

Aerodinamica della combustione

Vogliamo vedere, a questo livello, come si realizza e come si sceglie un campo aerodinamico.

ELEMENTI DI AERODINAMICA DI INTERESSE PRATICO NELLA COMBUSTIONE

I campi di moto che si realizzano in un reattore sono finalizzati ad ottenere,

- 1) Opportune strategie di miscelazione tra reagenti e tra prodotti di combustione e prodotti freschi.
- 2) Stabilizzazione di fiamma → per la realizzazione del processo di combustione all'interno del reattore.
- 3) Performance della combustione(in particolar modo gli inquinanti, anche se nei processi di formazione di tali sostanze sono importanti anche i punti precedenti).

In particolar modo l'aerodinamica detta la geometria della fiamma e dunque la localizzazione del rilascio di calore.

Nella scelta di un campo aerodinamico chiaramente la stabilizzazione della fiamma è il primo obiettivo da perseguire, poiché altrimenti non avrei proprio alcun processo di combustione, e le tipologie di campo di moto da scegliere sono differenti a seconda che il regime sia premiscelato o diffusivo.

Meccanismi principali di stabilizzazione

- Fronte di fiamma che, in condizioni premiscelate, risale il campo di moto all'interno del reattore.

N.B. Nella fiamma premix il fronte di fiamma risale la corrente con velocità che nel caso laminare è $v_f = 1$ m/s, se invece siamo in condizioni turbolente questo viene corrugato e dunque $v = 2 \div 3$ m/s, nel caso in cui è addirittura preriscaldato(nei motori a benzina) avremo $v = 6 \div 7$ m/s.

Se	$v_{\text{premix}} > v$	→	Blow off
Se	$v_{\text{premix}} < v$	→	Flashback

Dove v_{premix} è la velocità dei reagenti.

Questo meccanismo si basa dunque sul fatto che in qualche punto del reattore la velocità fluidodinamica è uguale a quella di propagazione di fiamma (nel caso premix); il problema nasce proprio a causa delle velocità di propagazione basse ($2 \div 3$ m/s) per cui è necessario realizzare getti con basse v in una zona del reattore ben circoscritta e prevedibile e dunque questo meccanismo, seppure utilizzato in passato, è alquanto instabile.

- Fiamma pilota.

L'aerodinamica è finalizzata a far lambire ai reagenti i punti pilota oppure, una volta che so dove è posizionato il fronte di fiamma, realizzo un'aggiunta di energia nei punti strategici.

Questo meccanismo è utilizzato in molte applicazioni, ad es. le T.G. Lean Premixed in cui realizzo una fiamma pilota attraverso un bruciatore più piccolo controllato diffusivamente(dunque in realtà le C.C. delle Lean Premixed sono tali per un $60 \div 80$ % mentre il resto è a controllo diffusivo).

- Feedback (ricircolazione interna).

Gran parte dei reattori stazionari sfruttano tale meccanismo attraverso il quale gran parte dei prodotti rifluisce all'indietro mescolandosi ai nuovi reagenti apportando calore e radicali attivi alla radice della fiamma (dunque non serve a ridurre gli NO_x perché non si riduce la temp. adiab. di fiamma) per cui la cosa migliore sarebbe realizzare una C.C. adiabatica in modo che tali gas non cedano calore alle pareti.

N.B. Tale meccanismo è diverso dall'EGR poiché i gas con cui si effettua il ricircolo non sono esausti dato che non hanno subito alcuna espansione.

ELEMENTI COSTRUTTIVI DI UNITA' AERODINAMICHE

Vediamo ora come è possibile realizzare i campi di moto più opportuni ai nostri scopi.

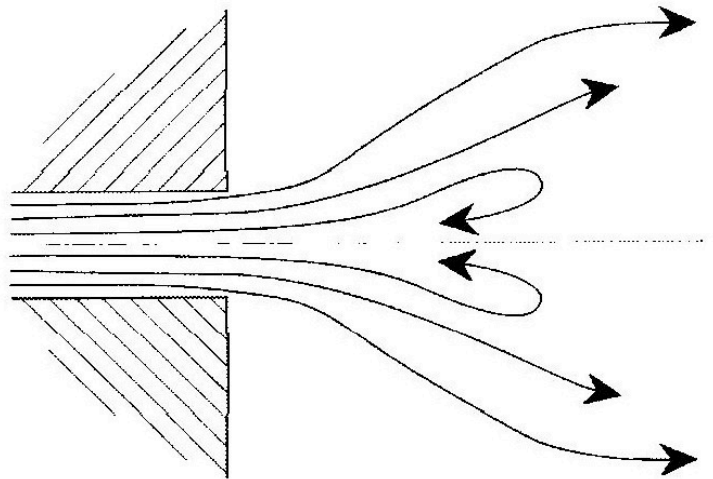
In particolare ci occuperemo di come realizzare un flusso inverso di basso livello (scie e swirl).

N.B. Vedi lezione combustione I "aerodinamica e reattoristica delle fiamme" per tutti gli altri meccanismi.

Il ricircolo dei gas si effettua tramite la formazione di vortici ad opera ad esempio di corpi tozzi, sudden expansion (in realtà non molto usati), ma il meccanismo principale è sicuramente quello di operare uno swirl.

Swirl

N.B. $n_{swirl} = \frac{\iint \rho u(v) dS}{\iint \rho u(u) dS} = \frac{\text{Flusso assiale della componente tangenziale della q.d.m.}}{\text{Flusso assiale della componente assiale della q.d.m.}}$



La depressione centrale viene creata attraverso la centrifugazione del getto impartendo un moto tangenziale all'aria, per cui tale getto tende ad allargarsi; se la componente tangenziale è sufficientemente alta (dello stesso ordine di quella assiale) avviene tale ricircolo, il n_{swirl} rappresenta proprio una misura della tangenzialità del flusso:

se	$n_{swirl} > 0.5$	→ Ricircolazione interna dei gas
se	$n_{swirl} \cong 1.5 \div 2$	→ Formazione di cicloni

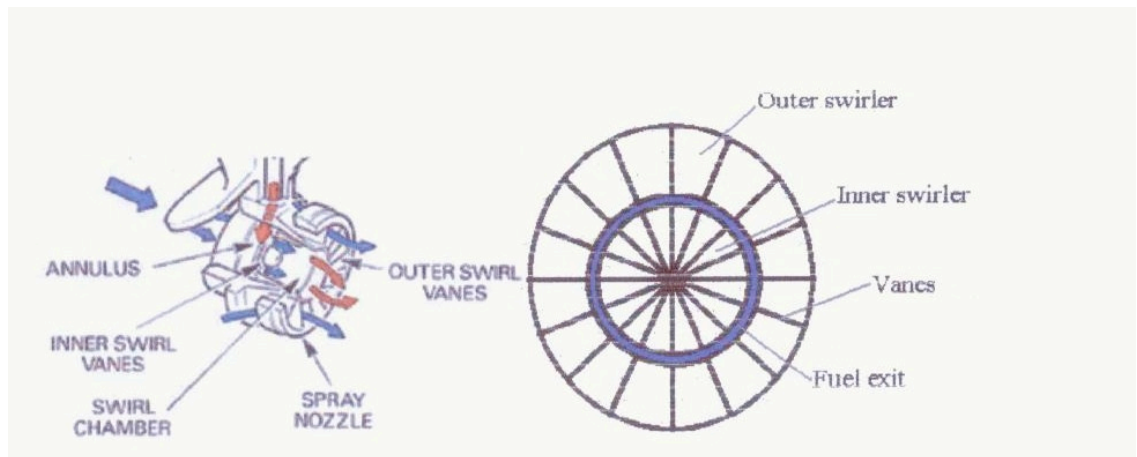
nell'ambito della combustione vogliamo

$$0.5 < n_{swirl} < 1$$

Vediamo quali sono le modalità tecniche con cui realizzare un certo n_{swirl} .

1. Generatori di swirl assiali.
2. Generatori di swirl radiali.
3. Generatori di swirl a getti.
4. Impartendo energia cinetica al getto attraverso un mezzo in movimento.

1. Deviatori di flusso
Si montano lungo l'asse di un condotto delle palette fisse:

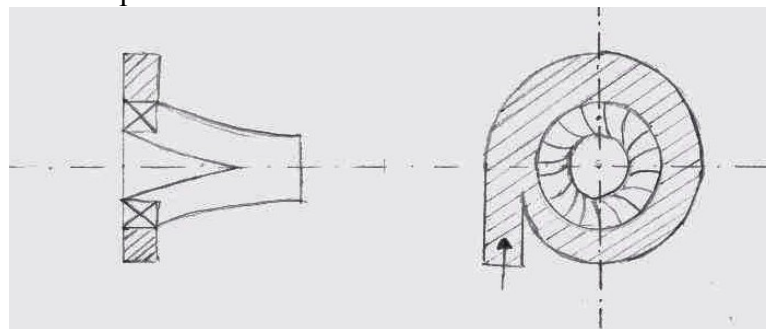


In genere i profili delle palette non sono aerodinamici poiché le perdite di carico non sono rilevanti, l'unica cosa da sapere è di quanto deve deviare tale swirl ovvero l'angolo di inclinazione delle palette e ciò si ricava dal n_{swirl} che risulta a sua volta calcolabile da correlazioni sperimentali.

Questo tipo di generatore di swirl ha come vantaggio quello di essere "veloce" ma ha come svantaggio il problema tecnico di dover realizzare al centro del canale una lancia per l'adduzione del combustibile.

2. Radial

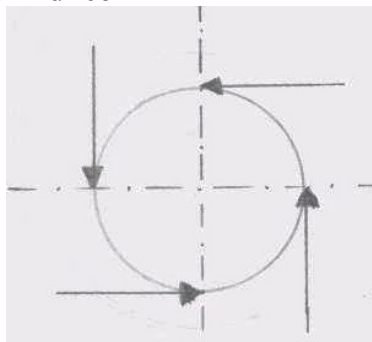
C'è una coclea e una palettatura radiale:



N.B. La palettatura è fissa.

Questo swirl viene dimensionato assegnando un d_{est} , d_{int} e le caratteristiche degli angoli di ingresso e di uscita.

3. Getti su di un distributore cilindrico



Getti di aria con ingressi tangenziale, in questo caso $n_{swirl} \cong 0.5$ automaticamente; tale sistema è usato prevalentemente nei laboratori quando si vuole ottenere velocemente un certo swirl.

4. Si utilizza la rotazione impartita da una macchina sia per comprimere il gas sia per swirlare; questa configurazione ha come vantaggio la possibilità di ottenere uno swirl variabile al variare della velocità di rotazione (anche se ciò in realtà può creare problemi nelle variazioni di carico del compressore), lo svantaggio principale è legato proprio all'accoppiamento forte tra C.C. e compressore.

Problemi dello swirl.

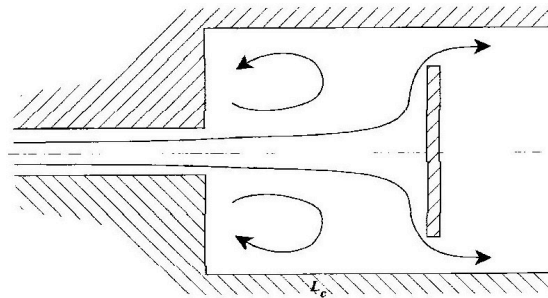
Se ci sono particelle di olio (spray) o di carbone(polverino) e questi sono sopraswirlati c'è una deposizione di tali particelle liquide o solide sulle pareti del combustore.

N.B. Questo che nei combustori è un problema negli impianti di trattamento degli effluenti inquinanti è uno dei metodi di separazione di particelle da una corrente(cicloni).

N.B. Per tali swirl classici $\frac{\text{portata ricircolata}}{\text{portata in ingresso}} = 30\%$

Getti ad impatto

Il getto invece di realizzare un flusso riverso all'indietro con uno swirl va ad impattare contro una parete generando una forte ricircolazione interna, ma, affinché tale ricircolazione risulti efficace, i prodotti di combustione devono essere presenti prima dell'impatto.



N.B. La piastra è posta a $L_c = 4d$, con " d " diametro del cannotto.

Questo è un esempio di configurazione autoripulente perché eventuali depositi di origine pirolitica reagiscono con l' O_2 del flusso ricircolato.

Per ottenere una configurazione efficace la piastra è posta a $4d$ dal cannotto.

Vantaggi → configurazione economica, autoripulente e con stabilità elevata data l'elevata velocità del getto ricircolato ($\cong 10$ m/s) che produce un vortice intenso.

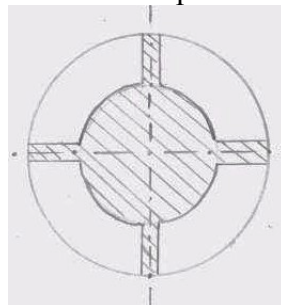
Svantaggi → rilascio di calore vicino alle pareti, dunque se il rilascio di calore è troppo elevato, nella zona rossa è necessario realizzare un cannotto bagnato, problemi per mantenere la piastra.

N.B. Questa configurazione anche se poco studiata dal punto di vista fluidodinamico sappiamo che è in grado di realizzare $\frac{\text{portata ricircolata}}{\text{portata in ingresso}} \approx 60 \div 70\%$.

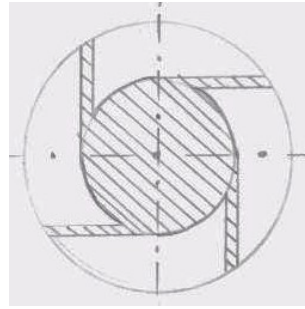
N.B. v_{vortex} (zona rossa) è di un'ordine di grandezza più grande di quella ottenibile con un flusso swirlato.

Lo svantaggio fondamentale di tale realizzazione è legato proprio alla piastra che non si sa come mantenerla fissa dato che essa stessa è esposta alla combustione.

Per mantenere la piastra si possono usare delle "zampette":

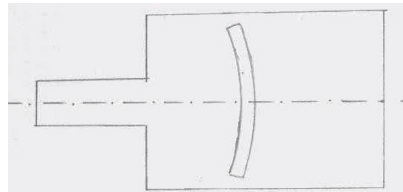


questa configurazione però, data la dissimetria(seppur minima) della fiamma, porta il disco, dopo sole poche ore di funzionamento, a posizionarsi obliquamente in direzione assiale poichè le "zampette" si deformano in modo disuniforme, dunque la soluzione progettuale adottata è in realtà del tipo:



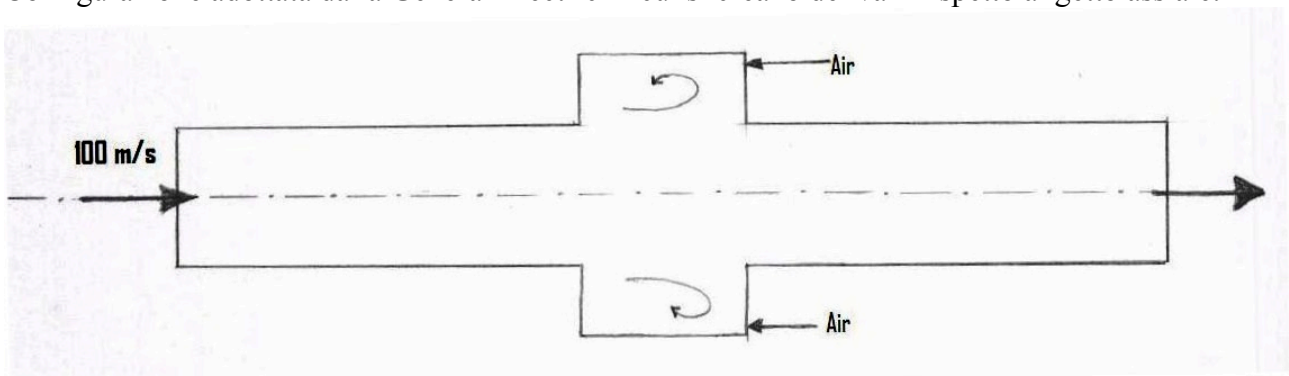
in questo modo la deformazione disuniforme delle “zampette” porta semplicemente ad una rotazione del disco.

In più per aumentare il rilascio di calore (aumentando il ricircolo) il disco può essere addirittura punzonato.



Trapped vortex

Configurazione adottata dalla General Electric in cui si creano dei vortici rispetto al getto assiale:



in questo caso c'è ricircolo e riaccensione; è molto simile all'impinging jet dal punto di vista delle prestazioni ed è molto più economico.

N.B. Ad oggi le grandi case costruttrici stanno sempre più investendo nella realizzazione di C.C. per combustibili poveri e con composizione variabile (syngas) per cui tali sistemi diventano fondamentali anche per una eventuale regolazione del combustore.

PRINCIPI D'ACCOPPIAMENTO TRA SPRAY E AERODINAMICA

Vediamo come l'aerodinamica influenza l'interazione combustibile-comburente.

Se il combustibile è gassoso occorre tener conto di una categoria di problemi dovuti alla miscelazione sproporzionata (poiché il getto di aria è almeno 15 volte più grande di quello di combustibile) in quanto la penetrazione del combustibile all'interno del comburente è più difficoltosa rispetto al caso in cui abbiamo un combustibile liquido o addirittura un polverino di carbone.

Per omogeneizzare il più possibile i due spray mi converrebbe multiplexare la distribuzione, ma, contemporaneamente, in questo modo perdo penetrazione sul singolo getto poiché mettendo più getti in parallelo questi, a parità di quantità di combustibile iniettato, avranno diametri più piccoli (ricorda il principio di invarianza geometrica con la portata del getto $L_p = 5 d_g$ -pag.4 app.combustione I “aerodinamica e reattoristica delle fiamme”).

Ad oggi per i motivi visti il numero di getti si trova empiricamente anche se in genere si considera $N_{g,opt} = 8$.