

## SVERGOLAMENTO

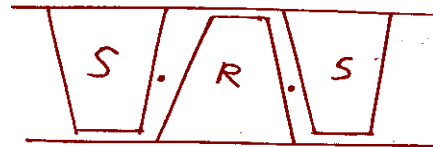
Lo svergolamento è un capovolgimento completo della pala e del suo disegno. Consiste in una variazione della verifica funzionale della pala, passando dalla radice all'apice ad una progressiva variazione delle caratteristiche funzionali della pala accompagnate normalmente da variazione dal grado di reazione della pala stessa. Entriamo in un settore pienamente specialistico in cui ciascuna casa costruttrice opera seguendo la propria personale esperienza. Parlare a fondo di questo argomento significherebbe inevitabilmente entrare nella filosofia costruttiva delle principali case costruttrici. Quando si imponga lo svergolamento della pala che consiste in una variazione progressiva del disegno costruttivo della pala tra la radice e l'apice, il progettista è vincolato a rispettare non in pieno, perché non sarebbe possibile, una certa enupla di condizioni. Ammettendo ad esempio che si voglia rispettare la costanza della componente assiale della velocità, cioè della  $c_{\alpha}=w_{\alpha}=\text{cost}$ , abbiamo in definitiva 3 condizioni che conviene rispettare. La prima condizione è quella che impone il rispetto della tendenza naturale del fluido nel proprio moto in corrispondenza del anulus esistente tra statore e rotore ,cioè in corrispondenza di quella zona franca in cui il fluido esce dall' elemento fisso per entrare in quello mobile e viceversa. Il fluido con buona approssimazione amerebbe muoversi secondo una legge cinematica che è quella del vortice libero, che si esprime secondo la formula:

$$c_u r = \cos t$$

$r$  : raggio corrente , la distanza dall' asse di rotazione

$c_u$  : componente secondo la velocità periferica  $u$ .

$$c_u = c \cdot \cos \alpha \quad r = \frac{D}{2}$$



La seconda condizione sarebbe quella di rispettare la costanza del salto entalpico totale cioè della somma del salto entalpico rotorico e del salto entalpico statorico

$$\Delta h_{tot} = \Delta h_{rot} + \Delta h_{stat} \cong \cos t$$

in quanto soltanto nell'ipotesi di uniformità del salto entalpico totale di stadio tra la radice e l'apice saranno ipotizzabili rigorosamente le condizioni uniformi dei parametri del fluido nella sezione di uscita dallo stadio cioè nella sezione 2. Oltretutto tale condizione rende anche la macchina più unita nel suo disegno funzionale nei confronti di quello che è il progetto termodinamico della macchina stessa. La terza condizione da rispettare è quella di conservare il rendimento di palettatura il più costante possibile e pari al rendimento di palettatura massimo.

$$h_p \cong (h_p)_{\max}$$

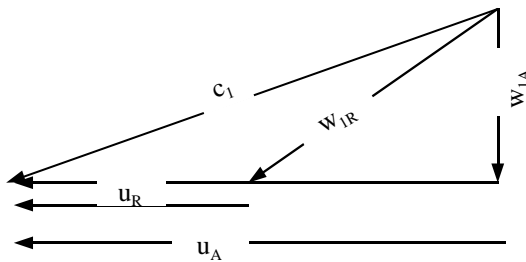
Tutto questo a gradi di reazione variabile tra radice e apice. Non è possibile, imponendo la costanza della componente assiale della velocità, ottenere tutta e tre le condizioni rigorosamente soddisfatte, per cui i costruttori a seconda della propria impostazione scientifica e tecnica si orientano verso criteri che sono teorico sperimentali, quindi criteri che sono empirici e tendono a soddisfare queste condizioni in via approssimata ma globalmente positiva. Per avere un ordine di grandezza dello sviluppo geometrico della pala quando sia assoggetta ad un progetto con svergolamento, dobbiamo ragionare in maniera molto semplice. Supponiamo di considerare come abbiamo fatto prima prendendo in esame una

macchina con grado di reazione nullo in corrispondenza della radice e di volere raggiungere 0,5 in corrispondenza dell'apice. Questa situazione è piuttosto estrema e si può trovare realizzata in pratica soltanto negli ultimi stadi di una grande turbina a vapore perché lo svergolamento potrà essere più o meno esteso. Sarà meno esteso per rapporti  $l/D$  grandi ma non grandissimi, lo sarà nelle sue forme più macroscopiche per massimi valori di  $l/D$ . Tanto per fissare le idee sull'ordine di grandezza massimo del rapporto  $l/D$  pensiamo di passare da  $R = 0$  alla radice a  $R = 0.5$  in corrispondenza dell'apice supponendo per semplicità che  $c_1$  sia uniformemente distribuita tra la radice e l'apice. Come sappiamo le condizioni per il massimo rendimento di palettatura sono:

$$\frac{u}{c_1} = \frac{\cos \alpha_1}{2} \quad R = 0$$

$$\frac{u}{c_1} = \cos \alpha_1 \quad R = 0,5$$

Con  $c_1$  uniformemente distribuita il triangolo di velocità all'apice verrebbe ad essere quello che si rappresenta in figura:



$$R = 0 \quad D = D_{\text{rad}}$$

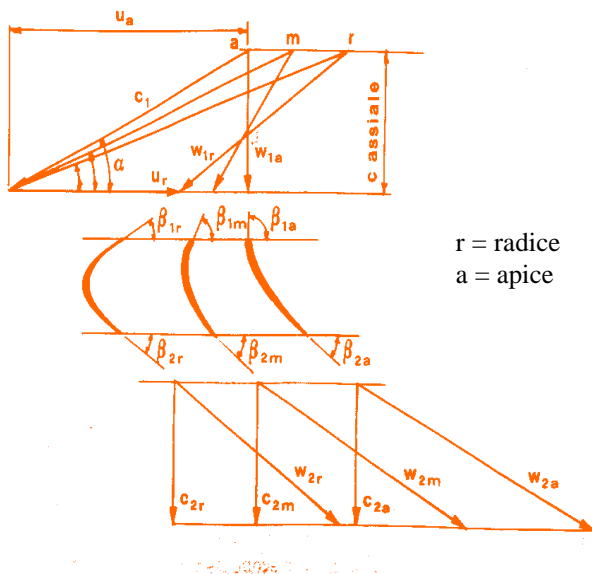
$$R = 0,5 \quad D = D_{\text{apice}}$$

Passiamo quindi, dalla situazione  $R = 0$  alla situazione  $R = 0.5$ , ad un triangolo d'ingresso rettangolo con l'ipotenusa comune. In altri termini passare da  $R = 0$  ad  $R = 0.5$  corrisponde, ammettendo  $c_1$  uniformemente distribuita (che è un'ipotesi non accettabile in realtà con rapporti  $l/D$  molto elevati cioè con diametri tra la radice e l'apice soggetti a grosse variazioni in percentuale), passare da  $u_{\text{rad}}$  ad una  $u_{\text{ap}}$  doppia:

$$u_{\text{apice}} = 2u_{\text{radice}}$$

il che significa raddoppiare il diametro  $D_{\text{apice}} = 2D_{\text{radice}}$  ovvero  $l/D = 1/3$  ( $l$  è la semidifferenza tra i due diametri tra apice e radice). Uno svergolamento di questo tipo richiederebbe un raddoppio dei diametri tra la radice e l'apice quindi un rapporto  $l/D = 1/3$ . Nella pratica costruttiva  $l/D$  dell'ordine da  $1/4$  a  $1/3$  quindi corrispondono a quanto effettivamente si realizza.

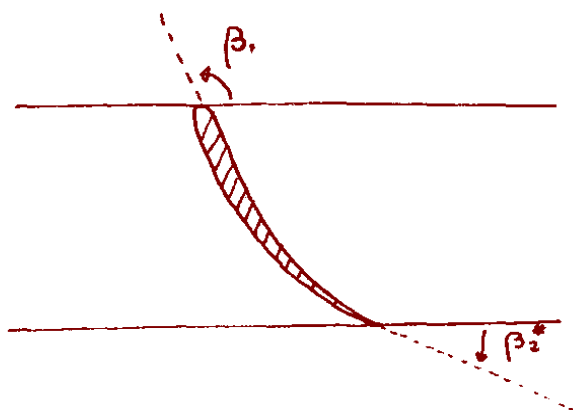
L'ordine di grandezza è quello che abbiamo determinato ora in questo caso semplificato e soprattutto non molto realistico. In corrispondenza degli ultimi stadi di una grande turbina a vapore possiamo trovare per l'appunto  $l/D$  di quest'ordine di grandezza, pale che possono essere dell'ordine di 1m di altezza su diametri che possono essere dell'ordine di 3m o anche superiore. Nella pratica volendo rispettare la condizione del vortice libero il disegno progressivo dei triangoli di velocità, assume una configurazione come in figura. Volendo rispettare la costanza della velocità assiale e la legge del vortice libero è chiaro che al crescere



del raggio nella misura in cui si procede dalla radice verso l'apice dovrà diminuire la componente  $c_u$ , il che si realizza storcendo progressivamente il triangolo di velocità come in figura. Per passare dalla  $u$  alla radice ad una certa  $u$  in una sezione intermedia che sarà ovviamente maggiore, dovendo diminuire la  $c_1$  alla radice avremo un triangolo di velocità tratteggiato in figura.

Quantitativamente questa deformazione progressiva dei triangoli di velocità verrà ad essere differenziata a seconda che il progettista soddisfacendo la condizione del vortice libero preferisca soddisfare maggiormente la condizione B oppure maggiormente la condizione C. Ne risulta quindi alla fine un disegno di

pala fortemente tridimensionale, disegno per il quale il grado di reazione può variare da 0 alla radice (condizione molto spesso seguita) sino a valori piuttosto elevati all'apice. I valori del grado di reazione saranno molto elevati all'apice nella misura in cui ci troviamo prossimi agli ultimi stadi di una turbina in zona di bassa pressione. Il grado di reazione in questi stadi può essere prossimo a 0.5, talune volte di poco inferiore a 0.5, altre volte uguale a 0.5 o anche superiore. In corrispondenza dell'apice possiamo avere una pala disegnata come in figura



Con  $\beta_1 > 90^\circ$  in corrispondenza della sezione di ingresso avremo un grado di reazione maggiore di 0.5. Questo risultato è plausibile in quanto noi avevamo fatto l'ipotesi che  $c_1$  fosse uniformemente distribuita cosa che non è realistica, la dove abbiamo anulus del fluido molto estesi ed elevate variazioni percentuali del diametro fra la radice e l'apice.