

NOZZOLI E TIPS

CAPITOLO 5

COMBUSTIONE E NOZZOLI

Una miscela di gas e aria che fuoriesce da un tubo si espande e perde di velocità lentamente.

Le particelle di miscela che si trovano sulla superficie esterna del cono di flusso che fuoriesce dal tubo, hanno una velocità inferiore a quelle poste al centro del flusso stesso; ciò per effetto degli attriti che esse subiscono. Per tale motivo la velocità della miscela è massima al centro e diminuisce gradualmente verso la periferia.

Se si volesse identificare all'interno del flusso i punti in cui la miscela ha eguale velocità si otterrebbero dei coni come indica la linea tratteggiata in Fig. 11A.

Se con una sorgente qualsiasi, per esempio un bruciatore pilota che lambisca il flusso, si provoca l'accensione della miscela, l'accensione si stabilisce su quella superficie conica in cui la velocità di propagazione della fiamma è eguale alla velocità del flusso.

Se la velocità del flusso all'uscita del tubo è eguale alla velocità di

propagazione della fiamma, quest'ultima rimane attaccata all'estremità del tubo e forma un cono di accensione la cui forma dipende dal tipo di gas, dalla percentuale di aria nella miscela e dalla temperatura di quest'ultima.

Se la velocità del flusso all'uscita del tubo aumenta, il cono di accensione si allunga finché la fiamma si stacca dal tubo e va ad accendersi in un punto lontano dove le due velocità V_p e V_f sono in equilibrio. Questo fenomeno è chiamato "distacco di fiamma".

Se la velocità V_f diminuisce al di sotto di V_p , la fiamma si propaga all'interno del tubo. Questo fenomeno è chiamato "ritorno di fiamma".

L'equilibrio tra le due velocità V_p e V_f nei grandi bruciatori di questo tipo è difficile da ottenere e comunque per i fenomeni sopra citati non è possibile effettuare regolazioni di portata; perciò bruciatori di questo genere non sono utilizzabili in applicazioni industriali.

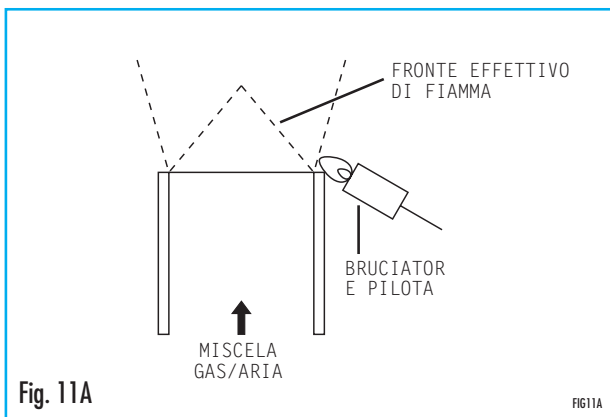


Fig. 11A

FIG11A

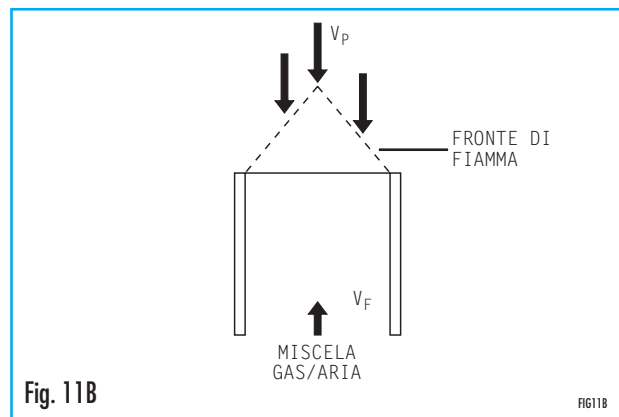


Fig. 11B

FIG11B

BRUCIATORI MULTIFORI (ATMOSFERICI)

La tendenza al ritorno di fiamma può essere ridotta al minimo riducendo il diametro di uscita del flusso a misure molto piccole. La maggiore massa di metallo funge da raffreddamento per la miscela ancora presente nel tubo. In condizioni normali, quando la velocità di efflusso V_f è ridotta ad un valore inferiore a quello della propagazione della fiamma V_p , si otterrebbe il fenomeno del ritorno di fiamma. In questi tipi di bruciatori ciò non avviene perché l'effetto raffreddante del metallo mantiene la temperatura della miscela, all'interno del foro, ad un valore inferiore a 600 °C (temperatura di

accensione). Per tale motivo la combustione inizia sulla bocca del foro.

Per ottenere rapporti di portata da 5 a 1, il diametro del foro non deve essere superiore a 3,25 mm; lo spessore della parete in cui è ricavato il foro deve essere almeno uguale al diametro.

Ogni foro di questa misura ha una portata di 100 kCal/h di gas naturale. La quantità totale di calore richiesta dal processo industriale è così distribuita in questi tipi di bruciatori su un grande numero di fori tutti dello stesso diametro.

L'accensione della miscela si propaga facilmente da un foro all'altro se la distanza tra questi non supera quattro volte il diametro del foro.

La quantità di aria contenuta nella miscela non supera, in questi bruciatori, il 30% del valore teorico. Pertanto il rimanente 70% di aria necessaria alla completa combustione deve essere fornito come aria secondaria. Ogni fiammella ha naturalmente bisogno di un'adeguata

aerazione attorno a sé. Per questa ragione i bruciatori a triplice fila di fori non possono funzionare in modo soddisfacente; la fila centrale di fori non riceve aria a sufficienza e pertanto le fiamme di questa fila si staccano.

Bruciatori di questo tipo non sopportano una portata superiore a quella sopra indicata in quanto la fiamma si staccerebbe dall'orificio, con il conseguente spegnimento.

RITENZIONE DI FIAMMA

La maggior parte dei bruciatori per impieghi industriali richiede però una portata termica, per unità di area di orificio di uscita, molto superiore a quella dei bruciatori sopra descritti. Al fine di evitare il fenomeno del distacco di fiamma, si applica attorno all'orificio di uscita dei bruciatori una fila anulare di piccole fiammelle di caratteristiche analoghe a quelle sopra descritte. Queste hanno la funzione di tenere costantemente accesa la fiamma principale ed eliminare il fenomeno del distacco anche con portate all'orificio principale cento volte superiori a quella limite sopra indicata.

In alcuni complicati e costosi processi industriali la miscela alle fiam-

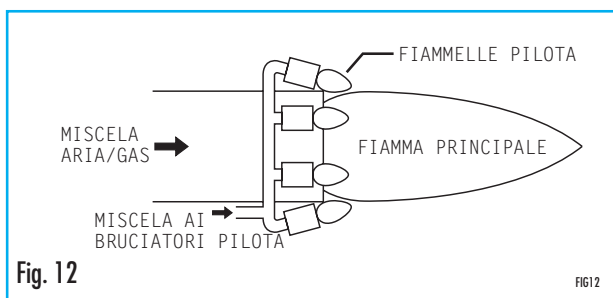


Fig. 12

melle, cosiddette "pilota", viene erogata da un miscelatore e da un condotto completamente separati da quelli del bruciatore principale (fig. 12).

La maggior parte dei bruciatori impiegati nei processi industriali sono viceversa del tipo "autopilotato". La particolare costruzione di questi ultimi permette di utilizzare un unico miscelatore.

Nei bruciatori atmosferici "multifori" (anulari a piastra o a tubo) la pressione della miscela al bruciatore è di $0,8 \div 2 \text{ mm H}_2\text{O}$. I bruciatori industriali di tipo a torcia singola possono anche essere alimentati con pressioni di miscela superiori ai $1500 \text{ mm H}_2\text{O}$. Questo valore è mille volte superiore a quello limite del distacco di fiamma. È evidente che in queste condizioni la fiamma deve essere pilotata con piccole fiammelle poste tutte intorno al perimetro del flusso della miscela. Tutti i bruciatori autopilotati hanno intorno all'orificio di efflusso della fiamma principale tanti piccoli fori attraverso i quali, per un effetto di perdita di carico, la miscela (che fluisce ad alta velocità dall'orificio centrale) subisce una diminuzione di velocità. Il numero, il diametro e la posizione di questi piccoli fori, dipende dai valori della velocità e della aerazione della miscela.

NOZZOLI PER BRUCIATORI A TORCIA A BASSA PRESSIONE

I nozzoli adatti per pressioni di miscela fino a $65 \text{ mm H}_2\text{O}$ e premiscelazioni sino al 60% sono quelli indicati in fig. 13.

La miscela, arrivando al nozzolo, si distribuisce in parte all'orificio principale (centrale) e in parte agli orifici posti in cerchio attorno a questo dove subisce una forte perdita di carico e di velocità. Le caratteristiche di combustione degli orifici pilota sono identiche a quelle dei bruciatori multifori. L'estrema stabilità della fiamma dei fori pilota permette di mantenere accesa quella del foro principale. I labbri del nozzolo si stendono oltre il punto di accensione per proteggere le fiamme da correnti d'aria.

Il limite di pressione di miscela sopra indicato ($65 \text{ mm H}_2\text{O}$) deve essere inteso come limite di perdita di carico totale attraverso il noz-

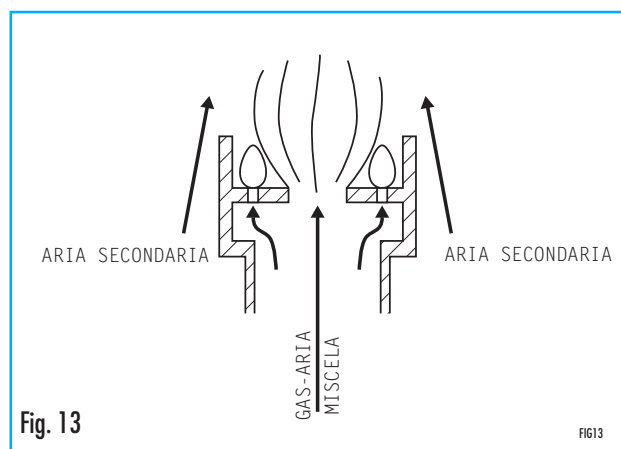


Fig. 13

zolo. Per determinare la perdita di carico totale attraverso il nozzolo, al valore di ΔP al nozzolo va aggiunta la componente esistente in camera di combustione. Operando con il 20-60% di premiscelazione, è necessario aggiungere grandi quantità di aria secondaria attorno al nozzolo per completare la combustione.

Naturalmente questi nozzoli devono essere alimentati da miscelatori adatti a raggiungere il valore di premiscelazione sopra accennato. Quanto si è descritto nel Cap. 3, paragrafo "Tiraggio - sua influenza sul funzionamento dei miscelatori atmosferici", è valido anche per i nozzoli di questo tipo. È evidente inoltre che in conseguenza delle deboli pressioni di miscela realizzate e la necessità di trascinare note-

voli quantitativi di aria secondaria, questi bruciatori non possono operare in camere di combustione pressurizzate seppure di pochissimi centesimi di millimetro di colonna d'acqua.

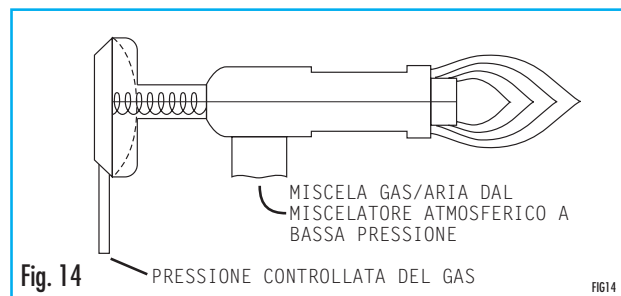
I nozzoli autopilotati per basse pressioni di miscela, sono caratterizzati da un orificio centrale di ampie dimensioni. Operando con pressioni di gas dell'ordine di 100-200 mm H₂O si possono effettuare riduzioni di portata molto lievi (massimo 2 a 1) data l'elevata tendenza al ritorno di fiamma di questi tipi di bruciatori, soprattutto in condizioni di medio ed elevato tiraggio. Di solito si effettua con questi apparecchi una regolazione "tutto o niente" (on - off).

BRUCIATORI A TORCIA A BASSA PRESSIONE CON AMPIO RAPPORTO DI PORTATA

Un'altra tecnica bruciatoristica vede un bruciatore costruttivamente analogo a quello precedentemente descritto. Tale bruciatore permette maggiori rapporti di portata grazie all'inserimento di un disco di acciaio all'altezza dell'orificio centrale del nozzolo che può ridurre la sezione dell'80% in concomitanza della minor richiesta di calore (fig. 14).

Il disco è collegato per mezzo di un'asta alla membrana di un regolatore pneumatico montato sul retro del bruciatore. Una molla inserita tra la membrana ed il corpo del bruciatore trattiene, in posizione normale, il disco nella sua posizione più arretrata, quella cioè corrispondente alla massima chiusura della sezione del nozzolo. La camera superiore del regolatore a membrana è caricata con la pressione di linea del gas tra il regolatore della portata e l'ugello iniettore. Finché la pressione del gas non avrà raggiunto il valore di circa 40 mm H₂O, il disco non si muove dalla sua posizione di massimo arretramento. In tale posizione non si verificherà alcun ritorno di fiamma poiché la velocità della miscela all'uscita del nozzolo è massima.

Aumentando la portata e cioè la pressione del gas P_1 , la membrana viene caricata da una maggiore pressione statica e quindi costringerà



il disco a muoversi in avanti. Ciò facendo si aumenta la sezione libera del foro centrale del nozzolo. Il disco può fare una corsa totale di 40 mm.

Dalla sua posizione di massimo avanzamento il disco ripercorrerà in senso inverso la sua corsa richiamato dalla tensione della molla man mano che si diminuisce la pressione di alimentazione del gas.

I bruciatori dotati di questo dispositivo possono raggiungere rapporti di portata superiori a 10/1 anche con pressioni massime di gas di 150 mm H₂O ed in condizioni di medio tiraggio. Con pressioni di gas superiori si possono naturalmente ottenere rapporti di portata superiori.

NOZZOLI PER BRUCIATORI A TORCIA AD ALTA PRESSIONE

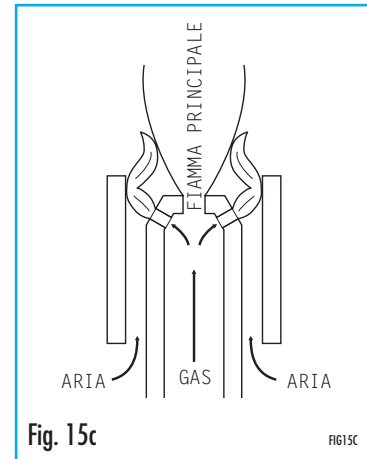
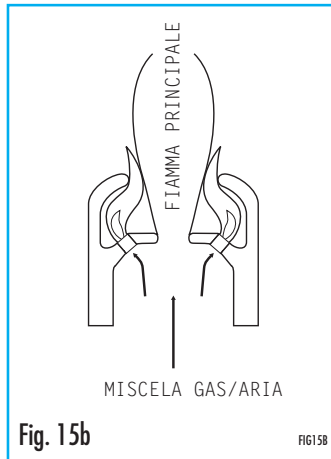
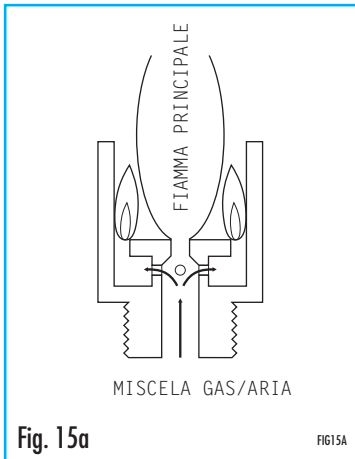
Operando con miscele ricche (dal 65 al 95% di premiscelazione) aventi pressioni superiori a 50 mm H₂O i fori delle fiammelle pilota di un nozzolo a bassa pressione non danno più buoni risultati. Difatti in queste condizioni di esercizio è difficile od impossibile creare attraverso i fori pilota una perdita di carico tale da rendere le fiammelle pilota stabili. Si ricorre allora alla combinazione di due effetti:

- 1) la perdita di carico attraverso i fori pilota
- 2) l'espansione della miscela in una camera anulare che precede la zona della combustione, per rallentare la velocità della miscela

ed arrivare alle condizioni di stabilizzazione delle fiamme pilota.

La fig. 15a (v. pag. 4) mostra tale sistema.

Questo tipo di nozzolo viene generalmente adottato per bruciatori di piccole dimensioni. Nei bruciatori di grande portata i fori pilota verrebbero a trovarsi troppo lontani dall'orificio centrale per ottenere un buon effetto di accensione. In questi casi si preferisce il sistema indicato nella fig. 15b (v. pag. 4) dove le fiammelle pilota sbattono sui labbri del nozzolo che sono ricurvi verso il centro. Anche in questo caso l'effetto ricercato è la riduzione della velocità della miscela



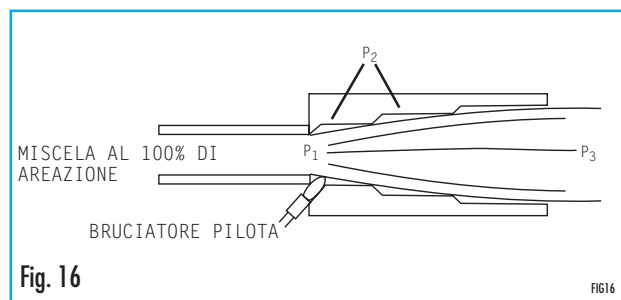
che fuoriesce dai fori pilota; contemporaneamente si sfrutta l'effetto dell'aumento della velocità di propagazione della fiamma provocato dalla temperatura del metallo del nozzolo. Un ulteriore effetto stabilizzante è provocato dal brusco cambiamento di direzione delle fiamme pilota che urtano contro i labbri del nozzolo. L'espansione immediata della miscela, appena lascia l'orificio centrale del nozzolo, crea attorno a questo una zona di depressione. Per merito di questa si ha un trascinamento di aria secondaria, necessaria sia alla stabilizzazione della fiamma pilota, sia alla completa combustione del gas. È pertanto necessario che attorno al nozzolo fluisca aria secondaria; in caso contrario le fiammelle pilota si spegnerebbero con la conseguente perdita di ogni effetto di ritenzione della fiamma. La costruzione indicata in fig. 15c permette una adeguata aerazione del nozzolo. Questo tipo di costruzione è in particolar modo indicata

ai cosiddetti "bruciatori lineari" o "a lama di fiamma". In questo caso le due pareti metalliche esterne sono costituite da due rotaie di acciaio inossidabile e sono espressamente distanziate dal corpo centrale del bruciatore, per permettere il passaggio dell'aria. L'effetto combinato della perdita di carico attraverso i fori pilota e l'urto delle fiammelle sulle rotaie esterne, agisce da stabilizzatore sulla fiamma. Questo tipo di costruzione evita inoltre il surriscaldamento del bruciatore grazie all'effetto raffreddante che l'aria provoca passando tra il corpo del bruciatore e le rotaie. Nei bruciatori indicati alle fig. 15 maggiore è la pressione di miscela e tanto più ampio è il rapporto tra la portata massima e minima ottenibile. Con pressioni di miscela di 200÷250 mm H₂O si possono ottenere rapporti di portata di 5/1.

BRUCIATORI COMPLETAMENTE CHIUSI

I bruciatori che necessitano di funzionare con aria primaria in rapporto stechiometrico con il gas (100% di premiscelazione) hanno in genere al posto del nozzolo metallico una testata (o blocco) in materiale refrattario; le parti metalliche del bruciatore esposte all'azione della temperatura vengono opportunamente protette. Questi bruciatori devono poter operare senza aggiunte di aria secondaria, in modo da potere controllare con precisione l'eccesso o il difetto di ossigeno in camera di combustione: sono appunto bruciatori che permettono i più elevati rendimenti di combustione; sono impiegati per speciali processi termici industriali e dove si richiedano temperature di esercizio superiori a 500 °C fino a 1900 °C. Naturalmente non disponendo di aria secondaria e di parti metalliche nel nozzolo, la ritenzione della fiamma deve essere realizzata in modo diverso da quello sin qui preso in considerazione.

La miscela che fluisce da un tubo in un blocco refrattario si espande gradualmente nella sezione svasata del blocco stesso. L'ultimo tratto del tubo ed il blocco a sezione conica si comportano come un normale venturi. Nella fig. 16 abbiamo denominato P₁ la pressione della miscela all'uscita del tubo e P₃ la pressione atmosferica esistente



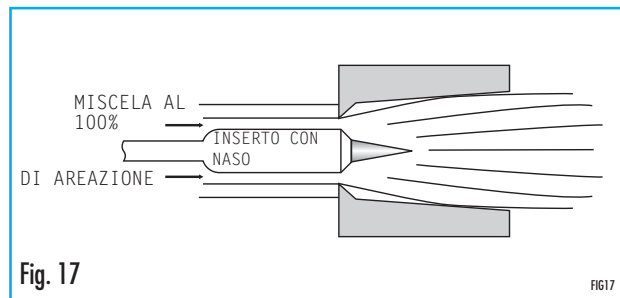
oltre la bocca di uscita del blocco (vedi le alle sigle date alle pressioni nella descrizione dei venturi, Cap. 2).

In queste condizioni, in corrispondenza di ciascun gradino praticato nel cono del blocco refrattario si crea una pressione negativa P_2 . Difatti, aumentando in quei punti la sezione del cono, la miscela perde in velocità per poi riacquistarla. In relazione alla portata data al bruciatore, in uno di questi punti si stabilisce l'equilibrio tra la velocità di efflusso della miscela e la velocità di propagazione della fiamma. Le correnti turbolente che si verificano nelle zone di depressione P_2 funzionano da pilota. Difatti attorno ai gradini del blocco si formano anelli di fiamma costantemente accesi che a loro volta tengono accesa la miscela che fluisce centralmente ad alta velocità.

I bruciatori pilota per l'accensione iniziale automatica della fiamma principale vengono di solito inseriti in corrispondenza dei gradini del blocco in modo da usufruire, per la stabilità della fiamma pilota, della pressione negativa esistente in quei punti.

Brucciatori di tipo completamente chiuso aventi blocchi refrattari mal progettati devono essere accesi a basso regime di portata; è consigliabile passare a massimo regime solo dopo che il blocco refrattario è divenuto incandescente. La ritenzione della fiamma in questi bruciatori è data unicamente dall'aumento della velocità di propagazione della fiamma provocato dal calore irraggiato dal refrattario. Brucciatori ben progettati con blocco refrattario a gradini possono essere invece avviati immediatamente alla loro massima portata senza alcun inconveniente.

I bruciatori a totale premiscelazione producono in linea generale la massima velocità di propagazione della fiamma. Per questo motivo il ritorno di fiamma nel collettore di immissione della miscela avviene



con facilità, soprattutto nella fase di riduzione della portata. Con una opportuna modifica alla testata del bruciatore (vedi fig. 17) questo pericolo può essere ridotto al minimo. Si tratta di inserire nel centro del condotto della miscela, dove questa sbocca nel blocco refrattario, un "inserto" metallico protetto nella sua parte anteriore dal cosiddetto "naso" in ceramica refrattaria. In questo modo si diminuisce la sezione di efflusso della miscela aumentandone la velocità di uscita. Inoltre l'inserto assorbe molto del calore ceduto alla miscela dalla camera di combustione, raffreddando la miscela stessa ad un valore inferiore a 600 °C.

In questi tipi di bruciatori si possono superare senza pericoli rapporti di portata di 10/1 con pressione di miscela alla massima portata di 250 mm H₂O.

Il tipo di bruciatore indicato in fig. 17 richiede un solo gradino nel blocco refrattario per ottenere una buona ritenzione di fiamma.

Una zona di pressione negativa di notevole entità è prodotta dall'effetto combinato di questo gradino e del "naso". La turbolenza della miscela nel blocco è elevata e di conseguenza la fiamma è corta.