

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	101989900094447
Data Deposito	14/12/1989
Data Pubblicazione	14/06/1991

Priorità	885800
Nazione Priorità	FI
Data Deposito Priorità	

Classifiche IPC

Titolo

METODO DI COMBUSTIONE PER RIDURRE LA FORMAZIONE DI OSSIDI DI AZOTO DURANTE LA COMBUSTIONE E APPARATO PER APPLICARE TALE METODO

40964/2881496
4/84148-cg

Descrizione del brevetto per invenzione industriale avente per titolo:

"Metodo di combustione per ridurre la formazione di ossidi di azoto durante la combustione e apparato per applicare tale metodo"

a nome: OY TAMPELLA AB

Lapintie 1

SF-33100 Tampere (Finlandia)

di nazionalità finlandese ed elettivamente domiciliata presso i suoi mandatari: Dr. E. Klausner, Dr. L. Mendini, p.i. R. Monti, a Milano, Via Dogana 1

(Ufficio Internazionale Brevetti Ing.C.Gregorj S.p.A.)

depositata il 14 DIC. 1989

Nr. 2270 0A/89

RIASSUNTO

Metodo di combustione e apparato per ridurre la formazione di ossidi di azoto durante combustione riduttiva, particolarmente nella fiamma. Nel metodo il gas contenente ossigeno richiesto per la combustione contiene ossigeno elementare in misura inferiore rispetto all'aria atmosferica. Il gas consiste di aria e un gas a basso contenuto di ossigeno o non contenente ossigeno il quale contiene agenti riducenti, preferi-

Don. E. Klausner)
n. albo 4

bilmente consiste di gas di combustione raffreddato separatamente ottenuto dallo spazio di combustione riduttiva. L'apparato comprende almeno un condotto (6) per gas attraverso il quale gas di combustione contenente agenti riducenti e proveniente dalla combustione riduttiva viene fatto passare per il tramite di un refrigeratore (9) in un mescolatore (8) con l'aria nel quale esso viene mescolato con l'aria primaria da introdurre nella caldaia.

DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce ad un metodo di combustione per ridurre la formazione di ossidi di azoto durante la combustione, metodo nel quale aria richiesta per la combustione di un combustibile viene introdotta in almeno due stadi, l'aria venendo introdotta in quantità inferiore a quella stechiometrica nel primo stadio, preferibilmente con un coefficiente di aria compreso fra 0,80 e 0,95, e un gas o miscela gassosa sostanzialmente esente da ossigeno elementare viene mescolato con l'aria da introdurre nel primo stadio.

La presente invenzione concerne pure un apparato per applicare il metodo, apparato com-

prendente mezzi per introdurre aria in un focolare, mezzi per introdurre combustibile nel focolare, e mezzi per mescolare un gas o miscela gassosa contenente ossigeno in misura inferiore a quella dell'aria con l'aria da introdurre nel primo stadio di combustione in quantità inferiore a quella stechiometrica prima che l'aria venga introdotta nel focolare.

Tutti i processi di combustione producono ossidi di azoto quando l'azoto sia dell'aria sia del combustibile si combina con ossigeno per formare ossidi di differente natura. Nella fiamma riducente, NO_x viene derivato principalmente dall'azoto del combustibile attraverso formazione rapida, cioè si ottiene il cosiddetto NO_x "pronto". A temperature elevate si ottiene principalmente ossido di azoto (NO). Quando la temperatura scende, NO si converte facilmente negli altri ossidi di azoto in presenza di ossigeno, principalmente in biossido di azoto (NO_2). La formazione di ossidi di azoto avviene ad una velocità rapida di reazione non appena vengono raggiunte le richieste condizioni chimiche di equilibrio, cioè principalmente a temperatura elevata e in presenza di ossigeno.

Se le condizioni di equilibrio vengono alterate dopo la formazione di ossidi di azoto in modo da causare decomposizione degli ossidi di azoto, la velocità di reazione del processo di decomposizione è molto bassa, la decomposizione richiedendo principalmente tempo, catalizzatori o altri agenti chimici. Dal punto di vista ecologico gli ossidi di azoto sono altamente dannosi. Essi si formano abbondantemente in processi industriali così come in centrali termoelettriche e altri stabilimenti operanti con caldaie, e uno degli obiettivi più importanti nella protezione dell'ambiente è quello di ridurre le emissioni di NO_x nell'atmosfera.

Nell'intento di ridurre emissioni di NO_x , ossidi di azoto vengono convertiti in altra forma con vari metodi. Tali tecniche includono vari metodi di riduzione basati sull'uso di catalizzatori nonché l'uso di agenti di assorbimento per l'assorbimento simultaneo di zolfo e ossidi di azoto in vari modi. Questi metodi implicano svariati metodi di difficile soluzione, come l'elevato prezzo e la difficile disponibilità di metalli preziosi usati come catalizzatori e le scarse proprietà di assorbimento degli agenti as

sorbenti. Inoltre, risulta spesso difficile dimensionare l'apparato allorchè si applicano metodi di assorbimento in conseguenza di variazioni nella capacità o potenza di una caldaia e in vista di altri fattori di tal genere.

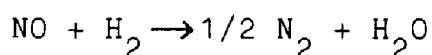
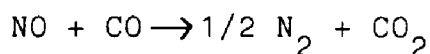
Tecnicamente è più vantaggioso cercare di prevenire la formazione di ossidi di azoto durante lo stadio di combustione invece di procedere alla loro rimozione. Per questo scopo sono stati realizzati tipi vari di bruciatori a bassa produzione di NO_x e sono stati effettuati tentativi per attuare la combustione in uno spazio pressurizzato, ed oltre a ciò la fornitura di aria nella caldaia è stata effettuata per stadi prima dei surriscaldatori. Contrariamente alle previsioni questi metodi non hanno dato, però, risultati particolarmente buoni per il fatto che in pratica il funzionamento dei metodi stessi è stato impedito o sostanzialmente menomato da certi fattori come variazioni nelle condizioni di formazione di ossidi di azoto, cinetica di reazione, condizioni operative di caldaie e variazioni che si verificano in tali condizioni. Inoltre, l'eliminazione di ossidi di azoto è stata tentata per mezzo di focolari a letto

in circolazione funzionanti a temperature molto basse (circa 800°C), cioè in condizioni svantaggiose per la formazione di NO_x . Questo ha, però, determinato una menomazione dell'efficienza dei focolari così come della loro capacità a bruciare tipi differenti di combustibili in quanto si è reso necessario abbassare la temperatura ad un livello molto basso vicino alla temperatura minima richiesta per mantenere in continuo il processo di combustione. I metodi sopra descritti sono largamente noti e quindi non è necessario che vengano qui illustrati più dettagliatamente (Finnish Ministry of Trade and Industry/Energy Department D:140, Helsinki 1987).

DE Offenlegungsschrift 30 40 830 descrive un metodo in cui gas di combustione completamente combusto e raffreddato, ottenuto da un condotto di gas dopo la caldaia, viene mescolato con l'aria da introdurre nella prima zona di combustione in condizioni inferiori a quelle stechiometriche in modo da ridurre la quantità di ossidi di azoto. Anche se questo metodo contribuisce in certa misura a prevenire la formazione di ossidi di azoto esso non consente di esercitare un sufficiente controllo della quantità di ossidi di

azoto. Inoltre, il riciclo del gas di combustione aumenta la portata volumetrica di gas fluente attraverso la caldaia, richiedendo conseguentemente uno spazio alquanto più ampio di combustione e condotti più larghi in ogni parte della caldaia.

Il contenuto di NO è solitamente basso entro l'area di riduzione, in conseguenza dell'effetto riducente di idrogeno (H_2) e monossido di carbonio (CO). Queste sostanze decompongono NO eventualmente formatosi, detta decomposizione avvenendo secondo le seguenti reazioni:



In combustione effettuata in modo per sé noto in condizioni inferiori a quelle stechiometriche, la concentrazione di NO può, in linea di principio, essere mantenuta ad un basso livello. Problemi si verificano solamente quando le condizioni diventano riducenti oppure quando hanno luogo temperature molto elevate, cioè superiori a $1500^\circ C$. I problemi insorgono anche da un minor eccesso di aria, il che nelle condizioni del focolare causa rapida for-

mazione di NO, oppure possono risultare da temperature molte elevate (superiori a 1500°C) alle quali H_2 e CO non possono più prevenire la formazione di NO in seguito al loro minor potenziale riducente. In apparati della tecnologia anteriore tali situazioni si verificano particolarmente nella fiamma primaria, ma anche a proposito dell'introduzione di aria secondaria e terziaria. Una delle ragioni più importanti per la formazione di NO nella fiamma primaria di apparati della tecnologia anteriore consiste nel fatto che la fiamma eterogenea contiene, ad esempio, goccioline di olio o particelle di carbone e, di conseguenza, si verificano elevati gradienti di concentrazione di ossigeno e gas di combustione, così come elevati gradienti termici. Pertanto è sempre possibile che picchi minori di temperatura si abbiano localmente in corrispondenza dei confini delle fasi, ad esempio se la quantità di ossigeno in corrispondenza di tali punti è stechiometrica o lievemente superiore alla quantità stechiometrica. In un tipico apparato di combustione la temperatura può aumentare istantaneamente e localmente sino a circa 2000°C . Come risultato la concentrazione locale di NO sale rapida-

mente sino a circa 3500 ppm (NO_x "pronto"). NO così formatosi non si decomporrà in qualsiasi grado superiore nelle condizioni della caldaia. Di conseguenza, risulta ovvio che anche minori picchi di temperatura verificantisi localmente e istantaneamente aumentano rapidamente il valore medio di NO del gas di scarico, il quale deve rimanere ad un livello di concentrazione di circa 100 ppm.

Lo scopo della presente invenzione è quello di offrire un metodo per mezzo del quale la formazione di NO_x durante uno stadio di combustione riduttiva, solitamente nella cosiddetta combustione primaria, particolarmente nella fiamma, può essere ridotta al minimo e nel quale metodo vengono evitate condizioni che costituiscono un pre-requisito per la formazione di NO_x senza l'uso di apparati complicati. Non si richiede la rimozione di NO_x dopo la combustione. Il metodo è caratterizzato dal fatto che un gas o miscela gassosa contenente agenti riducenti, come H_2 e CO , viene mescolato con l'aria da introdurre nel primo stadio, dal fatto che il contenuto di ossigeno della miscela gassosa introdotta nel primo stadio è preferi-

bilmente del 12-19%, e dal fatto che il contenuto di ossigeno e il potenziale riduttivo della miscela d'aria da introdurre vengono regolati in modo tale che la concentrazione di ossido di azoto del gas di combustione proveniente dalla combustione effettuata alla temperatura di combustione adiabatica del combustibile usato, corrispondente al contenuto di ossigeno fornito e al potenziale riduttivo, non è superiore ad un valore prestabilito della concentrazione.

L'idea base dell'invenzione è che aria viene introdotta nel processo di combustione in modo tale che la formazione di NO_x nella parte riducente del focolare, particolarmente nella fiamma difficilmente controllabile, rimane ad un livello sufficientemente basso a tutte le temperature e a tutti i rapporti ossigeno/ combustibile che si possono avere durante questo stadio della combustione. Questo viene ottenuto effettuando la combustione in condizioni riducenti (riduttive) mediante l'uso di un gas o una miscela gassosa avente un contenuto di ossigeno inferiore a quello della normale aria e contenente agenti riducenti. Per mezzo del metodo conforme alla presente invenzione, la concentrazione

trazione di ossidi di azoto può essere controllata in modo tale che la concentrazione all'equilibrio degli ossidi di azoto nel gas di combustione, in pratica anche la concentrazione massima, rimane in ogni momento ad un valore molto basso.

Un altro scopo della presente invenzione è quello di offrire un apparato per applicare detto metodo. L'apparato è caratterizzato dal fatto che i mezzi di mescolamento comprendono almeno un condotto per gas destinato a far passare parte del gas di combustione dal primo stadio di combustione nell'aria che deve essere introdotta nel primo stadio, così da mescolare detto gas di combustione con detta aria.

L'idea fondamentale dell'apparato della presente invenzione è che il gas riducente o miscela gassosa riducente, cioè gas non contenente ossigeno o a basso contenuto di ossigeno contenente pure agenti riducenti, e aria vengono miscelati intimamente fra loro e vengono introdotti almeno nella zona della caldaia in cui il combustibile ed aria vengono di norma mescolati scarsamente fra loro in modo che è facile che si verifichino picchi localizzati della tem

peratura. Tipicamente questa zona è la zona a combustione riduttiva (riducente) della caldaia, principalmente la zona della fiamma.

La presente invenzione verrà descritta più dettagliatamente negli allegati disegni in cui

la Figura 1 illustra l'interdipendenza fra temperatura e coefficiente di aria (rapporto fra ossigeno e quantità di ossigeno teorica richiesta per la combustione indipendentemente dagli altri componenti presenti nella miscela gassosa, come componenti inerti e agenti riducenti) in una applicazione della tecnologia del passato, riguardo ad un prestabilito livello di concentrazione di NO quando la combustione viene effettuata normalmente con aria, e l'interdipendenza fra temperatura adiabatica e coefficiente di aria in un tipico processo di combustione di petrolio effettuato normalmente con aria e con una miscela di aria e gas consistente di gas di combustione completamente combusto proveniente da una caldaia, la miscela avendo un contenuto di ossigeno del 17% (vedi Domanda di brevetto DE 3 040 830);

la Figura 2 illustra, a scopo di esem-

pio, l'interdipendenza fra la quantità massima di NO ottenuta nella combustione di metano (CH_4) puro e il coefficiente di aria quando il gas che mantiene la combustione è aria, oppure una miscela di gas di combustione completamente combusto e aria, come descritto nella figura 1, oppure una miscela di gas raffreddato riciclato dalla combustione riduttiva e aria; e

la Figura 3 è una vista schematica di un apparato per l'applicazione del metodo della presente invenzione.

Nella Figura 1, la curva A-B mostra, a scopo di esempio, la temperatura di combustione adiabatica di un tipo di olio largamente usato, in funzione del coefficiente di aria quando la combustione viene effettuata normalmente con aria. La curva C-D illustra, a scopo di esempio, la temperatura di combustione adiabatica dello stesso tipo di olio in funzione del coefficiente di aria quando la combustione viene effettuata con aria diluita con gas di combustione completamente combusto, il contenuto di ossigeno della miscela essendo del 17%. La curva E-F mostra, a scopo di esempio, le coppie di valori di temperatura e coefficiente di aria corrispon-

denti alla concentrazione di NO pari a 100 ppm quando la combustione viene effettuata normalmente con aria. Al di sopra della curva la concentrazione di NO è superiore a 100 ppm. Temperature molto elevate (superiori a 1500°C) sono in particolare importanti per l'invenzione. Siccome le temperature locali nelle porzioni più calde della fiamma possono salire sino ad un livello molto vicino alla temperatura adiabatica, dalla figura si vede che la concentrazione di NO pari a 100 ppm (punto G) può essere raggiunta con un coefficiente di aria anche di solo 0,82 quando la combustione viene effettuata normalmente con aria. Quando si usa aria diluita con gas di combustione completamente combusto, la concentrazione di 100 ppm viene raggiunta con un coefficiente di aria di 0,93 (punto H). Nella peggiore delle ipotesi, la concentrazione massima di NO entro l'area riducente è di circa 2700 ppm quando la combustione viene condotta normalmente con aria e di solo 800 ppm quando la combustione viene condotta con aria diluita come descritto nell'esempio. Il valore menzionato per primo è rappresentato dal punto I e il valore menzionato per ultimo è rappresen

tato dal punto J nella figura 1.

Si è ora trovato inaspettatamente che la formazione di NO può essere evitata entro l'area riducente del bruciatore, particolarmente nella fiamma, quando ossigeno richiesto dalla combustione viene introdotto in quantità inferiore a quella stechiometrica e ad un contenuto di ossigeno uniforme inferiore a 21% mescolando con l'aria per la combustione un gas o miscela gassosa contenente quantità considerevoli di agenti riducenti. In questo modo la temperatura di combustione, particolarmente quella della fiamma, può essere aumentata, aumentando simultaneamente il potenziale riduttivo così che non è più possibile, anche localmente o istantaneamente, formazione abbondante di NO_x . Questo avviene preferibilmente in modo che il picco di temperatura locale della fiamma non supera circa 1500°C e la concentrazione di ossigeno viene ridotta per mezzo di gas di combustione raffreddato riciclato dallo stadio di combustione riduttiva, gas contenente tipicamente idrogeno (H_2) e monossido di carbonio (CO). La formazione di NO_x viene efficientemente impedita sia dalla diminuzione della temperatura sia

dall'aumento nel potenziale riduttivo.

Nella figura 2, la curva K-L illustra la concentrazione massima di NO ottenuta nella combustione di metano (CH_4) puro quando la combustione viene effettuata normalmente con aria e il gas brucia in condizioni adiabatiche. La curva M-N illustra la concentrazione massima di NO quando gas di combustione completamente combusto è stato mescolato con l'aria per la combustione. La curva O-N, a sua volta, illustra un esempio in cui il contenuto di ossigeno dell'aria per la combustione è stato diminuito aggiungendo ad essa gas di combustione debitamente raffreddato proveniente dallo stadio riduttivo, attuato con lo stesso coefficiente di aria, in una quantità pari al 24% sulla portata volumetrica di aria primaria, gas riducenti H_2 e CO venendo in tal modo pure riciclati in misura considerevole. Dalla figura appare chiaramente che il riciclo di gas riducenti diminuisce fortemente la concentrazione di NO mentre la temperatura viene diminuita e si ha un aumento del potenziale riduttivo. Ad esempio, la diminuzione massima nella concentrazione di NO con coefficiente di aria pari a 0,80 risulta

pari sino al 97% in confronto alla combustione con aria a coefficiente d'aria 0,80, cioè la concentrazione scende da 0,048 moli di NO/kg di CH₄ (punto P nella figura 2) a 0,0012 moli di NO/kg di CH₄ (punto Q nella figura 2) e tale diminuzione risulta pari a circa il 73% sulla base del valore ottenuto quando gas di combustione completamente combusto viene mescolato con l'aria per la combustione (corrispondente al rapporto fra Q e R). Quando viene applicato il metodo della presente invenzione, la concentrazione di ossigeno così come la quantità e capacità riduttiva degli agenti riducenti, cioè il loro potenziale riduttivo, possono essere regolate in modo desiderato a seconda del combustibile usato e della altre condizioni di combustione.

Si è trovato inaspettatamente che l'efficacia massima del metodo della presente invenzione, cioè la massima diminuzione nella formazione di NO, rispetto alla tecnologia anteriore, si ottiene con coefficienti di aria compresi fra 0,80 e 0,95. E' analogamente impreveduto il fatto che la diminuzione massima nella concentrazione di NO si verifichi con la gamma di valori del

coefficiente d'aria convenzionalmente usata in
tipica combustione primaria della tecnologia an-
teriore in caldaie di centrali termoelettriche.
Pertanto, il metodo della presente invenzione di-
minuisce decisamente la formazione di NO_x nella
fiamma del bruciatore, cioè la formazione di NO_x
"pronto" che è stata massimamente difficile,
se non impossibile, prevenire negli apparati del-
la tecnologia del passato. Quando si confrontino
le curve M-N e O-N della figura 2, appare che
quando un gas o miscela gassosa contenente agen-
ti riducenti viene mescolato con aria in confor-
mità con la presente invenzione, il coefficiente
di aria 0,95 dà ancora una concentrazione di NO_x
(punto S) che è di circa il 92% inferiore a quel-
la ottenuta mediante combustione con normale aria
(punto T) e del 40% inferiore rispetto al valore
ottenuto aggiungendo gas di combustione completa-
mente combusto (corrispondente al rapporto fra i
punti U e S). Inoltre, l'uso di gas di combustio-
ne completamente combusto aumenta la quantità di
gas usato, il che richiede una caldaia più gran-
de e condotti più grossi per il convogliamento
del gas, mentre nel metodo della presente inven-
zione i requisiti connessi con maggiore quantità

di gas e più ampio spazio riguardano solamente quella parte della caldaia nella quale avviene la combustione riduttiva. Come appare inoltre dalla figura 2, le curve M-N e O-N si congiungono quando il coefficiente di aria è 1, il che è dovuto al fatto che il gas di combustione proveniente dal combustibile bruciato con rapporto stechiometrico non può più contenere in qualsiasi grado maggiore agenti riducenti. Questo, invece, non ha importanza per il risultato finale in processi di combustione condotti con minori coefficienti d'aria. Essenziale nella presente invenzione è il fatto che viene impedito surriscaldamento localizzato in una combustione in condizioni inferiori a quelle stechiometriche in modo che non si formeranno ossidi di azoto.

La figura 3 mostra schematicamente un apparato per la pratica applicazione del metodo della presente invenzione. L'apparato comprende un bruciatore come quello di una caldaia 1 con un focolare 2. Combustibile viene introdotto nel focolare 2 per mezzo di uno o più di spostivi 3 di alimentazione. Miscela gassosa contenente ossigeno richiesta per la combustione viene introdotta nella stessa parte del focolare

lare 2 attraverso un condotto 4 appartenente ai dispositivi per la fornitura di aria. Aria viene fornita nel condotto 4 attraverso un condotto 5, mentre gas riducente, cioè miscela gassosa che almeno sostanzialmente non contiene ossigeno e che contiene quantità notevoli di gas riducenti, principalmente H_2 e CO, viene fornito attraverso un condotto 6 appartenente ai sistemi di miscelazione per il tramite di un compressore 7 e un mescolatore 8 di gas. Il gas che si deve mescolare è preferibilmente gas di combustione derivato dal focolare 2 nel quale avviene combustione riduttiva (cioè riducente). Il gas di combustione, che contiene agenti riducenti, viene raffreddato per mezzo dei refrigeratori 9 e 10 e la sua quantità è controllata per mezzo di una valvola 11. Il gas di combustione riducente viene mescolato nel mescolatore 8 con l'aria da introdurre nel focolare. Una porzione preponderante del gas di combustione prodotto durante lo stadio di combustione riduttiva viene fatta passare nei successivi stadi di combustione, mostrati schematicamente con un unico stadio di combustione 12. Durante i successivi stadi di combustione, altra aria viene introdotta

ta nella caldaia per mezzo di una valvola 13 attraverso un condotto 14, in modo che il combustibile verrà combusto nella misura più completa possibile. A questo stadio il gas di combustione può essere raffreddato per mezzo di uno scambiatore di calore 15 e poi per mezzo di refrigeratori 16, dopo di che esso viene fatto passare attraverso un compressore 17 in un condotto 18 per scarico dei gas di combustione. A seconda della quantità richiesta di agenti riducenti, il gas di combustione finale raffreddato può essere mescolato con l'aria da introdurre nel focolare 2 durante il primo stadio operando in modo per sè noto attraverso un condotto 19 in aggiunta al gas di combustione proveniente dallo stadio riduttivo (di riduzione) introdotto attraverso il condotto 6, la quantità del gas di combustione finale essendo regolata mediante una valvola 20. In questo modo, sia il contenuto di ossigeno della miscela di aria e gas da introdurre nel focolare sia la concentrazione degli agenti riducenti in tale miscela possono essere regolati secondo le condizioni di combustione e il combustibile usato. Se esiste un pericolo che la fiamma o una porzione di essa diventi troppo calda all' inizio

dello stadio di combustione riduttiva 12 con risultante formazione eccessiva di ossido di azoto, la temperatura della fiamma durante questo stadio può pure essere diminuita alimentando gas riducente attraverso una valvola 21 e un condotto 22 in corrispondenza dell'inizio dello stadio 12 di combustione riduttiva. Perdite di calore del bruciatore possono essere diminuite isolando le camere di combustione mediante gli isolamenti 23 e 24 mostrati schematicamente nella figura.

Si deve tenere ben presente che alcuni dei dispositivi sopra descritti possono essere combinati in una singola entità in modo da ottenere una soluzione strutturalmente più vantaggiosa. Ad esempio, le parti 2, 10, 12, 15 e 16 possono essere facilmente combinate.

E' essenziale nell'apparato della presente invenzione che l'aria e il gas riducente vengano mescolati debitamente prima della loro introduzione nella parte riducente del focolare e che la temperatura della fiamma o di una sua porzione venga diminuita solamente nella misura quale richiesta per prevenire la formazione di NO senza con questo correre alcun rischio

che il processo di combustione venga interrotto. Nel metodo della presente invenzione il rapporto di miscelazione di aria e combustibile è determinato, ad esempio, dal valore termico del combustibile usato, dalla temperatura minima richiesta per mantenere la combustione, dalla analisi chimica del gas, dal livello desiderato di NO_x , dalle dimensioni delle superfici riscaldanti della caldaia, dal grado di raffreddamento (temperatura) del gas riciclato, e dalle posizioni degli stadi di introduzione del gas. Di conseguenza, questo rapporto può variare largamente; tipicamente la quantità di gas è pari al 10-70% della quantità di aria fornita.

E' ovvio che quando si deve ottenere la stessa efficienza di combustione, il volume del gas usato nell'apparato della presente invenzione è superiore rispetto al caso degli apparati della tecnologia anteriore, per quanto ciò si verifichi principalmente solo nella parte riducente della caldaia. Tuttavia, le dimensioni della caldaia non varieranno in misura eccessivamente ingente perchè il riciclo avviene preferibilmente solo durante lo stadio o gli stadi

di combustione in condizioni inferiori a quella stechiometrica e per il fatto che un aumento nella portata volumetrica di gas è per maggior parte compensato dal mutamento nella densità del gas causato dalla diminuzione della temperatura. Risulta pure ovvio che, teoricamente, il riciclo del gas non riduce l'efficienza della caldaia; perdite di calore varianti possono, tuttavia, risultare in una efficienza lievemente ridotta. In vista dei vantaggi offerti, questo inconveniente non assume alcuna importanza di rilievo.

La presente invenzione ha il vantaggio che l'apparato può essere creato con ben noti mezzi di costruzione di poco costo e che non si rendono necessari separati dispositivi costosi per la rimozione di NO_x perchè la formazione di NO_x è stata preventivamente evitata in misura sufficiente. Inoltre il metodo della presente invenzione è facile da realizzare e molto facile da controllare quando i principi su cui tale metodo si basa vengono applicati ad apparati e sistemi di controllo di per sè noti. E' analogamente possibile controllare un'elevata formazione locale di NO_x in porzioni localizzate ma

simamente calde della fiamma del bruciatore per il fatto che la formazione di NO_x viene così limitata che la sua concentrazione non può superare un valore limite stabilito. La concentrazione di NO della emissione di gas di combustione nell'ambiente circostante dipende, naturalmente, dalle caratteristiche operative e dalla struttura della parte ossidante della caldaia.

RIVENDICAZIONI

1. Metodo di combustione per ridurre la formazione di ossidi di azoto durante la combustione, in cui aria richiesta per la combustione di un combustibile viene introdotta in almeno due stadi, l'aria venendo introdotta in quantità inferiore a quella stechiometrica nel primo stadio, preferibilmente con un coefficiente di aria compreso fra 0,80 e 0,95, un gas o miscela gassosa sostanzialmente esente da ossigeno elementare viene mescolato con l'aria che si deve introdurre nel primo stadio, e un gas o miscela gassosa contenente agenti riducenti viene mescolato con l'aria da introdurre in detto primo stadio, metodo caratterizzato dal fatto che gas di combustione riducenti contenenti H_2 e CO provenienti dallo stadio di combustione in condizio

simamente calde della fiamma del bruciatore per il fatto che la formazione di NO_x viene così limitata che la sua concentrazione non può superare un valore limite stabilito. La concentrazione di NO della emissione di gas di combustione nell'ambiente circostante dipende, naturalmente, dalle caratteristiche operative e dalla struttura della parte ossidante della caldaia.

RIVENDICAZIONI

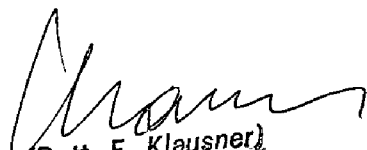
1. Metodo di combustione per ridurre la formazione di ossidi di azoto durante la combustione, in cui aria richiesta per la combustione di un combustibile viene introdotta in almeno due stadi, l'aria venendo introdotta in quantità inferiore a quella stechiometrica nel primo stadio, preferibilmente con un coefficiente di aria compreso fra 0,80 e 0,95, un gas o miscela gassosa sostanzialmente esente da ossigeno elementare viene mescolato con l'aria che si deve introdurre nel primo stadio, e un gas o miscela gassosa contenente agenti riducenti viene mescolato con l'aria da introdurre in detto primo stadio, metodo caratterizzato dal fatto che gas di combustione riducenti contenenti H_2 e CO provenienti dallo stadio di combustione in condizio-

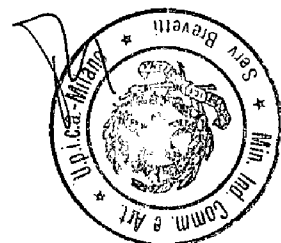
zione 1, comprendente dispositivi (4, 5) per introdurre aria in un focolare (2), dispositivi (3) per introdurre combustibile nel focolare (2), e dispositivi (6, 7,

8, 9, 11) per mescolare gas o una miscela gassosa, contenente ossigeno in quantità inferiore a quella presente nell'aria, con l'aria da introdurre nel primo stadio di combustione in condizioni inferiori a quelle stechiometriche prima che l'aria venga introdotta nel focolare (2), ... apparato caratterizzato dal fatto che i dispositivi di mescolamento (6, 7, 8, 9, 11) compredono almeno un condotto per gas (6) per far passare parte del gas di combustione, proveniente dal primo stadio di combustione, nell'aria da introdurre nel primo stadio di combustione in modo da mescolarlo con essa.

4. Apparato secondo la rivendicazione 3 caratterizzato dal fatto che i dispositivi di mescolamento (6, 7, 8, 9, 11) comprendono dispositivi (9, 10) per raffreddare il gas di combustione prima che esso venga mescolato con l'aria.

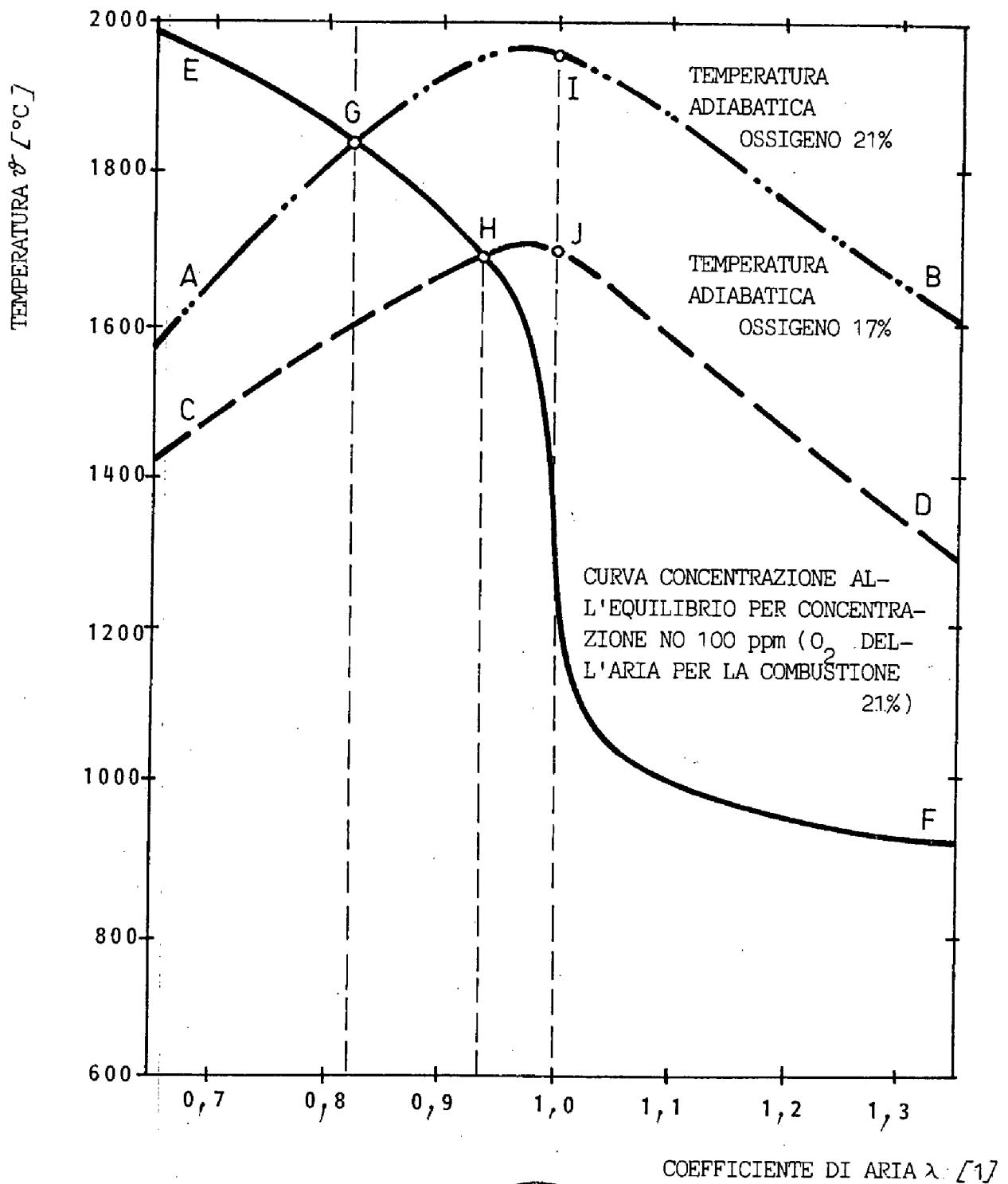
Milano,


(Dott. E. Klausner)
n. albo 4



22700A/89

FIG. 1

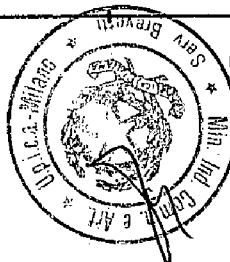
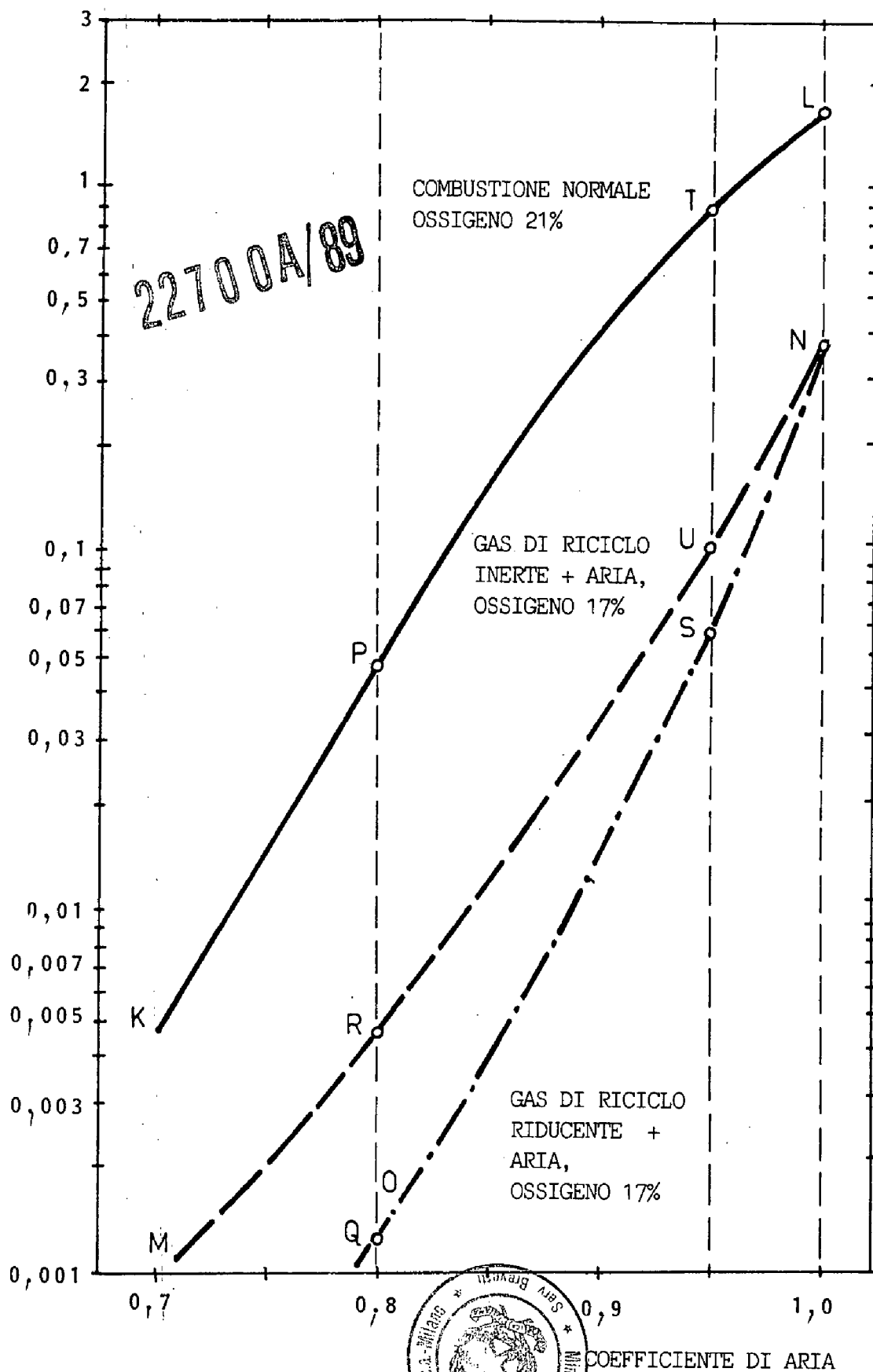


E. Klausner

(Dott. E. Klausner)
n. albo 4

FIG. 2

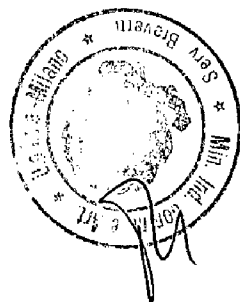
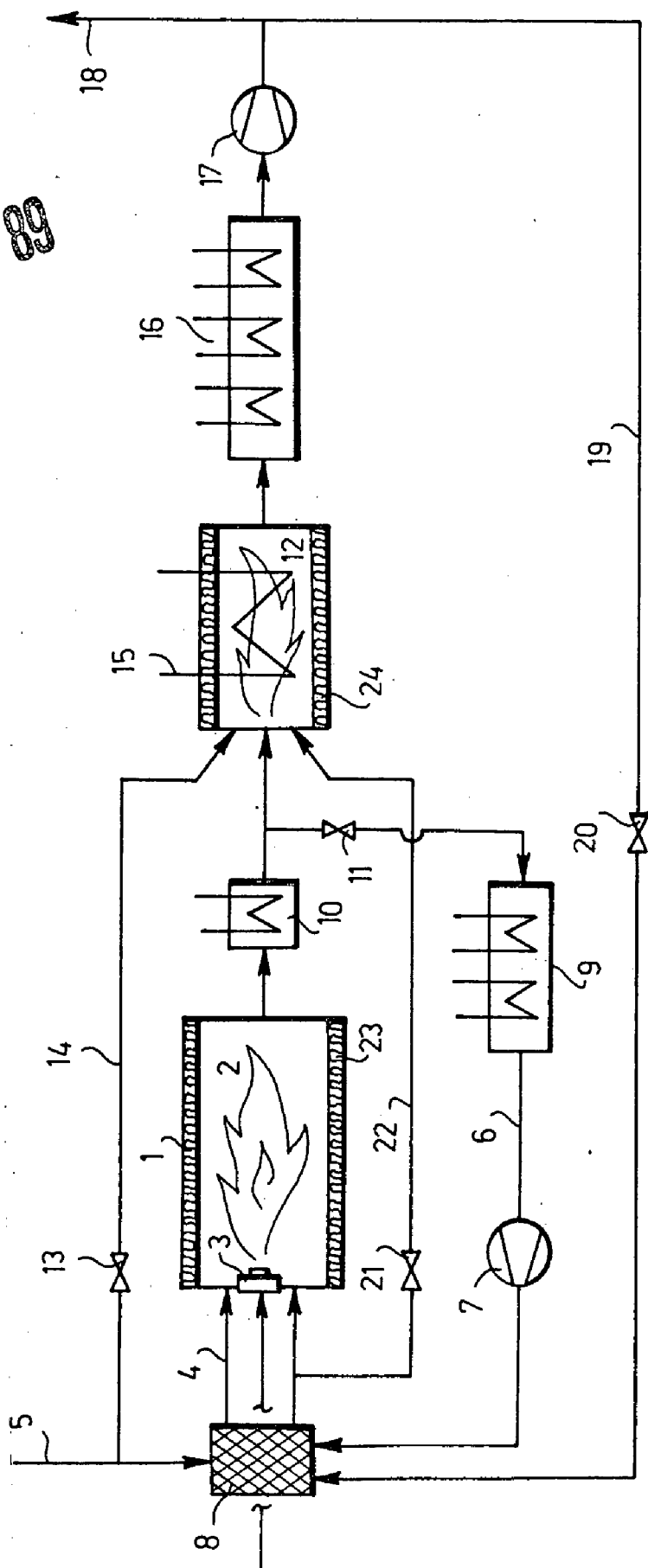
QUANTITA' DI NO IN GAS DI SCARICO CON COMBUSTIONE ADIABATICA, $\mu\text{moli di NO/kg di CH}_4$



(Signature)
(Dott. E. Klausner)
n. albo 4

22700A/89

FIG. 3



(Signature)
 (Dott. E. Klausner)
 n. albo 4