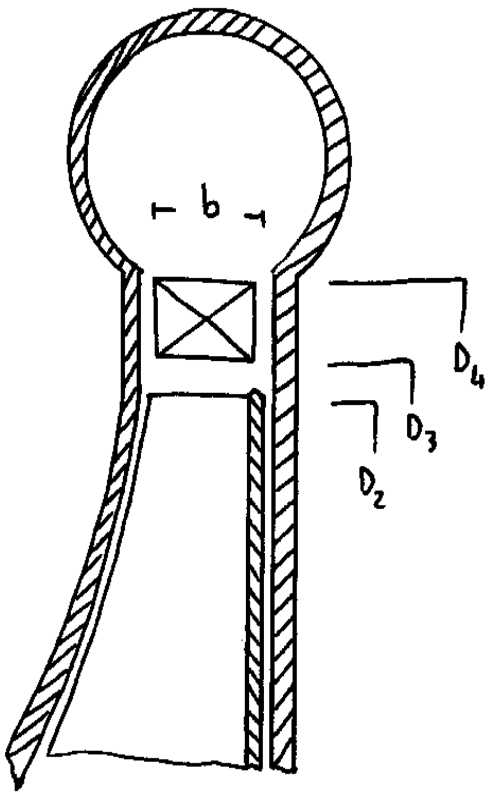
DIFFUSORI DI UNA MACCHINA RADIALE

Conviene fare riferimento allo schema della macchina proposto in precedenza, senza farlo integralmente , facendo riferimento ad un piano passante per l'asse della macchina dalla parte terminale della girante.



Abbiamo la palettatura che termina in corrispondenza del diametro D_2 , poi possiamo avere un diffusore liscio, che non è altro che un anulus cilindrico il quale si sviluppa dal diametro D_2 ove finisce la palettatura sino ad un certo diametro D_3 , il quale corrisponde a seconda dei casi o all' inizio della palettatura del diffusore palettato oppure, nel caso in cui esso sia assente D_3 si affaccia direttamente sulla cassa a spirale .Nel caso più generale come in figura avremo la presenza del diffusore palettato .Nel caso in cui la macchina sia a più stadi tale condotto servirà per introdurre il fluido nello stadio successivo.

Ci occuperemo ora del comportamento fluidodinamico del fluido all' interno di questi elementi , cioè dei diffusori e della cassa a spirale.

Il primo elemento sempre presente è il diffusore liscio il quale altro non è che un anulus nel quale il fluido, uscito dalla palettatura, si trova libero di muoversi con piena libertà.

La legge con la quale il fluido tende a muoversi è una legge che coinciderebbe , se il fluido fosse esente da viscosità , con la cosiddetta legge del vortice libero.

La legge del vortice libero si può analizzare in maniera seria e completa se si considera il moto bidimensionale e si scrive l'equazione di Eulero per un fluido non viscoso .

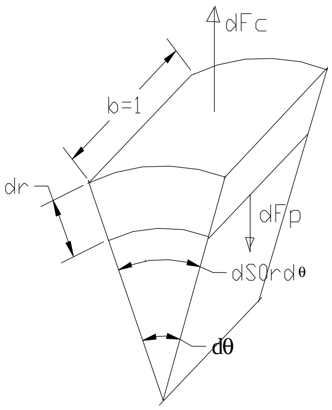
L'ipotesi di densità costante può essere fatta anche nel caso dell'aeriforme dato che la variazione di densità è molto contenuta anche perchè l'estensione radiale dell'anulus è piuttosto modesta.(1)

Analizzare la legge del vortice libero facendo riferimento all' equazione della dinamica dei fluidi, ad esempio all' equazione di Eulero per un liquido non viscoso , è semplice ma tenuto conto delle condizioni al contorno comporta un certo lavoro.

La legge del vortice libero può quindi essere ricavata con un modello monodimensionale che non è molto preciso dal punto di vista delle impostazioni però conduce al risultato esatto per il fatto che determinate approssimazioni che si fanno si elidono reciprocamente tra loro dando luogo ad un effetto di distorsione della realtà nullo.

Nel modello monodimensionale per ricavare l' equazione del vortice libero si suppone soltanto che ci sia equilibrio tra le forze di pressione e le forze d' inerzia (componente centrifuga della forza d' inerzia.)

(1) Sul dimensionamento geometrico vedremo qualche dato dopo .



Se noi consideriamo un elementino di fluido nell' anulus cilindrico , questo potrà avere la forma indicata in figura
Immaginiamo di prendere un settore infinitesimo di una corona di larghezza infinitesima b=1 , come geometricamente indicato in figura.e supponiamo che la profondità di questo elemento sia unitaria dato che la direzione dell' asse non presenta gradienti (consideriamo il moto piano).
Questo elementino sarà soggetto a delle forze, che trascurando le azioni d' inerzia non radiali ,si limitano ad una forza centrifuga elementare dF_c e ad una forza di pressione dF_p che sarà orientata verso il basso .

Naturalmente dobbiamo fare riferimento ad una pressione p(r) ad un certo raggio e ad una pressione p(r) + dp in corrispondenza del raggio esterno dell' elementino r + dr.

Possiamo chiamare dθ l' angolo infinitesimo che definisce completamente la geometria di questo elemento
.La forza centrifuga dF_c in modulo sarà data dal prodotto della massa dell' elementino per la velocità (componente tangenziale) c_u ,diviso per il raggio dell' elemento stesso.

$$dF_c = dm\frac{c_u^2}{r}$$

$ds = rdq$

$dm = r \cdot r \cdot dq 1 \cdot dr$ (profondità unitaria)

$dF_c = r \cdot dq \cdot dr \cdot c_u^2$

Per quanto riguarda la forza di pressione dF_P ,essa si considera con il proprio segno in quanto è orientata verso il basso :

$$dF_p = -dp \cdot r \cdot dq \cdot 1$$

Imponendo l' equilibrio statico delle forze d' inerzia e di pressione $d\overline{F}_c + d\overline{F}_p = 0$ commettiamo un errore trascurando le azioni inerziali secondarie in senso radiale .
L' equazione dell' energia trascurando le azioni di quota (gdz) che non hanno senso in questo caso, qui non abiamo lavoro tecnico ed inoltre $dL_p = 0$ (ipotesi di sede limite) $\frac{dp}{r} + cdc = 0$

approssimando $cdc \cong c_u dc_u$ commettiammo una seconda approssimazione che compensa la prima conducendo ad un risultato esatto anche se l' impostazione non è rigorosissima

$$\frac{dp}{r} + c_u dc_u = 0$$

Ora cerchiamo di ricavare la legge del moto del fluido cioè l' equazione della traiettoria .
Sviluppando l' equilibrio che è approssimato , la prima equazione ci porta alla relazione

$$\rho \cdot \mathrm{dr} \cdot \mathrm{c}_\mathrm{u}^2 \cdot dJ - dp \cdot r \cdot d\vartheta = 0 \Rightarrow \frac{dp}{\rho} = \mathrm{c}_\mathrm{u}^2 \frac{dr}{r}$$

Imponiamo la compatibilità con l' equazione dell' energia, in altri termini uguagliamo tra loro le due espressioni di $\frac{\mathrm{dp}}{\rho}$ che otteniamo dalle 2 equazioni si ha :

$$\frac{\mathrm{c}_\mathrm{u}^2 dr}{r} + c_u dc_u = 0$$

Questa è una equazione differenziale che lega le leggi di variazione della componente c_u della velocità alla legge di variazione del raggio.

Dividendo per c_u^2 rendiamo l' equazione facilmente integrabile :

$$\frac{\mathrm{dr}}{\mathrm{r}} + \frac{dc_u}{c_u} = 0 \qquad \text{Integrando : } \ln \mathrm{r} + \ln \mathrm{c}_\mathrm{u} = \cos t \Rightarrow \ln c_u r = \cos t \Rightarrow c_u r = \cos t$$

Quanto vale questa costante?

E' chiaro che se il progettista ha dimensionato la girante tale costante è nota e non è altro che pari al prodotto $\mathrm{c}_{\mathrm{u}_2} \cdot r_2$

$\mathrm{c}_{\mathrm{u}_2}, r_2$ sono i valori delle grandezze in gioco corispondenti all' uscita dalla girante.

Se noi avessimo integrato l' equazione di Eulero, in 2 variabili , tenendo conto delle 2 componenti della velocità avremmo ottenuto lo stesso risultato ma con una impostazione più rigorosa .
La legge del vortice libero non è da sola capace di fornire l' equazione della traiettoria del fluido nell' anulus che si sta considerando in questo caso , costituito dal diffusore liscio .
Per fertilizzare a questo scopo l' equazione del vortice libero , dobbiamo occuparci anche della componente radiale della velocità .
Per quanto riguarda tale componente è sufficiente considerare, come si fa sempre in casi di questo genere ,l' espressione generica della portata .
Tale espressione in una sezione qualsiasi cilindrica del nostro anulus viene scritta come:

$$M = \rho \cdot c_r 2\pi \cdot r \cdot b = \cos t$$

c_r: è la componente radiale della velocità che garantisce lo smaltimento della portata.
La portata in massa si mantiene costante dato che abbiamo supposto il moto a regime.
Possiamo ipotizzare che il prodotto $\rho \cdot \mathrm{b}$ si mantenga costante, avendo indicato con la lettera **b(*)** la profondittà o l' altezza di fascia perchè normalmente non si hanno variazioni significative lundo i diffusori.
Il prodotto $\rho \cdot \mathrm{b}$ può essere considerato costante sia nel caso di liquidi che di aeriformi per cui possiamo dire che anche la componente $\mathrm{c}_\mathrm{r} r$, può essere con ottima approssimazione considerata come una costante che sarà data ovviamente da $\mathrm{c}_{\mathrm{r}_2} r_2$.

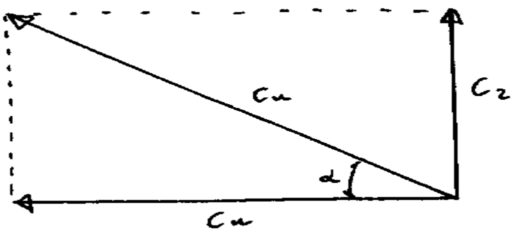
(*) in particolare b_2 è quella in corrispondenza della sezione d' uscita dela girante

r_2 è nota dal dimenssionamento della girante, indicando con: A_1, A_2 le due costanti dei prodotti $c_u r$, $c_r r$

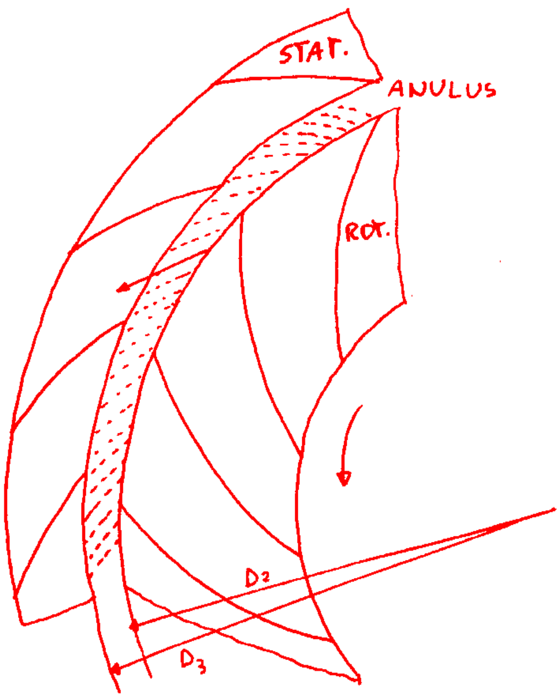
$$c_u r = A_1$$

$$c_r r = A_2$$

Anche il rapporto $\frac{c_u}{c_r} = \cos t = \frac{A_1}{A_2}$



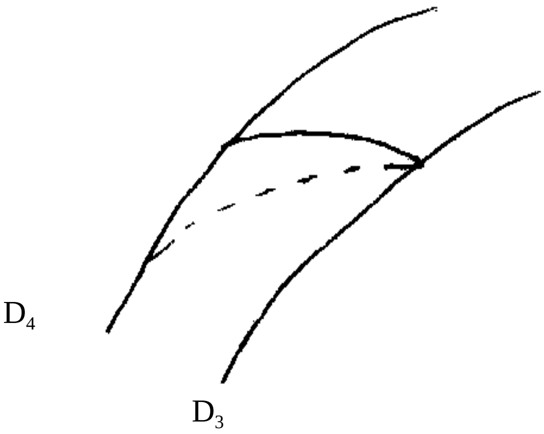
Essendo costante il rapporto tra le 2 componenti della velocità, possiamo vedere dal triangolo di velocità che l'angolo α cioè l'angolo con il quale la velocità assoluta vede la velocità periferica u è costante. L'equazione della traiettoria del fluido in un anulus, quando il fluido è libero di muoversi con la legge del vortice libero è caratterizzata dalla costanza dell'angolo α cioè in termini geometrici non è altro che una spirale logaritmica. Se immaginiamo di rappresentare il moto del fluido nell'anulus vediamo qualche cosa come in figura. Nel diffusore liscio dato che il vettore c_2 all'uscita della girante avrà la direzione indicata in figura le particelle fluide si muoveranno con le traiettorire indicate dalla legge del vortice libero. Quanto è presente un diffusore palettato allora il diametro D_4 in corrispondenza del quale il fluido si affaccia alla cassa a spirale è maggiore del diametro D_3. Il costruttore, entro certi limiti, è libero di disegnare la palettatura del diffusore palettato secondo le indicazioni e le esperienze della propria scuola .



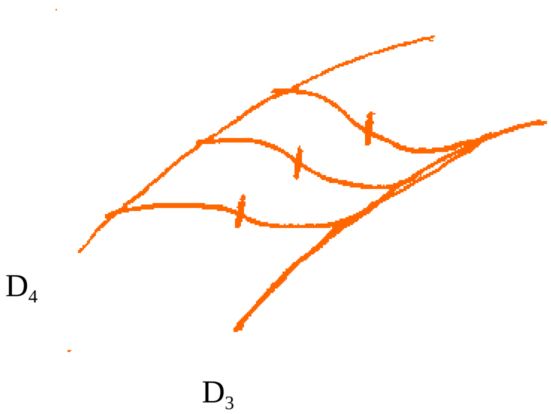
DIFFUSORE PALETTATO

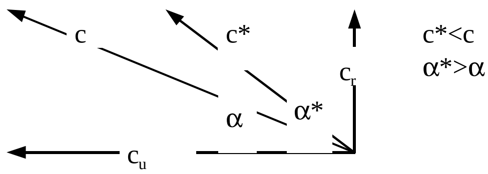
Una maniera è quella di disegnare la pale del diffusore palettato conformi alla spirale logaritmica cioè conformi alla tendenza naturale del fluido. In questa maniera si aiuta il fluido a seguire la sua naturale inclinazione nei confronti del vortice libero. Non sempre questo tipo di costruzione, del disegno delle pale, del secondo diffusore viene mantenuto in quanto, dal punto di vista della prestazione in termini fluidodinamici, ossia di rendimento degli elementi statorici che concorrono al rendimento complessivo dello stadio, converrebbe senza altro aiutare il fluido a seguire la legge del moto che gli è naturale .Da un punto di vista economico nei riguardi dell'ingombro della macchina questa esigenza purtroppo è contrastata. A seconda del fluido, proprio per la costanza dell' angolo α , a parità di ingombro radiale del diffusore palettato, cioè a parità di diametri D_3, D_4 , noi abbiamo in seno al diffusore palettato una conversione dell'energia cinetica del fluido in energia potenziale piuttosto modesta .

Il modulo della velocità c diminuisce con la legge del vortice libero nella misura in cui il fluido si sposta verso posizioni radiali più lontane, però sarebbe auspicabile che in taluni casi la legge di decadimento della velocità e quindi l'aumento della pressione fosse più rapida. In questa maniera a parità di ingombro radiale della macchina si potrebbe ottenere una conversione di energia da cinetica in energia di pressione in seno al fluido più cospicua e quindi il diffusore assolverebbe in maniera quantitativamente migliore la propria funzione.



Per questo motivo alcuni costruttori, con elevata frequenza ,soprattutto quando la macchina nasce con l' esigenza di un contenuto ingombro in senso radiale, al disegno secondo la legge del vortice libero se ne preferisse uno con una legge di crescita del angolo α più rigida ad esempio il disegno a tratto continuo . Alcune volte addirittura si realizza un profilo a doppia curvatura. Possiamo vedere i disegni del diffusore palettato come quello mostrato in figura.





In questa maniera si riesce a parità di diametri estremi D_3 e D_4 ad ottenere una conversione di energia da cinetica a potenziale del fluido quantitativamente migliore.