

CALCOLO EFFICACIA ED EFFICIENZA DI TERMOCAMINETTI A GIRI DI FUMO

Introduzione

La presente relazione ha obiettivo di calcolare indicativamente funzionamento efficacia ed efficienza di termocaminetti che per il loro funzionamento usano la tecnologia dei giri di fumo.

Per correttezza non verranno indicati nomi di costruttori ma ci si riferirà ad un prodotto generico che abbia caratteristiche tecniche e costruttive come di seguito indicate senza indicare nello specifico quanti giri di fumo o particolari accorgimenti costruttivi siano stati impiegati per migliorare gli scambi termici ma ricorrendo a valori di rendimento ed efficienza dei vari scambiatori/sistemi di scambio impiegati pari a quelli di grossi impianti/generatori funzionanti a biomassa (legno) che cautelativamente saranno sicuramente più elevati di quelli ottenibili con un generatore da 35 kW.

I risultati ottenuti con la presente relazione non possono e non potranno confutare i risultati ottenuti da taluni produttori di termocamini che hanno certificato i valori di rendimento diretto all'acqua e globale (UNI 9481/91) del proprio prodotto in un laboratorio di prova accreditato dai competenti ministeri.

Il generatore (termocaminetto) in analisi ha le seguenti caratteristiche:

temperatura mandata impianto	55°C
temperatura ritorno impianto	45°C
temperatura minima raggiunta dai corpi scaldanti	43°C
temperatura media fumi combustione	300°C
temperatura uscita fumi dal termocaminetto	180°C
temperatura acqua impianto prima dell'accensione	12°C
superficie locali da riscaldare	260 m ²
contenuto acqua termosifoni	73 litri (73 kg)
contenuto acqua impianto	30 litri (30 kg)
contenuto acqua termocamino	100 litri (100 kg)
contenuto acqua impianto	203 litri (203 kg)
massa a vuoto del termocamino	350 kg
potenza termica installata (termosifoni)	22000 W
portata termica nominale termocamino	35000 W

Nei generatori presenti sul mercato risulta che l'acqua presente sia esposta alla fiamma ed al fuoco e quindi riscaldata per irraggiamento diretto in quantità pari al 20-25% (20-25 kg) e per il restane 75-80% (75-80kg) per effetto del calore ceduto dai fumi.

Nell'analisi condotta si considera il termocamino come un sistema statico chiuso rispetto all'ambiente esterno. Tale approssimazione di calcolo è resa possibile dall'intervento del termostato

<i>ing. Marco Cinalli</i>	Relazione tecnica di calcolo inerzia termica e consumo legna del termocamino	Cinalli e Cinalli s.n.c.	Pag. 2 di 7 10/05/05
---------------------------	--	--------------------------	-------------------------

di azionamento della pompa che chiude il circuito qualora la temperatura dell'acqua scenda a 45°C e dalla conoscenza della quantità di acqua che entrando nel termocamino provoca l'abbassamento della temperatura fino a quel valore.

Analisi dei parametri di combustione

Per la combustione di ogni kg di legna occorrono circa 5 m³ d'aria e per ogni kg di legna si formano circa 15 m³ di fumo. Si è fissata la temperatura dei fumi pari a 300° C.

Con una portata termica del termocamino di 35 kW vengono bruciati circa 7,5 kg di legna per i quali occorrono circa 37,5 m³ d'aria e si producono circa 112,5 m³ di fumo.

Si suppone cautelativamente che la quantità di fumo prodotto sia pari a 120 m³ (sovrastimati) mentre il calore specifico del fumo risulta essere da tabelle pari a 0,335 kCal/m³.

La potenza contenuta nei fumi risulta essere:

$$Q_{FUMI} = G_{FUMI} \cdot c_{p FUMI} \cdot \Delta T_{FUMI-AMBIENTE} = 120 \cdot 0,335 \cdot (300 - 10) = 11658 \text{ kCal} / h \equiv 13,5 \text{ kW}$$

Considerando però che il fumo all'uscita del termocamino deve avere una temperatura di almeno 180°C per garantire un corretto funzionamento (tiraggio) della canna fumaria il calore che può essere ceduto dai fumi risulta essere pari a

$$Q_{FUMI EFFETTIVO} = G_{FUMI} \cdot c_{p FUMI} \cdot \Delta T_{FUMI} = 120 \cdot 0,335 \cdot (300 - 180) = 4824 \text{ kCal} / h \equiv 5,6 \text{ kW}$$

tale calore non può essere ceduto interamente dal fumo di combustione al fluido termovettore acqua in quanto il passaggio di calore (scambio termico) avviene tramite uno scambiatore (termocamino) che avrà una particolare geometria, forma, materiale di costruzione e quindi un certo rendimento $\eta_{scambiatore}$.

Per riscaldare per convezione gli 80 litri d'acqua contenuti nel termocamino occorrono

$$Q_{acqua conv} = m \cdot c_p \cdot \Delta t = 80 \cdot 4,18 \cdot (55 - 12) = 14380 \text{ kJ}$$

Si suppone che $\eta_{scambiatore} = 85\%$ [tale valore è eccessivamente alto ed è estremamente difficile realizzare nella realtà uno scambiatore fumo - acqua con tale efficienza] allora il calore effettivamente ceduto dal fumo all'acqua risulta essere:

$$Q_{effett cedibile} = Q_{FUMI EFFETTIVO} \cdot \eta_{scambiatore} = 5,6 \cdot 0,85 = 4,7 \text{ kW} \approx 17136 \text{ kJ}$$

Per riscaldare gli altri 20 litri per irraggiamento si può supporre un fattore di forma F_f di 0,8 e cautelativamente considerare tutta la potenza installata.

Allora il calore ceduto all'acqua risulta essere:

$$\begin{aligned} Q_{effett cedibile} &= (Q_{installato} - Q_{FUMI} - Q_{incombusti} - Q_{ceduto ambiente installazione}) \cdot F_f \cdot \eta_{scamb} = \\ &= (35 - 13,5 - 0,7 - 5,0) \cdot 0,8 \cdot 0,75 = 9,5 \text{ kW} \approx 34128 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Risulta allora che dalla combustione di 7,5 kg/h di legna (pari ad una potenza installata di 35 kW) siano effettivamente cedibili all'acqua circa 14,2 kW (≈ 51120 kJ) oltre ai 5 kW ceduti nel locale di installazione del termocamino (**rendimento termico diretto all'acqua = 40,5%**).

Per riscaldare la quantità di acqua presente nel termocamino occorrono 13800 kJ cioè 13,8 MJ mentre per riscaldare la massa del termocamino occorrono circa 4400 kJ cioè 4,4 MJ quindi complessivamente occorrono circa 18,2 MJ.

Si è stimato che in un ora si possano produrre 51120 kJ utili cedibili all'acqua allora per riscaldare l'acqua contenuta nel termocamino occorrono

$$51120 : 60 = 18200 : x \Rightarrow x = 21 \text{ min } 20 \text{ sec}$$

$$7,5 : 60 = x : 21,3 \Rightarrow x = 2,66 \text{ kg di legna}$$

Cioè dopo un tempo pari a circa 25 minuti dall'accensione del fuoco ed aver bruciato 2,66 kg di legna tutta l'acqua contenuta nel termocamino si trova a 55°C.

Tale periodo di tempo verrà definito ciclo W.

Raggiunta la temperatura di 55°C il termostato avvia la pompa di circolazione.

Il periodo di tempo che impiega la pompa di circolazione dell'impianto a mandare l'acqua riscaldata dal termocamino all'impianto (2 minuti e trenta secondi) verrà definito ciclo X.

Completato il primo ciclo W comincia il primo ciclo X durante il quale viene avviata la pompa di circolazione che sarà fermata al raggiungimento della temperatura nel termocamino di 45°C. L'avviamento e l'arresto della pompa saranno gestiti dalla centralina di comando che intrinsecamente garantirà che l'acqua in caldaia non scenda al di sotto dei 45°C comandando l'arresto della pompa di circolazione al raggiungimento della temperatura suddetta.

Ciò consente l'invio dal termocamino all'impianto di circa 40 litri d'acqua a 55°C e contemporaneamente l'ingresso nel termocamino di circa 40 litri di acqua proveniente dall'impianto alla temperatura di circa 12°C.

Durante il ciclo X l'acqua rimasta nel termocamino cederà parte del calore che ha accumulato alla massa di acqua in ingresso, lo stesso avverrà per la massa del termocamino e per il calore reso disponibile dalla combustione della legna che continua indisturbata durante il ciclo X.

L'acqua all'interno del termocamino sarà alla temperatura di 45°C per effetto del calore proveniente:

- dalla miscelazione con l'acqua che era rimasta nel termocamino, 60 litri, che fornisce circa 2500 kJ permettendo di riscaldare $2500 = x \cdot 4,18 \cdot (45 - 12)$ $x = 18,1$ litri di acqua in ingresso da 12°C a 45°C
- dalla massa del termocamino 350 kg che fornisce circa 882 kJ (raffreddandosi da 105 a 85°C) permettendo di riscaldare $882 = x \cdot 4,18 \cdot (45 - 12)$ $x = 6,4$ litri di acqua in ingresso da 12°C a 45°C
- dalla combustione della legna durante il funzionamento della pompa (circa 2 minuti e 30 secondi) che bruciata in quantità pari a 0,312 kg produce circa 5,31 MJ che moltiplicati per il rendimento termico diretto all'acqua (sovrastimato pari al 45% e non al 40,5% prima calcolato) rende disponibili circa 2390 KJ permettendo di riscaldare $2390 = x \cdot 4,18 \cdot (45 - 12)$ $x = 17,30$ litri di acqua in ingresso da 12°C a 45°C.

Il periodo di tempo che impiega il termocamino per riscaldare l'acqua al suo interno da 45°C a 55°C verrà definito ciclo Y.

Nella prima fase di funzionamento (messa a regime dell'impianto di riscaldamento) si ha un primo ciclo W ed una successione di cicli alternativi X e Y finché tutta l'acqua dell'impianto non raggiunge i 45°C.

Per quanto detto, nei cicli Y successivi l'acqua all'interno del termocamino è presente a 45°C allora

ACQUA $Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 100 \cdot 4,18 \cdot (55 - 45) = 4180$ kJ calore necessario per scaldare la massa d'acqua contenuta nel termocamino da 45°C a 55°C

TERMOCAMINO $Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 350 \cdot 0,126 \cdot (105 - 85) = 882$ kJ calore necessario per scaldare da 85°C a 105°C il termocamino

Per scaldare in ogni ciclo C l'acqua contenuta nel termocamino servono 5062 kJ cioè 5,06 MJ.

Fissando il p.c.i. della legna pari a 17 MJ/kg e conoscendo il rendimento termico diretto all'acqua (45%) si calcola la quantità di legna da bruciare per riscaldare la massa del termocamino e l'acqua in esso contenuta

$$\frac{5,06}{0,45} = 11,25 \text{ MJ} \approx 0,660 \text{ kg legna}$$

Si è supposto che la massa del termocamino si riscaldi con lo stesso rendimento dell'acqua (ipotesi cautelativa).

Con una potenza installata di 35 kW si consumano 7,5 kg di legna all'ora (60 minuti) pertanto si può calcolare quanto tempo occorre per bruciare 0,660 kg di legna.

$$7,5 : 60 = 0,660 : X$$

X= 5 minuto e 20 secondi

Rappresenta il tempo necessario per riscaldare l'acqua contenuta nel termocamino al fermarsi della pompa cioè il tempo che trascorre tra quando si arresta la pompa e quando questa viene nuovamente avviata per alimentare i termosifoni.

Per riscaldare tutta l'acqua presente nell'impianto da 12°C a 45°C occorrono come si evince dalla Tabella 1 circa 5,9 kg di legna e circa 47 minuti e 20 secondi.

numero cicli	Ciclo	Tempo 35	Consumo legna
1	W	21' 20"	2,66
4	X	2' 30"	0,312*
3	Y	5' 20"	0,660

Tabella 1 Consumo legna e tempo necessario per funzionamento a regime

DOPO CIRCA 47 MINUTI ESCLUSO IL TEMPO DI INNESCO DALL'ACCENSIONE DEL TERMOCAMINO ED AVER BRUCIATO 5,9 kg DI LEGNA L'IMPIANTO DI RISCALDAMENTO FUNZIONA A REGIME CIOÈ TUTTA L'ACQUA PRESENTE NELL'IMPIANTO (203 LITRI) È ALLA TEMPERATURA DI 45°C.

SECONDA FASE

I radiatori presenti nell'impianto (120 elementi con interasse 80) hanno una costante di tempo pari a 0,4 ore, cioè dopo circa 25 minuti la temperatura del termosifone scende del 63,2% arrivando a circa 20°C.

La relazione esponenziale di variazione della temperatura permette di calcolare il tempo necessario affinché la temperatura dell'acqua dell'impianto arrivi a 45°C. Tale tempo risulta essere di circa 5 minuti e verrà definito ciclo Z.

Per il tempo successivo alla messa a regime cioè nel funzionamento normale (regime stazionario) dell'impianto avrò l'acqua in ingresso al termocamino a 45°C ed in uscita a 55°C con un salto di temperatura quindi pari a 10°C.

Si considera che dopo 5 minuti tutta l'acqua presente nell'impianto si trovi a 45°C, e si calcola quale sia la quantità di calore necessaria per riportare tutta la massa d'acqua alla temperatura di 55°C:

ACQUA $Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 73 \cdot 4,18 \cdot (55 - 45) = 3050$ kJ calore necessario per scaldare tutta la massa d'acqua contenuta nell'impianto di riscaldamento

TERMOCAMINO $Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 350 \cdot 0,126 \cdot (105 - 85) = 882$ kJ calore necessario per scaldare da 85°C a 105°C il termocamino

Per scaldare la massa d'acqua considerata contenuta nell'impianto servono 3932 kJ cioè 3,9 MJ.

Il rendimento termico diretto all'acqua è pari al 45% allora per riscaldare la massa del termocamino e l'acqua contenuta nell'impianto da 45°C a 55°C dovrò bruciare

$$\frac{3,9}{0,45} = 8,6 \text{ MJ} \approx 0,510 \text{ kg legna}$$

Tale quantità di legna è necessario che bruci al più nel tempo che impiegano i 73 litri di acqua a raffreddarsi da 55°C a 45°C e cioè nei 5 minuti calcolati precedentemente affinché l'acqua recuperi tutto il calore che ha ceduto all'ambiente per mezzo dei termosifoni.

Per ogni ora di funzionamento ininterrotto dell'impianto di riscaldamento asservito all'abitazione in questione ci saranno quattro cicli Z allora:

IL CONSUMO DI LEGNA ORARIO È PARI A:

$$0,510 \text{ kg legna} \cdot 12 = 6,12 \text{ kg / h}$$

ANALISI DEI RISULTATI

Il problema dei termocamini che funzionano con la tecnologia dei giri di fumo è che al funzionamento con porte o sportelli aperti il rendimento diretto all'acqua cala drasticamente. Tale situazione è chiaramente visibile in quanto l'apertura degli sportelli è vincolata all'apertura della

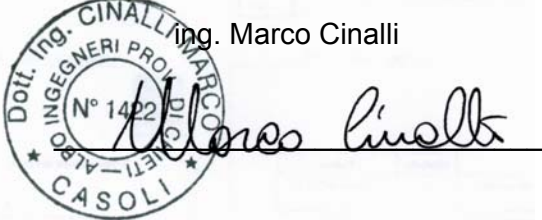
valvola di deviazione dei fumi che vengono convogliati direttamente nella canna fumaria alla temperatura di 300°C.

In tale situazione il termocamino funziona solo come camino al più riscaldando l'acqua solo per irraggiamento arrivando ad ottenere al massimo un rendimento termico diretto all'acqua pari appena al 25-27% mentre il calore ceduto all'ambiente di installazione aumenta di circa 2-3 kW in relazione alla dimensione della camera di combustione.

Inoltre il buon funzionamento ed il raggiungimento dei valori di rendimento su calcolati sono vincolati alla presenza continua di fiamma viva accompagnata da grande produzione di fumi.

Ciò implica che il consumo orario di legna aumenta drasticamente (fino a tre o quattro volte quello calcolato) in quanto la parte di acqua esposta al fuoco (20 litri) viene riscaldata per irraggiamento mentre la restante parte per moto convettivo naturale.

Il tecnico

ing. Marco Cinalli


sito internet:

<http://www.termocaminomercury.it/>

<mailto:info@termocaminomercury.it>