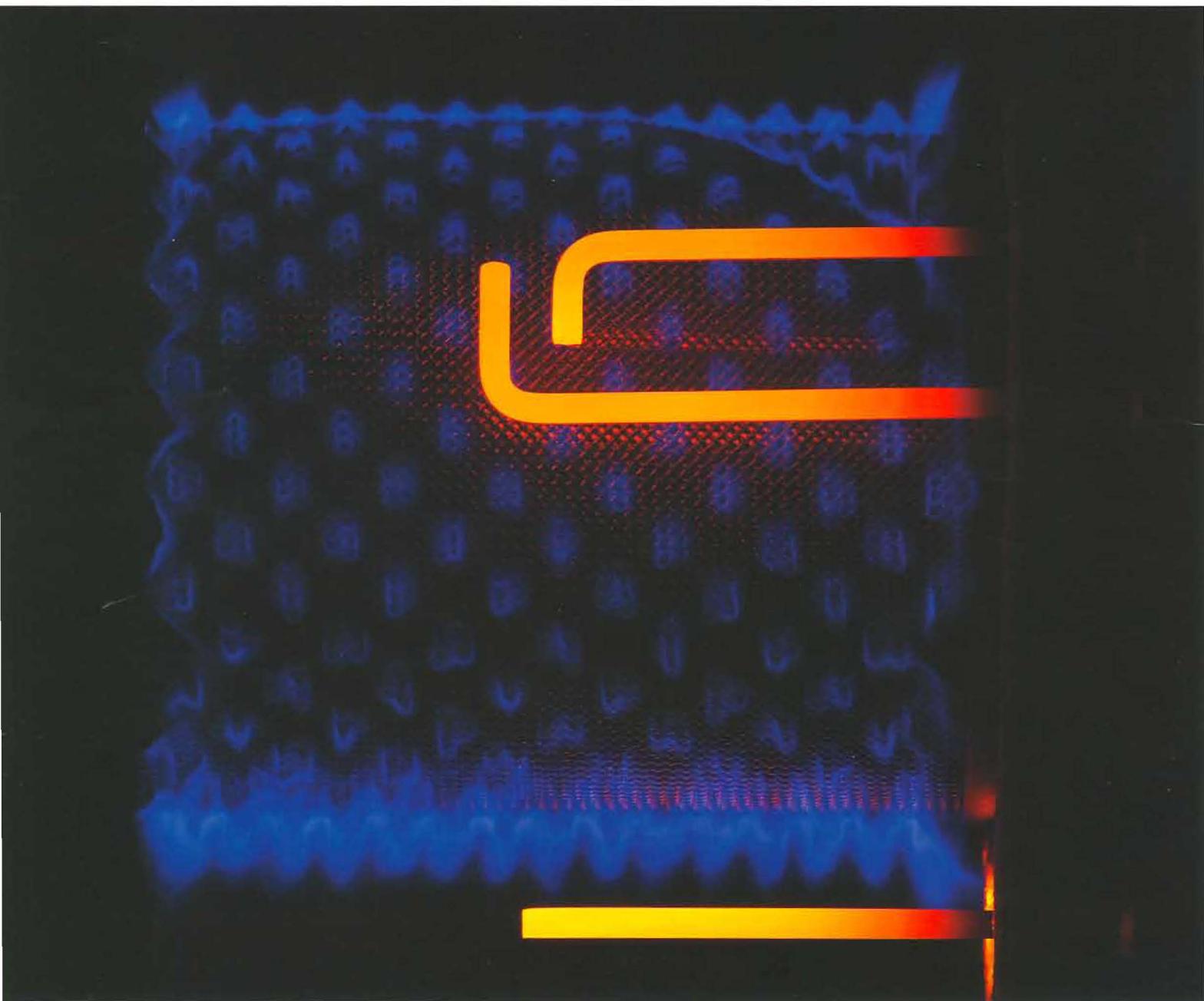


# Le caldaie a condensazione

di Luca Stefanutti e Stefano Sala, Studio Termotecnico, Milano



## LO SCARICO DELLA CONDENSA

La quantità di condensa che si crea nelle caldaie a condensazione varia in funzione di diversi fattori: la temperatura dell'aria di combustione e la sua umidità, ma soprattutto la temperatura alla quale viene gestito l'impianto di riscaldamento. Per dare un'idea della quantità di condensa prodotta con il metano si può considerare che una caldaia da 50 kW nominali, con temperatura di mandata e ritorno rispettivamente di 40 e 30 °C, produce circa 4,4 l/h di condensa (pari a 1,2 l/h per m<sup>3</sup> di metano, contro i 1,6 l/h per m<sup>3</sup> di metano teorici dati dalla combustione stechiometrica a pressione atmosferica).

La condensa, che presenta una leggera acidità, non può essere direttamente convogliata nella rete fognaria. La legge italiana in materia può essere rispettata installando dispositivi di neutralizzazione della condensa che utilizzano, ad esempio, come sostanza di neutralizzazione, idrolito di magnesio. Per gli impianti con potenzialità fino a 35 kW lo scarico della condensa prodotta può avvenire direttamente nella rete fognaria del fabbricato, in caso di locali ad uso abitativo. In caso di locali ad uso ufficio invece deve essere installato un neutralizzatore di condensa se gli utenti sono inferiori a 10. Negli impianti tra i 35 e 200 kW è possibile scaricare l'acqua di condensa senza neutralizzarla solamente se la medesima viene raccolta nelle ore notturne e rilasciata nella rete fognaria (se questa ha le caratteristiche costruttive idonee) miscelata con altre acque di scarico.

Gli impianti con potenza superiore a 200 kW hanno l'obbligo di neutralizzare l'acqua di condensa.

Vale comunque, come regola generale, il criterio che lo scarico e il trattamento della condensa devono seguire le prescrizioni emesse dai competenti enti locali, i quali talvolta esigono anche l'ispezionabilità del tratto di collegamento della tubazione di scarico della condensa alla rete fognaria pubblica e la possibilità di effettuare prelievi d'acqua.

L'innovazione più importante degli ultimi anni inerente la tecnologia dei generatori di calore a uso riscaldamento è stato lo sviluppo della tecnica di funzionamento a condensazione. Una panoramica delle diverse tecnologie ed un confronto di rendimenti ed emissioni nocive. Nelle caldaie classiche, il vapore di acqua contenuto nei fumi non è condensato; ciò significa che, abbassando la temperatura dei fumi fino a raggiungere un livello lievemente superiore alla temperatura di condensazione, viene recuperato esclusivamente calore sensibile. Ma i fumi contengono ancora una quantità considerevole di energia accumulata sotto forma di calore latente. La tecnica della condensazione consente di utilizzare la notevole quantità di calore contenuto nei fumi, che nelle caldaie convenzionali è dispersa attraverso il camino. In questo caso non si tratta solamente del calore sensibile, bensì anche del calore latente dei fumi, contenuto nel vapore d'acqua generato nel processo chimico della combustione, naturale conseguenza dell'unione tra l'idrogeno contenuto nel combustibile e l'ossigeno presente invece nell'aria comburente introdotta dal bruciatore. Il calore latente contenuto nei gas di combustione (pari al calore di vaporizzazione) si libera per effetto della condensazione del vapore d'acqua formatosi durante la combustione quando viene a contatto con un elemento (lo scambiatore della caldaia) posto ad una temperatura più bassa del punto di rugiada del vapore acqueo stesso. Il calore asportato al vapore acqueo condensato viene quindi trasferito al fluido termovettore in circolazione in caldaia.

### Il potere calorifico

È importante ricordare, per ottenere una maggiore comprensione di questo effetto, il significato di potere calorifico superiore (PCS) e di potere calorifico inferiore

(PCI) di un combustibile.

Il potere calorifico inferiore identifica la quantità di calore liberata durante la combustione completa di un combustibile, senza considerare il calore di evaporazione del vapore d'acqua contenuto nel combustibile stesso.

Come potere calorifico superiore si definisce invece la quantità di calore liberata dalla combustione di un combustibile, incluso il calore di evaporazione contenuto nel vapore d'acqua presente nei gas di combustione (presente come prodotto della reazione chimica).

Si intende per "temperatura di rugiada" quella temperatura al di sotto della quale si manifesta il fenomeno della condensazione del vapore acqueo contenuto nella miscela di gas, che dallo stato gassoso si trasforma nello stato liquido, rilasciando una specifica quantità di calore definita come "calore latente di evaporazione", pari a 627 W per kg di acqua.

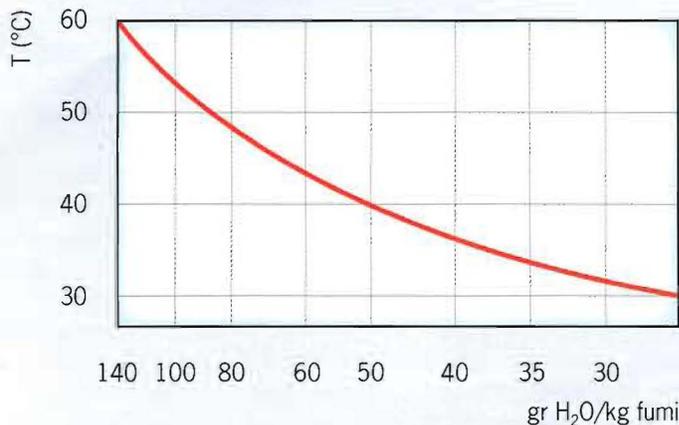
Per innescare favorevolmente detto fenomeno è importante disporre di gas combustibile ad elevata umidità relativa (cioè con un buon contenuto di vapore acqueo) e di una superficie di contatto

ad una temperatura sufficientemente bassa.

Considerando che la quantità di acqua vaporizzata durante il processo di combustione è sempre la stessa, il peso relativo dipende dalla quantità dei fumi prodotti, cioè dall'eccesso d'aria e perciò dalla percentuale di CO<sub>2</sub> presente nella combustione. In base a questa considerazione è conseguente legare la percentuale di CO<sub>2</sub> presente nei fumi di scarico con la temperatura della superficie che deve produrre la condensazione.

La combustione teorica del gas metano avviene con una temperatura di rugiada di 59,1 °C, di conseguenza quando i fumi si trovano ad una temperatura inferiore inizia ad presentarsi il fenomeno di condensazione del vapore acqueo.

È evidente che maggiore è il livello di umidità dei fumi, più alto sarà il livello della temperatura sotto alla quale si potrà sfruttare il calore ceduto dalla condensazione dei fumi, e conseguentemente definire la temperatura del fluido che deve asportare il calore di condensazione innalzando la propria temperatura (generalmente l'acqua di ritorno dall'impianto).



1 Contenuto specifico di acqua nei fumi al variare della temperatura di rugiada.

to termico). Il limite massimo di questa temperatura di ritorno viene indicata dai costruttori in base alla tipologia di combustibile ed alle caratteristiche specifiche del generatore di calore.

Si riporta nel grafico di figura 1 la relazione tra la temperatura di rugiada ed il contenuto specifico di acqua dei fumi.

Per creare le condizioni ideali per la condensazione diminuendo il contenuto di acqua nei fumi si deve abbassare sempre di più la temperatura di rugiada occorrente allo scopo.

## I rendimenti

In teoria per bruciare 1 m<sup>3</sup> di gas metano occorrono circa 10 m<sup>3</sup> di aria, costituiti da 2 m<sup>3</sup> di ossigeno e 8 m<sup>3</sup> di azoto. Tale quantità di aria viene definito come "aria teorica di combustione".

La combustione del metano comporta la formazione di azoto, vapore acqueo ed anidride carbonica (pari al 12%). Questi valori sono però solamente teorici: infatti, in realtà, non potendo realizzare una miscelazione perfetta tra aria comburente e combustibile, è necessario utilizzare un maggiore quantitativo di aria per evitare la formazione di prodotti incombusti (comunemente definito eccesso d'aria per la combustione).

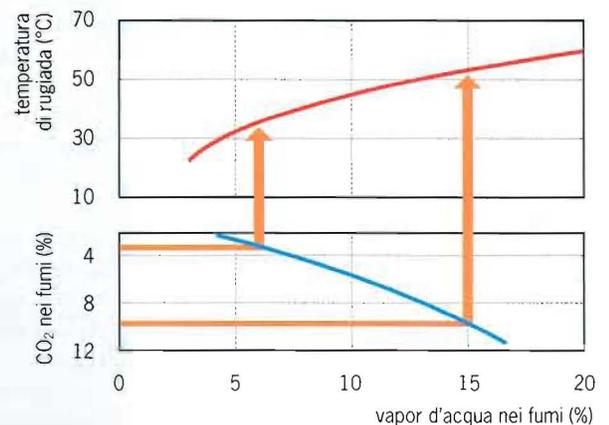
Nel caso opposto, cioè con difetto d'aria,

la combustione comporta la formazione di monossido di carbonio (CO), che è un composto chimico molto tossico.

Ne risulta che all'aumentare dell'eccesso d'aria nella combustione diminuisce la percentuale di vapore acqueo e quindi si abbassa anche la relativa temperatura di rugiada necessaria per avviare la condensazione, scendendo al di sotto dei 59 °C teorici sino ai valori in pratica occorrenti, come indicato nel grafico di figura 2.

Per le caldaie convenzionali si considera esclusivamente il valore del potere calorifico inferiore del combustibile, perché per la loro tipologia costruttiva esse possono sfruttare solamente questa parte del calore teorico. Infatti arrivare alla condensazione dei gas di combustione all'interno di una caldaia costruita in acciaio o ghisa di tipo convenzionale provocherebbe la corrosione delle superfici interne di scambio termico, dato che il vapore acqueo condensato risulta essere molto acido, con un valore medio di pH pari a 4,5.

Quindi per poter consentire la condensazione dei fumi all'interno della caldaia le superfici a contatto con i fumi (e la relativa condensa) devono essere realizzate con materiali resistenti alla corrosione acida, quali l'acciaio inox, il rame, e speciali leghe moderne in alluminio-silicio.



2 Curve di condensazione del gas metano.

In generale si può affermare che tanto più è elevata la differenza tra PCI e PCS, tanto maggiore è la possibilità di applicare efficacemente la tecnica della condensazione.

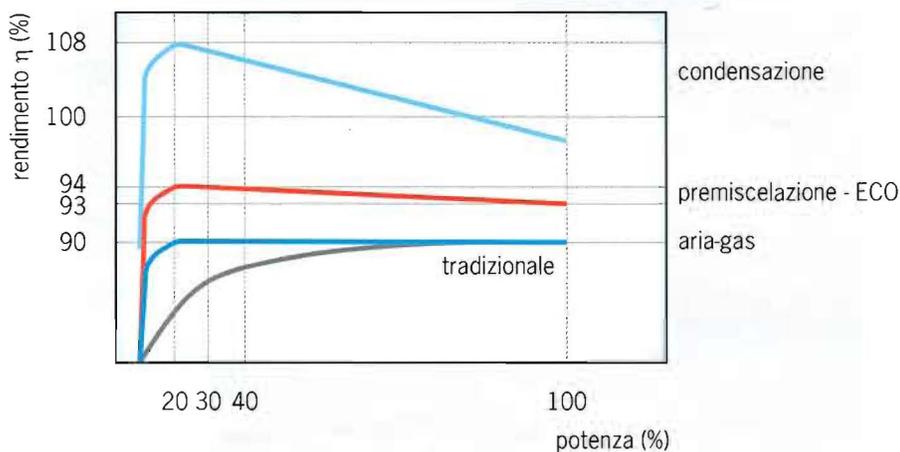
Per il gasolio tale differenza è pari al 6%, mentre per il gas metano il PCS si trova circa l'11% sopra al PCI. Inoltre, la temperatura di condensazione del gas metano risulta di 10 °C superiore a quella del gasolio (circa 55 °C per il metano e 45 °C per il gasolio). Di conseguenza ne risulta un maggior sfruttamento dell'energia termica tratta dalla condensazione con metano rispetto a quella con gasolio.

Quanto sopra esposto ci chiarisce come sia possibile che nel gergo tecnico comune vengano indicati per le caldaie a condensazione rendimenti superiori al 100% (figura 3). Ovviamente considerando detto valore fine a se stesso sembrerebbe che con queste caldaie venga prodotto più calore di quello immesso tramite la combustione del combustibile, e questo risulterebbe in contrasto con le leggi della fisica per le quali in un processo di trasformazione dell'energia la quantità finale ottenuta non può essere maggiore di quella iniziale (nulla si crea, nulla si distrugge, ma tutto si trasforma!).

L'incongruenza nasce dal fatto che per



3 Perdite di calore e rendimento di una caldaia a condensazione in riferimento al PCI del combustibile.



4 Confronto dei rendimenti di diversi tipi di caldaie in funzione del carico termico.

definizione il rendimento termico viene espresso con riferimento al potere calorifico inferiore di un combustibile (PCI) e quindi, quando con il fenomeno della condensazione si recupera energia sfruttando anche il calore latente presente nel vapor d'acqua presente nei fumi della combustione, l'energia finale data dal potere calorifico superiore (PCS) del combustibile risulta essere maggiore di quella iniziale.

La figura 4 mette a confronto i rendimenti di diversi tipi di caldaie in funzione del carico termico.

È da sottolineare che una caldaia a condensazione, oltre a sfruttare nello scambio termico sia il contributo del calore sensibile che quello latente, ha perdite per radiazione e mantenimento più ridotte rispetto a una caldaia tradizionale,

in quanto lavora generalmente a livelli di temperatura inferiori.

Difatti se prendiamo come esempio una caldaia a condensazione funzionante a gas metano, è necessario garantire una temperatura di ritorno in caldaia adeguatamente inferiore a quella di condensazione dei fumi, considerata quindi al di sotto dei 50 °C, e considerando un salto termico del fluido termovettore tra andata e ritorno variabile da 10 a 20°C, a seconda dell'impianto utilizzatore, ne risulta una temperatura media in caldaia di 45÷50 °C, notevolmente inferiore a quella di una caldaia tradizionale che si aggira generalmente sui 70÷75 °C.

Con temperature di 30÷40 °C fra mandata e ritorno all'impianto, il rendimento (misurato sul PCI) arriva al 106% mentre con temperature di 70÷80 °C si mantie-

## POTENZA TERMICA

Per la definizione caratteristica di una caldaia si prendono in considerazione principalmente quella "utile" e quella "al focolare", denominata anche "portata termica". La potenza termica viene espressa in kW termici. La potenza al focolare è la quantità di calore che si sviluppa all'interno del focolare a seguito della combustione prodotta dal bruciatore. E' data dal prodotto della quantità di combustibile bruciato per il valore del potere calorifico inferiore del medesimo combustibile. La potenza utile rappresenta la quantità di calore che viene ceduta effettivamente all'acqua. Si differenzia dalla potenza al focolare dato che tiene conto delle perdite di calore esistenti durante il processo di trasformazione quali, il calore disperso con i fumi, le perdite per irraggiamento del corpo caldaia verso l'ambiente esterno, le perdite di calore passivo durante i periodi di fermata, ecc. Solamente nelle caldaie a condensazione detto valore può risultare maggiore di quello al focolare in quanto viene sfruttato anche il calore dovuto al vapore acqueo compreso nel potere calorifico superiore del combustibile utilizzato (vedere paragrafo sulla condensazione).

ne pur sempre sul 97÷98%.

Una caldaia a condensazione permette quindi, in ogni condizione operativa, sensibili risparmi di combustibile.

## L'utilizzo ottimale

Conseguentemente a quanto descritto si possono trarre alcune considerazioni di base sull'impiego di caldaie a condensazione per gli impianti termici.

La prima valutazione fondamentale è la scelta del combustibile da utilizzare. Risulta lampante che la scelta migliore ricada sul gas metano in quanto garantisce una maggior quantità di calore recuperato, una temperatura media dell'impianto termico più elevata ed una migliore tecnica di combustione con riduzione dei prodotti inquinanti mediante utilizzo di bruciatori premiscelati o ad irraggiamento.

L'impiego del gasolio si riduce quindi ad usi sporadici, o di nicchia, dovuti principalmente alle eventuali difficoltà nell'aver la fornitura del gas.

Un altro aspetto che deve essere sottolineato è la possibilità di utilizzare le caldaie a condensazione, in modo conveniente e con alti rendimenti stagionali, in quasi tutte le tipologie di impianti termici.

Dato che per caldaie funzionanti a gas metano la temperatura massima amMESSA per il ritorno mediamente si aggira sui 50 °C, appare evidente che è possibile abbinare le caldaie a condensazione non solamente ad impianti a bassa temperatura (ad esempio pannelli radianti) ma anche ad impianti a ventilconvettori oppure a radiatori, purché studiati in modo tale da avere una temperatura dell'acqua di ritorno in caldaia sufficientemente bassa, ad esempio, dimensionando i terminali per utilizzo con acqua a media temperatura (55-60 °C) e con elevato salto termico (20 K).

Inoltre è risaputo che una caldaia lavora a pieno carico per un periodo limitato della stagione invernale (circa il 10÷15% dei giorni di utilizzo), mentre l'impiego maggiore avviene in un campo di potenza termica che varia dal 30 al 70% di quella nominale della caldaia.

Ne consegue che anche per gli impianti tradizionali le temperature di lavoro del fluido termovettore possono essere per una gran parte del periodo di riscaldamento a livelli inferiori rispetto a quelli massimi di progetto, permettendo quindi di operare con temperature di ritorno in caldaia tali da essere abbastanza basse da consentire l'utilizzo della condensazione all'interno della caldaia.

Un aspetto tecnico basilare da tenere presente è che per poter sfruttare in pieno questa temperatura "scorrevole" in caldaia deve essere abbandonato il solito sistema di regolazione climatica effettuata tramite la valvola miscelatrice di mandata all'impianto: la regolazione della temperatura di funzionamento deve essere regolata agendo direttamente sulla caldaia.

## RENDIMENTO

Il rendimento è una qualità fondamentale del generatore di calore, perché da esso dipende il consumo di combustibile a parità di fabbisogno di calore da soddisfare. Si definisce rendimento termico utile il rapporto tra il calore effettivamente ceduto al fluido termovettore e il calore generato nel focolare (potenzialmente contenuto nel combustibile bruciato). Per definire la prestazione termica di una caldaia esiste innanzitutto il "rendimento di combustione", che considera utile tutto il calore prodotto, a eccezione di quello perduto al camino per incombusti e calore sensibile o latente, in condizioni di funzionamento stabile con un carico termico costante, con bruciatore che pertanto rimane sempre acceso nel periodo di tempo preso in considerazione. Analogamente, ma di valore inferiore, è il rendimento ottenuto nelle stesse condizioni prendendo in considerazione come utile il calore fornito all'impianto, vale a dire quello decurtato anche delle dispersioni termiche proprie del generatore stesso, e denominato "rendimento termico utile". Per quanto riguarda il rendimento termico utile delle caldaie ad acqua calda, alimentate con combustibili liquidi o gassosi, in base a quanto indicato dall'art. 6 del D.L. 21 dicembre 1999 n. 551 (aggiornamento del D.P.R. 26 agosto 1993 n. 412) devono essere rispettati i valori indicati nel D.P.R. 15 novembre 1996, n. 660, in applicazione del regolamento di attuazione della Direttiva 92/42/CEE; nel quale vengono determinati i requisiti di detto rendimento applicabili per le nuove caldaie. I diversi tipi di caldaie devono rispettare i rendimenti utili indicati nell'allegato VI del decreto (vedere tabella A) sia a potenza nominale, per

una temperatura media dell'acqua pari a 70 °C, sia a carico parziale, cioè con funzionamento ad un carico pari al 30% della potenza nominale, ed una temperatura media dell'acqua stabilita in base alla diversa tipologia di caldaia. Nel medesimo decreto viene inserito l'obbligo di marcatura CE del prodotto e la dichiarazione di conformità CE da parte del produttore. Inoltre viene stabilita l'attribuzione della "marcatura di rendimento energetico" definita con valori da una a quattro stelle come indicato nella tabella B.

Purtroppo i suddetti rendimenti sono dei valori limite teorici poiché nella realtà i carichi termici sono per la maggior parte del tempo di esercizio assai minori del carico massimo sulla base del quale viene dimensionata la potenza della caldaia. Ne consegue che il generatore si adegua alla situazione reale, ed al carico termico effettivamente richiesto, alternando periodi di accensione e spegnimento del bruciatore. Per raffrontarsi alle effettive condizioni operative è stato così introdotto con il D.P.R. 660/96 il rendimento a carico ridotto, pari al 30% della potenza nominale; tale parametro è decisamente più realistico, visto che tiene conto dell'influenza del funzionamento ad accensione intermittente. Ogni ciclo di accensione e spegnimento successivo rappresenta per la caldaia una sorta di shock termico e uno stress meccanico, ma anche l'origine di una perdita di rendimento di produzione calore valutato in tutto il periodo di funzionamento della caldaia e non solo nel momento di utilizzo istantaneo al massimo carico. Ad ogni accensione, si ha infatti un periodo transitorio durante il quale deve stabilirsi ancora la regolarità della combustione normale, per cui si hanno incombusti

**Tab. A - Tabella dei rendimenti termici utili secondo D.P.R. 660/96.**

Tipo di caldaia	Intervalli di potenza	Rendimento	A potenza nominale	Rendimento	A carico parziale
	kW	Temperatura media dell'acqua nella caldaia (°C)	Espressione del requisito di rendimento (in %)	Temperatura media dell'acqua nella caldaia (°C)	Espressione del requisito di rendimento (in %)
Caldaie standard	4-400	70	$\geq 84 + 2 \log P_n$	$\geq 50$	$\geq 80 + 3 \log P_n$
Caldaie a bassa temperatura (*)	4-400	70	$\geq 87.5 + 1.5 \log P_n$	40	$\geq 87.5 + 1.5 \log P_n$
Caldaie a gas a condensazione	4-400	70	$\geq 91 + 1 \log P_n$	30 (**)	$\geq 97 + 1 \log P_n$

(\*)Comprese le caldaie a condensazione che utilizzano i combustibili liquidi.

(\*\*)Temperatura dell'acqua di alimentazione della caldaia.

**Tab. B - Requisiti di rendimento termico da rispettare sia alla potenza nominale sia a carico parziale di 0,3 Pn (D.P.R. 660/96).**

Marcatura	Requisito di rendimento alla potenza nominale Pn e ad una temperatura media dell'acqua della caldaia di 70 °C	Requisito di rendimento a carico parziale di 0.3 Pd e ad una temperatura media dell'acqua della caldaia $\geq 50$ °C
*	$\geq 84 + 2 \log P_n$	$\geq 80 + 3 \log P_n$
**	$\geq 87 + 2 \log P_n$	$\geq 83 + 3 \log P_n$
***	$\geq 90 + 2 \log P_n$	$\geq 86 + 3 \log P_n$
****	$\geq 93 + 2 \log P_n$	$\geq 89 + 3 \log P_n$

e andamenti fluidodinamici sfavorevoli in maggior quantità. Inoltre, prima di ogni avviamento del bruciatore, si ha il lavaggio della camera di combustione, per eliminare il pericolo di scoppi da parte di vapori combustibili che possono essersi formati, e questa operazione porta ad una perdita energetica perché introducendo aria fredda nel focolare la stessa asporta calore dal corpo della caldaia trasportandolo sino al camino senza corrispondente produzione utile. Durante i periodi di spegnimento si possono avere anche altre perdite di calore al camino, dovute alla corrente di aria, innescata dal naturale tiraggio della canna fumaria quando la stessa è in temperatura, che percorre l'interno della caldaia asportandone ancora calore. Questo fenomeno può essere notevolmente ridotto

adottando bruciatori ad aria soffiata corredati di serranda di chiusura della bocca di aspirazione aria comburente nei periodi di fermata del bruciatore stesso. D'altro canto si evidenzia che detto fenomeno è invece sempre presente nelle caldaie dotate di bruciatore ad aria aspirata a tiraggio naturale. Inoltre esiste anche il fenomeno della perdita di calore per dispersione diretta nell'ambiente, attraverso la mantellatura della caldaia, che si mantiene pressoché inalterato per tutto il periodo di utilizzo del generatore, sia con bruciatore acceso che con bruciatore spento. In questo caso il fenomeno viene ridotto adottando un isolamento del corpo caldaia di elevato spessore e buona resistenza termica. C'è tuttavia ancora una notevole differenza tra il

rendimento a carico ridotto ora definito e il rendimento ideale di una caldaia, ed in generale dell'impianto termico, nell'arco di una stagione invernale.

Viene quindi definito "rendimento globale medio stagionale" il rapporto tra il fabbisogno di energia termica utile richiesta per il riscaldamento in tutta la stagione invernale e l'energia primaria delle fonti energetiche utilizzata.

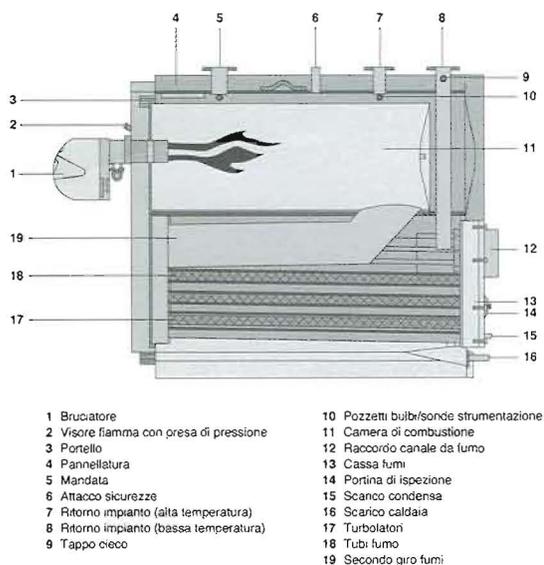
Intendendo per fonti energetiche il combustibile e l'energia elettrica utilizzata dalle apparecchiature installate quali bruciatori, elettropompe, ventilatori, ecc. Per mantenere efficiente una caldaia, ed elevato il rendimento termico utile, è necessario mantenere alcune condizioni - indispensabili, quali:

- la pulizia delle parti della caldaia a contatto dei fumi e dell'acqua e degli eventuali turbolatori;
- la corretta filtrazione dell'acqua in ingresso e spurgo di eventuali depositi fangosi nel corpo caldaia;
- il controllo e taratura del bruciatore con migliore rapporto tra aria e combustibile (l'ottimizzazione della combustione può e deve essere lo strumento preliminare per aumentare il rendimento stagionale e conseguentemente ridurre le emissioni inquinanti);
- la costanza del tiraggio della canna fumaria.

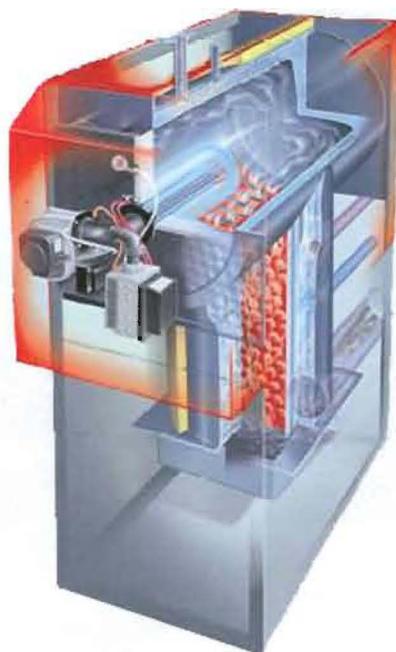
Questo sistema di controllo garantisce ottimi risultati prevedendo caldaie a condensazione dotate di bruciatori premiscelati o ad irraggiamento che possono avere una campo di modulazione della potenza erogata da un minimo del  $8 \pm 10\%$  sino al 100%. In sostanza è doveroso tenere in considerazione che, per garantire il raggiungimento di elevati risparmi energetici, l'utilizzo delle caldaie a condensazione deve essere opportunamente progettato in abbinamento ad un impianto idoneo per sfruttarne al meglio le prestazioni termiche, e consentire anche in tempi brevi il ritorno economico del maggiore investimento richiesto dall'impiego di dette caldaie.

## Tipologie delle caldaie a condensazione

Per tutti i costruttori presenti sul mercato, i problemi tecnici per la realizzazione delle caldaie a condensazione sono stati in gran parte affrontati in modo analogo, ma risolti con soluzioni tecniche molto diverse tra loro.



**6 – Schema di funzionamento di una caldaia a condensazione con focolare orizzontale (Riello).**



**5 – Caldaia a condensazione con focolare orizzontale (ICI Caldaie).**

Fondamentalmente la problematica principale è stata quella di evitare il deterioramento degli elementi componenti la caldaia che venivano a trovarsi a contatto con la condensa acida derivante dal vapore acqueo prodotto dalla combustione. Gli elementi a contatto con la condensa sono difatti realizzati in acciaio inossidabile austenitico AISI316L o Ti con particolari componenti in lega (leghe nickel-cromo-molibdeno), oppure in ghisa particolarmente trattata (ghisa eutettica vetrificata). Inoltre negli ultimi anni sono state realizzate caldaie con elementi di scambio realizzati in leghe di alluminio-silicio o alluminio-silicio-magnesio.

L'aggressione sui materiali del corpo e dello scambiatore fumi della caldaia viene limitata dall'utilizzo di gas metano che, al contrario del gasolio, non dà luogo ad anidridi solforose, che combinandosi con la condensa formano soluzioni acide molto aggressive, la cui neutralizzazione ed eliminazione sono alquanto problematiche.

È importante ricordare che la ridotta temperatura dei gas di scarico e la conseguente scarsa forza ascensionale, abbinata al fatto che la condensazione dei gas di scarico prosegue anche all'interno del camino, non consentono l'utilizzo di un preesistente camino abbinato ad una caldaia di tipo convenzionale; quindi occorre sempre predisporre con una caldaia a condensazione un apposito sistema di evacuazione fumi realizzato con materiali idonei a resistere alle condense acide prodotte.

Il mercato delle caldaie a condensazione presenta soluzioni costruttive molto diverse tra loro:

- Con focolare orizzontale e scambiatore separato per i fumi.
- Con focolare orizzontale e scambiatore incorporato per i fumi.
- Con focolare orizzontale e corpo in acciaio inox.
- Con focolare verticale e corpo in acciaio inox o in lega di alluminio-silicio.
- A moduli termici abbinati.

## Caldaia a focolare orizzontale con scambiatore fumi separato

Questa soluzione prevede generalmente una caldaia ad alta efficienza a tre giri di fumo con abbinato, nel tratto finale all'uscita dei fumi, uno scambiatore, a piastre o a tubi alettati in acciaio inox, nel quale avviene fisicamente il raffreddamento dei fumi con relativa formazione di condensa e recupero del calore latente.

Lo scambiatore ha uno sviluppo verticale e solitamente viene attraversato dai fumi dall'alto verso il basso per agevolare lo scorrimento delle gocce di condensa che vengono poi raccolte e scaricate nella parte bassa dello stesso. I bruciatori abbinabili a questo tipo di caldaia sono del tipo monoblocco pressurizzato, con regolazione modulante a fiamma diretta.

**Tab. 1 – Varianti costruttive delle caldaie a condensazione.**

<p>Tipologie principali del corpo caldaia/scambiatore</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Scambiatore di calore a tubi in acciaio inox AISI 316Ti, disposti su più ranghi, con collettore fumi sempre in acciaio inox dotato di raccolta e scarico condensa.</li> <li>■ Corpo caldaia/scambiatore di calore in monoblocco in lega di alluminio al silicio anticorrosione, a speciale profilo per elevato scambio termico.</li> <li>■ Scambiatore realizzato con tubo corrugato a doppio strato, interno in rame ed esterno in acciaio inox, avvolto a spirale per formare un corpo cilindrico attorno al bruciatore.</li> </ul>
<p>Tipologie principali del bruciatore a gas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bruciatore ceramico premiscelato a fiamma rovescia, con modulazione di potenza continua mediante variazione della velocità del ventilatore di immissione aria.</li> <li>■ Bruciatore premiscelato a microfiamme in acciaio inox con rete a maglie ridotte, modulazione di potenza continua mediante variazione della velocità del ventilatore di immissione aria.</li> </ul>
<p>Camera di combustione</p>	<p>Costruzione stagna, in acciaio inox, con guarnizioni di tenuta resistenti alla temperatura ed alle corrosioni acide.</p>
<p>Condotti fumari</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Condotta fumi monoparete in acciaio inox AISI 316 con giunzione mediante raccordi dotati di guarnizione speciale a tenuta di fumi e condense acide, diametro interno 80 mm per ogni singolo modulo termico.</li> <li>■ Collettore fumario suborizzontale per il convogliamento dei vari moduli termici sino al camino verticale in acciaio inox, dimensionato e fornito dalla casa costruttrice del generatore.</li> <li>■ Alcuni costruttori consentono anche l'utilizzo di condotti fumari in materiale plastico (Polipropilene) date le basse temperature dei fumi in uscita, ma questo tipo di impiego deve essere ben verificato in quanto deve essere garantito che i generatori non possano mai funzionare, se non per brevissimi periodi, con temperature elevate dell'acqua e quindi non operando in condensazione con conseguenti alte temperature anche dei fumi che potrebbero deteriorare i condotti plastici.</li> </ul>
<p>Circolatore</p>	<p>Elettrocircolatore a velocità regolabile, con motore a rotore bagnato (uno per ogni modulo termico).</p>
<p>Collettori e collegamenti idrici</p>	<p>Collettori circuito di andata e ritorno in acciaio nero verniciato, completi di tubazioni per allacciamento dei singoli moduli termici, flange di accoppiamento sulle testate per assemblaggio di più moduli affiancati.</p>
<p>Sistema di controllo e regolazione</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pannello di controllo del singolo modulo termico, con sistema a microprocessore con autodiagnosi, per la regolazione del funzionamento modulante del bruciatore premiscelato, gestione sensori di sicurezza e segnalazione allarmi.</li> <li>■ Centralina a microprocessore, con regolazione proporzionale più integrale, a temperatura fissa oppure variabile con compensazione climatica in base alla temperatura esterna. Funzioni complementari quali rotazione automatica dei moduli in funzione, protezione antigelo, segnalazione dei parametri di funzionamento tramite display incorporato, ed indicazione delle anomalie di funzionamento tramite appositi codici indicati sul display.</li> </ul>
<p>Armadiatura di contenimento</p>	<p>Struttura di contenimento composta generalmente da una base in profilati di acciaio zincato, telaio in profilati estrusi in alluminio, pannellature di tamponamento tipo sandwich con doppia lamiera in acciaio zincato preverniciato internamente isolata, tettuccio di protezione antitemperie in lamiera zincata, accessibilità mediante apertura dei pannelli frontali incernierati sui profilati di sostegno.</p>

## **Caldia a focolare orizzontale con scambiatore fumi incorporato**

In questo caso (figura 5) il corpo caldaia è composto da un focolare sub-orizzontale (con leggera pendenza verso la parte posteriore ove è posizionato lo scambiatore fumi) realizzato solitamente in acciaio inox AISI316Ti, mentre lo scambiatore in acciaio inox è posizionato al termine del focolare, nella parte posteriore della caldaia, ed ha sviluppo verticale. Esso è generalmente del tipo a piastre opportunamente sagomate per aumentare la turbolenza dei fumi e quindi lo scambio termico, con funzione di drenaggio a pioggia delle gocce di condensa.

Il flusso di acqua all'interno dello scambiatore è in controcorrente rispetto a quello dei fumi per aumentare lo scambio termico (figura 6). Alla base dello scambiatore è posta la camera fumi, sempre in acciaio inox, nella quale viene raccolta la condensa ed evacuata tramite un apposito condotto sifonato.

I bruciatori abbinabili a questo tipo di

caldaia sono sempre del tipo monoblocco pressurizzato, con regolazione modulante a fiamma diretta.

## **Caldia a focolare orizzontale con scambiatore a tubi di fumo**

Si tratta sostanzialmente di caldaie a tubi di fumo, nelle quali l'ultimo giro dei fumi avviene in un fasciame di tubi in acciaio inox austenitico AISI316L oppure AISI316Ti, posti in posizione sub-orizzontale nel senso di passaggio dei fumi per agevolare il deflusso della condensa e dotati di turbolatori, sempre in acciaio inox, atti a migliorare lo scambio termico dei fumi. Il fasciame dei tubi fumo è posto nella parte inferiore al di sotto del focolare vero e proprio.

Per queste caldaie vengono utilizzati bruciatori del tipo monoblocco pressurizzato, con regolazione modulante a fiamma diretta, oppure, nelle versioni più recenti, bruciatori premiscelati con testa di combustione a calza metallica per generazione di microfiamme, con regolazione continua modulante a controllo mediante microprocessore.

## **Caldia a focolare verticale con scambiatore a tubi di fumo**

E' realizzata generalmente con il corpo caldaia ed i tubi fumo in acciaio inox stabilizzato al titanio disposti verticalmente (figura 7). Il bruciatore, sempre del tipo a premiscelazione e testa radiante, si trova quindi nella parte superiore della caldaia; la camera di combustione sottostante viene dimensionata in modo da sfruttare al massimo l'effetto di trasmissione del calore radiante, ed è immersa nel flusso di acqua a temperatura più alta (figura 8). I successivi tubi di fumo, posti sempre verticalmente per favorire il deflusso verso il basso della condensa prodotta, sono invece a contatto con l'acqua di ritorno alla caldaia a temperatura più bassa.

Nella parte inferiore si trova la camera

## **EMISSIONI DI NO<sub>x</sub>**

Nell'ambito delle caratteristiche tecniche di una caldaia non si deve dimenticare che questa è una macchina termica che genera, con il processo di combustione, emissioni inquinanti in atmosfera.

Tralasciando di affrontare in questa sede tutte le problematiche inerenti la riduzione dei prodotti inquinanti derivati dai vari tipi di combustibili, gli interventi legislativi atti a limitare il contenuto di elementi tossici o nocivi nei combustibili e la relativa emissione in atmosfera, e le tecnologie messe in atto dall'industria per realizzare caldaie e bruciatori meno inquinanti, si ritiene opportuno soffermarci su un fenomeno che può essere meglio controllato mediante una scelta oculata della caldaia e del bruciatore e che si deve valutare quando si progetta e realizza un impianto termico. Questa caratteristica è la produzione di ossidi di azoto da combustione, i cosiddetti NO<sub>x</sub>. Quando un combustibile brucia a contatto con l'aria comburente, l'azoto presente nell'aria reagisce con l'ossigeno, con reazioni chimiche di ossidazione che producono ossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) in percentuali variabili. Questi prodotti della combustione vengono dunque accomunati sotto la denominazione generica di NO<sub>x</sub>. Questa reazione chimica è di tipo endotermico, quindi è favorita da temperature elevate, ed in particolare dalla temperatura della fiamma generata dal bruciatore all'interno della caldaia (1200°C e oltre) e dal tempo di permanenza dei prodotti della combustione nella zona calda della fiamma. Inoltre il processo di formazione degli NO<sub>x</sub> è favorito da un eccesso di aria e di ossigeno nella combustione che causa la formazione di ossidi di azoto primari, derivati dall'azoto molecolare contenuto nell'aria comburente. Questa tipologia di NO<sub>x</sub> incide per il 25% del totale



7 Caldaia a condensazione con focolare verticale (Hoval).

**Tab. α - Principali valori limite delle emissioni NOx a livello europeo.**

Riferimento	NOx mg/kWh
<b>DIN4702 (ed. marzo 1990)</b>	
Caldaie con bruciatore a gasolio ad aria soffiata	260
Caldaie con bruciatore a gas ad aria soffiata < 350 kW	150
Caldaie con bruciatore a gas ad aria soffiata > 350 kW	200
Caldaie a gas metano con bruciatore atmosferico	200
Caldaie a condensazione a gas metano	200
<b>Marchio ecologico "angelo Blu"</b>	
Caldaie murali < 30 kW	60
Caldaie a gas con bruciatore aria soffiata < 70 kW	70
Caldaie a condensazione a gas < 70 kW	60
<b>Normativa Svizzera LRV92</b>	
Caldaie con bruciatore a gas ad aria soffiata	80
Caldaie a gas con bruciatore atmosferico < 12 kW	120
Caldaie a gas con bruciatore atmosferico > 12 kW	80
<b>Norma UNI EN 297/A5</b>	
Caldaie a gas con bruciatore atmosferico fino a 70 kW	
Classe 1	260
Classe 2	200
Classe 3	150
Classe 4	100
Classe 5	70

**Tab. β - Emissioni di NOx per diverse tipologie di caldaie a gas.**

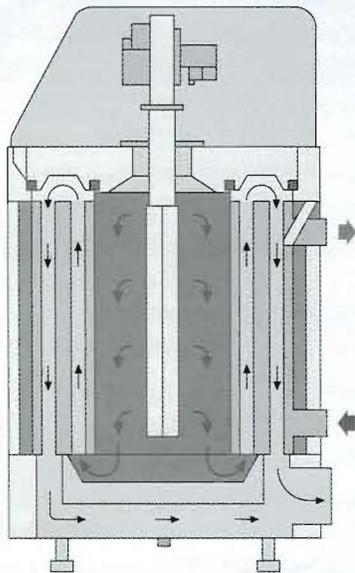
Caldaie con bruciatore atmosferico			
Tipo domestico < 35 kW (murali)	mg/kWh	Da 150	a 180
Tradizionali fino a 300 kW	mg/kWh	Da 160	a 190
<b>Caldaie con bruciatore soffiato</b>			
Generica a due giri di fumo	mg/kWh	Da 80	a 120
A condensazione	mg/kWh	Da 70	a 100
A tre giri di fumo e bruciatore radiante	mg/kWh	Da 30	a 70

nei combustibili gassosi e per il 15% nel gasolio. Gli NOx possono formarsi anche da azoto già contenuto nel combustibile, cioè dal cosiddetto azoto organico. In questo caso la reazione è molto veloce e inizia ad innescarsi anche a temperature intorno agli 800 °C. In generale i quantitativi di azoto organico sono abbastanza trascurabili e possono dare un contributo significativo solamente quando sono presenti in percentuali rilevanti, come nel caso degli oli combustibili. Indicativamente essi costituiscono una percentuale minima del totale nel caso di gas metano, salendo al 20% per il gasolio, ad oltre il 50% nel caso degli oli combustibili e ad oltre il 60%

per il carbone. Nell'ambito degli impianti termici tradizionali, ove viene utilizzato prevalentemente combustibile gassoso con un'elevata percentuale di ossidi di azoto termici, la riduzione della formazione di tali composti si basa fondamentalmente sulla diminuzione della temperatura di combustione. Per limitare detta temperatura, e quindi le emissioni di NOx, sono state seguite varie strade dalle case costruttrici, che principalmente hanno portato a due scelte tecniche primarie:

- adozione di bruciatori premiscelati di tipo radiante o con ricircolazione dei fumi;
- caldaie a carico termico ridotto a tre giri di fumo.

Per quanto riguarda le caratteristiche del bruciatore deve essere sempre operata una scelta mirata nell'abbinamento di questa tipologia di bruciatori alla caldaia, acquisendo gruppi termici appositamente progettati e commercializzati dallo stesso produttore, oppure valutando con il fornitore del bruciatore il corretto abbinamento ad un certo modello di caldaia. Guardando invece alla scelta della caldaia la soluzione tecnica ottimale è quella di optare per una tipologia a tre giri di fumo. Per limitare le emissioni di NOx questo modello di caldaie prevede un percorso fumi più lungo rispetto ad una tradizionale caldaia ad inversione di fiamma, con temperature di fiamma più basse all'interno della camera di combustione e soprattutto tempi ridotti di permanenza dei fumi nella zona ad alta temperatura. E' da sottolineare che queste alternative proposte per limitare le emissioni inquinanti non comportano un decadimento del rendimento della caldaia, anzi l'applicazione di queste nuove tecnologie (bruciatori radianti e terzo giro di fumi) portano ad avere prestazioni energetiche migliori rispetto a soluzioni più tradizionali. Ovviamente, come in molte altre situazioni, la controindicazione non è di carattere tecnico ma puramente economico, in quanto la scelta di caldaie a tre giri di fumo e bruciatori radianti comporta sicuramente un maggiore investimento iniziale, che viene comunque premiato nel tempo con un minore consumo di combustibile (dati i migliori rendimenti del sistema) e la consapevolezza di avere operato nel rispetto delle raccomandazioni ed indicazioni legislative, a livello sia nazionale che europeo, mirate alla riduzione delle emissioni inquinanti in atmosfera. Si riportano nella tabella α i valori limite delle emissioni di NOx imposti da alcune normative e marchi europei più significativi, mentre nella tabella β si riassumono i livelli di emissioni di NOx riferiti alle principali tipologie di caldaie in commercio.



**8** Schema di funzionamento di una caldaia a condensazione con focolare verticale (Carbofuel).

fumi, sempre in acciaio inox, con il raccordo di collegamento al camino e lo scarico della condensa.

Questa tipologia di caldaia a condensazione si presenta con una conformazione molto compatta e viene realizzata per potenzialità non molto elevate. Si presta quindi per una installazione in batteria, con ingombro ridotto dei singoli generatori, ma abbinati in modo da fornire potenzialità complessive anche elevate.

A fronte di ciò le varie case costruttrici forniscono vari kit di abbinamento idraulico, per lo scarico dei fumi, e centraline elettroniche di gestione del funzionamento delle varie caldaie abbinata.

Queste caldaie presentano un buon contenuto d'acqua, con sezioni di passaggio nello scambiatore e camera di combustione abbastanza elevate, tali da renderle meno soggette ai problemi derivanti dalle incrostazioni o depositi interni.

Alcuni costruttori hanno sviluppato una tecnologia costruttiva diversa per il cor-



**9** Caldaia a condensazione con moduli termici abbinati in batteria (Ferrol).

po caldaia utilizzando moduli abbinabili ottenuti da una fusione in speciale alluminio trattato con silicio. Ogni singolo corpo, in monoblocco, comprende la camera di combustione e lo scambiatore fumi, con abbinato un bruciatore ad aria soffiata di tipo premiscelato nella parte superiore, e lo scarico fumi e condensa in quella inferiore.

I singoli monoblocchi vengono poi assemblati in gruppi da tre sino ad otto elementi in modo tale da ottenere una serie di caldaie aventi vari gradini di potenzialità, completati da collettori idraulici per ingresso e uscita acqua, collettore distribuzione gas ai vari bruciatori, collettore fumi con cassa di raccordo ed unica uscita di raccordo al camino. Il funzionamento e la modulazione dei vari bruciatori viene gestito dalla centralina elettronica, a bordo della caldaia, appositamente programmata.

Questo tipo di caldaia si presenta quindi come un unico corpo, contenuto al-

l'interno del mantello di protezione, ma composto da più generatori interni con particolari vantaggi quali una maggiore garanzia operativa, in quanto nel caso di guasto di uno o più bruciatori gli altri possono continuare a funzionare fino alla loro resa massima, ed una maggiore resa termica ai bassi regimi dato che nei momenti in cui il carico termico è a livelli ridotti i vari bruciatori modulano sino alla potenza minima sotto alla quale vengono spenti totalmente in sequenza, potendo arrivare a fornire potenze minime fino al 7 - 8% di quella massima della caldaia. Data la loro conformazione presentano però un basso contenuto d'acqua nel corpo caldaia e questo richiede una filtrazione dell'acqua in ingresso per evitare la formazione di depositi o fanghi, e la necessità di garantire costantemente una minima circolazione d'acqua al proprio interno, con elettropompa dedicata ed abbinamento all'impianto mediante interposizione di un disgiuntore idraulico.

### Caldia a moduli termici

Con il termine di caldaia a moduli termici o generatore termico modulare si intendono apparecchi composti da più moduli termici dotati di bruciatore a gas, abbinati tra di loro, e gestiti nel loro funzionamento da un unico sistema elettronico di controllo che razionalizza l'azionamento di uno o più bruciatori in base alla richiesta di calore da parte dell'impianto servito (figura 9). Derivati concettualmente dall'ampliamento delle caldaie murali a condensazione i singoli moduli termici sono realizzati con diverse tipologie costruttive, di cui si riportano le versioni ed i componenti principali nella tabella 1. In genere questi generatori sono composti da un minimo di due moduli termici, fino ad un massimo di sei/otto, assemblati e forniti come un unico apparecchio, con l'ulteriore possibilità comunque di abbinare a loro volta vari gruppi termici in modo da raggiungere potenzialità termiche anche elevate. I singoli moduli termici arrivano ad avere cadauno una potenzialità termica variabile da 50 a 80 kW e vengono assemblati e collaudati direttamente in fabbrica in modo da ottenere una caldaia avente una potenzialità complessiva data dalla somma delle potenzialità dei singoli moduli. Il



10 Caldaia modulare a condensazione installata in copertura.

gruppo termico così ottenuto è completo di collettori idraulici, elettrocircolatori (uno per ogni modulo), collettore gas con relativi organi di controllo e sicurezza, collettore fumi per il raccordo al camino, strumentazioni di controllo e sicurezza a norme ISPEL, centralina elettronica di controllo a microprocessore, il tutto inserito all'interno di un armadio di protezione in lamiera verniciata, od in lamiera di acciaio inox per le versioni predisposte per l'installazione direttamente all'esterno (figura 10). La scelta di suddividere la potenza globale della caldaia su di una serie di generatori di calore di piccola potenza permette di ottenere una notevole flessibilità di gestione della potenza globale erogata, con un rendimento medio stagionale del generatore molto elevato. Infatti i vari moduli termici vengono attivati progressivamente, in base al carico termico effettivamente richiesto dall'impianto, e quindi ogni modulo termico viene utilizzato nella maggior parte del tempo in modo da operare con il massimo rendimento ottenibile. Di conseguenza anche nei periodi con ridotta richiesta di riscaldamento, e cioè quando normalmente viene richiesta dall'impianto una potenza termica che scende anche al 10-15% della potenza globale del generatore di calore, i moduli termici in funzione saranno in numero ridotto, mentre gli altri verranno completamente esclusi dal funzionamento. Si tenga in considerazione che mediamente ogni modulo termico può modulare la potenza erogata da un minimo del 10% sino al 100%. Questi moduli termici hanno un basso contenuto d'acqua nel corpo caldaia e questo richiede una opportuna filtrazione dell'acqua in ingresso per evitare la formazione di depositi o fanghi, che causerebbero anomali stress termici con possibilità di surriscaldamento e rottura del corpo caldaia. Per il corretto funzionamento della parte idraulica è inoltre sempre necessario l'abbinamento di un compensatore idraulico

### PRESSIONE MASSIMA DI ESERCIZIO

Ogni tipo di caldaia posta in commercio deve essere collaudata dal costruttore per una specifica pressione massima di esercizio che rappresenta il limite da non superare durante i periodi di funzionamento dell'impianto termico. Per garantire l'integrità strutturale della caldaia in ogni caso la prova di collaudo deve essere eseguita, da parte del costruttore, a pressione notevolmente maggiore rispetto a quella poi dichiarata come massima di esercizio. Detta pressione varia a seconda della tipologia costruttiva e dei materiali utilizzati, con i seguenti valori medi:

- caldaie murali
  - o di piccola potenzialità (max 30÷40 kW): 3 bar
- caldaie in ghisa di piccola-media potenzialità: 4 bar
- caldaie in acciaio di piccola-media potenzialità: 5-6 bar

Nella scelta di una caldaia deve quindi essere preso in considerazione anche il valore della pressione massima di funzionamento dell'impianto, che non deve superare quello della pressione massima di esercizio. Tendenzialmente i problemi maggiori si possono avere su impianti con un carico idrostatico molto elevato (edifici di altezza rilevante, superiore ai 35-40 m) e possono essere ovviati interponendo uno scambiatore di calore tra la caldaia ed il circuito degli utilizzi.

E' importante anche valutare un corretto abbinamento tra la caldaia e la valvola di sicurezza installata a protezione delle sovrappressioni. Le valvole di sicurezza, omologate ISPEL, generalmente intervengono con una pressione maggiore del 10% rispetto a quella di taratura e quindi le valvole installate su una caldaia devono avere una pressione di taratura inferiore di almeno il 10% rispetto alla pressione massima di esercizio della caldaia stessa. Lo stesso ragionamento vale anche per i pressostati di sicurezza.

che divida fisicamente l'impianto in un circuito primario, corrispondente a quello del generatore termico e dei circolatori abbinati ai singoli moduli termici installati all'interno dello stesso, ed in un circuito secondario corrispondente alla rete di distribuzione agli apparecchi terminali dotato di una propria pompa di circolazione adeguatamente dimensionata.