

# Capitolo 5

## Cenni alla cogenerazione con fonti rinnovabili

### 5.1 Energia da biomassa

Nel dicembre 1997, a conclusione della Terza conferenza delle parti sulla convenzione quadro delle Nazioni Unite sul cambiamento climatico, tenutasi a Kyoto, i maggiori paesi industrializzati (i cosiddetti paesi dell'Annesso 1) hanno firmato il Protocollo di Kyoto, con il quale si sono impegnati a ridurre le emissioni dei principali gas responsabili dell'effetto serra ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{HFCs}$ ,  $\text{PFCs}$ ,  $\text{SF}_6$ ) entro il periodo 2008-2012.

Il valore della riduzione è stato stabilito in misura di almeno il 5% rispetto ai valori riscontrati nel 1990; per i paesi dell'Unione Europea tale riduzione dovrà essere pari all'8%.

E' opportuno sottolineare che poiché in una situazione di crescita usuale la produzione di emissioni è in costante aumento, per rispettare gli accordi di Kyoto sarà necessario mettere in campo misure atte a raggiungere una percentuale reale di diminuzione ben più alta.

Tra le diverse modalità per raggiungere gli obiettivi prefissati, l'Unione Europea ha considerato anche l'aumento dell'efficienza energetica e, all'interno di questa categoria, ampio rilievo è stato dato ad una maggiore diffusione della cogenerazione.

L'efficienza generale della cogenerazione rispetto alla generazione separata di energia elettrica e calore porta a una riduzione significativa delle emissioni di anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) oltre che ad un uso più efficiente del carburante.

Se si considera l'efficienza media di un impianto di cogenerazione, intorno al 85-95%, si può affermare che essa è di circa il 30-40% maggiore che non nella generazione separata alimentata con combustibili fossili, e porta conseguentemente una riduzione del 30-40% circa nel consumo del combustibile primario e nell'emissione di  $\text{CO}_2$ . Come in tutti i processi di combustione, però, anche la cogenerazione ha altre implicazioni ambientali; in particolare efficienze più alte possono produrre un aumento dell'emissione di  $\text{NO}_x$  e CO rispetto alla generazione separata.

I principali inquinanti emessi attraverso la cogenerazione sono simili a quelli rilasciati dalla combustione degli idrocarburi e sono già stati ampiamente trattati nei capitoli precedenti di questo lavoro e quindi in questa sezione si partirà direttamente dalla definizione di biomassa.

Si definisce biomassa qualsiasi sostanza di matrice organica, vegetale o animale, destinata a fini energetici o alla produzione di ammendante agricolo, e rappresenta una sofisticata forma di accumulo dell'energia solare.

La brevità del periodo di ripristino fa sì che le biomasse rientrino tra le fonti energetiche rinnovabili, in quanto il tempo di sfruttamento della sostanza è paragonabile a quello di rigenerazione.

Poiché nel concetto di rinnovabilità di una fonte energetica è insita anche la sostenibilità ambientale, sarà necessario che le biomasse, con particolare riferimento a quelle di origine forestale, provengano da pratiche aventi impatto ambientale trascurabile o nullo (es. le operazioni di manutenzione boschiva).

Non sono invece considerati biomasse alcuni materiali, pur appartenenti alla chimica organica (come le materie plastiche e i materiali fossili), perchè non rientrano nel concetto con cui si intendono i materiali organici qui presi in considerazione.

Quando si bruciano le biomasse, estraendone l'energia immagazzinata nei componenti chimici, l'ossigeno presente nell'atmosfera si combina con il carbonio delle piante e produce, tra l'altro, anidride carbonica, uno dei principali gas responsabile dell'effetto serra. Tuttavia, la stessa quantità di anidride carbonica viene assorbita dall'atmosfera durante la crescita delle biomasse. Il processo è ciclico.

Fino a quando le biomasse bruciate sono rimpiazzate con nuove biomasse, l'immissione netta di anidride carbonica nell'atmosfera è nulla.

La **Biomassa** utilizzabile ai fini energetici consiste in tutti quei materiali organici che possono essere utilizzati direttamente come combustibili ovvero trasformati in combustibili solidi, liquidi o gassosi.

Sono quindi biomasse, oltre alle essenze coltivate espressamente per scopi energetici, tutti i prodotti delle coltivazioni agricole e della forestazione, compresi i residui delle lavorazioni agricole e della silvicoltura, gli scarti dei prodotti agro-alimentari destinati all'alimentazione umana o alla zootecnia, i residui, non trattati chimicamente, dell'industria della lavorazione del legno e della carta, tutti i prodotti organici derivanti dall'attività biologica degli animali e dell'uomo, come quelli contenuti nei rifiuti urbani (la "frazione organica" dei Rifiuti).

Nell'accezione più generale si può quindi considerare **Biomassa** tutto il materiale di origine organica sia vegetale, sia animale, ma per schematizzare meglio questo settore si possono prendere in considerazione le tre principali filiere che lo rappresentano (tab.1):

- Filiera del legno (non trattata in questo lavoro)
- Filiera dell'agricoltura
- Filiera degli scarti e dei rifiuti

Filiera	Tipo di biomassa	Combustibile ottenuto
<b>Culture agricole</b>	Olio di girasole,mais,colza e altro	Olio vegetale e biodiesel
<b>Rifiuti</b>	Reflui e liquami da allevamento,scariche rifiuti	biogas

tab.1 – Principali tipi di biomassa e combustibili ottenuti per la cogenerazione da fonti rinnovabili

I combustibili solidi, liquidi o gassosi derivati da questi materiali (direttamente o in seguito a processi di trasformazione) sono definiti **biocombustibili**, mentre qualsiasi forma di energia ottenuta con processi di conversione della biomassa è definita **bio-energia**

L'utilizzo delle biomasse presenta una grande variabilità in funzione dei tipi dei materiali disponibili e, nel tempo, sono state sviluppate molte tecnologie di conversione energetica, delle quali alcune possono considerarsi giunte ad un livello di sviluppo tale da consentirne l'utilizzazione su scala industriale, altre, invece, più recenti e molto complesse, necessitano di ulteriore sperimentazione al fine di aumentare i rendimenti e ridurre i costi di conversione energetica.

I processi utilizzati attualmente sono riconducibili a due categorie: **processi termochimici** e **processi biochimici**, all'interno dei quali si suddividono le tecnologie attualmente disponibili, tra le quali – ad eccezione della combustione diretta – tutte le altre rappresentano pretrattamenti, mirati ad aumentare la resa termica, a sfruttare sino in fondo il materiale disponibile, a migliorarne la praticità di trasporto ed impiego e le caratteristiche di stoccaggio oppure a ridurre residui dopo l'utilizzazione.

In questo lavoro verranno trattati solo i due principali processi biochimici che interessano la produzione di energia mediante cogenerazione ossia la **digestione anaerobica** e la **digestione aerobica**.

I processi di conversione biochimica sono dovuti al contributo di enzimi, funghi e micro-organismi, che si formano nella biomassa sotto particolari condizioni e vengono impiegati per quelle biomasse in cui il rapporto C/N sia inferiore a 30 e l'umidità alla raccolta superiore al 30%.

Risultano idonei alla conversione biochimica colture acquatiche alcuni sottoprodotti colturali (foglie e steli di barbabietola, ortive, patata, ecc.), reflui zootecnici,scarti di lavorazione (borlande, acqua di vegetazione, etc.) e biomasse eterogenee immagazzinate nelle discariche controllate.

### 5.1.1 La digestione anaerobica

È il processo di fermentazione (conversione biochimica) della materia organica ad opera di micro-organismi in assenza di ossigeno; consiste nella demolizione delle sostanze organiche complesse contenute nei vegetali e nei sottoprodotti di origine animale (lipidi, protidi, glucidi), che dà origine ad un gas (biogas) costituito per il 50-70% da metano e per la restante parte soprattutto da CO<sub>2</sub>, con un potere calorifico medio dell'ordine di 23.000 kJ/Nm<sup>3</sup>. Questo processo di fermentazione della sostanza organica ne conserva integri i principali elementi nutritivi presenti (azoto, fosforo, potassio), agevolando la mineralizzazione dell'azoto organico, in modo che l'effluente ne risulti un ottimo fertilizzante.

Il biogas prodotto viene raccolto, essiccato, compresso ed immagazzinato per utilizzarlo come combustibile per caldaie a gas nella produzione del calore o per motori a combustione interna (si utilizzano motori di tipo navale a basso numero di giri) per produrre energia elettrica.

Gli impianti a digestione anaerobica possono essere alimentati anche con residui ad alto contenuto di umidità, quali le deiezioni animali, i reflui civili, i rifiuti alimentari e la frazione organica dei rifiuti solidi urbani e questo potrebbe rappresentare un'interessante opportunità negli impianti di raccolta dei rifiuti urbani.

Però, la raccolta del biogas sviluppato nelle discariche, anche se attrezzate allo scopo, non supera il 40% circa del gas generato e quasi il 60% è disperso in atmosfera, esito non auspicabile perché la gran quantità di metano presente nel biogas ha conseguenze negative sull'effetto serra.

Pertanto questo processo andrebbe svolto essenzialmente in appositi impianti chiusi (digestori), dove quasi tutto il gas prodotto viene raccolto ed usato come combustibile.

### 5.1.2 La digestione aerobica

Consiste nella metabolizzazione ad opera di batteri delle sostanze organiche, in ambiente condizionato dalla presenza di ossigeno. Questi micro-organismi convertono sostanze complesse in altre più semplici, liberando CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O e producendo un elevato riscaldamento del substrato, proporzionale alla loro attività metabolica. Il calore prodotto può essere così trasferito all'esterno, mediante scambiatori a fluido.

In Europa viene utilizzato il processo di digestione aerobica termofila autoriscaldata (Autoheated Thermophilic Aerobic Digestion) per il trattamento delle acque di scarico; più recentemente tale tecnologia si è diffusa anche in Canada e Stati Uniti.

## 5.2 Il biogas

I reflui animali prodotti dagli allevamenti zootecnici e i rifiuti urbani nelle discariche costituiscono una biomassa di notevole interesse a fini energetici perché possono essere trasformati dando luogo alla produzione di BIOGAS (metano), esso è il biocombustibile di norma maggiormente utilizzato sia nella generazione di sola energia elettrica sia nella cogenerazione.

Per tale motivo è ad esso che verrà dedicato maggior spazio in questo lavoro, facendo solamente un cenno, in seguito, all'olio vegetale e al biodiesel principalmente usati nel settore dell'autotrazione.

Questo gas deriva da una trasformazione anaerobica, cioè che si verifica in assenza di ossigeno, di sostanze organiche contenute nei rifiuti (o negli effluenti zootecnici)

La produzione di biogas dipende da una numerosa serie di fattori (composizione del rifiuto, umidità dello stesso etc.) e le quantità effettivamente estraibili sono comunque inferiori a quelle previste non solo per possibili fughe di gas ma anche per eventuali ossidazioni; per dare un'idea si può affermare che da 1 milione di m<sup>3</sup> di biomassa è possibile ottenere 5,5 m<sup>3</sup> di biogas (600m<sup>3</sup>/h), inoltre da 1 m<sup>3</sup> di biogas si producono in cogenerazione 2 kWh di energia elettrica e 3 kWh di energia termica.

In conclusione il processo di ottenimento si può suddividere in tre fasi:

- 1) si attua la reazione tramite i batteri;
- 2) corrispondente alla regolarizzazione delle composizione, alla diminuzione degli inquinanti e al recupero di energia;

3) esaurimento della produzione di biogas, la sostanza organica è quasi completamente degradata e si ha una mineralizzazione dei rifiuti.

L'utilizzo del biogas deve avere come obiettivo non solo la riduzione al minimo di emissioni odorose moleste ma anche la garanzia di sicurezza all'interno dell'impianto e nelle vicinanze.

Nelle seguenti tab.2 e 3 vengono riportate le principali caratteristiche del biogas confrontandole anche con quelle del gas naturale (per maggiori informazioni si rimanda ad altre fonti più specializzate in materia)..

	<b>Composizione % in volume</b>
<b>Metano (CH<sub>4</sub>)</b>	50 (discarica), 65 (depurazione), 65(reflui zootecnici) con punte fino a 80
<b>Anidride carbonica (CO<sub>2</sub>)</b>	20-50
<b>Azoto (N<sub>2</sub>)</b>	0-3
<b>Idrogeno solforato (H<sub>2</sub>S)</b>	0-2
<b>Idrogeno (H<sub>2</sub>)</b>	0-1
<b>Ossigeno (O<sub>2</sub>)</b>	0-1
<b>Ammoniaca (NH<sub>4</sub>)</b>	0-0,5

tab.2 – Composizione del biogas

	<b>METANO</b>	<b>BIOGAS</b>
<b>Potere calorifico (MJ/m<sup>3</sup>)</b>	36	21,6
<b>Densità (kg/m<sup>3</sup>)</b>	0,72	1.2 (p <sub>atm</sub> ,0°C)
<b>Densità relativa rispetto all'aria</b>	0.55	0,9
<b>Punto di infiammabilità (°C)</b>	600	700
<b>Limite di accensione nell'aria (vol %)</b>	5-15	6-12
<b>Fabbisogno di aria teorico (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)</b>	9,5	5,7

tab.3- Proprietà del biogas comparate con quelle del metano

### 5.2.1 Depurazione del biogas per gli impianti di cogenerazione

Prima dell'utilizzo a fini energetici negli impianti di cogenerazione il **biogas** deve essere sottoposto ad opportuna depurazione. Infatti la presenza di azoto, anidride carbonica ed acqua provoca l'abbassamento del potere calorifico della miscela gassosa, sostanze come l'idrogeno solforato ed i composti organici alogenati, che possono essere presenti nel biogas, si comportano da agenti corrosivi, causando danni agli impianti ausiliari ed al motore endotermico.

La scelta dei trattamenti più opportuni dipende sia dalle caratteristiche del biogas che dalle modalità di utilizzo previste.

Questi trattamenti sono finalizzati ad ottenere un sensibile abbassamento dei costi di conduzione e manutenzione degli impianti, un funzionamento ottimale unito a maggiore affidabilità e il rispetto dei limiti di emissione imposti dalla legge;essi sono:

- **Deumidificazione**

Il trattamento di deumidificazione è necessario in quanto l'umidità di cui il biogas è saturo, condensando all'interno delle tubazioni, in seguito a variazioni di temperatura e/o pressione, può provocare malfunzionamenti. Inoltre la stessa umidità diminuisce il rendimento dei motori endotermici. esistono diversi sistemi di deumidificazione:

a) **Trappole idrauliche** o camere di sedimentazione, dove la diminuita velocità del gas per aumento della sezione causa la segregazione per gravità.

- b) I **cycloni** ed i multicycloni dove l'acqua viene separata dalla forza centrifuga.
- c) I **frigoriferi** in grado di raffreddare il gas da inviare ai motori. In tal modo si separa dal biogas l'umidità che, condensando precipitando contemporaneamente sostanze nocive e corrosive presenti nel flusso gassoso stesso. E' opportuno progettarle linee del biogas con opportune pendenze ed eventuali colli di deposito ed evacuazione della condensa al fine di evitarne l'accumulo in prossimità delle soffianti e dei motori.

tutti questi impianti vengono dotati di sistemi di deumidificazione spinta, che consistono in una accoppiata refrigeratore e condensatore a fascio tubiero.

In pratica il biogas arriva da una soffiante a circa +40 +45°C, viene spinto in uno scambiatore a fascio tubiero, alimentato sul secondario da una miscela di acqua ed antigelo a temperature prossime agli 0°C.

In questo modo l'umidità presente nel biogas viene condensata quasi completamente, rendendo il biogas stesso all'uscita dello scambiatore a fascio tubiero a circa +3 +4°C saturo, ovvero con umidità relativa al 100%, ma con valori di umidità assoluta bassissimi, con un post riscaldamento effettuato tramite una ulteriore soffiante o altri sistemi, lo si rende pronto per essere mandato in alimentazione al motore.

Queste applicazioni sono sicuramente interessanti, ma per funzionare correttamente, necessitano della massima attenzione in fase di progettazione e di scelta dei componenti, infatti diventa importante anche stabilire quale biogas si utilizza.

- **Filtrazione**

Si effettua con filtri a ghiaia o sabbia dove vengono trattenuti i solidi in sospensione (grassi, schiume, particolato) prima dell'aspirazione nelle soffianti di ricircolo o di alimentazione delle utenze.

- **Desolforazione**

Quando i livelli di idrogeno solforato sono elevati è necessario prevedere dei sistemi di Abbattimenti integrativi, ad umido o a secco.

Per quanto riguarda i sistemi ad umido, questi possono essere assimilati alle torri di lavaggio (scrubber) normalmente utilizzate per la depurazione delle emissioni gassose. Tali sistemi devono essere installati prima della sezione di deumidificazione. Un primo sistema utilizza una reazione chimica, generalmente in condizioni di pressione e temperatura ambiente.

Il trattamento consiste nel lavaggio con una soluzione basica, che neutralizza l' $H_2SO_4$ , composto altamente corrosivo e quindi pericoloso per gli impianti di utilizzazione, formato dall' $H_2S$ . Una successiva fase di lavaggio acido permette di neutralizzare l'eccesso di base prima dello scarico della soluzione. Il principale vantaggio di questo sistema è la semplicità, ma il costo dei reattivi e del trattamento dell'acqua scaricata ne riduce l'impiego industriale. Un altro sistema, poco diffuso, consiste nel lavaggio con acqua sotto pressione che mette in soluzione l' $H_2S$  insieme alla  $CO_2$ . Tale miscela viene poi rilasciata in una successiva fase di stripping.

Il sistema di desolforazione a secco prevede un processo di trattamento di tipo chimico e consiste nel far passare il biogas attraverso una sostanza adsorbente.

Una prima opzione consiste in un sistema che utilizza un adsorbente contenente ossidi di ferro in grado di interagire con l'acido solfidrico e captarlo in modo da separarlo dal biogas.

Un'altra opzione prevede l'utilizzo del carbone attivo

I due sistemi si differenziano in quanto la rigenerazione dell'ossido di ferro è più facile rispetto a quella del carbone attivo. Infatti, l'ossido di ferro si riforma dalla reazione con l'aria e con l'acqua in cui si libera lo zolfo solido che viene trascinato via.

Una semplice filtrazione permette la sua eliminazione. La sostituzione della massa di ossido di ferro si deve effettuare solo dopo molti cicli di rigenerazione. Nel caso del carbone attivo,

invece, la rigenerazione richiede l'utilizzo di solventi e, anche se viene condotta a regola d'arte, il carbone rigenerato perde parte della sua efficacia rispetto a quello di partenza, pertanto il costo della rigenerazione e la sostituzione frequente del carbone attivo rendono questa soluzione applicabile solo nei casi in cui si ha una concentrazione molto ridotta in  $H_2S$ .

Un terzo sistema consiste nell'utilizzo di un biofiltro nel quale risiedono numerose specie di microrganismi in grado di degradare i composti solforati, in questo caso, la depurazione del gas dipende principalmente da porosità, temperatura, pH, umidità e dalla concentrazione di  $H_2S$  nella fase gassosa e per attivare questi batteri conviene immettere circa il 5% di aria nel gestore.

- **Processi di rimozione della  $CO_2$**

In alcuni casi può essere utile effettuare anche dei trattamenti per la rimozione o riduzione del contenuto di  $CO_2$ , finalizzati ad aumentare il tenore in metano del biogas. I processi più utilizzati, che devono essere installati solo dopo la rimozione dell' $H_2S$ , sono:

- assorbimento della  $CO_2$  in acqua con successivo strippaggio ed emissione in atmosfera (il più semplice e meno costoso a parte il costo di compressione);
- impiego di membrane semipermeabili, in grado di lasciare passare la  $CO_2$  e di trattenere il  $CH_4$ .

- **Sistemi di analisi, controllo e condizionamento del biogas**

Risulta necessario analizzare regolarmente il biogas prodotto in alimentazione al sistema energetico. Il sistema di movimentazione del gas prevede, quindi, rubinetti di campionamento e sistemi di analisi con cadenza regolare o meno in funzione delle criticità presenti.

Un sistema di controllo gestirà il campionamento sfruttando i risultati delle analisi per un eventuale condizionamento del biogas. Può essere necessario utilizzare per brevi periodi un'alimentazione ausiliaria di metano in grado di far fronte ad eventuali riduzioni del tenore di quest'ultimo, come può succedere durante l'attivazione del processo

Nel fermentatore, le materie prime organiche non si trasformano completamente in biogas. I residui della fermentazione, però, si possono riutilizzare: cosparsi sui campi, sono ottimi sostituiti dei fertilizzanti minerali e concludono così il ciclo naturale.

Pertanto, nel processo di produzione del biogas non c'è praticamente nulla che non possa essere utilizzato.

E' chiaro e risaputo che il biogas è un elemento poco pulito e spesso carico di contaminanti che possono avere effetto di corrosione con le parti con cui viene in contatto, tanto è vero che gli scambiatori di calore con i quali lo si tratta o con i quali si effettua il recupero di energia termica (scambiatore fumi), sono realizzati in materiali adeguati (**1.4401 ovvero AISI 316**).

E' meno evidente che anche l'ambiente dove operano questi impianti, può essere contaminato da elementi corrosivi.

Infatti a seconda ci si ritrovi in allevamenti animali o discariche, sicuramente l'ambiente potrà essere carico di elementi che operano una azione corrosiva sulle apparecchiature limitrofe

I gruppi frigoriferi, i radiatori di dissipazione dei motori endotermici ed in genere tutte le macchine che trattano elevati volumi di aria, rischiano di essere sottoposti all'azione corrosiva degli agenti contaminanti.

### 5.2.2 Esempi realizzativi e confronti

Verranno ora presi in esame una serie di motori a biogas per cogenerazione di alcuni dei più noti costruttori suddivisi in tre fasce di potenza (Tab.4); tali unità verranno confrontate tra loro attraverso i principali parametri energetici che permetteranno in fine di trarre alcune importanti conclusioni

TAGLIA	MODELLO	POT.ELETT.(KW)	POT.TERM.(KW)	$\eta_{el}$	$\eta_{th}$	$\eta_{tot}$
da 50 a 350 kWe	CPL BB 60	60	120	30	60	90
	CPL BB 125	125	222	31,9	56,5	88,4
	AB ECOMAX 1 BIO	125	178	34,5	49,2	63,7
	DEUTZ TCG 2015	230	360	34,9	54,6	89,5
	AB ECOMAX 2 BIO	245	340	36,1	50,1	86,2
	GE JENBACHER 2	249	295	39,1	46,3	85,4
	DEUTZ TCG 2016 V8 K	311	438	35,4	49,8	85,3
da 350 a 600 kWe	CAT G 3508	460	764	31,5	52,4	83,9
	CPL SINCRO 300	494	777	34,8	54,7	89,51
	GE JENBACHER 312	526	558	40,4	42,9	83,3
	AB ECOMAX 5 BIO	526	539	40,4	41,5	81,8
	DEUTZ TCG 2016 B V12	537	510	40	38	78
	CPL SINCRO 600	601	732	38,9	47,4	86,3
da 600 a 1000 kWe	AB ECOMAX 6 BIO	625	660	39,8	42,7	82,5
	DEUTZ TCG 2016 B V16	716	681	40,3	38,3	78,6
	CAT G 3512	770	1296	31,6	53,2	84,8
	AB ECOMAX 8 BIO	835	895	40	42,2	82,2
	GEJENBACHER 412	844	843	41,9	41,8	83,7
	DEUTZ TCG 2020 V12	1021	1070	41	43	84
	CAT G 3516	1030	1378	31,7	42,5	74,2
	AB ECOMAX 10 BIO	1064	1044	40,8	40	80,8
	CPL SINCRO 1000	1064	1248	39,8	46,7	86,5

Tab.4 – Esempi di motori a biogas

Per quanto riguarda la fascia di potenza più bassa spicca il rendimento elettrico delle unità AB ECOMAX (36% e 34%) e GE JANBACHER (39%) specialmente se rapportato alla piccola taglia (che dovrebbe svantaggiarli); mentre CPL e DEUTZ si distinguono per l'alto rendimento totale conferito grazie ad un efficiente modulo di recupero termico che permette di bilanciare rendimenti elettrici non proprio esaltanti.

Nella fascia media AB ECOMAX 5, DEUTZ e CPL si distinguono ancora per l'elevatissimo rendimento elettrico; mentre sono solo questi ultimi che garantiscono un rendimento totale nettamente superiore agli altri (89%).

Stupisce invece il bassissimo rendimento elettrico del CAT (31,5%), paragonabile a quello di unità con taglie nettamente inferiori, per quanto riguarda il rendimento totale (83,9%) esso è abbastanza soddisfacente.

Nella fascia alta i migliori si sono rilevati ancora i DEUTZ seguiti subito dagli AB ECOMAX e dai CPL; per quanto riguarda il rendimento totale spiccano l'ottimo 84,4% del CAT e l'eccellente 86,5% (in rapporto alla taglia) del CPL SINCRO 1000.

Dal punto di vista globale si può dire che rimane confermata la tendenza ad un aumento del rendimento del motore con la taglia (Fig.1,2,3 e 4) si notano comunque cadute di questo parametro che probabilmente derivano dal tipo e dal numero ausiliari collegati all'albero motore e che non sono stati resi noti dai costruttori.

Relativamente alle potenze termiche e ai conseguenti rendimenti si può notare una notevole dispersione anche se la tendenza è quella di un aumento della potenza e una diminuzione dei rendimenti con la taglia; comunque la variabile principale in questo caso diventa la configurazione del modulo di recupero termico ed il numero di sorgenti dalle quali si decide di recuperare calore.

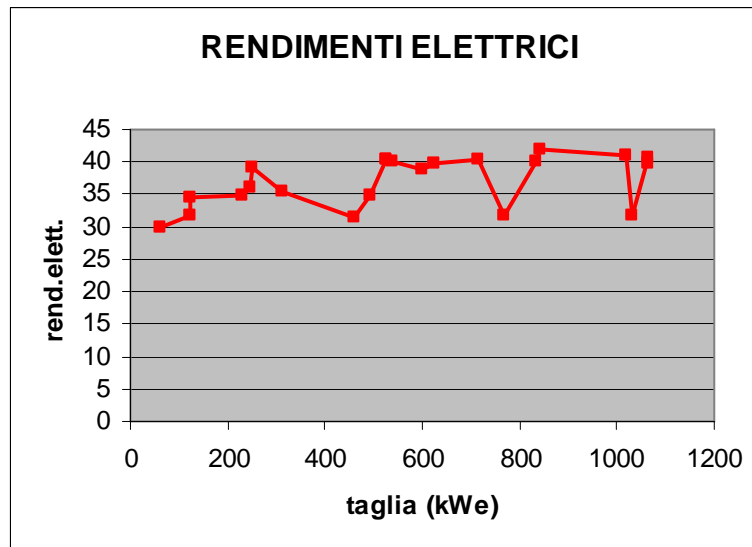


Fig.1 – Rendimenti elettrici in funzione della taglia

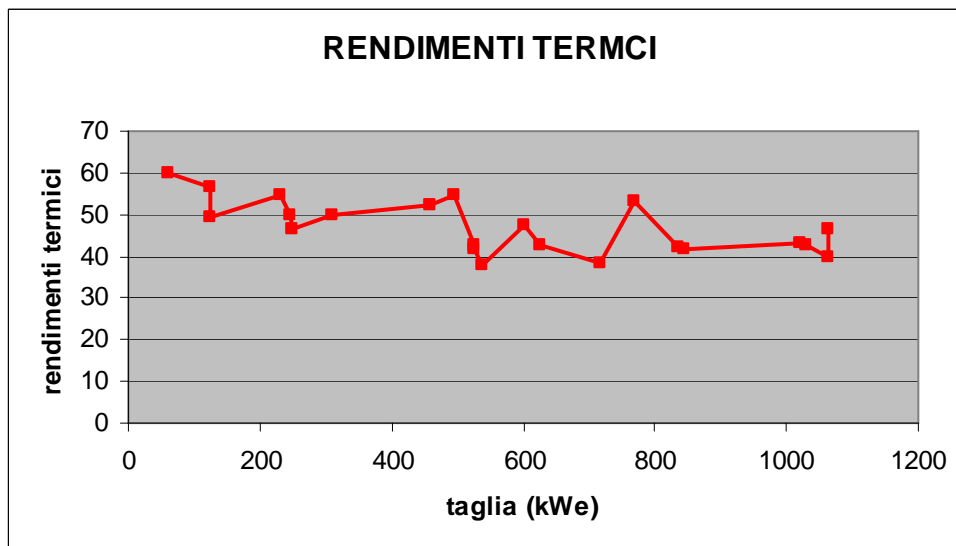


Fig.2 – Rendimenti termici in funzione della taglia

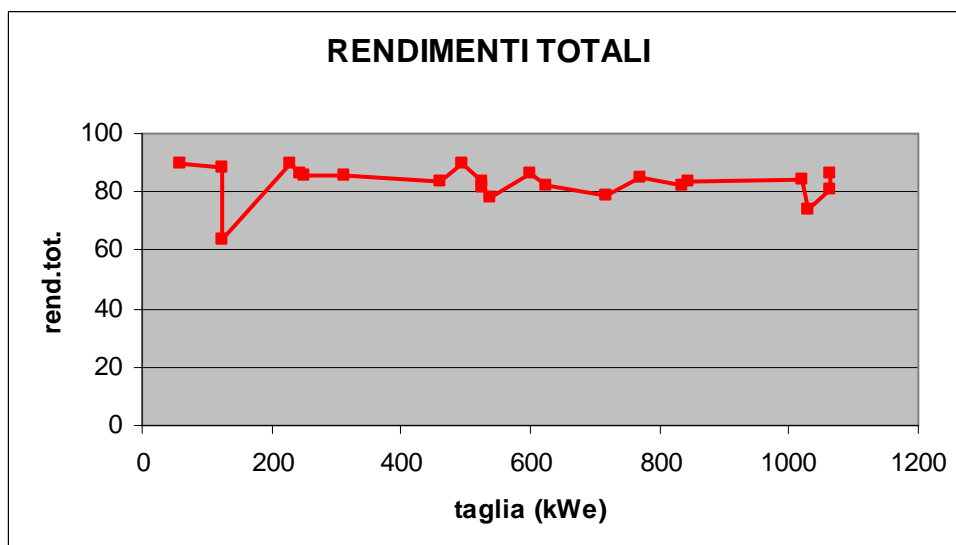


Fig.3 – Rendimenti totali in funzione della taglia



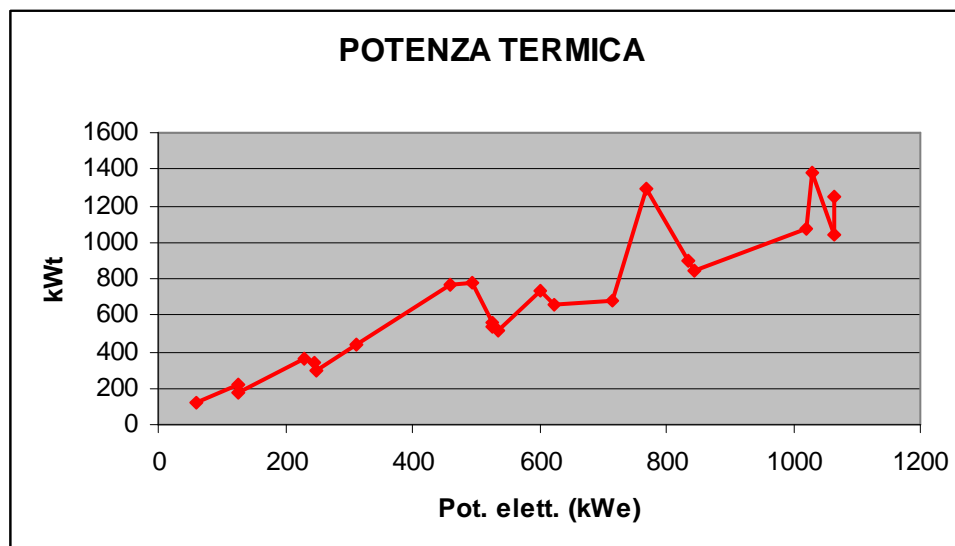


Fig. 4 – Potenza termica recuperata in funzione della taglia

### 5.3 Olio vegetale

Dopo aver discusso l'uso del biogas negli impianti di cogenerazione è doveroso un breve cenno ad un altro tipo di biocombustibile il cui impiego si sta diffondendo sia in Europa che in Italia (a partire dal 2007), ossia l'olio vegetale puro (ed il biodiesel)

L'olio vegetale puro (PVO) è ottenuto dalla spremitura di semi di piante oleaginose (girasole, colza) e successiva filtrazione; non avviene alcuna raffinazione chimica.

Il biodiesel è ottenuto dall'olio vegetale sottoposto ad una reazione di transesterificazione che determina la sostituzione dei componenti alcolici d'origine (glicerolo) con alcool metilico (metanolo); questo processo conferisce al biodiesel caratteristiche fisiche chimiche simili a quelle del gasolio ma con costi di produzioni molto superiori (anche tre volte).

La produzione del PVO è molto adatta al settore agricolo dove l'olio è valorizzato all'interno delle stesse aziende tramite l'uso in cogeneratori oltre che come combustibile per i mezzi di trasporto; inoltre ciò che rimane dalla spremitura a freddo dei semi (il pannello di estrazione) può essere usato nell'alimentazione zootecnica.

Nella seguente Tab.4 sono riportate le principali caratteristiche di tale combustibile confrontate con quelle del gasolio.

	Gasolio	Biodiesel	Olio di girasole	Olio di colza
<b>Potere calorifico (MJ/kg)</b>	42,7	37,2	37,7	37,6
<b>Densità a 15°C (kg/l)</b>	0,83	0,9	0,92	0,91
<b>Viscosità a 40 °C (mm<sup>2</sup>/s)</b>	2-4,5	3,5-5	31,4	36
<b>Punto di infiammabilità (°C)</b>	>55	>120	253	>220

Tab.4 – Proprietà dell'olio vegetale e del biodiesel

#### 5.3.1 L'olio vegetale negli impianti di cogenerazione

L'olio vegetale ha la necessità di essere preriscaldato o comunque mantenuto ad una buona temperatura (40°C circa), per poter permettere un corretto funzionamento del motore che va ad alimentare.

Infatti i biocarburanti presentano una viscosità anche venti volte maggiore rispetto al gasolio, quindi necessitano anche di pressioni di iniezione più elevate e di iniettori speciali.

Allo scopo di scaldare il carburante si può semplicemente inserire una resistenza elettrica nel serbatoio di stoccaggio ed il gioco è fatto.

A livello progettuale ed esecutivo esistono due soluzioni che tengono in considerazione la possibilità di risparmiare anche questa potenza elettrica.

In un gruppo di cogenerazione con motore endotermico, c'è una notevole disponibilità di acqua calda proveniente dal jacket: che può essere sfruttata facendola passare in uno scambiatore di calore ottenendo un sistema semplice ed efficace..

Le soluzioni usano differenti scambiatori:

- **scambiatore a piastre:** piccolo, economico ed efficiente, riscalda il combustibile spillando un po' di acqua dal circuito dei jacket, ma risulta leggermente più complicato da mettere a punto.
- **scambiatore tubo in tubo:** questa soluzione è più costosa, ma è più comoda e semplice da installare. Lo scambiatore va montato direttamente in linea sul circuito dell'acqua dei jacket e nella camicia del tubo viene fatto circolare il combustibile da preriscaldare: installato non richiede alcuna taratura o messa a punto.

Su motori di taglia medio/grande, il recupero energetico è valutabile in circa 3-4 KW. Può sembrare un numero relativamente piccolo (parliamo di impianti di produzione da oltre 100 KW), ma se si pensa che un gruppo di cogenerazione di questo tipo lavora ininterrottamente tutto l'anno, i numeri sul medio/lungo termine, acquisiscono la loro importanza.

E' già stato detto che l'olio vegetale presenta sostanziali modifiche rispetto al gasolio, oltre a quelle precedentemente discusse va ricordato che i biocombustibili hanno un alto potere detergente (che può causare il distacco delle morchie adese con conseguente ostruzione di filtri e catalizzatori), inoltre le temperature raggiunte in camera di combustione sono molto più alte (con maggiore formazione di  $\text{NO}_x$ ) e quindi sono necessari sistemi di abbattimento degli  $\text{NO}_x$  molto efficienti.

Per tutti questi motivi l'uso del PVO presuppone specifiche modifiche al motore effettuate montando speciali kit di conversione a seconda del tipo di motore.

I principali sistemi di adattamento sono suddivisi in due categorie:

- il **sistema a un serbatoio** con il quale il motore è alimentato esclusivamente ad olio vegetale;
- Il **sistema a due serbatoi** con il quale il motore è avviato e arrestato a gasolio mentre nelle fase intermedia viene fatto funzionare ad olio vegetale, l'alternanza olio/gasolio è controllata da una centralina elettronica.