

Caldaie e fornaci

Differenze

La caldaia può essere definita come un reattore che contemporaneamente rilascia calore e scambia sulle pareti, è composta schematicamente da due parti, la prima dove avviene la combustione e la seconda dove i gas prodotti cedono calore al fluido termovettore, cioè uno scambiatore di calore. La sua funzione è che tutta l'entalpia prodotta all'interno del reattore venga rilasciata al più presto allo scambiatore, la si può considerare come un serie-parallelo tra il reattore e lo scambiatore. Una fornace, invece, può essere definita come un reattore in cui lo scambio di calore non è omogeneamente distribuito, la cui funzione è quella di distribuire il calore su particolari superfici disposte in modo diverso, le quali poi cederanno calore al pezzo da riscaldare. Sono realizzate da due parti, una isolata e una addetta allo scambio, mentre nel boiler tutte le pareti che sono coinvolte nella combustione, sono addette anche allo scambio termico.

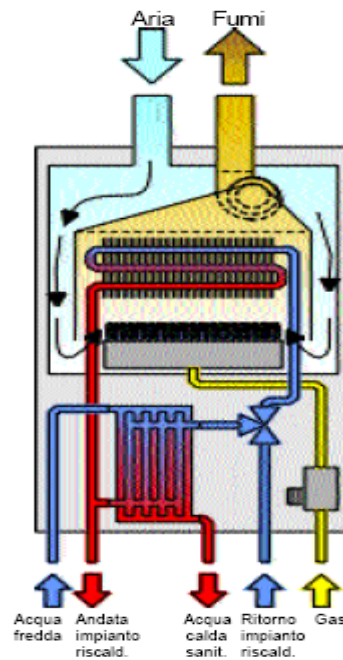
Classificazione Caldaie

Le caldaie si possono dividere in 2 grandi tipologie in base al numero di bruciatori, che sono quelle monobriatore e multibriatore. Minore è il numero di bruciatori tanto più risulta essere rilevante l'accoppiamento bruciore caldaia, sia dal punto di vista della combustione che dello scambio termico. Quindi i costruttori di questi 2 elementi in linea di principio dovrebbero realizzare un progetto unico, cosa che non sempre accade. Realizzando progetti separati bisogna poi andare a vedere se il complesso funziona, tale accoppiamento risulta essere empirico potendo avere delle inefficienze. Ad esempio, se la combustione lambisce una parete fredda si può verificare lo spegnimento di parte della fiamma, con relativa produzione di inquinanti. Altro esempio è la generazione di forti instabilità di combustione, con il camino che in particolari applicazioni può mettersi a risuonare come una canna d'organo.

Monobriatori

L'applicazione principale dei monobriatori è quella delle caldaie raffreddate ad acqua, per applicazione domestica, utilizzate per la produzione di acqua calda sanitaria e riscaldamento invernale, cioè il fluido termovettore è l'acqua liquida, in alcune applicazioni nei fasci tubieri c'è anche vapore, ma si tratta di applicazioni per lo più industriali. Si possono usare anche altri fluidi, ma comunque non cambia nulla dal punto di vista delle problematiche della combustione.

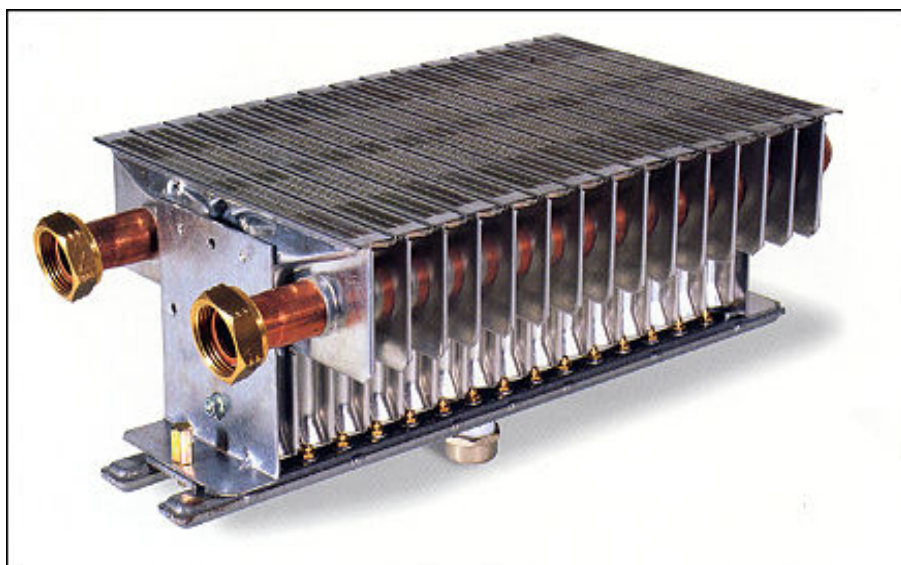
Le combustioni nelle caldaie possono essere classificate in base alle funzioni che devono assolvere in caldaie modulanti e a recupero (o condensazione).



Schema di una caldaia monobruciatore

Caldaie modulanti

In queste caldaie il carico varia al variare della richiesta termica, si hanno problematiche per la combustione, in quanto bisogna modulare la quantità di combustibile, quindi si ha una portata variabile. Nei bruciatori più sofisticati, nei quali ci sono getti turbolenti, viene modulata anche la portata d'aria aspirata, in tali casi si hanno combustioni migliori rispetto alla sola modulazione di combustibile, nelle quali si possono avere eccessi d'aria che portano allo spegnimento della fiamma.



Bruciatore "microNOx" della Polidoro,

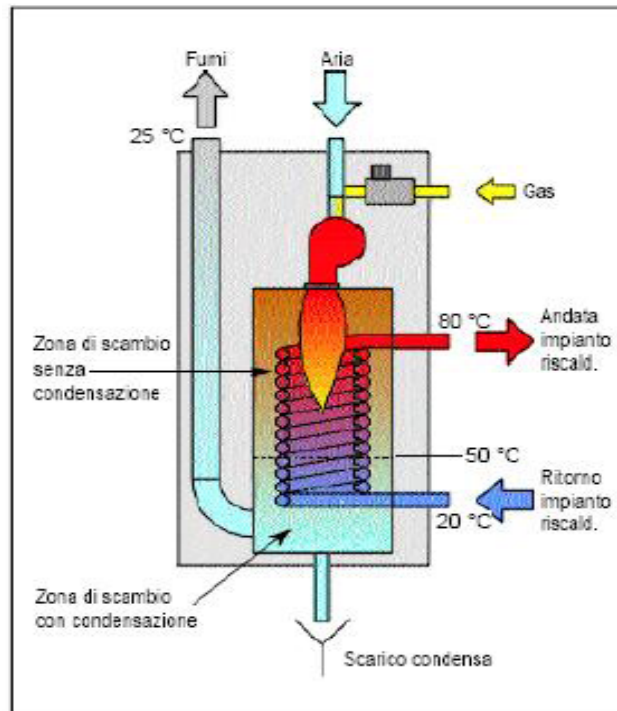
È modulante, con possibilità di ridurre la portata termica fino al 40% del nominale.

È risaputo che i getti turbolenti hanno la similitudine geometrica, cioè al variare del numero di Reynolds (Re), hanno sempre la stessa lunghezza indisturbata^[nota 1] (L , è la distanza al quale il getto non è disturbato), pari a 5 volte il diametro dell'ugello. Se raddoppia la portata questa L rimane invariata, questo fatto fa sì che al variare della portata, dove si ha il rilascio del calore, la fiamma non esca dal combustore.

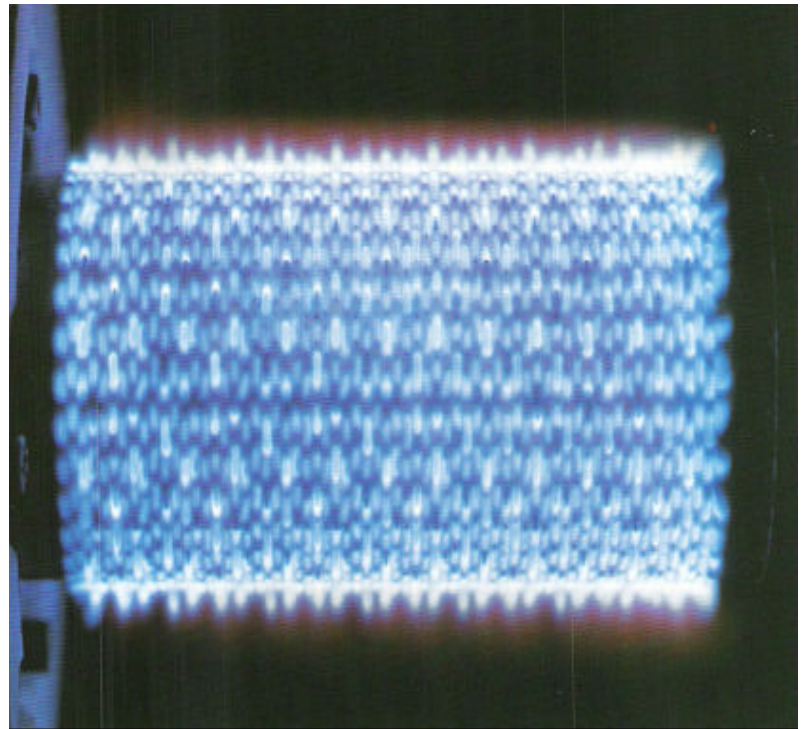
Caldaie a recupero

La temperatura minima alla quale le caldaie possono scaricare i gas nell'ambiente, è imposta da limiti legislativi, questo per evitare la formazione di condense acide, tale temperatura è almeno di 120°C ma solitamente è di $170\text{-}180^{\circ}\text{C}$. Nelle caldaie a recupero si scende al di sotto di tali temperature, avendo vantaggi in termini di efficienza, in quanto si riducono le perdite al camino e si recupera parte del calore latente di vaporizzazione del vapor d'acqua. Si riesce a scendere sotto tali temperature perché si realizza un sistema in grado di condensare tutto il condensato^[nota2], quindi anche le componenti acide in pratica sono condensatori a condensa acida. Inoltre risultano essere anche dei mezzi di ripulitura del sistema di combustione, sono detti scrubber condensation. In pratica si va a condensare, si forma della nebbia, avendo due funzioni positive: 1) come detto condensiamo le componenti acide; 2) realizziamo una condensazione eterogenea, la quale avviene sui nuclei solidi, quindi si riescono ad abbattere le nanoparticelle, in quanto le loro dimensioni caratteristiche da $0,01\mu\text{m}$ diventano gocce dell'ordine di grandezza del μm , a seguito del processo. Particelle di tali dimensioni, attraverso filtrazione umida, è possibile eliminarle dalla corrente.

Il vero motivo per il quale si fanno queste caldaie è il recupero dell'entalpia al camino, se scarichiamo sui $180\text{-}200^{\circ}\text{C}$ con una temperatura adiabatica di fiamma sui 2000°C , perdiamo quasi il 10% di entalpia, fissata la portata massica. La perdita al camino è $Q = m c_p \Delta T$ (Q è la potenza termica persa, m è la portata massica, ΔT è la differenza tra le temperature dei gas di scarico e ambiente, c_p è il calore specifico a pressione costante dei gas), se riduciamo il ΔT allora possiamo avere anche m maggiori, non avendo elevate perdite. Potendo, quindi, avere maggiori eccessi d'aria per la combustione, allora si può realizzare un processo superlean. Utilizzando particolari tecniche (usate anche nei motori) si possono ridurre notevolmente gli NO_x , inoltre se la combustione è completamente premiscelata già se ne producendo pochi. Le nanoparticelle non si creano essendo il processo superlean. Inoltre avendo anche la condensazione eterogenea vengono eliminati anche eventuali acidi, quali il nitrico e il solforico. Quindi, si ha la possibilità di fare una caldaia completamente pulita superando anche il problema del trattamento delle condense acide, le quali possono andare direttamente nelle fogne. Caldaie con tali caratteristiche ancora non si diffondono per problemi di maggiori costi.



Schema di una caldaia a condensazione



Bruciatore "Premix" della Polidoro, usato per caldaie a condensazione

Le caldaie possono essere classificate in base alle limitazioni imposte dalla legislazione, in particolare in base al livello di emissione degli NO_x si fa riferimento alla seguente tabella.

<i>Classe</i>	<i>Massimo livello di emissione di NO_x (mg/kWh)</i>
<i>1 EC</i>	70
<i>2 EC</i>	100
<i>3 EC</i>	150
<i>4 EC</i>	200
<i>5 EC</i>	260

Classificazione in base alle emissioni di NO_x norma EN 483

Altra classificazione delle caldaie può essere fatta in base al tipo di combustibile, che può essere gassoso o liquido, potrebbe essere anche solido ma non vi sono applicazioni, perchè essendo la caldaia una utility distribuita, il combustibile deve essere facile da trasportare.

In base al tipo d'immissione del comburente è possibile distinguere caldaie a convezione naturale e soffiate. Nelle prime l'aria viene aspirata sfruttando fondamentalmente il tiraggio dei fumi caldi del camino, nelle seconde invece c'è un ventilatore che fornisce una certa prevalenza. Sono molto diffuse entrambi i tipi.

Caldaie a convezione naturale

Queste sono meno costose e meno studiate, vengono abbandonate nelle applicazioni dove sono richiesti limiti sempre più restrittivi sulle emissioni e per elevate potenze. L'applicazione principale è nei monobruciatori per applicazione domestica. Queste vanno però facilmente in condizioni di eccesso o difetto d'aria, producendo fuliggine e zone di alta temperatura che danno NO_x . Oltre al Δp generato dal camino, l'aspirazione si avvantaggia anche del trascinamento generato dall'iniezione del combustibile gassoso, cioè i singoli getti di combustibile 'trascinano' l'aria. Inoltre, sta anche aumentando la temperatura, per effetto della combustione, il che porta ad un aumento delle forze di galleggiamento e cioè dei moti convettivi.

Sono quindi intrinsecamente bruciatori a diffusione, la combustione si realizza con una serie di fiamme diffusive, messe ad una distanza tale che non ci sia l'annichilimento nella zona attiva, cioè le fiamme non devono entrare in contatto tra loro. Sono realizzati una serie di forellini di diametro dell'ordine di 0.1 mm, da ognuno dei quali fuoriesce un getto di combustibile gassoso, che tira l'aria e poi brucia. Tanto più sono vicini i getti, tanto più potranno interferire tra loro le zone di reazione, essendo una fiamma a diffusione il rilascio di calore avviene essenzialmente nella zona stechiometrica, qualora due isosuperfici di frazione di miscelamento vengono in contatto l'ossigeno

diventa insufficiente, peggiorando la combustione. Il valore ottimale dell'interasse tra i vari forellini può essere ricavata sperimentalmente, si fissano valori di tentativo e si va a misurare la concentrazione allo scarico di CO, cercando il valore che minimizzi la CO; tale distanza può essere anche calcolata anche analiticamente con programmi tipo fluent.

In questa tipologia di fiamma si ha la produzione di: fuliggine nella zona pirolitica (quella ricca), di NO_x nella zona di miscelamento stechiometrica. Queste caldaie sono formate da più tubi in parallelo, solitamente 4 o 5, su ognuno dei quali ci sono circa 50 forellini da cui esce il combustibile, ogni fiammella ha la sua aspirazione d'aria, tutte insieme creano un ulteriore richiamo d'aria. Tra la zona primaria della combustione e le pareti viene lasciata una zona di rispetto, la quale diluisce la combustione creando un eccesso d'aria finale, che serve per tenere le zone iniziali, lì dove ci sono i flame detector, ma anche quelle finali un po' più fredde, questo per ridurre gli NO_x, se si esagera troppo con l'eccesso d'aria si può arrivare allo spegnimento della fiamma. Anche la grandezza della zona di rispetto può essere ricavata sperimentalmente andando a misurare la concentrazione di CO allo scarico.

Si sta andando sempre più verso il modulato e i bruciatori a convezione naturale stanno andando in disuso, in quanto le fiamme sono laminari e al variare della portata di combustibile varia l'altezza della fiamma. In primo luogo questo porta a coinvolgere o meno la parte superiore dello scambiatore, poi non è una buona condizione di funzionamento perché l'angolo di apertura della fiammelle rimane più o meno lo stesso, con piccole altezze queste non si toccano ma all'aumentare del carico si ha la possibilità di un'interazione tra le zone attive. Quindi possiamo dire che il campo di funzionamento dinamico di una caldaia a convezione naturale non è molto esteso.

Caldaie soffiate

Queste in linea di principio possono essere modulate più facilmente. Infatti agendo sul ventilatore possiamo inviare la quantità d'aria voluta al variare della quantità combustibile. L'evoluzione che si sta percorrendo è quella di passare dalle caldaie aspirate a quelle soffiate e a quelle soffiate-modulate. La modulazione viene effettuata solo sulla produzione di acqua calda sanitaria, mentre sul riscaldamento abbiamo una regolazione di tipo ON-OFF^[nota3].

Per quanto riguarda la combustione, nelle caldaie a monobriuciatore, bisogna tener conto di due aspetti: 1) devono avere un elevato grado di affidabilità in quanto non è prevista manutenzione per un elevato numero di ore (a differenza di quelle usate in campo industriale), il tempo di funzionamento deve essere almeno di 1000-2000 ore; 2) non devono subire derive significative, cioè devono essere abbastanza robuste sia per la sicurezza (non devono spegnersi) sia dal punto di vista delle tolleranze di funzionamento (ad esempio l'ostruzione di un forellino non deve comportare significative variazioni).

Si stanno sviluppando alcune particolari tipologie di caldaie per applicazioni bigenerative (elettrico e termico) e trigenerative (elettrico, termico e frigorifero). Quest'ultima applicazione, dal punto di vista della combustione, non porta complicazioni particolari rispetto al caso bigenerativo, in quanto si usa un assorbitore per la produzione di energia frigorifera che è alimentato da gas a temperature basse e posto lontano dalla caldaia. Un esempio sono le caldaie fotovoltaiche, le quali al proprio interno hanno dei pannelli fotovoltaici che trasformano parte dell'energia luminosa della combustione in energia elettrica ottenendone circa il 10% sul totale. Si sfrutta tutto l'irraggiamento del vicino infrarosso 1-2 μm . Con tali caldaie si riesce a migliorare lo sfruttamento della combustione, in quanto usare fiamme ad elevata temperatura per produrre acqua a bassa T è uno spreco.

Altro esempio sono caldaie accoppiate a pannelli solari usati per la produzione di vapore ad alta T per ottenere energia elettrica da un ciclo termodinamico, la caldaia può essere usata per realizzare il surriscaldamento del vapore, quando l'energia solare è insufficiente.

Multibruciatori

L'applicazione è sostanzialmente quella dei generatori di vapore per gli impianti con ciclo a vapore. L'approccio che si segue è quello di studiare il bruciatore singolarmente, dopodiché di monta sulle pareti della caldaia, questo si fa sempre perché deve poter lavorare indipendentemente dagli altri. Il problema principale è che tali bruciatori devono essere multicomcombustibili, in quanto le caldaie per essere remunerative devono poter bruciare più di un combustibile. Gli approcci fin'ora seguiti sono: o non si varia nulla oppure se arriva un nuovo polverino di carbone o un polverino di biomassa si monta un bruciatore dedicato, quest'ultimo, se il nuovo combustibile brucia con più difficoltà (come il polverino di biomassa), viene messo nella parte finale della zona di combustione. Ci sono buone ragioni per seguire la filosofia che il singolo bruciatore sia multicomcombustibile, in primo luogo si ottimizzano le condizioni di funzionamento della caldaia, se invece un singolo bruciatore non lavora bene il complesso potrebbe non funzionare bene; il secondo motivo è che ci possono essere delle interazioni positive tra i vari combustibili. Per esempio se bruciamo polverino di carbone e di biomassa, all'interno di un singolo bruciatore, si abbassa il contenuto di ceneri. Se invece sono separati i due bruciatori si hanno due processi distinti, la biomassa ha un minore contenuto di ceneri ma sono più basso fondenti, queste si possono attaccare alle pareti della caldaia, creando degli spot che riducono lo scambio termico, aggiungendo un bruciatore per il polverino di biomassa ad una caldaia realizzata per polverino di carbone si hanno problemi. Quindi realizzando bruciatori separati bisogna risolvere i peggiori problemi per ogni combustibile. Invece, bruciatori multicomcombustibili possono essere usati sinergicamente per stabilizzare l'insieme dei combustori e per ottenere minori emissioni, ogni bruciatore deve essere di per se stabile. Un esempio sono i bruciatori ad angolo, se

abbiamo una forma quadrata il combustibile è iniettato negli angoli della caldaia, i vari bruciatori sono orientati in modo tale che i prodotti della combustione vanno ad ignire il bruciatore successivo (fanno da pilot per la combustione), tale configurazione risulta essere molto stabile.

Si possono anche avere strategie per avere profili di combustione diversi a seconda di come si alimentano i singoli bruciatori, ad esempio nelle caldaie alimentate ad olio combustibile si fanno più ricchi i bruciatori che stanno nella zona inferiore in maniera tale da ridurre gli NO_x , in quanto si ha meno ossigeno a disposizione, questo è positivo perché le reazioni che portano alla loro formazione sono essenzialmente di ricombinazione, però si ha una maggiore produzione di CO. Nel caso di 25 bruciatori disposti in 5 piani, le prime due file si fanno ricche le altre 3 povere, in quest'ultime si vanno a creare NO_x ma si va ad eliminare la fuliggine delle prime fasi. Si ha quindi una sorta di combustione a stadi operata sull'insieme dei bruciatori, perché i prodotti di combustione investono i vari bruciatori in modo sequenziale. Queste condizioni sono difficili da realizzare (sono solitamente ottenute per via empirica) perché non è detto che il flusso dei bruciatori a monte investe quelli valle, quando i gas espandono si ha la rimiscelazione di tutti i prodotti (si sa che è più facile miscelare flussi reagenti che quelli inerti).

Classificazione fornaci

Si dividono in due categorie:

- fornaci a scambio convettivo diretto
- fornaci a scambio radiativo indiretto

il primo tipo sfrutta la convezione della massa d'aria calda. Il secondo tipo, invece al posto di riscaldare il prodotto da trattare convettivamente, il calore della combustione viene ceduto prima ad una parete, la quale poi reirradia verso il materiale da trattare. Per scambio radiativo non è da intendersi il calore che dalla fiamma è ceduto per irraggiamento al prodotto, in realtà c'è sempre anche una piccola aliquota di questo. Tutte le fornaci per il trattamento dei metalli sono simili al forno della pizza, (in questi l'aria calda va a riscaldare le pareti del forno, le quali reirraggiano verso il piano e quindi la pizza), le bramme del materiale da trattare passando nella fornace prendono calore per il 10-20% (max 30%) per irraggiamento diretto dalla fiamma, il restante per reirraggiamento delle pareti, quest'aliquota è data in condizioni stazionarie, quindi si riescono a mantenere temperature molto costanti ottenendo cotture perfette, infatti gli hot-spot del bruciatore, vanno a incidere sul materiale refrattario, che può essere considerato un accumulatore termico, il quale poi reirraggia.

Dal punto di vista della combustione, il problema principale è quello di distribuire uniformemente il calore sul pezzo da riscaldare, essendo, come detto, il pezzo riscaldato per irraggiamento dalle pareti della fornace, il problema è quello di orientare in modo opportuno tali pareti e di distribuirne in modo omogeneo il calore della combustione. Per il trattamento dei metalli si usano tunnel larghi 7-8 m e lunghi circa 100 m, i bruciatori sono messi sulle pareti laterali su ambo i lati oppure su un solo lato se il tunnel è piccolo, comunque l'importante è che il calore venga rilasciato uniformemente su tutta la volta, per non avere scompensi. La fornace si realizza con una gabbia interna, con tanti bruciatori, il problema è che il calore deve essere rilasciato anche a 10 m di distanza, per questo i bruciatori sono di forma allungata e non si può fare lo swirl, quindi aria e combustibile sono getti separati a centinaia di m/s. La cui stabilizzazione avviene per ricircolazione dei gas di scarico, effettuata per trascinamento del getto stesso, cioè con i vortici che si vanno a creare alla base del getto di combustibile si realizza un trascinamento dell'aria che sta intorno, questo fa sì che si crei una depressione che richiama i prodotti di combustione che stanno lontani. In tal modo si ottiene una ricircolazione interna che va verso l'esterno creata dai getti. Questa tecnica, nella maggior parte delle applicazioni, da sola non basta per la stabilizzazione della fiamma, si provvede effettuando il preriscaldamento dell'aria. Questo è possibile viste le alte temperature allo scarico, dato che nel trattamento dei materiali è necessario mantenere alte temperature in tutta la fornace e necessariamente lo scarico avviene a temperature prossime a quelle del forno, superiori a 1100°C per cui anche energeticamente è un forte spreco. Si realizza quindi il preriscaldamento dell'aria fino a 400-500°C a spese dei gas di scarico.

In applicazioni più spinte l'aria viene portata fino a 800-1000°C, per migliorare efficienza e stabilizzazione però questo non è diffuso in quanto bisogna usare acciai particolari che sono costosi. Nella pratica si usano scambiatori di calore rigenerativi, nei quali il calore dei gas è ceduto ad un settore di un supporto materiale, il quale ruota e va in contatto con l'aria che deve essere preriscaldata, i gas invece andranno in contatto con un altro settore che ha già ceduto calore all'aria. Ora si stanno iniziando ad utilizzare scambiatori realizzati con materiali ceramici, con i gas si vanno a riscaldare dei letti di tali materiali, arrivati alla temperatura massima si fa passare l'aria di combustione che prende calore, i gas invece vanno a riscaldare un altro tubo, in pratica si realizzano due silos nei quali passano alternativamente aria e gas. La problematica maggiore sta nella realizzazione di valvole che resistano ad alta temperatura (1200°C) per permettere di smistare i flussi. Ultimamente i rigeneratori sono fatti in modo tale che lo scarico dei gas avvenga dallo stesso lato del carico per migliorare la stabilizzazione, l'aria e il gas scambiano direttamente, però si può sempre mettere uno scambiatore per recuperare maggiormente. Al posto dei silos attualmente si

stanno utilizzando dei cilindretti che permettono di avere ridotti tempi di attraversamento anche nell'ordine dei 5 minuti.

Quanto più si riesce a tenere alta la temperatura d'ingresso dell'aria, tanto più l'efficienza è alta e tanto più ci avviciniamo alle condizioni della mild combustion, la temperatura d'uscita non deve essere molto alta per non bruciare il materiale da trattare quindi il ΔT da dare con la combustione è piuttosto basso potendo usare un combustibile a basso potere calorifico oppure un comburente a bassa concentrazione, cioè si può miscelare l'aria con i gas di scarico o effettuare la ricircolazione interna. Si cerca di ottenere un'alta T di ingresso e basse T di uscita avendo tutti i vantaggi della mild combustion che sono: basse emissioni di NO_x , niente fuliggine, stabilità della fiamma, poco rumore (noiseless). Ricordiamo che nella mild, all'aumentare della temperatura di rigenerazione la fiamma ad un certo punto scompare dal visibile.

Questi bruciatori non sono di per se premiscealati, quindi i getti di aria e combustibile sono separati. In passato venivano realizzati tanti fori dai quali venivano fuori tanti getti d'aria sparati all'interno di un getto di combustibile centrale. Ora si è invertita la filosofia, si realizza un getto d'aria centrale ad altissima velocità e tanti gettini laterali di combustibile, che vanno il più lontano possibile e ognuno dei quali crea la zona di ricircolazione, localmente la situazione è tale che il getto d'aria si diluisce con i prodotti di combustione ad alta temperatura, avendo così un getto di comburente al 10% di ossigeno e ad alta temperatura circa 1000°C . Il getto di combustibile invece parte dalla temperatura ambiente, ma andando avanti si diluisce con l'aria avendo combustibile al 20% di ossigeno. Si hanno così le condizioni per avere la mild combustion, che sono ossidante diluito ad alta temperatura che diffonde in combustibile diluito a temperatura relativamente alta.



Fornace della "Tenova LOI italimpianti" per il trattamento termico dei metalli

Appendice

Fornaci per laterizi

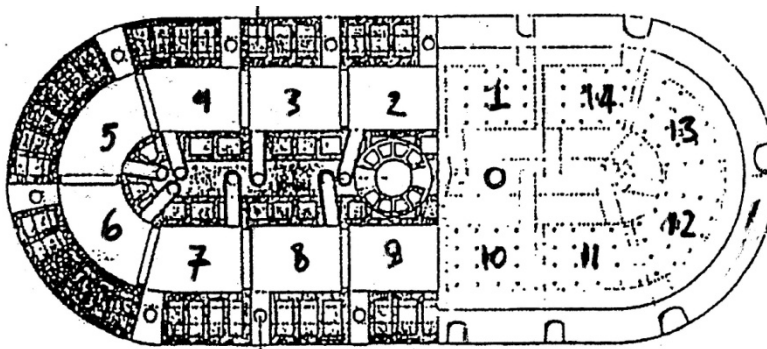
La cottura dei laterizi avviene a 950-1000°C. si impiegano fornaci classificabili secondo due tipologie fondamentali:

- fornaci a fuoco fisso e materiale mobile (Es. forno a canale)
- fornaci a fuoco mobile e materiale fisso (Es. fornace Hoffmann)

In ambo i casi i fumi caldi preriscaldano il materiale da cuocere, mentre quello cotto preriscalda l'aria di combustione.

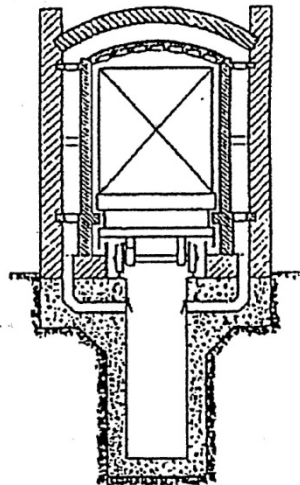
La fornace Hoffmann è costituita da una galleria anulare a pianta ellittica o rettangolare con raccordi semicircolari. La galleria, di 2-4 m di larghezza e 2-3 m di altezza, è divisa in una serie di camere (da 12 a 24), ogni camera è munita di 3 porte, 2 delle quali la mettono in comunicazione con le camere adiacenti, la terza con l'esterno. Nella volta sono ricavate aperture per introdurre il combustibile solido o dei bruciatori. Ogni camera può essere collegata a un collettore generale dei fumi collegato al camino posto al centro della fornace.

Il funzionamento è il seguente. Supponiamo che la combustione abbia luogo nella camera 1, il collegamento al camino sarà aperto nella 6. Tutti i tramezzi tra le varie camere sono aperti, meno quello tra la 7 e la 8. Tutte le porte verso l'esterno sono chiuse, salvo quelle della 8 e 9, dove si hanno rispettivamente il carico e lo scarico dei mattoni cotti. L'aria per la combustione entra da tali camere, percorrendo nel senso dei numeri crescenti le camere 10-14 piene di mattoni cotti in via di raffreddamento a spesa dei quali si preriscalda. I prodotti di combustione, lasciata la camera 1, attraversano per portarsi al camino le camere 2-6 piene di materiale crudo, cui cedono parte del loro calore sensibile. Terminata la cottura la combustione viene spostata in 2.



Fornace Hoffmann

I forni a canale o anche detti a tunnel, come dice il nome sono costituiti da una galleria rettilinea lunga 60-80 m, di 2,5-3 m di altezza e 1,5-2 m di larghezza. La galleria è percorsa da rotaie sulle quali si muovono dei carrelli carichi del materiale da cuocere. I carrelli sono costituiti da piattaforme metalliche montate su ruote e ricoperte superiormente da uno strato di materiale refrattario; i due bordi laterali sono ripiegati in basso e pescano in due canaletti pieni di sabbia che percorrono il forno in tutta la sua lunghezza. Le piattaforme dei carrelli sono accostate e parzialmente sovrapposte le une alle altre, così da dividere il forno in due parti nettamente distinte: la superiore dove avviene la combustione e circolano i gas di scarico e il materiale caldo; l'inferiore, relativamente fredda, dove sono situate le rotaie e la parte metallica dei carrelli. Il focolare si trova a circa $2/3$ della lunghezza del tunnel. I gas combusti si dirigono verso il camino posto vicino la porta dalla quale entrano i carrelli e passano così a contatto con il materiale crudo preriscaldandolo. L'aria entra dall'estremità opposta e si preriscalda passando sui prodotti cotti.



Sezione di un forno a canale

NOTA 1: Perché all'aumentare di m aumentano i disturbi e le loro amplificazioni, si hanno gradienti di velocità maggiori avendo vortici più veloci a formarsi, diciamo che il tempo di formazione dei vortici diminuisce linearmente, ci aspetteremo una maggiore turbolenza; però allo stesso tempo sto iniettando a maggior velocità, essendo lo spazio sempre lo stesso, il tempo a disposizione per la formazione del vortice diminuisce. Sembra che da un lato il getto tende ad arretrare per la maggiore turbolenza, dall'altro invece tende ad avanzare vista la maggiore velocità di iniezione. E' ben risaputo dalla letteratura che la lunghezza indisturbata di un getto turbolento è indipendente dal Re , in realtà è un'indipendenza con la velocità nel campo turbolento. Se fosse con Re si avrebbe la scalatura solo geometrica dei sistemi di combustione, cosa che nella realtà non

accade (risulta essere vero anche per i liquidi, nell'atomizzazione alla Ranz-Taylor il getto liquido ha una lunghezza caratteristica detta contact length oltre la quale non c'è più contatto liquido-ugello, questa aumenta all'aumentare della velocità ma arrivati ad un certo valore nell'ordine delle decine m/s rimane costante).

NOTA 2: Nel laboratorio dell'università si sta studiando questa condensazione, in particolare si sta valutando il tempo necessario affinché avvenga, questo deve essere inferiore al secondo, inoltre deve essere indipendente dal tipo di scarico o meglio dal tipo nanoparticella. È stato costruito un tubo alimentato da una miscela di vapori, all'interno della quale fluisce un getto. Se quest'ultimo è perfettamente filtrato, cioè aria secca non succede nulla, se invece ci sono nanoparticelle allora si ha un pennacchio che identifica l'avvenuta condensazione e si va a misurare tale tempo. Le nanoparticelle sono create con degli elettrodi (grafite, rame, ecc) , a seconda della natura di questi si hanno diverse tipologie di nanoparticolato, inoltre si possono ottenere diverse dimensioni.

NOTA 3: viene fissata una temperatura dell'acqua all'uscita dei termosifoni, raggiunta la quale la caldaia si spegne e la pompa di circolazione continua ad alimentare l'utenza, quando l'acqua si raffredda troppo, circa 10-15°C la caldaia viene riattivata.

Link esterni:

Fornaci della Tenova LOI itaimpianti:

http://www.tenovagroup.com/companies_loi_itaimpianti.php?id_company=5

Approfondimenti su caldaie http://www.assotermica.it/files/impianti_termici.pdf