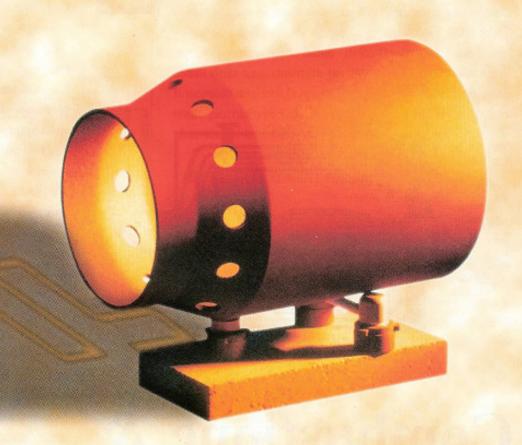
Heiz Ceram 6 80



Teoria
dell'Ottimizzatore
Catalitico di Combustione





Pier Maria Boria Tecnoline s.r.l. • Milano

GENERALITA'

E' stato recentemente presentato in forma ufficiale un catalizzatore da applicare nelle caldaie a bruciatore soffiato, con caratteristiche particolari assai interessanti. Si tratta di un prodotto ceramico, denominato "HeizCeram G80" dai ricercatori tedeschi della Hoechst Ceramtec che ne sono i produttori unici.

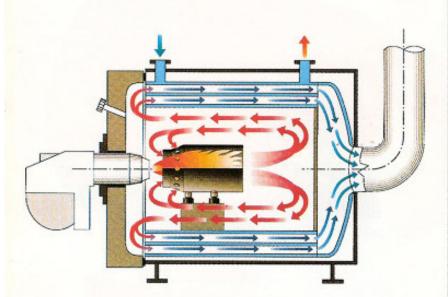
La commercializzazione del prodotto é stata preceduta da numerose prove in laboratorio e sul campo condotte da Bernard Endl della GSH di Norimberga (contitolare del brevetto, assieme alla Heochst, e distributrice mondiale del prodotto) ed i risultati sono ormai consolidati:

- Qualunque sia il combustibile la combustione se ne avvantaggia (effetto meccanico);
- La qualità dei fumi viene notevolmente migliorata (effetto catalitico);
- Si ha anche un risparmio di combustibile, che può essere notevolissimo, a spese della "temperatura operante" dei fumi (effetto termodinamico).

Si può affermare, in sostanza, che l'Ottimizzatore Catalitico di Combustione produce un notevole risparmio di combustibile, e quindi economico (20% ed oltre) e risolve al meglio i problemi di polluzione ambientale dei fumi delle caldaie (riscaldamento ambienti, produzione acqua calda sanitaria, forni industriali ecc.)

L'EFFETTO MECCANICO

La figura 1 (e la fotografia allegata) mostrano l'ottimizzatore pronto per l'introduzione in camera di combustione: é retto da un supporto a piedini (tre o quattro a seconda



Combustione & Irraggiamento

La teoria dell'ottimizzatore catalitico di combustione HeizCeram G80

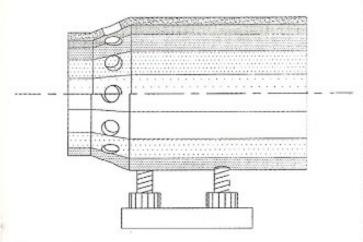


Figura I - L'ottimizzatore catalitico di combustione pronto per il posizionamento in caldaia.

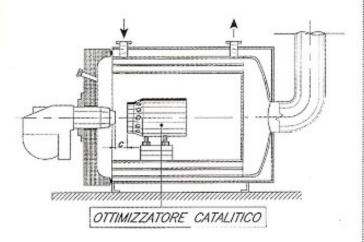


Figura 2 - L'ottimizzatore posizionato all'interno della camera di combustione.

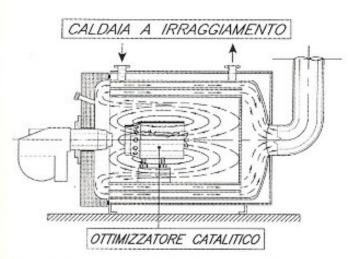


Figura 3 - La circolazione dei fumi in presenza dell'ottimizzatore.

della grandezza per ora esistono otto grandezze fino alla potenza di 1 MW) appoggiato su uno o più mattoni refrattari (normali mattoni al 40/45% di Al₂O₃).

La figura 2 evidenzia che, nel montaggio in caldaia, l'ottimizzatore deve essere installato in asse con il bruciatore a una certa distanza dal boccaglio (secondo le istruzioni di montaggio associate ad ogni confezione, quota C).

La figura 3 schematizza l'effetto meccanico: si vede che attorno alla superficie cilindrica dell'ottimizzatore si ha un parziale e continuo ricircolo dei gas combusti. In generale la fiamma si sviluppa totalmente, o quasi, all'interno del cilindro in modo da cedere a quest'ultimo la massima energia sotto forma radiante di cui l'ottimizzatore é un grande assorbitore/emettitore (vedi più avanti l'effetto termodinamico). L'idea che un parziale ricircolo dei fumi giovi alla combustione non é nuova: tra le applicazioni famose si ricorda il gruppo termico "Blue-flame" della Breda che rimane negli annali della termodinamica per l'originalità del bruciatore. Il ricircolo migliora la convezione in camera di combustione,

Il ricircolo migliora la convezione in camera di combustione, rende più omogenea la massa dei fumi e favorisce la completa combustione del carbonio.

L'EFFETTO CATALITICO

Il Carburo di Silicio, in granulometria fine, presenta interessanti caratteristiche paramagnetiche (investigate negli anni '60 dallo scrivente presso l'università di Pavia) tanto da costituire un vero e proprio "effetto". Durante la fabbricazione del Carburo di Silicio (nei forni elettrici a resistenza diretta Acheson) si ottengono dei macrocristalli grazie all'unione di orbitali ibridi di carbonio e silicio come schematizzato in figura 4.

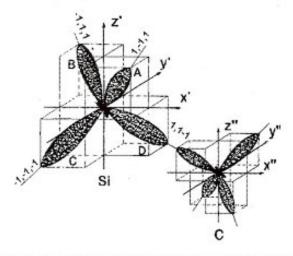


Figura 4 - Orbitali elettronici ibridi sp3 delle molecole di Si e C pronte per la reazione. La distanza Si — C, a reazione avvenuta, è di 1,94 Ångström. Le terne di numeri sono le coordinate dei vertici di un tetraedro, riferito al sistema x', y', z', e con centro nell'origine.

Con l'esame di risonanza elettronica paramagnetica (EPR) si é visto che i cristalli non presentano elettroni liberi se non quando vengono più o meno finemente macinati: la polvere di Sildenuncia un chiaro paramagnetismo. Ciò significa che nell'intorno di ogni granulo si formano dei campi magnetici localizzati corrispondenti a quelli dell'elettrone libero (nella posizione che gli compete nel reticolo cristallino). L'effetto dei microcampi distribuiti sulla superficie del manufatto (che é legato con argilla) é tale da orientare le molecole, che crackizzano in fase di combustione, in modo da favorire la reazione tra C,H e O₂.

L'EFFETTO TERMODINAMICO

a) Corpo nero e corpo grigio

La cessione di energia termica dai gas o dai vapori in reazione di combustione alla superficie ricevente della caldaia (senza catalizzatore), avviene principalmente per convezione.

Per aumentare l'efficacia dello scambio é fondamentale creare turbolenze e moti adatti nei fumi di combustione (più giri di fumo, turbolatori nei tubi ecc.).

L'energia radiante incidente sulla lamiera della camera di combustione (come nel classico caso illustrato in figura 5) ϵ poco assorbita: infatti la lamiera ha una emissività ϵ = 0,3 (rapporto tra l'energia radiante assorbita o emessa e quella incidente; il complemento all'unità rappresenta, quindi, la frazione di energia radiante riflessa).

Il coefficiente di emissività, é stato introdotto da Kirchhoff per evidenziare la differenza tra il corpo nero ed il corpo reale (detto anche corpo grigio).

Come é noto la teoria dei quanti é nata dallo studio dell'interazione tra radiazione e materia e la legge di Plank, che correla la temperatura di un corpo nero con la radiazione elettromagnetica emessa/assorbita, ha consentito a Stephan e Boltzmann di pervenire alla definizione dell'energia emessa/assorbita nell'unità di tempo e per unità di superficie dal corpo nero stesso:

$$Qs = \sigma T^4 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

dove

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right]$$
 (costante di Stephan e Boltzmann).

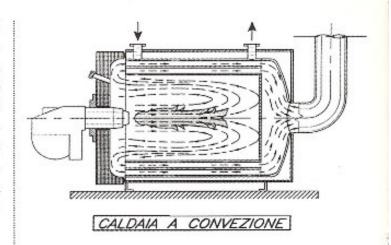


Figura 5 - La classica caldaia a convenzione.

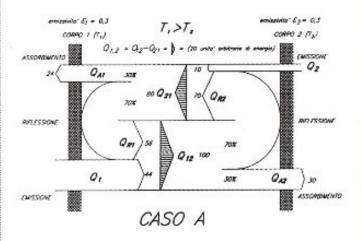


Figura 6 - Flussi di energia radiante tra due superfici solide, piane, parallele, di dimensione indefinita, a temperatura diversa, nel vuoto, con $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.3$

La legge di Kirchhoff, che introduce il già citato coefficiente di emissività \mathcal{E} , rende conto del fatto che il corpo reale (corpo grigio) emette o assorbe solo una parte Q dell'energia emessa o assorbita dal corpo nero

$$Q = \varepsilon \cdot Qs$$
 $(0 \le \varepsilon \le 1)$.

b) Calore scambiato per irraggiamento tra due superfici piane parallele, di estensione indefinita, nel vuoto.

La figura 6 illustra i flussi termici dovuti allo scambio per irraggiamento tra le due superfici in oggetto. Si sono ipotizzate due superfici in lamiera di ferro ($\mathcal{E} = 0.3$) a diversa temperatura: come si vede le rispettive energic radiante incidenti sono Q_{12} e Q_{21} e vengono assorbite al 30% e riflesse al 70%. Con semplici passaggi algebrici si perviene alla determinazione del coefficiente di mutuo irraggiamento che é la chiave per comprendere la funzione termodinamica del catalizzatore.

Infatti, applicando la legge di Kirchhoff, e con riferimento alla figura 5, possiamo scrivere:

$$Q_{12} = Q_1 + Q_{R1} = Q_1 + (1 - \varepsilon_1) \cdot Q_{21}$$

$$Q_{12} = Q_1 + (1 - \varepsilon_1) \cdot [Q_2 + (1 - \varepsilon_2) \cdot Q_{12}]$$

$$Q_{12} = \frac{Q_1 + (1 - \varepsilon_1) \cdot Q_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \varepsilon_2}$$

e per simmetria:

$$Q_{21} = \frac{Q_2 + (1 - \varepsilon_2) \cdot Q_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \varepsilon_2}$$

$$Q_{1,2} = Q_{12} - Q_{21} = \frac{\varepsilon_2 \cdot Q_1 - \varepsilon_1 \cdot Q_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2}$$

con
$$Q_1 = \varepsilon_1 \cdot Qs_1$$
 e $Q_2 = \varepsilon_2 \cdot Qs_2$

$$Q_2 = \varepsilon_2 \cdot Qs$$

$$Q_{1,2} = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot Qs_1 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot Qs_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2} =$$

$$= \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot (Qs_1 - Qs_2)}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2}$$

e quindi

$$Q_{1,2} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

Introducendo il Coefficiente di Mutuo Irraggiamento:

$$C_{1,2} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

risulta:

$$Q_{1,} = C_{1,2} \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

c) Due applicazioni pratiche

Caso A:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.3$$

$$C_{1,2A} = \frac{5,67 \cdot 10^{-8}}{\frac{1}{0.3} + \frac{1}{0.3} - 1} = 1 \cdot 10^{-8}$$
 $\frac{W}{m^2 \cdot K^4}$

$$Q_{1,2A} = 1 \cdot 10^{-8} \cdot \Delta T^4 \frac{W}{m^2}$$

Il corpo 1 è un corpo grigio con $\varepsilon_1 = 0.9$ mentre il corpo 2 è ancora $\varepsilon_2 = 0.3$:

$$C_{1,28} = \frac{5,67 \cdot 10^{-8}}{\frac{1}{0.9} + \frac{1}{0.3} - 1} = 1,646 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

$$Q_{1,2B} = 1,646 \cdot 10^{-8} \cdot \Delta T^4 \frac{W}{m^2}$$

d) Confronto tra i due casi

Eseguiamo il rapporto tra le potenze scambiate nel Caso A e nel Caso B:

$$\frac{Q_{1,24}}{Q_{1,28}} = \frac{1,646}{1}$$

Nel Caso B, a parità di AT, otteniamo una maggiore potenza scambiata del 65%.

Qualora si vogliano pareggiare le potenze scambiate, deve sussistere il seguente rapporto tra i $\Delta(T^4)$:

$$\frac{\Delta(T_A^{\ 4})}{\Delta(T_B^{\ 4})} = \sqrt[4]{\frac{1,646}{1}} = 1,132 \qquad \qquad \frac{\Delta(T_A^{\ 4})}{\Delta(T_B^{\ 4})} = 1,646$$

Nel Caso B, a parità di potenza scambiata, il rapporto tra la differenza delle quarte potenze delle temperature si riduce del 65%.

Nella figura 7 si evidenzia che buona parte dell'energia radiante (area tratteggiata) viene palleggiata da una superficie all'altra ed é come inesistente agli effetti dello scambio termico. Va subito osservato che, per quanto riguarda una camera di combustione (per esempio cilindrica) di una caldaia, non é possibile applicare il concetto di mutuo irraggiamento tra fiamma e lamiera perché viene a mancare l'interazione di tipo corpo nero (la fiamma può solo emettere e non assorbire radiazione) e la temperatura tra elementi di superficie di camera di combustione affacciati é, in pratica, identica (quindi nessuno scambio per irraggiamento).

L'area tratteggiata in figura 6 evidenzia l'importanza della radiazione, che chiameremo parassita, e che viene continuamente prodotta ed è alla ricerca di superfici adeguate ad assorbirla (e molte di queste non sono bagnate, come il portellone che è un buon assorbitore, il fondo della camera di combustione, la cassa fumi, etc.).

e) Le caratteristiche del corpo nero all'interno della caldaia.

Lo sfruttamento della radiazione parassita é ottenibile con l'applicazione dell'ottimizzatore catalitico di combustione. Infatti se rivestiamo la fiamma con un corpo cilindrico avente caratteristiche prossime a quelle del corpo nero (il nostro catalizzatore ha un'emissività $\varepsilon \ge 0.9$ e quindi possiede questi requisiti) la distribuzione dei flussi termici tra due elementi di superficie (lamiera della camera di combustione e catalizzatore) cambia radicalmente ed é rappresentata in figura 8.

Con riferimento anche alla figura 6 (disegnata con la stessa scala) si vede che, a parità di temperatura, la triplicazione dell'emissività della superficie di sinistra ne provoca la triplicazione dell'emissione termica per irraggiamento (44 · 3=132 unità arbitrarie di energia-u.a.e.) a parità di temperatura. Il flusso termico netto da sinistra verso destra, indicato con $Q_{1,2}$, passa da 20 u.a.e. a 32,9 u.a.e., esattamente il 65% in più come previsto con l'applicazione numerica del coefficiente di mutuo irraggiamento (Caso B a parità di ΔT). Inoltre la radiazione parassita viene estremamente ridotta

Inoltre la radiazione parassita viene estremamente ridotta come risulta evidente dal confronto tra l'area tratteggiata in figura 9 e quella in figura 7.

ALCUNI EFFETTI PRATICI DELL'APPLI-CAZIONE DELL'EC G80.

L'applicazione più consueta mira al risparmio di combustibile: tale evenienza rientra nel Caso B (parità di potenza scambiata).

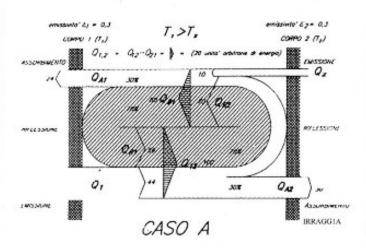


Figura 7 - Evidenziazione grafica della "radiazione parassita" nel Caso A.

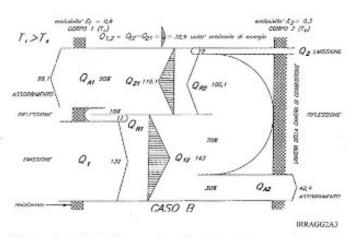


Figura 8 - Flussi di energia radiante tra due superfici solide, piane, parallele, di dimensione indefinita, a temperatura diversa, nel vuoto, con $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.3$.

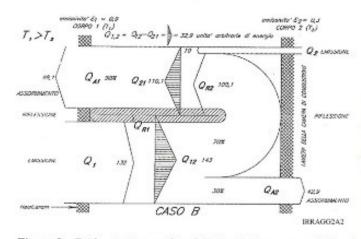


Figura 9 - Evidenziazione grafica della "radiazione parassita" nel Caso B.

Infatti, per mantenere inalterata la potenza scambiata, é necessario ridurre la differenza di temperatura tra corpo grigio radiante e camera di combustione: ciò implica drastiche riduzioni nella portata di combustibile. Nelle applicazioni sperimentali sul campo tali riduzioni hanno anche superato il tasso del 20%: a ciò contribuisce, tra l'altro, il miglioramento dell'effetto convettivo dei fumi che vengono a disporre di una relativa maggiore quantità di superficie di scambio.

Tale risultato si ottiene quando il montaggio dell'ottimizzatore segue i crismi previsti dal manuale d'installazione che impone l'accurata analisi dei fumi sia prima che dopo l'applicazione al fine di garantire la perfetta combustione.

Ma gli effetti richiesti all'ottimizzatore possono anche essere diversi: alcuni utenti lamentano canne fumarie fastidiosamente calde (essi non possono rendersi conto che, come già detto, la radiazione viene assorbita piuttosto bene dal materiale edile): l'ottimizzatore diminuisce la temperatura operante dei fumi e, se si mantiene costante la potenza utile del sistema, anche la temperatura a bulbo secco dei gas viene drasticamente diminuita (p.es. 130° C contro più di 200 senza che si siano mai osservate dannose condensazioni al camino).

Casi più curiosi si sono avuti quando il rumore della combustione ha dato adito a contenziosi di natura acustica: non deve stupire, infatti, che la potenza acustica emessa dal sistema sia beneficamente influenzata da partenze più dolci e da una fiamma più ridotta e meno turbolenta.

Ottimi risultati si sono ottenuti nei forni da pane: oltre al risparmio energetico ed al beneficio ambientale, il pane prodotto risulta più fragrante perché la temperatura di cottura é più uniforme.

Si possono segnalare anche altre applicazioni particolari: dei gruppi termici presentavano bruciatori sottodimensionati rispetto alla superficie "convettiva" della caldaia.

Il recupero dell'energia radiante ha consentito l'incremento di potenza desiderato senza particolari manomissioni e con grande e immediato beneficio economico.

La tecnica é sempre quella: rapporto stechiometrico combustibile/comburente controllato con l'analizzatore dei fumi e corretto posizionamento dell'ottimizzatore.

Non sono necessarie particolari manutenzioni periodiche e la vita dell'oggetto é lunghissima: basti dire che la garanzia del costruttore contro difetti occulti è di cinque anni e fino ad oggi la ceramica non ha mai presentato segni di deterioramento o invecchiamento nelle applicazioni.

Nel caso di spostamento dell'HC l'addetto alla pulizia della caldaia ha a disposizione un foglio tecnico (a corredo), conservato tra i documenti di centrale termica, che consente di ridisporre le cose come prima.

RIASSUNTI - ABSTRACTS

Combustione & Irraggiamento: la teoria dell'ottimizzatore catalitico di combustione HeizCeram G80

L'energia radiante sviluppata dal bruciatore della caldaia, durante il processo di combustione, viene "imbrigliata" dalla presenza di un elemento tubolare, coassiale al bruciatore, che si comporta quasi come un corpo nero. La presenza di tale corpo altera le proprietà fisiche dello spazio delimitato dalla camera di combustione: il corpo é assimilabile come una buca di potenziale elettromagnetico in grado di assorbire (e riemettere) le radiazioni incidenti in modo proporzionale alla emissività della sostanza costituente il corpo stesso. Si stabilisce un accoppiamento di mutuata radiazione tra corpo nero e camera di combustione che spiega il recupero energetico della frazione di energia sviluppata dalla combustione in forma radiante.

Parole chiave:

Processo di combustione - Irraggiamento - Corpo nero - Radiazione parassita - Ottimizzatore catalitico di combustione.

Combustion Process & Radiation: the theory of HeizCeram G80

The radiation developed by the burner of the boyler, during the combustion process, comes "bridled" by the presence of a tubular element, installed aligned with the burner axis, that behaves nearly like a black-body.

Its presence modifies the physical properties of the combustic chamber space: the body creates an electromagnetic hole of potential which absorbs (and emits) the incident radiation proportionally to the emissivity of the body.

This fact originates a mutual radiation coupling between the black-body and the combustion chamber bringing about the radiant energy saving.

Kei word:

Combustion process - Radiation - Black body Lost radiation - HeizCeram

CALCOLO DEL RENDIMENTO DI COMBU-STIONE SECONDO LE NORME UNI 10389.

Le norme UNI citate contengono un chiaro, anche se non esplicito, riconoscimento dei limiti teorici del concetto di rendimento di combustione oggi in uso. Infatti al Capitolo 6 si parla espressamente di formule convenzionali per la determinazione della perdita al camino e, per complemento a 100, del rendimento.

Tale rendimento, ne consegue, é un "rendimento convenzionale" (e non termodinamico) perché discende da formule espressamente (e giustamente) definite "convenzionali".

Esse vanno interpretate entro i loro limiti: per una caldaia a convezione" (come ci sembra giusto chiamare le caldaie che fino ad oggi non hanno sfruttato con adeguati accorgimenti la radiazione) quando $T_f = Ta$ (temperatura dei fumi uguale a temperature ambiente) si ha il massimo effetto sperabile e, quindi, si ammette una perdita al camino nulla, di conseguenza il rendimento sarà il massimo possibile, cioè del 100%.

Le stesse osservazioni valgono quando $A_1/(21-O_2) = -B$ ovvero quando

 $A_2/CO_2 = -B$.

Si parla correntemente di rendimenti del 105% per le caldaie a condensazione: questo rafforza il concetto di convenzionalità del rendimento che non ha nulla a che vedere con il corrente concetto termodinamico di rendimento: non solo la formula convenzionale della perdita al camino non tiene conto del calore di condensazione dell'acqua di combustione, ma neanche dell'energia radiante non utilizzata e che non può interagire con i fumi.

Secondo le formulazioni convenzionali della UNI 10389 (che, in sostanza, sono una moderna versione della formula empirica di Siegert), potremmo sostenere che, trasformando la classica caldaia a convezione (rappresentata nella figura 5) in caldaia ad irraggiamento (figura 3), il rendimento convenzionale di combustione può superare, anche largamente, il 120%.

Dott. Prof. Pier Maria Boria Fisico Progettista

Tecnoline s.r.l. Milano

Concessionario esclusivo

condizionamento dell'aria acqua di qualità risparmio energetico tecnoline

Via Pastrengo, 14 • 20159 Milano • © 02 6070078 6070471 • Fax 02 6071070 e-mail:tecnoline@iol.it