4000 €/kWe per tecnologie a letto fluido e/o alternative come le turbine ORC”
- “Le tecnologie di pirogassificazione non sono mature come la combustione tradizionale, in quanto quasi nessuna azienda produce e commercializza impianti a medio-bassa potenza (250-1000 kWe) che possano garantire 7500-8000 ore di funzionamento all'anno.”

Comunque, nonostante i risultati di cui sopra, durante una visita effettuata presso la fiera Bioenergy Dezentral di Hannover (Germania) nel Novembre 2010 è stato notato in esposizione anche un pirogassificatore, alimentato a pellet forestale, di taglia adatta all'alimentazione di un motore alternativo da 30 kWe che è evidenziato in figura 1.

Si è anche cercato di reperire informazioni da persone che avevano avuto modo di esaminare impianti di cogenerazione con pirogassificatori e ne è emerso che vi sono problematiche di filtraggio ed abbattimento del particolato prodotto dal pirogassificatore e di composizione del syngas che causano significative discontinuità di funzionamento del motore alternativo e quindi conseguenti problemi di garanzia di funzionamento.



Figura 1 – Pirogassificatore a pellet e cippato per alimentazione motore da 30 kWe -

Gassificazione della biomassa e generazione elettrica con motori alternativi a combustione esterna (Stirling)

L'utilizzo del motore Stirling per la microgenerazione di energia elettrica e termica a servizio delle utenze rurali è stata una delle prime ipotesi avanzate nell'ambito del progetto Moderno. Ci si è pertanto concentrati sulla valutazione dell'evoluzione tecnica dei motori Stirling e sulla possibile reperibilità di un fornitore di un motore Stirling di taglia adeguata ai fini del progetto. Una breve descrizione delle modalità di funzionamento del motore Stirling è riportata nel paragrafo seguente.

Breve descrizione del funzionamento del motore Stirling

Il motore Stirling funziona con un ciclo chiuso di espansione/compressione guidato dalla differenza di temperatura esistente tra una sorgente calda ed un punto freddo. Il ciclo chiuso normalmente utilizza come fluido di lavoro termodinamico un gas inerte quale l'aria che però è stata sostituita nei versioni moderne di motori Stirling da elio oppure azoto. All'atto del raggiungimento di una opportuna differenza di temperatura fra sorgente calda e punto freddo si innesca una pulsazione ciclica che viene trasformata in moto alternato dei pistoni. La pulsazione perdura fino a quando si continua a mantenere la differenza di temperatura mediante somministrazione di calore alla sorgente calda e sottrazione di calore al punto freddo.

Poiché si tratta di un motore a combustione esterna può funzionare con qualsiasi tipo di sorgente di calore, ad esempio con calore solare concentrato oppure con calore fornito da una caldaia di combustione di biomassa legnosa, carbone, biogas, gas e/o combustibili liquidi.

Inoltre la combustione esterna implica che le parti maggiormente riscaldate dal calore non sono a contatto con le parti scorrevoli o rotanti (cuscinetti, pistoni) e di conseguenza le sollecitazioni di tali parti ed il lubrificante sono ridotte e quindi lo è anche la manutenzione

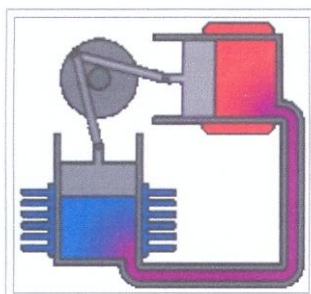


Figura 2 – Schema del motore Stirling

Altra particolarità del motore Stirling è quella di funzionare senza fare ricorso a valvole. Si possono avere varie configurazioni : la più semplice, mostrata in figura 2, è la configurazione “alfa” in cui un pistone “caldo” e uno “freddo” sono montati in configurazione “a V” con angolo di 90° tra i cilindri. Altre configurazioni (beta, gamma) prevedono manovellismi complessi con “dislocatori” che, insieme al pistone vero e proprio, individuano camere di volume variabile secondo leggi che approssimano più o meno fedelmente quella ipotizzata dal ciclo Stirling.

Poiché il calore non è prodotto all’interno del motore ma è applicato dall’esterno, è necessario trasferirlo all’interno ed ugualmente, dato che il motore sfrutta un dislivello di temperatura, occorre sottrarre calore per creare una superficie fredda. Poiché il fluido di lavoro è all’interno del motore il suo riscaldamento od il suo raffreddamento rendono necessaria la presenza di estese superfici (fasci tubieri o radiatori) per riscaldarlo o raffreddarlo. Queste estese superfici di scambio appesantiscono il motore e lo rendono voluminoso a parità di energia erogata.

Il flusso di calore dalla sorgente termica al fluido di lavoro interno non è istantaneo e ciò comporta che l’avviamento del motore è lento e di conseguenza il motore Stirling non è adatto al funzionamento con avviamenti rapidi e con significative variazioni del regime di moto.

In generale si può concludere dicendo che la progettazione dei motori Stirling è meno semplice di quello che sembra esaminando il principio di funzionamento. Vi sono infatti tutta una serie di problematiche progettuali legate al dimensionamento dei volumi morti e problemi di costi legati alle superfici di scambio operanti a temperatura molto elevata.

Il motore Stirling è adatto per generazione stazionaria di energia elettrica e calore. Tuttavia l’inerzia che lo caratterizza all’avviamento e durante le variazioni del regime di funzionamento potrebbe essere svantaggiosa nell’ambito della micro cogenerazione per uso rurale.

Cronistoria dello sviluppo dei motori Stirling

Il motore Stirling è da tempo oggetto di studio e di costruzione di prototipi per applicazioni di nicchia fra le principali delle quali si possano sicuramente citare le applicazioni nel campo della microgenerazione stazionaria di energia elettrica e come generatore elettrico in campi solari a concentrazione di tipo parabolico.

I motori Stirling sono stati oggetto di ricerca negli anni fra il 1960 ed il 1980. I principali protagonisti e finanziatori delle ricerche sono stati la

General Motors, la Ford, la MTI, la United Stirling, Lo U.S. Department of Energy (DOE) ed il governo Svedese.

Da notizie ricevute da alcuni tecnici nordeuropei che hanno lavorato nel settore pare che la Kockums (United Stirling + governo svedese) abbia investito quasi 250 milioni di dollari in ricerche, realizzazioni e prove in esercizio di motori Stirling per applicazioni su imbarcazioni della marina militare svedese, inclusi alcuni sommergibili.

Alla fine degli anni '90 i costruttori che parevano aver raggiunto i risultati migliori erano la Kockums (Svezia) e la Solo Stirling (Germania). In particolare la flotta di motori Kockums 4-95 aveva raggiunto un esercizio cumulativo di 118.000 ore di funzionamento di cui 17.000 ore su un singolo motore mentre la flotta di motori Stirling Solo 161 aveva raggiunto un esercizio cumulativo di oltre 100.000 ore di funzionamento di cui 18.000 ore su un singolo motore che aveva anche fatto oltre 6.000 ore di funzionamento ininterrotte.

Alla fine degli anni '90, finito il periodo delle sperimentazioni per uso militare, gli sviluppatori/fabbricanti di motori Stirling si sono concentrati su motori Stirling alimentati a gas oppure a gasolio/kerosene (per uso nautica da diporto) con l'obiettivo di realizzare impianti di microgenerazione di taglia domestica (1-10 kW_{elettrici}) da utilizzare nelle abitazioni residenziali, ritenuto un mercato con elevato potenziale di volumi di vendita (dell'ordine dei milioni di unità) soprattutto dai fabbricanti di caldaie a gas metano.

Nel 2001 la società inglese EA Technology (Istituto di ricerca delle società elettriche inglesi) pubblicò un report intitolato "Future Cogen Project" con l'obiettivo di fare luce sui vari prototipi di motori Stirling di piccola potenza (inferiore a 10 kW_{elettrici}) in fase di sviluppo presso i costruttori attivi nel settore all'epoca che si riporta nella tabella 3 sotto:

Modello	Cilindri	Potenza (kW)	Rendimento elettrico	Temperatura scambiatore	Gas di processo
WhisperGenPPS16A C	4	0,7-5	10%	650°C	Azoto (N2)
Sunpower/Advantica RE100	1 FPSE	1	25%	600°C	Elio (He)
STC/ENATEC	1 FPSE	1	10%	650°C	?
Sigma PCP 1-130	1	3	25%	700°C	Elio (He)
Kawasaki Model V	1 FPSE	1,2	27%	650°C	Elio (He)
Tamin TESE004	1	1	22%	650°C	Aria
SIG	1 FPSE	1	25%	600°C	Elio (He)
Mitsubishi NS-03M	1	3,8	36%	780°C	Elio (He)
Toshiba NS-03T	2	4,1	34%	820°C	Elio (He)

Tabella 3 – Costruttori di motori Stirling attivi nel 2000 -

Basandosi su informazioni reperite su Internet o direttamente presso i fabbricanti, l'aggiornamento della situazione al 2010 mostra più ombre che luci rispetto al 2001. Alcuni costruttori come la Sigma o la Solo Stirling sono scomparsi mentre non si ha notizia di sviluppi da parte dei costruttori giapponesi che avevano investito nel settore alla fine degli anni '90.

Fra i costruttori/sviluppatori citati nella tabella del "Future Cogen Project" report vi sono soltanto due società che, nel 2010 risultano essere ancora attive nella fabbricazione di motori Stirling. Ognuna di esse ha però scelto un campo applicativo ben definito per la propria (futura) produzione di serie:

Whispergen

La neozelandese Whispergen è stata acquisita dalla Meridian Energy (società elettrica della Nuova Zelanda). Nel 2008 la Whispergen ha fatto un accordo di licenza con la società Cooperativa Agricola Mondragon di Tolosa (Paesi Baschi – Spagna) per la fabbricazione/commercializzazione di motori Stirling Whispergen per applicazioni stazionarie (quindi escludendo i motori Stirling per uso nautico). E' stata creata una società chiamata Efficient Home Energy (EHE) con sede a Tolosa (Spagna) che è il licenziatario esclusivo Whispergen per le applicazioni stazionarie in Europa.

Si è pertanto provveduto a contattare direttamente la EHE, la quale ci ha confermato che la EHE è totalmente concentrata nella fabbricazione/sviluppo di microcogeneratori Stirling di tecnologia

Whispergen con alimentazione a gas (metano o propano/GPL) per fare fronte alle richieste provenienti soprattutto da Germania, Olanda e Regno Unito e di non essere interessata alle applicazioni a biomasse.

Sunpower

La Sunpower (USA) invece risulta totalmente concentrata sui motori Stirling utilizzati negli impianti solari a concentrazione (CSP).

Altri fabbricanti

Fra gli sviluppatori/fabbricanti di motori Stirling emersi nel decennio 2000-2010 va certamente citata la danese Stirling Danmark (che è la più impegnata nel settore delle applicazioni dei motori Stirling agli impianti a biomassa legnosa) e la statunitense Stirling Biopower.

Entrambe le società si sono concentrate sui motori Stirling di taglia intermedia (10-50 kW_{elettrici}).

La Stirling Danmark, che è una spin-off dell'Università di Copenhagen, oltre ad avere con tutta probabilità collaborazioni con tecnici che hanno partecipato al programma Kockums/marina militare svedese, coopera strettamente con l'Università di Copenhagen per lo sviluppo di gassificatori a biomasse e pare seriamente intenzionata a perseguire lo sviluppo di applicazioni di impianti a biomasse con motori Stirling.

Sia Stirling Danmark che Stirling Biopower si differenziano da tutti gli altri costruttori di motori Stirling che abbiamo interpellato perché quotano la fornitura su base prototipale, segno evidente del fatto che dispongono di un prodotto funzionante.

Sia la EHE (Whispergen) che altri costruttori che si pubblicizzano su Internet, come la Sunmachine di Kempten (Germania), si sono rifiutati di quotare la fornitura di motori Stirling, anche nella configurazione più convenzionale (quella alimentata a metano/GPL).

Impianto di pirogassificazione a motore Stirling di Castel d'Aiano (BO)

A seguito dei vari contatti intrattenuti si è quindi venuti a conoscenza che era da poco entrato in esercizio un impianto di cogenerazione con pirogassificazione di biomassa legnosa accoppiata ad un motore Stirling, ubicato nell'Appennino bolognese presso il comune di Castel d'Aiano (BO) e realizzato dal Centro Innovazione per la Sostenibilità Ambientale (CISA) di Porretta Terme (BO).

Tale impianto è ad oggi il punto di riferimento principale per quello che riguarda le applicazioni di motori Stirling per cogenerazione a livello italiano, se non addirittura europeo.

L'impianto contiene un motore Stirling della Stirling Danmark da 35 kW_{elettrici} e 140 kW_{termici} ed un gassificatore di biomassa updraft da 200

kW_{termici} di potenza sempre fornito da Stirling Danmark su progetto dell'Università di Copenhagen.

L'impianto è costituito dai seguenti componenti, come schematizzati in figura 3:

1. Gassificatore Updraft
2. Camera di Combustione
3. Motore Stirling Danmark
4. Quadri elettrici di controllo e gestione
5. Accumuli calore
6. Vano scarico cippato
7. Coclea di carico

Nelle figure 4 e 5 si riportano due fotografie dei componenti più importanti dell'impianto di microgenerazione di Castel d'Aiano (BO) ed esattamente:

- figura 4 – Camera di Combustione e Motore Stirling Danmark
- figura 5 – Gassificatore Updraft

L'impianto viene alimentato con cippato forestale di produzione locale della zona dell'Appennino Bolognese che viene addotto al vano di carico con autocarri o rimorchi agricoli.

Il cippato viene quindi prelevato dal vano di carico con un estrattore a rastrello ed addotto alla coclea di carico che lo trasporta al Gassificatore updraft.

Il Gassificatore updraft gassifica il cippato conferito nel vano di carico trasformandolo completamente in un gas a basso potere calorifico ($1,26 \text{ kWh/Nm}^3$) composto per la parte combustibile principalmente da CO , H_2 e CH_4 . Come prodotto di scarto della gassificazione updraft si ottiene unicamente della cenere polverosa e compatta con assenza di particelle incombuste, segno di una elevata qualità del processo di conversione della biomassa in gas sintetico. Il gas sintetico difatti esce dal Gassificatore updraft ad una elevata temperatura di circa 700°C .

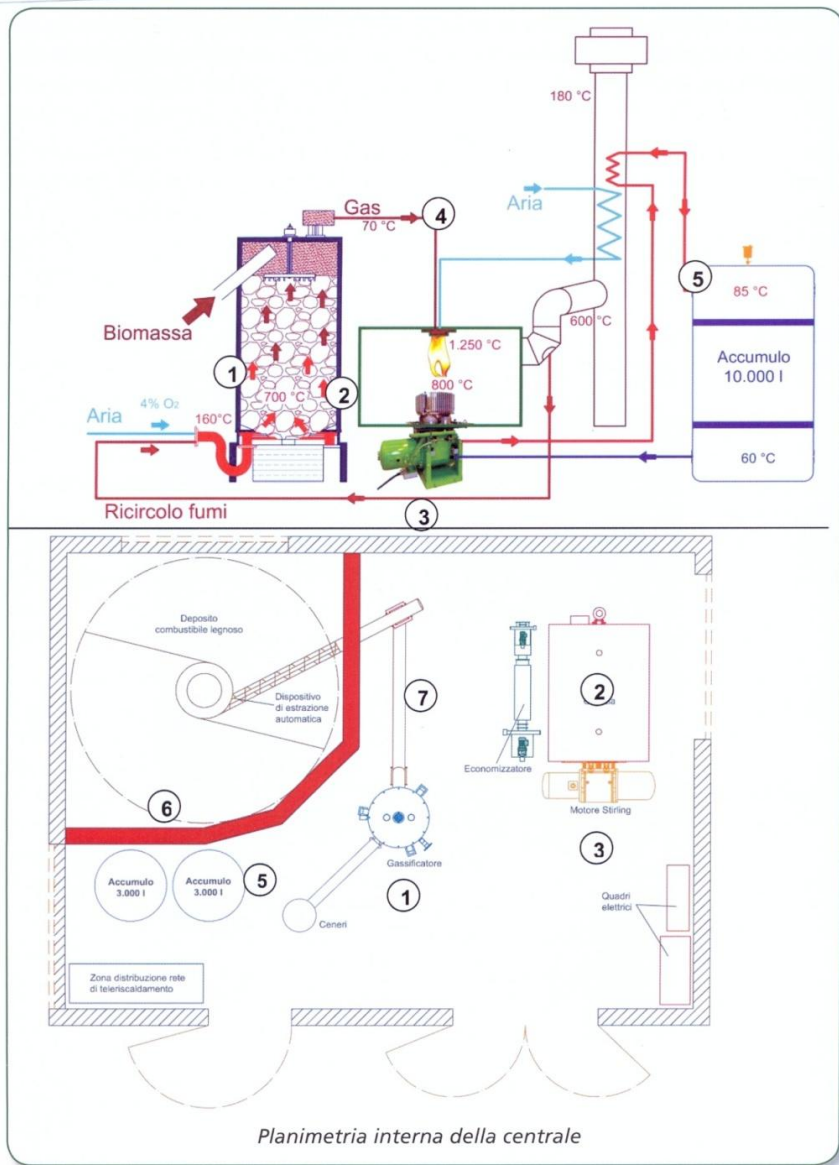


Figura 3– Impianto di microgenerazione a motore Stirling di Castel d’Aiano (BO)

Il Gassificatore presenta inoltre il non trascurabile vantaggio di poter gassificare direttamente biomassa legnosa con contenuto di umidità che può arrivare al 60% (tenore di umidità del cippato fresco di bosco) senza necessità di pre-essiccazione in quanto l'elevata temperatura di funzionamento del gassificatore assicura una completa rimozione dell'umidità.

Il gas sintetico prodotto dal Gassificatore viene quindi inviato alla Camera di Combustione esterna del motore Stirling dove viene completamente bruciato tramite un apposito bruciatore studiato per gas a basso potere calorifico. La temperatura di combustione del gas sintetico all'interno della camera di combustione è compresa nell'intervallo fra 800°C e 1250°C.

Il motore Stirling produce quindi circa 35 kW_{elettrici} mentre 140 kW_{termici} vengono recuperati sottoforma di acqua ad 80°C dal raffreddamento dei fumi della camera di combustione prima dell'invio al camino ed utilizzati per alimentare la piccola rete di teleriscaldamento del complesso sportivo (scuole, piscina, etc ...) dove è ubicato l'impianto.

Per quanto riguarda il prezzo di fornitura della parte principale dell'impianto, cioè i due componenti gassificatore-motore Stirling, il CISA ha pubblicato un prezzo di circa 205.000 Euro.

Tale prezzo totale equivale ad un prezzo specifico di circa 5.800 Euro/kWe, livello che, se da una parte non è commercialmente competitivo con il prezzo degli impianti convenzionali con motori a combustione interna alimentati a biogas, dall'altra è comparabile con i prezzi di vendita dei fornitori di impianti di cogenerazione con pirogassificazione di biomassa legnosa di taglia più grande (oltre 120 kWe).



Figura 4 – Camera di Combustione e Motore Stirling Danmark – Castel d’Aiano (BO)



Figura 5 – Gassificatore Updraft – Castel d’Aiano (BO)

Combustione della biomassa e generazione elettrica con microturbina ad aria calda

Esaminate le problematiche inerenti alla gassificazione della biomassa legnosa, che sono in ogni caso sperimentate su impianti di taglia più grande di quello di interesse ai fini del progetto Moderno, si è pertanto deciso di concentrare l'attenzione su tecnologie che consentissero l'utilizzazione della biomassa legnosa in combustione diretta in caldaia ed evitando quindi tutte le problematiche ed i costi associati alla gassificazione delle biomasse.

In questo ambito si è giunti a conoscenza di una tecnologia, interamente sviluppata in Toscana dalle società Tecnologie per l'Energia Pulita (TEP) e Metaltech Hi-Ref, denominata EFMGT (Externally Fired Micro Gas Turbine), consistente nella modifica del combustore di una microturbina a gas con sostituzione dello stesso con un generatore di aria calda alimentato a biomassa legnosa, realizzando pertanto una macchina utilizzante aria compressa a 4,5 bar e riscaldata ad alta temperatura (950°C) come fluido di funzionamento.

Con questa modifica la TEP ha realizzato un impianto di cogenerazione in grado di produrre circa 75-80 kWe e circa 300 kWt a pieno carico utilizzando come combustibile biomassa legnosa (cippato) senza dover ricorrere ad alcun processo di gassificazione.

Nella tabella 4 vengono riportate le caratteristiche dell'impianto di microcogenerazione a microturbina ad aria calda tipo "Powertep" (Fonte : brochure illustrativa impianto di cogenerazione Powertep – Bioenertech):

PRESTAZIONI MACCHINA

Tipo turbina	Radiale
Tipo compressore	Centrifugo
Velocità nominale	70.000 giri/minuto
Temperatura aria ingresso turbina	950°C
Pressione di ingresso turbina	4,5 bar
Alimentazione caldaia	Biomassa lignocellulosica
Tipo di generatore elettrico	Sincrono trifase a magneti permanenti
Tensione/Frequenza/Fattore di potenza	400/230 V AC 3 fasi/50 Hz/cosfi = 0,8
Potenza elettrica di avviamento	15 kWe
Consumo orario di combustibile	120 → 150 kg
Potenza elettrica al netto degli autoconsumi	75 → 80 kWe
Rendimento elettrico	13-15%
Rendimento complessivo dell'impianto	83%
Potenza termica utilizzabile	300 kWt
Ore funzionamento minimo annue	7.000 h
Temperatura acqua calda generata dallo scambiatore	80/90°C

Tabella 4 – Caratteristiche microturbina Powertep

Allo stato attuale risulta che la Powertep ha realizzato circa 12 impianti ubicati in Italia e che il primo impianto abbia superato le 10.000 ore di funzionamento conferendo una certa affidabilità all'impianto stesso.

Nell'ambito del progetto si è provveduto a contattare la TEP per esplorare un interesse alla realizzazione di un impianto di taglia 3-15 kW utilizzando la stessa tecnologia. E' stato subito chiaro però che la realizzazione comportava uno sforzo progettuale ben maggiore visto che un impianto di questo genere implica la realizzazione ex novo di una turbomacchina di piccole dimensioni partendo dall'utilizzo di turbine derivate dai turbocompressori degli autocarri anziché la semplice modifica di una microturbina commerciale già packagizzata e completa di quadro e sistema di controllo.

Pertanto l'interesse si è affievolito sia alla luce dei forti impegni della TEP dedicati all'ingegnerizzazione ed alla commercializzazione del loro impianto Powertep, che non potevano essere distolti per altri scopi, sia per problemi di potenziale conflitto di proprietà intellettuale derivanti dalla presenza di un costruttore di caldaie (Toscoaragonese) fra i partner del progetto Moderno.

L'impianto Powertep ha un prezzo attorno ai 500.000 Euro, variabile a seconda della configurazione, e quindi un prezzo specifico di circa 6.250 €/kWe.

Nella figura 6 è rappresentato un impianto a microturbina Powertep alimentato a cippato forestale.



Figura 6 – Impianto microturbina ad aria calda 75 kW Powertep –

Combustione della biomassa e generazione elettrica con ciclo Rankine a fluido organico (ORC)

Dopo aver esaminato i problemi della pirogassificazione e quelli inerenti alla progettazione di microturbine ad aria calda di potenza compresa fra 3 e 15 kW si è dovuti ripiegare su tecnologie di combustione più convenzionali della biomassa legnosa in grado di generare calore a bassa temperatura, compresa fra 80 e 150°C.

A questi livelli di temperatura la tecnologia maggiormente utilizzata è quella del ciclo Rankine a fluido organico (ORC). Questa tecnologia si distingue dal tradizionale ciclo Rankine a vapore d'acqua saturo in quanto l'utilizzo di un fluido organico (normalmente un olio silconico) consente di sfruttare basse differenze di temperatura ed a bassi livelli di temperatura (inferiori ai 100°C ove l'acqua è allo stato di liquido e non di vapore).

Il fluido organico utilizzato per il ciclo ORC a bassa temperatura esaminato nell'ambito del progetto è l'R245fa (pentafluoropropano). Nella figura 7 viene mostrato (in rosso) il ciclo termodinamico di un ipotetico motore a ciclo Rankine sul diagramma temperatura/entropia di detto fluido. Il ciclo è percorso in senso orario, con l'evaporazione a 368 K (95°C) e la condensazione a 318 K (45°C). Per la particolare forma della curva limite superiore (linea degli stati del vapore in equilibrio con il liquido), la linea di espansione (linea verticale a destra) si trova completamente nella zona del vapore surriscaldato, pur partendo da un vapore saturo. Ciò comporta l'indubbio vantaggio di avere un fluido privo di fase liquida lungo tutta l'espansione, pur essendo il generatore di vapore di fluido organico privo di surriscaldamento, e quindi di più semplice costruzione.

L'R245fa, alle temperature prevedibili per il generatore di vapore, si trova a pressioni moderate (nel ciclo mostrato in figura 7 la temperatura di evaporazione è di 95°C e la pressione è pari a 11.3 bar), a vantaggio della semplicità e dell'efficienza della pompa di alimentazione del fluido.

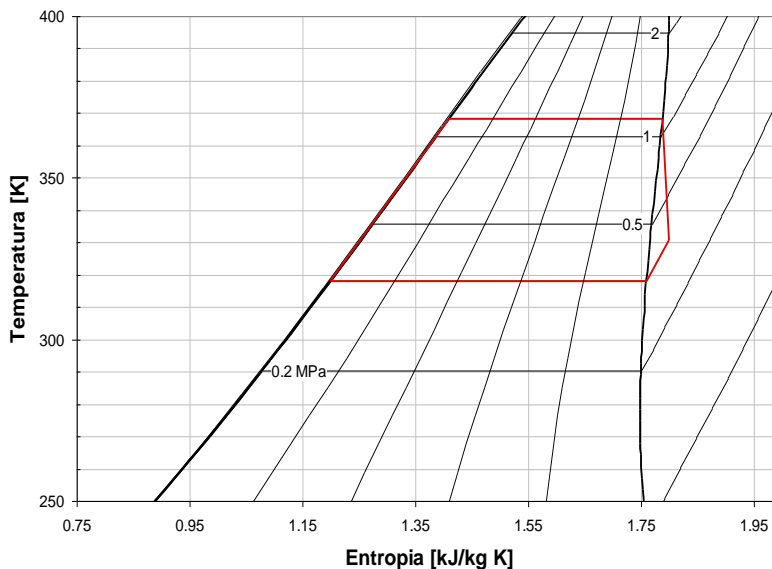


Figura 7 – Ciclo motore sul diagramma Temperatura/Entropia dell’R245fa

A fronte di tali vantaggi termodinamici, i fluidi organici utilizzati nei cicli ORC presentano problemi economici ed operativi. Nella fattispecie del fluido R245fa sopra citato, il prezzo commerciale si aggira sui 24 Euro al kg ed inoltre tale fluido è distribuito in Italia da una sola azienda.

Va quindi considerato che eventuali perdite di fluido, per quanto limitabili a quantitativi modesti con opportuni accorgimenti progettuali, aggravano in maniera sensibile il costo di gestione del microgeneratore, sia per il costo vivo del fluido che per quello dell’intervento di rabbocco.

Inoltre va tenuto presente che gli idrofluorocarburi, pur rappresentando un notevole passo avanti rispetto ai clorofluorocarburi, presentano comunque problemi di impatto ambientale. Infatti essi hanno elevati potenziali clima-alteranti, quantificabili ad esempio con il GWP (Global Warming Potential), che riferisce il contributo all’effetto serra a quello della CO₂. L’R245fa è sensibilmente migliore di altri fluidi, sotto questo aspetto ma tuttavia presenta un GWP di 950, cioè l’emissione in atmosfera di un kg di R245fa ha un effetto equivalente all’emissione di 950 kg di CO₂.

Tra gli altri aspetti da considerare vanno anche tenute in debita considerazione altre caratteristiche dei fluidi di lavoro, quali la tossicità, l’infiammabilità e la compatibilità con i materiali costituenti il sistema, ivi compresi eventuali lubrificanti. Anche da questi punti di vista l’R245fa rappresenta una soluzione preferibile rispetto ad altri

fluidi organici sintetici, anche se l'esperienza di utilizzo è ancora relativamente limitata e non permette di escludere con assoluta certezza eventuali problemi di compatibilità con alcuni materiali e con la sicurezza degli operatori e dell'ambiente.

In Italia l'apripista nello sviluppo commerciale dei cicli ORC a bassa temperatura per generazione elettrica è stata la società Turboden di Brescia che ha sviluppato impianti ORC di dimensioni comprese fra 400 kWe e 2000 kWe, utilizzati in numerose applicazioni con utilizzo contemporaneo di biomassa legnosa in forti quantità ed elevati fabbisogni di calore di processo (ad esempio segherie abbinate ad impianti di produzione pellet), che è diventata nel tempo uno dei due leader mondiali del settore dei cicli ORC. Il cogeneratore di Calenzano (FI) è il primo impianto a biomassa legnosa utilizzando tecnologia ORC di fornitura Turboden realizzato in Toscana.

Vista l'elevata affidabilità di funzionamento dimostrata in campo dagli impianti ORC forniti dalla Turboden non sorprende il fatto che alcuni progettisti si siano spinti a cercare applicazioni della tecnologia ORC in impianti di dimensioni più piccole.

In Italia questa strada è stata percorsa dalla società Newcomen s.r.l. di Guastalla (RE) che si è concentrata nella realizzazione di impianti di micro cogenerazione, con tecnologia ORC utilizzando il fluido R245fa, alimentati a biomassa lignocellulosica.

Tali impianti sono stati commercialmente denominati "Piglet" ed hanno taglia pari a 45 kW, 30 kW e 15 kW nonché un ulteriore impianto di dimensioni ancora più ridotte con potenza pari a 3 kW elettrici.

Il cuore del Piglet è costituito da un cinematismo con espansione volumetrica brevettata che trasforma la potenza termica assorbita in potenza meccanica mettendo in rotazione l'albero. La potenza meccanica viene quindi trasformata in potenza elettrica mediante un generatore a magneti permanenti ad altissimo rendimento calettato sull'albero che eroga corrente continua che viene trasformata in alternata da un inverter dedicato.

Poiché il funzionamento di un ciclo ORC dipende unicamente dal livello di temperatura della sorgente di calore, un sistema di questo genere può utilizzare come sorgente di calore acqua calda prodotta con qualsiasi mezzo, ad esempio con riscaldamento geotermico, pannelli solari eliotermini o caldaie a biomassa lignocellulosica.

Nella tabella 5 vengono riportate le caratteristiche di funzionamento dell'impianto di microcogenerazione a ciclo ORC "Piglet" (Fonte : brochure illustrativa impianto di microcogenerazione Piglet – Newcomen):

Sorgente di calore	Potenza termica	T di evap.	Sorgente fredda	T di condensaz.	Rendimento	Potenza elettrica
Pannelli solari (circa 20 mq)	20 kW	80°C	Condensatore ad aria	45°C	8,00%	1,60 kW
Pannelli solari (circa 20 mq)	20 kW	80°C	Condensatore ad acqua	35°C	9,00%	1,80 kW
Caldaia a cippato	30 kW	85°C	Condensatore ad aria	45°C	8,30%	2,49 kW
Caldaia a cippato	30 kW	85°C	Condensatore ad acqua	35°C	10,06%	3,02 kW

Tabella 5 – Caratteristiche microgeneratore ORC Piglet

Allo scopo di approfondire lo stato di sviluppo raggiunto e reperire informazioni di prima mano la Fondazione per il Clima e la Sostenibilità ed il Dipartimento di Energetica hanno incontrato direttamente l'esperto tecnico-commerciale della Newcomen, il quale ha riferito che il primo prototipo di Piglet ha raggiunto le 10.000 ore di funzionamento ad isola (cioè non connesso alla rete elettrica) e che era in fase di progettazione l'interfaccia elettrica per il funzionamento in parallelo alla rete elettrica.

Nella taglia (3 kW) e nella configurazione (caldaia a cippato e condensatore ad acqua) di interesse ai fini delle applicazioni in ambito rurale oggetto del progetto Moderno un impianto Piglet ha un prezzo stimato pari a circa 8.000 Euro per la caldaia a cippato e 8.000 Euro per il Piglet da 3 kW per un totale di 16.000 Euro con un prezzo specifico di circa 5.350 €/kWe.