
BANDO DIRETTO ALLA CONCESSIONE DI CONTRIBUTI IN CONTO
CAPITALE PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTI ALIMENTATI A
BIOMASSA SUPERIORI A 350KW

**REQUISITI TECNICI PER IMPIANTI A
CIPPATO SUPERIORI A 350 kW**

A cura del Dipartimento di Energetica del **Politecnico di Torino** :
Prof. G.V. Fracastoro
Prof. A.M. Barbero
Ing. F. Baccon

INDICE

Premessa

1. INDICAZIONI PER IL DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO	4
1.1 DIMENSIONAMENTO GENERATORE PER RISCALDAMENTO.....	4
1.1.1 <i>Temperatura esterna di progetto</i>	4
1.1.2 <i>Fabbisogno termico in condizioni di progetto</i>	5
1.1.3 <i>Potenza installata dell'impianto</i>	6
1.1.4 <i>Integrazioni con altri impianti</i>	6
1.2 DIMENSIONAMENTO SILO.....	6
2. RENDIMENTI ATTESI ED EMISSIONI PREVISTE.....	7
2.1 RENDIMENTI MINIMI.....	7
2.2 EMISSIONI INQUINANTI.....	7
3. RELAZIONE FRA POTENZA INSTALLATA E CONSUMO DI ENERGIA.....	8
3.1 STIMA DEL FABBISOGNO ENERGETICO DI UN IMPIANTO.....	8
3.2 RIPARTIZIONE DELLA POTENZA SU PIÙ GENERATORI	9
3.3 FABBISOGNO TIPICO COPERTO DAL GENERATORE A BIOMASSA	10
4. CARATTERISTICHE DEL COMBUSTIBILE BIOMASSA.....	12
4.1 CARATTERISTICHE ENERGETICHE E DI COSTO DI ALCUNI COMBUSTIBILI	12
4.2 UMIDITÀ.....	12
4.3 CONTENUTO ENERGETICO DELLA BIOMASSA.....	12
5. PIANO DI APPROVVIGIONAMENTO	14
6. ESEMPIO DI CASH FLOW	15
6.1.1 <i>Fondi propri</i>	15
7. DESCRIZIONE TECNOLOGIE ESISTENTI.....	16
7.1 MODELLI PRINCIPALI DI CAMERA DI COMBUSTIONE	16
7.1.1 <i>Impianto a griglia fissa</i>	16
7.1.2 <i>Impianto a griglia mobile</i>	17
7.2 REGOLAZIONE DELLA COMBUSTIONE	20
7.3 SISTEMA ABBATTIMENTO INQUINANTI.....	20
7.1.3 <i>Abbattimento NOx</i>	20
7.1.4 <i>Abbattimento inquinanti solidi</i>	20
7.4 IMPIANTI A CONDENSAZIONE	20
7.5 TECNOLOGIE DI ESTRAZIONE DELLE CENERI DALLA CAMERA DI COMBUSTIONE	21
7.6 SISTEMI DI TRASPORTO DEL CIPPATO.....	21
8. LEGISLAZIONE E NORMATIVA DI RIFERIMENTO PER L'UTILIZZAZIONE DEL LEGNO COME COMBUSTIBILE.....	22

Premessa

Questo documento rappresenta l'allegato tecnico di riferimento per il bando diretto alla concessione di contributi in conto capitale per gli impianti a biomassa di potenza superiore ai 350 kW indetto dalla Provincia di Torino.

E' bene precisare che le informazioni che seguono non devono essere ritenute esaustive circa il panorama tecnologico delle centrali termiche a biomassa, bensì devono essere prese come riferimento di massima per gli standard energetici, tecnologici ed ambientali che l'Amministrazione Provinciale ritiene di dover prendere in considerazione nella valutazione delle richieste di contributo. L'Allegato tecnico, in linea con l'impostazione generale dell'iniziativa di finanziamento, ha un approccio multidisciplinare. In particolare si forniscono indicazioni sui parametri di dimensionamento del sistema impianto, sui rendimenti e sui livelli di emissioni previsti per la tecnologia in esame, si affronta il tema del combustibile e del suo radicamento sul territorio dal punto di vista socio-economico e con riferimento alla filiera energia, si presenta una rassegna delle tecnologie esistenti e la legislazione di riferimento per l'utilizzazione della biomassa come combustibile.

Il documento pertanto si prefigge due obiettivi:

- fornire delle linee guida per la progettazione delle centrali e per la compilazione delle domande di contributo,*
- proporre un panorama tecnologico di riferimento sulle centrali per la produzione di energia termica da biomassa.*

In risposta al primo obiettivo, nel documento è possibile ritrovare riferimenti alle indicazioni tecniche richieste nell'allegato B del bando, sia in merito a procedure e metodologie da seguire, sia per l'indicazione di parametri da utilizzare nella redazione di analisi.

1. INDICAZIONI PER IL DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO

L'impianto può essere impiegato per il riscaldamento di ambienti, di acqua calda sanitaria, di piscine, serre, e di qualsiasi altro tipo di utenza termica a bassa temperatura. Non essendo possibile prevedere l'intera casistica di utenze, si forniscono di seguito alcune indicazioni sul dimensionamento del generatore di calore nel caso di riscaldamento degli ambienti.

Viene in seguito descritto un metodo per dimensionare il volume del silo destinato alla biomassa.

1.1 Dimensionamento generatore per riscaldamento

Per dimensionare la caldaia occorre utilizzare la normativa UNI 7357/74, per il calcolo del fabbisogno termico in condizioni di progetto degli edifici.

Essa prevede i seguenti passi:

- determinazione della temperatura esterna di progetto
- calcolo delle dispersioni per trasmissione e ventilazione dell'edificio in condizioni di progetto (fabbisogno termico in condizioni di progetto)
- calcolo della potenza da installare dell'impianto.

1.1.1 Temperatura esterna di progetto

Le temperature esterne dei capoluoghi di provincia italiani sono riportate nella norma UNI 5364, assieme ai criteri per estendere tali valori a località non comprese nell'elenco e a situazioni particolari (edifici isolati o collocati in piccoli agglomerati).

Si ricordano brevemente tali criteri:

- a) si individua la località in elenco più vicina e sullo stesso versante, e la sua temperatura di progetto esterna viene assunta quale riferimento (T_{PR})
- b) si calcola la temperatura di progetto T_p della località considerata con la formula:

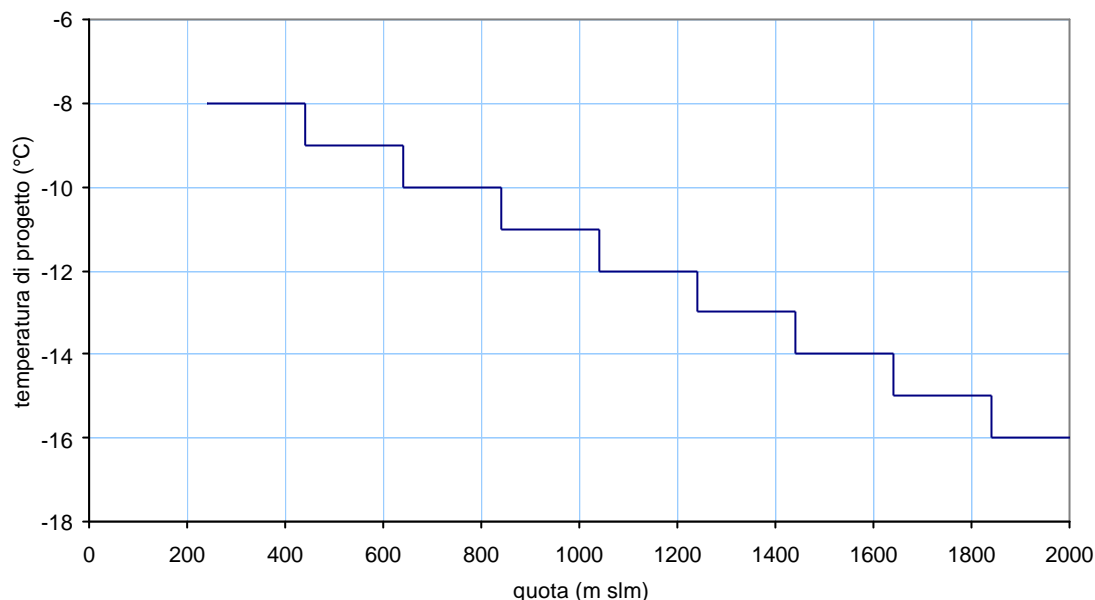
$$T_p = T_{PR} - INT\left(\frac{\Delta h}{200}\right)$$

dove $\Delta h = h_L - h_R$ rappresenta il dislivello fra la località considerata e quella di riferimento e la funzione INT restituisce il valore intero della funzione a cui è applicata. Ad esempio, $INT(2,318)=2$

- c) si corregge la temperatura di progetto riducendola di $0,5 - 1$ °C per edifici situati in piccoli agglomerati e di $1-2$ °C per edifici isolati.

In base a tali indicazioni, per le località situate nella Provincia di Torino si può desumere la temperatura di progetto dal diagramma seguente, ricavato assumendo come riferimento Torino ($T_{PR} = - 8$ °C, quota 240 m s.l.m.). Essa non tiene conto dell'ulteriore correzione di cui al punto c) precedente.

Temperature di progetto nella Provincia di Torino



1.1.2 Fabbisogno termico in condizioni di progetto

Una volta nota la temperatura esterna di progetto, occorre conoscere le seguenti caratteristiche dell'edificio:

- area (S) e trasmittanza (U) di ogni elemento di involucro che separa l'ambiente riscaldato da quello esterno, a temperatura T_p , o non riscaldato, a temperatura $T_{p,j}$
- volume (V), temperatura interna di progetto T_i e numero di ricambi d'aria orari n nei vari ambienti o edifici riscaldati

Una volta noti tali parametri, il fabbisogno di potenza termica Φ in condizioni di progetto è dato da:

$$\Phi = \sum U_j S_j (T_i - T_{p,j}) + 0.34 (T_i - T_p) \sum n_j V_j$$

Tale espressione può essere riscritta come:

$$\Phi = (U_m S + 0.34 n V) (T_i - T_p)$$

in cui V è il volume lordo riscaldato e il pedice m denota il valore medio sull'intero edificio.

In assenza di dati specifici sull'edificio in esame i valori di U_m e di n possono essere in prima approssimazione desunti dalla tabella.

Destinazione d'uso dell'edificio	n (1/h)	Epoca di costruzione		
		ante 1945	1945-1976	post 1976*
		U_m	U_m	U_m
residenze	0.5	1.0	1.2	0.8
uffici	1	1.2	1.5	0.8
edifici scolastici	3	1.2	1.5	1.0
commerciali	1	1.3	1.5	1.2
pubblici spettacoli	2	1.2	1.3	1.1

*con tale datazione si intendono edifici realizzati a norma delle leggi 373/76 e 10/91, e dei relativi decreti attuativi.

1.1.3 Potenza installata dell'impianto

Per tener conto del regime di funzionamento dell'impianto e del relativo fattore di intermittenza f_i , del rendimento di distribuzione η_d , di regolazione η_c e di emissione η_e dei corpi scaldanti, la potenza utile della caldaia va maggiorata rispetto al fabbisogno dell'utenza, secondo la formula

$$\Phi_{\text{impianto}} = \frac{\Phi}{\eta_c \eta_d \eta_e f_i}$$

In prima approssimazione si può assumere $\Phi_{\text{impianto}} = 1.25 \Phi$.

L'eccessivo sovradimensionamento di una caldaia a biomassa può ridurre sensibilmente il rendimento medio stagionale (anche di una decina di punti percentuali). Infatti, anche durante le fasi di stand-by, la caldaia deve rimanere in temperatura per essere in grado di riprendere il carico alla richiesta: nelle moderne caldaie a cippato, essendo grande il volume del refrattario (oltre a quello dell'acqua), le perdite per irraggiamento e le perdite al camino, anche se percentualmente contenute, risultano alla fine assai dispendiose. Inoltre, la necessità di mantenere nelle caldaie a legna una temperatura dell'acqua di mandata "alta", per evitare la condensazione del vapor d'acqua contenuto nei fumi, ne accresce ancora l'effetto.

1.1.4 Integrazioni con altri impianti

Per questi motivi, nei grandi impianti può essere utile suddividere la potenza tra più caldaie; questa possibilità, oltre ad ovviare in parte al problema del sovradimensionamento (potendo parzializzare, ad esempio, il carico a seconda delle stagioni), serve anche ad aumentare la sicurezza dell'impianto in caso di anomalie o guasti ad un generatore.

Analogamente, è possibile affiancare all'impianto a biomassa un'altra caldaia a combustibile tradizionale, da utilizzare per integrare le punte di richiesta, per emergenza, o eventualmente durante le stagioni di basso carico, ad esempio nel caso si debba fornire una quantità di acqua sanitaria o di altri servizi in misura insufficiente per mantenere in marcia vantaggiosamente la caldaia a biomassa.

Nel caso di integrazione impianto preesistente funzionante a combustibile tradizionale si può valutare, in fase di progetto, la possibilità di mantenerlo a fianco di quello a biomassa, potendo così dimensionare al meglio quest'ultimo.

1.2 Dimensionamento Silo

Il volume utile del silo deve contenere il combustibile necessario per il funzionamento per il periodo che intercorre fra una fornitura e quella successiva, più una opportuna scorta, dell'ordine del 20 %. Tale volume deve essere determinato in funzione del consumo durante tale periodo di tempo, calcolato nelle condizioni di massimo carico termico medio effettivo.

I parametri di progettazione più importanti per il dimensionamento del volume del silo sono:

- E = energia utile giornaliera massima [GJ/giorno]
- $\eta_{u,m}$ = rendimento utile medio del periodo
- N = numero di giorni intercorrenti fra due rifornimenti [giorni]
- H_v = potere calorifico riferito al volume del combustibile [GJ/m³]
- V = volume minimo del silo [m³]
- α = fattore di maggiorazione per scorta

Il volume è dunque dato da:

$$V = \frac{E N \alpha}{H_v \eta_{u,m}}$$

2. RENDIMENTI ATTESI ED EMISSIONI PREVISTE

2.1 Rendimenti minimi

Gli impianti devono preferibilmente garantire un rendimento nominale utile minimo funzione della taglia dell'impianto, come indicato in tabella, valida nel campo 350 – 1000 kW.

rendimento nominale utile minimo (%) per $P_n = 350$ kW	legge di variazione con la potenza
82	$h = 67 + 6 \log P_n$

Al di sopra di 1000 kW il rendimento nominale utile non deve comunque essere inferiore all'85%.

2.2 Emissioni inquinanti

I valori di concentrazione degli inquinanti emessi in forma gassosa e di particolato devono essere mantenuti entro i limiti previsti dal Dpcm 8 marzo 2002. A titolo esemplificativo si riportano i limiti di emissione per impianti termici di potenza nominale complessiva installata inferiore e uguale a 3MW e superiori a 0,15MW. I limiti riportati in tabella sono riferiti ad un'ora di funzionamento dell'impianto esclusi i periodi di avviamento, arresto e guasti. Il tenore di ossigeno di riferimento è l'11% in volume nell'effluente gassoso anidro.

inquinante	concentrazione massima nei fumi
Monossido di carbonio (CO)	350 mg/ m ³ _N
Ossidi di Zolfo (espressi come SO ₂)	200 mg/ m ³ _N
Ossidi di azoto (espressi come NO ₂)	500 mg/ m ³ _N
polvere	100 mg/ m ³ _N

Per gli impianti di potenza termica nominale complessiva pari o superiore a 0,035MW e non superiore a 0,15MW si applica un valore limite di emissione per le polveri totali di 200 mg/Nm³. I valori limite sono riferiti al volume di effluente gassoso secco rapportato alle condizioni normali: 0°C Centigradi e 0,1013 Mpa.

Per confrontare le emissioni inquinanti di diversi combustibili è bene riferirsi alla stessa quantità di energia prodotta. La quantità di inquinante emessa per unità di energia prodotta si chiama "fattore di emissione". I fattori tipici di emissione dei principali combustibili per uso riscaldamento sono riportati nella tabella seguente.

combustibile	mg/MJ					g/MJ
	polveri	C _x H _y	CO	NO _x	SO _x	CO ₂
gas naturale	0	5	50	40	0	55.6
gasolio	3.5	15	50	60	100	74.6
olio combustibile	5	10	50	100	140	84.5
biomassa	60	40	500	150	10	-

3. RELAZIONE FRA POTENZA INSTALLATA E CONSUMO DI ENERGIA

3.1 Stima del fabbisogno energetico di un impianto

Un utile metodo per prevedere il consumo energetico di una installazione termica consiste nel tracciare il diagramma di carico dell'utenza. Esso riporta la frequenza cumulata delle potenze termiche, il quale, dato un valore di potenza, riportato sulle ordinate, restituisce il numero di ore in un anno in cui la potenza richiesta all'impianto è superiore al valore dato.

L'area sottostante la curva rappresenta l'energia globalmente consumata dall'impianto.

Per poter costruire tale diagramma in via previsionale, occorre conoscere la distribuzione di frequenza delle temperature esterne durante il periodo di riscaldamento, e ammettere una dipendenza lineare fra potenza richiesta e temperatura esterna, del tipo:

$$\Phi = a + b(T_i - T_e)$$

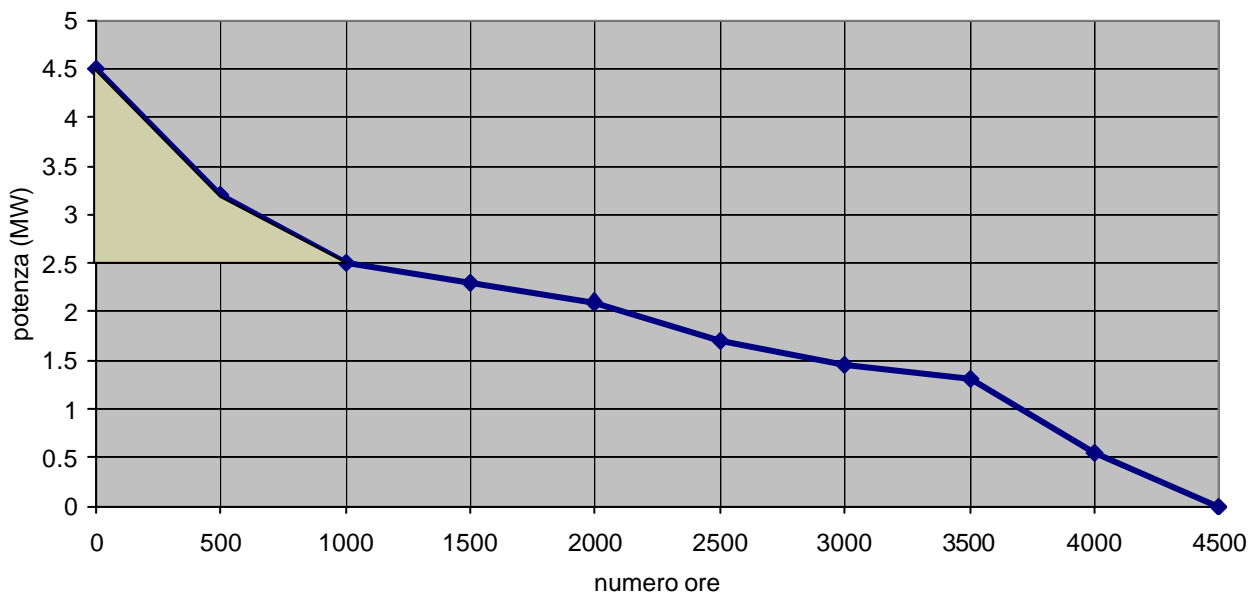
in cui le costanti a e b si determinano sapendo che $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ e imponendo che la potenza sia pari a quella massima per $T_e = T_p$ (temperatura esterna di progetto) e uguale a zero per $T_e = T_r$ (temperatura esterna di riferimento). Tipicamente si assume $T_r = 12\text{-}15 \text{ }^\circ\text{C}$, e non $20 \text{ }^\circ\text{C}$, per tenere conto della presenza di apporti gratuiti.

I passi da compiere sono pertanto i seguenti:

- determinazione della distribuzione di frequenza delle temperature esterne della località
- determinazione della distribuzione di frequenza delle potenze termiche, calcolate mediante la formula precedente
- determinazione della distribuzione di frequenza cumulata delle potenze.

A titolo di esempio si veda la figura qui sotto, fatta per un impianto con potenza massima di 4,5 MW, che funziona per 4500 ore (circa 187 giorni) all'anno.

Diagramma di carico



A titolo di esempio, il numero di ore in cui viene richiesta una potenza superiore a 3 MW è circa 600; il numero di ore in cui viene richiesta una potenza superiore a 2,5 MW è 1000; e così via. L'area sotto la curva risulta pari a 8675 MWh, ovvero circa 31.2 TJ (1 TJ = 10^{12} J = 278 MWh).

3.2 Ripartizione della potenza su più generatori

Attraverso il diagramma di carico è anche possibile determinare il fabbisogno di energia coperto da ogni generatore quando si suddivide la potenza massima su più generatori.

Facendo sempre riferimento al grafico dell'esempio precedente, si supponga di suddividere la potenza massima (4,5 MW) su due generatori rispettivamente da 2,5 MW e da 2 MW. Si supponga che il primo di essi sia quello primario, e il secondo sia impiegato come ausiliario e che il funzionamento di quest'ultimo sia limitato alle ore in cui è richiesta una potenza superiore a 2,5 MW.

Quest'ultimo funzionerà dunque per 1000 ore a carico parziale, mentre il generatore da 2,5 MW funzionerà a pieno carico per 1000 ore e per le restanti 3500 a carico parziale.

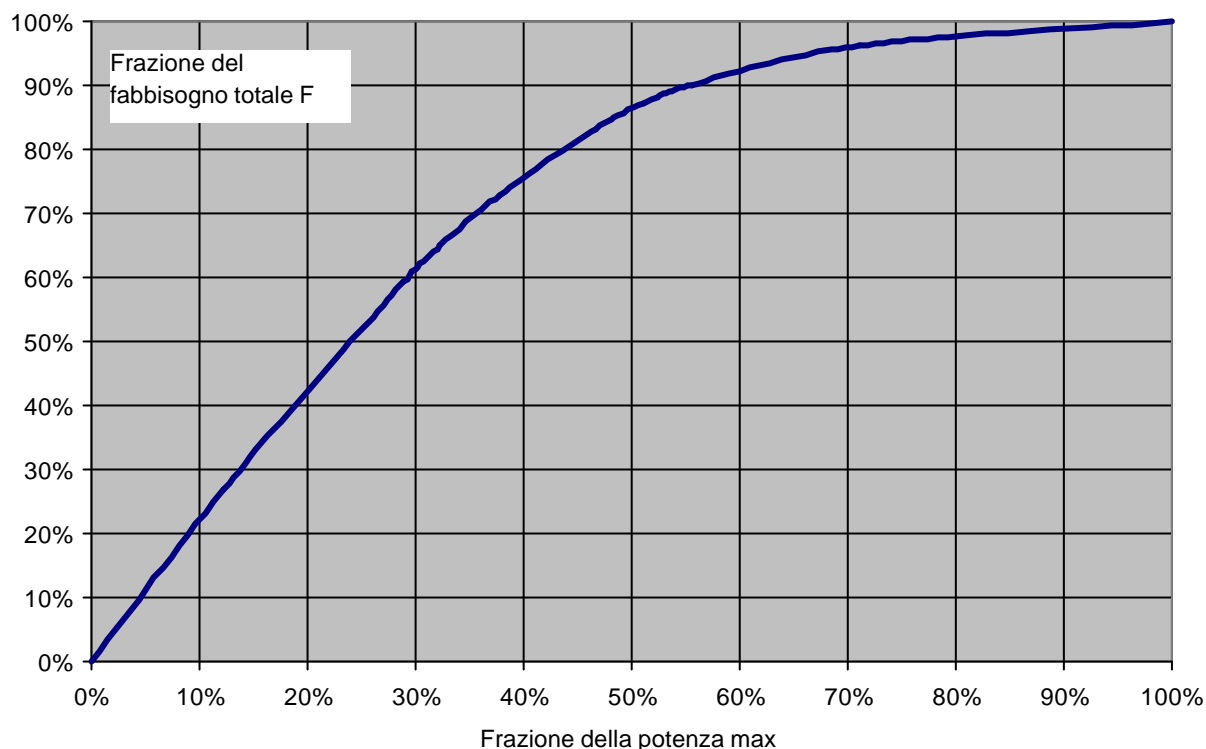
Il fabbisogno energetico soddisfatto dall'ausiliario sarà pari all'area del "triangolo" tratteggiato, ovvero circa 850 MWh = 3,1 TJ.

Il fabbisogno energetico soddisfatto dal primario sarà dunque $8675 - 850 = 7825$ MWh = 28,1 TJ.

Si osservi che l'impianto primario, con una potenza pari a $2,5/4,5 = 56\%$ della potenza massima, copre un fabbisogno pari a $28,1/31,2 = 90\%$ del totale.

Per semplificare la lettura delle aree sul diagramma di carico è possibile utilizzare un ulteriore diagramma, da esso desunto, nel quale si riporta in ascisse la frazione di potenza del generatore primario rispetto alla potenza massima, e si legge direttamente in ordinate la frazione di fabbisogno da esso coperta rispetto al totale.

Essa è riportata a titolo di esempio nella figura sottostante.



Nella tabella sottostante si descrive il procedimento utilizzato per ricavare il diagramma sopra riportato.

potenza (MW)	no.ore per cui è superata la potenza	fabbisogno di energia (MWh)	cumulata del fabbisogno (MWh)	cumulata del fabbisogno del secondario (MWh)	cumulata del fabbisogno del primario (MWh)	frazione di potenza	frazione di energia
(a)	(b)	(c)*	(d)=cum(c)	(e) **	(f)=tot-(d)	(a)/a _{max}	(f)/tot
4.5	0	0	0	0	8675	100.0%	100.0%
3.2	500	1925	1925	325	8350	71.1%	96.3%
2.5	1000	1425	3350	850	7825	55.6%	90.2%
2.3	1500	1200	4550	1100	7575	51.1%	87.3%
2.1	2000	1100	5650	1450	7225	46.7%	83.3%
1.7	2500	950	6600	2350	6325	37.8%	72.9%
1.5	3000	800	7400	2900	5775	33.3%	66.6%
1.3	3500	700	8100	3550	5125	28.9%	59.1%
0.5	4000	450	8550	6550	2125	11.1%	24.5%
0	4500	125	8675	8675	0	0.0%	0.0%

$$* c_j = (a_j + a_{j-1})(b_j - b_{j-1})/2$$

$$** e_j = d_j - a_j(b_j - b_1)$$

Se i rendimenti dei due impianti sono simili, la frazione di fabbisogno coincide con la frazione di consumo coperto dall'impianto prioritario.

In caso contrario, la frazione di consumo sarà pari a

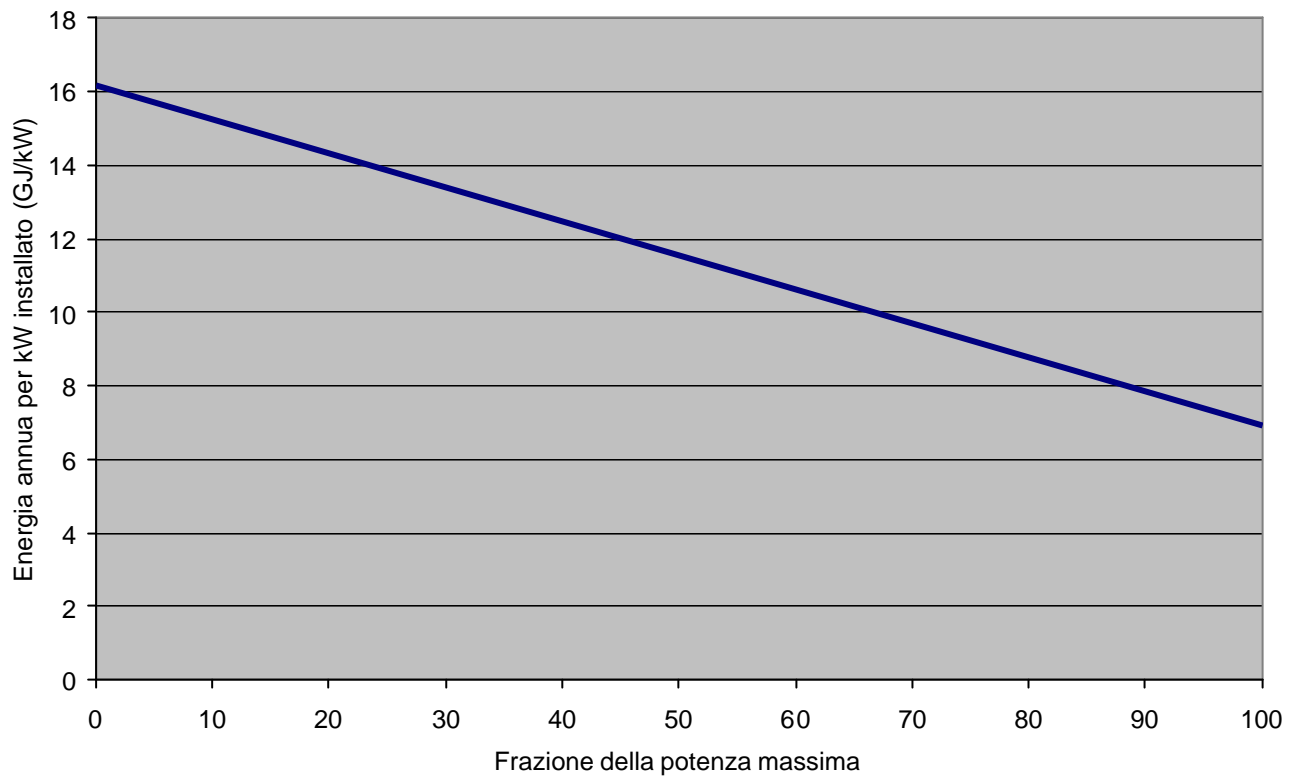
$$\frac{F}{F + (1 - F) \frac{\eta_p}{\eta_a}},$$

in cui F è la frazione di fabbisogno coperta dal primario e η_p e η_a sono rispettivamente i rendimenti medi del primario e dell'ausiliario.

3.3 Fabbisogno tipico coperto dal generatore a biomassa

Per garantire un efficace ammortamento del maggior costo dell'impianto a biomassa è opportuno che esso sia impiegato come impianto primario, e che l'eventuale impianto a combustibile tradizionale che ad esso si affianca sia impiegato soltanto come impianto ausiliario per coprire i picchi di domanda di potenza.

E' inoltre opportuno che l'utenza sia caratterizzata da una buona continuità di domanda, e non sia dunque una utenza saltuaria. In tali condizioni, nelle località della Provincia di Torino, la produzione di energia dell'impianto a biomassa dipenderà dalla frazione di potenza dell'impianto a biomassa rispetto a quella totale (impianto a biomassa + impianto a combustibile ausiliario), come indicato nel diagramma di seguito riportato.



4. CARATTERISTICHE DEL COMBUSTIBILE BIOMASSA

4.1 Caratteristiche energetiche e di costo di alcuni combustibili

I valori del Potere calorifico inferiore H_i dei principali combustibili sono riportati in tabella.

combustibile	H_i		Costo			Rendimento medio tipico
	MJ/kg	MJ/m ³	€/kg	€/m ³	€/GJ	
Biomassa (impianti di potenza > 350 kW)	16.7*		0.05		3.0	80 %
Gasolio	42.7		0.85		20.0	85 %
Gas naturale		34-35**	-	0.53	15.4	85 %
Olio BTZ	41.0		0.23	-	5.6	80 %

* sul secco, valore medio generale.

**riferito a un metro cubo Standard (a 1 atm e 15 °C).

4.2 Umidità

La biomassa normalmente non si trova allo stato anidro, ma ha un contenuto di umidità variabile. Questo può essere espresso attraverso l'umidità U_s sul secco e l'umidità sul tal quale U_{tq} , definite come

$$U_s = \frac{M_u - M_{\text{secco}}}{M_{\text{secco}}}$$

$$U_{tq} = \frac{M_u - M_{\text{secco}}}{M_u}$$

in cui

M_u = massa della legna umida

M_{secco} = massa della legna anidra

Il valore di umidità comunemente sta tra il 35% e il 50%, a seconda del tipo di legname, del tempo trascorso dalla produzione del biomassa (quello appena prodotto è naturalmente più umido) e del tipo di stoccaggio.

4.3 Contenuto energetico della biomassa

Il potere calorifico di una specie legnosa dipende dal suo contenuto in lignina (che è pari a circa 25 MJ/kg), in cellulosa (16.7 MJ/kg) e in resina.

Anche la percentuale di corteccia incide sul potere calorifico, in quanto questa ha basso potere calorifico e alto contenuto in ceneri.

Nella tabella qui sotto sono riportati i valori medi indicativi di H_i per le latifoglie e le conifere. Valori riferiti specificamente ad una specie possono essere adottati nei casi in cui si abbia la certezza di utilizzare quest'ultima in purezza.

Valori di potere calorifico inferiore del legno con $U_s = 12-15\%$, espresso nelle diverse unità di misura.

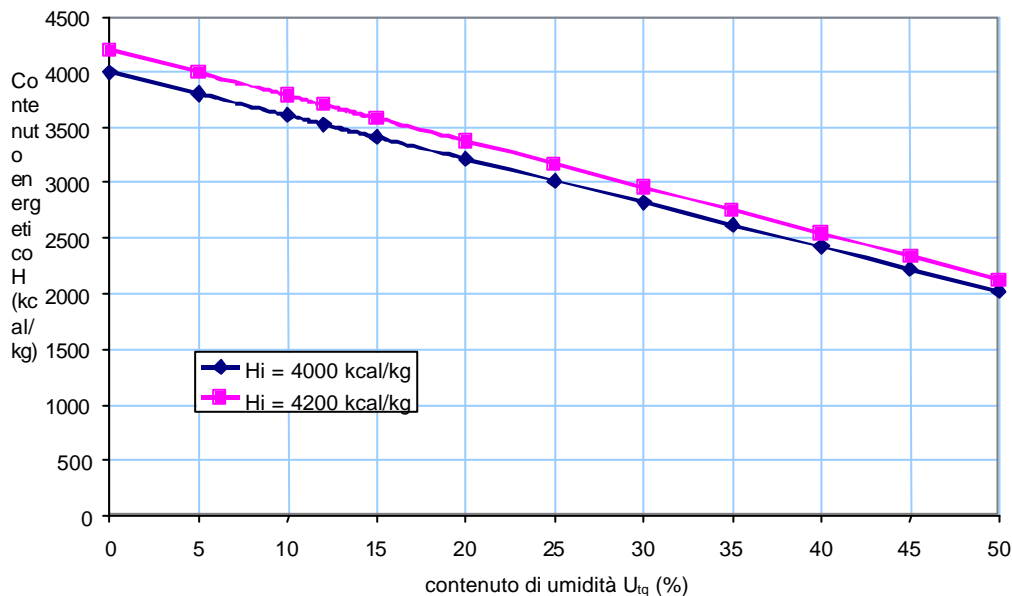
Potere calorifico inferiore	kcal/kg	MJ/kg	kWh/kg
conifere	3800	15.9	4.42
latifoglie	3600	15.1	4.19
Medio generale	3700	15.5	4.30

Il potere calorifico inferiore del legno diminuisce all'aumentare della sua umidità, non solo perché diminuisce la quantità di sostanza secca effettivamente presente nell'unità di peso considerata, ma anche perché una parte dell'energia liberata nel processo di combustione viene assorbita dall'evaporazione dell'acqua e quindi si rende indisponibile per l'uso termico desiderato. Per la biomassa, caratterizzato da una potenziale forte variabilità di composizione, si fa riferimento al contenuto energetico H rispetto al tal quale ricavato a partire da H_i sul secco con una formula correttiva, che tiene conto dell'umidità della massa espressa come percentuale sul tal quale:

$$H = \frac{H_i (100 - U_{tq})}{100 - 0.025U_{tq}}$$

Applicando tale formula ad un cippato ricavato da legno con $H_i = 16.7$ MJ/kg sul secco si ottiene il grafico di figura, che dà una chiara idea di come decresca il contenuto energetico di un kg di legna al crescere dell'umidità dello stesso.

Contenuto energetico della legna al variare del contenuto di umidità



5. PIANO DI APPROVVIGIONAMENTO

Per filiera legno-energia si intende un insieme organizzato di fattori di produzione, trasformazione, trasporto e di utilizzazione della biomassa legnosa a fini energetici. La filiera comprende quindi tutte le tappe della trasformazione del bosco in calore, partendo dalle operazioni di taglio ed esbosco, passando per la trasformazione del legno in minuzoli, per finire nell'alimentazione della bocca della caldaia.

Il piano di approvvigionamento della centrale termica può influenzare notevolmente il livello di sostenibilità ambientale dell'intero progetto, in particolare se consideriamo due aspetti:

1. la localizzazione del bacino;
2. la fonte di approvvigionamento.

E' bene chiarire innanzi tutto che l'approvvigionamento dovrebbe essere preferibilmente locale, in modo da massimizzare i vantaggi ambientali dell'utilizzo delle biomasse, costituiti dal fatto che esse presentano emissioni nulle di anidride carbonica (la quota prodotta nei processi di combustione viene assorbita dalla biomassa durante il ciclo vitale).

Una corretta valutazione del sistema filiera - impianto deve infatti anche considerare i consumi energetici e gli impatti ambientali di tutta la catena di approvvigionamento e i vantaggi sopra riportati potrebbero in parte essere contrastati dagli impatti ambientali di trasporto del combustibile nel caso di utilizzo di materiale non di origine locale. E' pertanto indispensabile legare la realizzazione di nuove centrali con il territorio circostante, minimizzando di conseguenza le emissioni inquinanti locali (gas nocivi in atmosfera e rumore) e i consumi energetici della fase di trasporto. Il piano di approvvigionamento dell'impianto sarà tenuto in considerazione nella valutazione dei progetti, oltre che per quanto sopra esposto anche sulla base della sussistenza di intese ed accordi con fornitori che possano garantire la provenienza locale del materiale.

La fonte di approvvigionamento locale che sarà tenuta in maggior conto è il materiale di scarto proveniente dalla gestione del bosco e dalla manutenzione degli alvei. In questo modo si possono garantire ulteriori benefici ambientali all'intero progetto, in particolare l'utilizzo a fini energetici del legno proveniente dal bosco potrebbe trasformarsi anche in un sostegno indiretto ai lavori di miglioramento e manutenzione dei lotti forestali circostanti con ricadute positive relativamente alla salvaguardia del territorio. Particolarmente interessante possono essere le forme contrattuali che legano direttamente la gestione della centrale termica con un piano di assestamento forestale. In tali accordi dovranno essere definite le procedure che possono garantire l'individuazione dei lotti oggetto dei lavori di miglioramento boschivo associati all'alimentazione della caldaia.

Pertanto, si invitano i proponenti a:

- specificare, ove possibile, la località di approvvigionamento della centrale (allegare eventuali intese ed accordi di fornitura);
- specificare il possibile impatto del trasporto del materiale sulla viabilità locale (indicando, ove richiesto, il numero di consegne annue);
- definire gli eventuali lotti di terreno interessati dal piano di approvvigionamento della centrale.

6. ESEMPIO DI CASH FLOW

Di seguito si riporta un esempio di cash-flow, che può essere utilizzato come riferimento per la compilazione della richiesta di contributo.

Esempio: L'investimento prevede un esborso totale di 650.000 Euro così ripartito:

- 50.000 al primo mese
- 50.000 al terzo mese
- 200.000 al quinto mese
- 150.000 al nono mese
- 100.000 al dodicesimo mese
- 100.000 al quindicesimo mese

Le entrate necessarie a coprire gli esborsi sono i seguenti:

- 175.000 di fondi propri, di cui 100.000 al primo mese e 75.000 al quindicesimo
- 225.000 di contributi di terzi, di cui 150.000 al quinto mese e 75.000 al dodicesimo
- 125.000 di mutuo, disponibile a partire dal terzo mese
- 250.000 di contributo provinciale, di cui 125.000 disponibile al terzo mese e 125.000 disponibile al ventesimo.

Per essere sostenibile da un punto di vista finanziario un progetto deve avere un cash-flow maggiore o uguale a zero in ogni mese.

1	mese	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
2	Previsione pagamenti (migliaia di Euro)	50		50		200				150			100			100						650	
3	Disponibilità finanziaria totale (migliaia di Euro)	100		250		150							75			75					125	775	
3.1	6.1.1 Fondi propri	100														75						175	
3.2	Contributi da terzi					150							75									225	
3.3	6.1.1.1.1 Mutui			125																		125	
3.4	Contributo Provincia			125																	125	250	
4	Saldo (migliaia di Euro)	50	50	250	250	200	200	200	200	50	50	50	25	25	25	0	0	0	0	0	0	125	

7. DESCRIZIONE TECNOLOGIE ESISTENTI

I generatori di calore per biomassa sono generatori a tubi di fumo. Sono riportate di seguito alcune indicazioni costruttive e funzionali.

7.1 Modelli principali di camera di combustione

7.1.1 Impianto a griglia fissa

Impianto ad alimentazione inferiore per combustibile secco

Il sistema più adatto e conveniente per le industrie della lavorazione del legno, soprattutto per le gamme di potenza medio - piccole, è una caldaia ad alimentazione inferiore. La speciale struttura del focolare impedisce la formazione di scorie anche nel caso di materiale molto secco e trucioli.

Le caratteristiche principali di questi impianti sono riportate di seguito.

GAMMA DI POTENZA OTTIMALE:	10-3000 kW
Campo di regolazione della potenza	20-100%
Umidità relativa del combustibile	10-37%
Contenuto ceneri	fino a 1%
Rendimento nominale utile	da 75 a 80 %

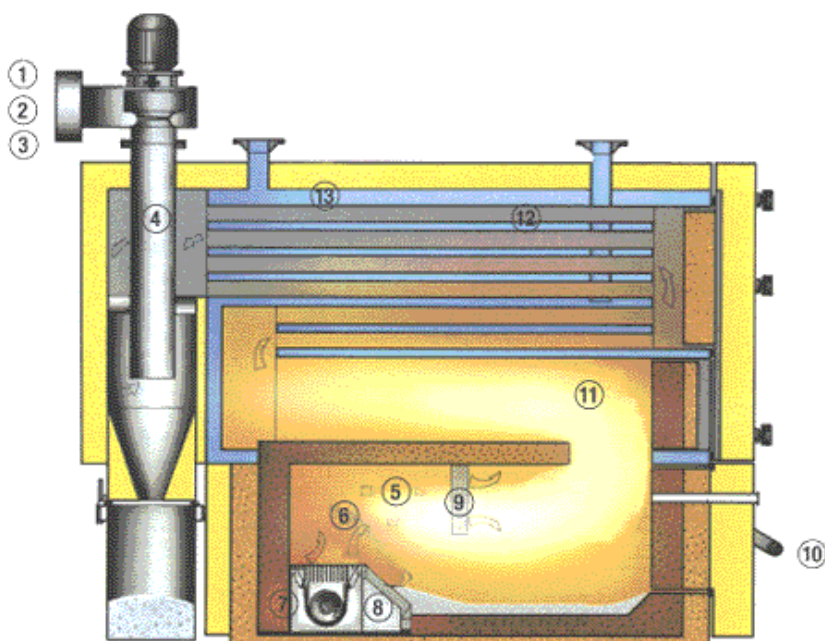
Impianto ad alimentazione inferiore per combustibile umido:

Per le gamme di potenza medio - piccole gli impianti ad alimentazione inferiore costituiscono un sistema economico anche per la combustione di biomassa proveniente dal bosco.

I vantaggi principali sono un'ottima possibilità di regolazione e una costruzione compatta.

Le caratteristiche principali di questi impianti sono riportate di seguito.

Gamma di potenza ottimale:	10-3000 kW
Campo di regolazione della potenza:	25-100%
Umidità relativa del combustibile	20-55%
Contenuto ceneri	fino a 2%
Rendimento nominale utile	da 70 % a 75 %



Esempio di caldaia ad alimentazione inferiore

1. sensore residuo dell'ossigeno nei gas combusti
2. sensore temperatura gas di scarico
3. soffiante gas di scarico
4. depolveratore fumi
5. focolare
6. sensore controllo braci
7. introduzione aria primaria 1
8. introduzione aria primaria 2
9. introduzione aria secondaria
10. portello focolare
11. sensore temperatura focolare
12. scambiatore di calore a tubi di fumo
13. sensore di temperatura caldaia

Nel caso di materiale particolarmente umido si deve agire sull'aria primaria con dei soffiatori ancora supplementari agli standard.

7.1.2 Impianto a griglia mobile

Con movimento di avanzamento - arretramento

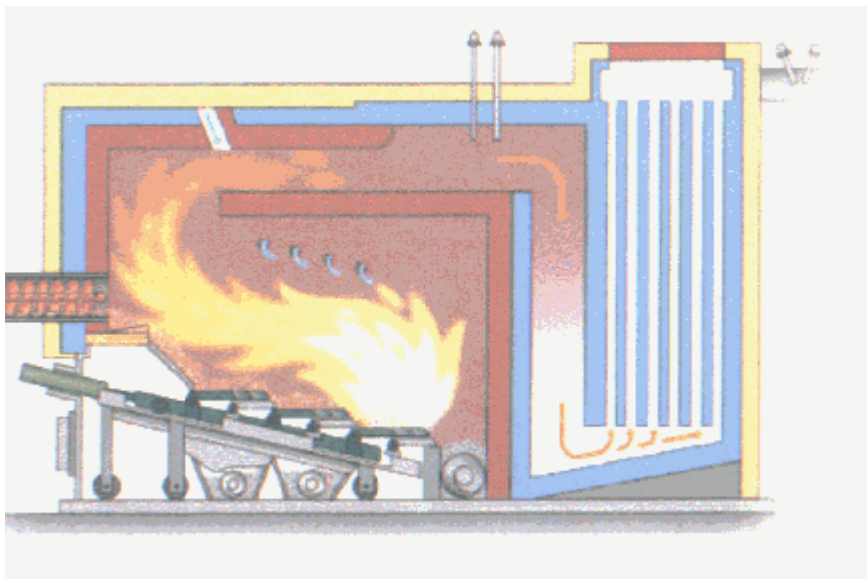
Nella manutenzione dei boschi e nelle segherie vengono prodotti gli assortimenti legnosi più disparati, a volte con alto contenuto d'acqua o cortecce. Se si vuole utilizzare convenientemente questi assortimenti legnosi direttamente dal bosco alla caldaia la griglia mobile ad avanzamento - arretramento è il sistema ideale. Questo tipo di impianto è di facile manutenzione e ha una elevata tollerabilità di combustibile.

La caldaia a griglia mobile viene utilizzata negli impianti più grossi anche per la combustione di legno secco.

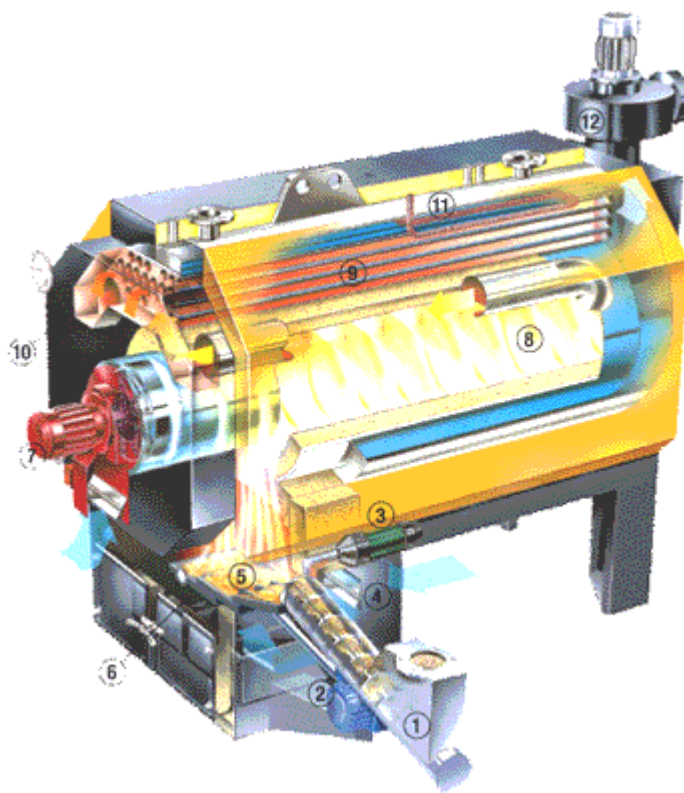
Le caratteristiche principali di questi impianti sono riportate di seguito.

Gamma di potenza:	50 kW - 3000 kW
Campo di regolazione della potenza:	30-100%
Umidità relativa del combustibile	9-60%
Contenuto ceneri	fino a 10%
Rendimento nominale utile	da 80 a 85%.

Particolare griglia mobile ad avanzamento – arretramento :



Esempio di costruzione caldaia griglia mobile



1. dosatore a coclea con sbarramento ritorno fiamma - combustibile
2. azionamento griglia di avanzamento
3. ventola per accensione automatica
4. alimentazione regolata di aria primaria
5. griglia di avanzamento combustibile
6. contenitore per cenere trasportata dalla griglia
7. ventola
8. camera di combustione a rotazione
9. scambiatore di calore a tubi di fumo
10. porta della caldaia
11. scambiatore di calore di sicurezza
12. ventola gas combusti

Nella fattispecie la camera di combustione rotante migliora la combustione e quindi il rendimento nominale utile della caldaia.

Con movimento di rotazione

Si tratta di caldaie indicate per ogni tipo di biomassa e per potenze elevate oltre i 2000 kW. In questa situazione praticamente l'avanzamento si realizza per gravità sagomando e disponendo opportunamente gli elementi della griglia.

I rendimenti sono intorno al 70 %.

7.2 Regolazione della combustione

La regolazione riguarda sia la potenza erogata, sia la correttezza dei parametri di combustione (eccesso d'aria, incombusti).

Le moderne caldaie a legna vengono dotate del dispositivo di ottimizzazione elettronica della combustione e di regolazione della potenza tramite sonda LAMBDA (sistema a regolazione residuo O₂ nei fumi). Questo dispositivo regola costantemente la potenza della caldaia e la produzione di calore.

La regolazione mediante sonda LAMBDA corregge senza interruzione l'apporto di combustibile e permette quindi una combustione ottimale anche in presenza di qualità di biomassa molto diverse. Il ventilatore fumi a frequenza regolata riduce il consumo di corrente elettrica e garantisce una depressione costante del focolare.

Ulteriori sviluppi nella regolazione della combustione comprendono la regolazione anche del CO con la sonda LAMBDA, che permette una combustione ancora più regolare e costante anche in presenza di combustibile misto.

Un fattore che influisce notevolmente sulla combustione è la forma costruttiva della camera di combustione, in cui deve avvenire la giusta mescolanza dell'aria preriscaldata e la portata, a seconda della potenza regolata, dell'aria primaria ed aria secondaria, che dà la combustione ottimale.

7.3 Sistema abbattimento inquinanti

7.1.3 Abbattimento NO_x

Considerato che le diverse qualità di legna hanno quantità differenti di azoto, durante la combustione vengono dunque inevitabilmente prodotte piccole quantità di ossido di azoto. L'abbattimento di NO_x viene normalmente ottenuto mediante opportuni interventi di introduzione differenziata dell'aria di combustione. Con tale sistema i valori di NO_x possono essere ridotti del 40-80%, a seconda del tipo di combustibile.

7.1.4 Abbattimento inquinanti solidi

Per poter mantenere i valori delle polveri sotto ai 30 mg/m³_N, così come previsto dall'attuale normativa italiana per impianti di potenza superiore ai 3 MW, si può utilizzare un filtro a maniche se i fumi sono secchi. Per quanto riguarda la depolverizzazione dei fumi, i multicicloni bastano per la gran parte delle situazioni, essendo in grado di portare entro i parametri richiesti la maggior parte dei casi. Con necessità particolari, o per maggiori esigenze, oltre al separatore a multiciclone, si possono aggiungere svariati sistemi di filtrazione: da quelli elettrostatici, ai lavaggi, alla condensazione, ad altri apparati sempre comunque costosi e quindi applicabili solo a grandi impianti, dove se ne ammortizza e giustifica il costo.

7.4 Impianti a condensazione

Durante la combustione di assortimenti legnosi molto umidi i gas che ne derivano contengono ancora una considerevole quantità di energia, sotto forma di vapore. Quando la temperatura di ritorno dell'acqua dall'utenza sia a bassa temperatura (T < 45°C) è possibile condensare parzialmente il vapor d'acqua contenuto nei fumi. Ciò comporta un aumento di rendimento di alcuni punti percentuali e una riduzione delle polveri nei fumi fino a meno di 30mg/m³_N.

7.5 Tecnologie di estrazione delle ceneri dalla camera di combustione

La quantità di ceneri dipende dalla tipologia di biomassa: il legno di faggio, ad esempio, senza la corteccia, produce lo 0,2% di cenere, mentre la corteccia di frassino ne produce il 7%.

Negli impianti di riscaldamento senza la griglia mobile in caso di quantità di cenere superiore al 1% (cioè in caso di combustibile con un contenuto di corteccia del 10%) esistono grossi problemi di rimozione delle ceneri, soprattutto quando si brucia:

- ramaglia
- corteccia
- scarti di imballaggi
- legno con un alto grado di sporcizia (legno di recupero).

I sistemi di estrazione delle ceneri comprendono sia l'abbattimento del particolato dai fumi, sia l'estrazione vera e propria dalla caldaia (dalla camera di combustione).

Per allontanare le ceneri dalla caldaia si adottano diversi sistemi

- manuali (per piccoli impianti)
- automatici (per impianti medio-grandi)

Fra questi ultimi si ricordano i sistemi di estrazione

- a coclea
- pneumatici.

7.6 Sistemi di trasporto del cippato

La qualità del cippato (forma, misura, pezzi in sopra misura ecc.) influisce molto sul buon funzionamento delle caldaie a cippato e soprattutto sui sistemi di trasporto dal silo alla camera di combustione.

I sistemi di estrazione del cippato dal silo possono essere, in funzione del tipo di cippato:

- a rastrelli interni, se il combustibile è particolarmente umido;
- a coclea, utilizzabile solo per cippato omogeneo o comunque di piccole dimensioni di scaglia;
- a imbuto e vite mobile.



I sistemi di alimentazione della camera di combustione possono essere, in funzione del tipo di biomassa

- a coclea
- a nastro trasportatore, in caso di qualità molto scadenti di cippato (ad es. pezzi lunghi) o per la corteccia, con spintore idraulico finale
- mediante benna portata da carroponte, per silos molto grandi

movimentazione con rastrelli idraulici



pinza per cippato

8. LEGISLAZIONE E NORMATIVA DI RIFERIMENTO PER L'UTILIZZAZIONE DEL LEGNO COME COMBUSTIBILE

- D.L. 7 gennaio 1995, n.3 (Gazz. Uff. n.5 del 7/1/95): *“Disposizioni in materia di riutilizzo dei residui derivanti da cicli di produzione o di consumo in un processo produttivo o in un processo di combustione...”*.
- Decreto Min. Ambiente 16 gennaio 1995 (supplemento Gazz. Uff. n.24 del 30/1/95): *“Norme tecniche per il riutilizzo in un ciclo di combustione per la produzione di energia dai residui derivanti da cicli di produzione o di consumo”*. Specifiche che descrivono quali tipi di sottoprodotti legnosi possono essere bruciati nelle diverse tipologie d'impianti.
- Decreto Legislativo 5 febbraio 1997, n. 22 (supplemento Gazz. Uff. n.38 del 15/2/97): *“Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio”*. Per il riutilizzo dei sottoprodotti della lavorazione del legno e del verde pubblico come combustibile e per lo smaltimento delle ceneri. I sottoprodotti derivanti dal taglio del legno vergine non sono considerati fra i residui e possono quindi essere bruciati senza vincoli. Per le ceneri non è prevista la riutilizzazione come concime o per compostaggio. Unica possibilità usarle per fare mattoni o smaltirle in discarica inertizzate.
- L.R. n. 59 del 13 aprile 1995 e D.G.R. attuativa n.63-8317 del 29 aprile 1996 - (B.U.R. n.22 del 29/5/96): *“Disposizioni per la raccolta ed il conferimento delle frazioni organiche, la produzione del compost ed il trattamento della frazione verde”*.
- Legge 9 gennaio 1991, n.10 (supplemento Gazz. Uff. n. 13 del 16/1/91): *“Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia”*.

- D.P.R. n.412 del 26 agosto 1993 (supplemento Gazz. Uff. n. 242 del 14/10/93): *“Regolamento recante norme per la progettazione, l’installazione, l’esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell’art.4, comma 4, della Legge 9 gennaio 1991, n.10”*. Art. 15: *“Per gli edifici di proprietà pubblica o adibiti ad uso pubblico è fatto obbligo...di soddisfare il fabbisogno energetico favorendo il ricorso a fonti rinnovabili...,salvo impedimenti di natura tecnica od economica... Per quanto riguarda gli impianti termici, tale obbligo si determina in caso di nuova installazione o di ristrutturazione.”*
- Dpcm 8 marzo 2002 (caratteristiche dei combustibili inquinanti – requisiti tecnici degli impianti)

Norme CTI-UNI ed EN di riferimento per l'utilizzazione del legno come combustibile

1. Legno da ardere. Classificazione (Cod. UNI 9016/87)
2. Legno da ardere. Determinazione delle caratteristiche energetiche (Cod. UNI 90 17/87)
3. Sottoprodotti e residui agricoli. Classificazione e determinazione delle caratteristiche energetiche (Cod. UNI 9220/88)
4. Forni di incenerimento di rifiuti solidi urbani ed assimilabili con recupero di calore. Determinazione delle prestazioni energetiche (Cod. UNI 9246/88)
5. Biomasse. Determinazione dell’azoto totale (Unichim-CTI) (Cod. UNI 9249/88)
6. Biomasse. Determinazione del carbonio e dell’idrogeno (Unichim-CTI) (Cod. UNI 9250/88)
7. Impianti di gassificazione per combustibili solidi non minerali. Classificazione e prescrizioni per il collaudo (Cod. UNI 9254/89)
8. Forni di incenerimento per rifiuti speciali ospedalieri. Offerta, fornitura e collaudo (Cod. UNI9720/90)
9. Impianti di incenerimento di rifiuti speciali. Offerta, fornitura e collaudo (Cod. UNI 9496/91)
10. Termocaminetti a legna con fluido a circolazione forzata. Requisiti e prove (Cod. UNI 9841/91)
11. Combustibili solidi non minerali ricavati da rifiuti (RDF) (Cod. UNI 9903/92).
 - Classificazione e requisiti (Parte I)
 - Termini e definizioni (Parte II)
 - Indicazione di base per il campionamento sistematico dei combustibili (Parte III)
 - Determinazione della pezzatura (Parte IV)
 - Determinazione del potere calorifico del combustibile (Parte V)
 - Determinazione del carbonio e dell’idrogeno (Parte VI)
 - Misura dell’umidità totale in un campione di combustibile (Parte VII)
 - Determinazione delle sostanze volatili (Parte VIII)
 - Determinazione delle ceneri nel combustibile (Parte IX)
 - Determinazione delle varie forme di cloro esistenti nel combustibile (Parte X)
 - Determinazione dell’azoto totale nel combustibile (Parte XI)
 - Preparazione dei campioni di combustibile per l’analisi dei metalli (Parte XII)
 - Metodi per l’analisi dei metalli nei combustibili con la spettrofotometria in assorbimento atomico (Parte XIII)
12. Impianti per la combustione della lolla di riso (Cod. UNI 10143/92)
13. Generatori di calore alimentati con combustibili solidi provenienti dalla lavorazione dei residui agricoli e/o forestali. Definizioni, prove termiche e requisiti (Cod. UNI 10201/92)
14. Residui di combustione della lolla di riso. Caratteristiche (Cod. UNI 10377/94)

-
15. Sistemi di combustione per rifiuti solidi urbani ed assimilabili. Regole per la progettazione, l'offerta, l'ordinazione, la fornitura ed il collaudo. (Cod. UNI 10378/94)
 16. EN 303-5 – Generatori di calore per combustibili solidi fino a 300 kW.