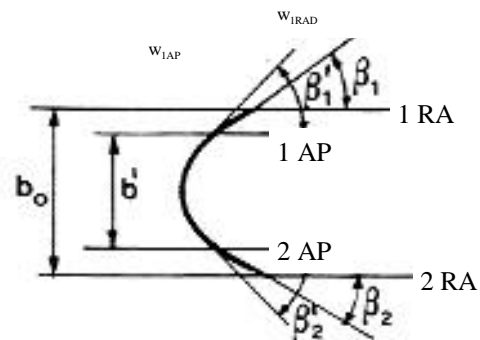


## LA RASTREMAZIONE

Fino ad ora abbiamo analizzato le turbine ipotizzando un rapporto  $l/D \ll 1$ . Sotto tale ipotesi è possibile immaginare la pala cilindrica nel senso della geometria descrittiva. Tutto quello che si studia in una sezione cilindrica è rappresentativo di quanto succede in qualsiasi altra sezione cilindrica effettuata tra la radice e l'apice della pala. Questo modello monodimensionale ci ha aiutati con la sua semplicità a risolvere tutti i problemi visti. Ora l'ipotesi di un rapporto  $l/D$  molto piccolo può essere posta solo in corrispondenza degli stadi di alta pressione la dove la progressiva espansione del fluido e quindi la progressiva dilatazione non hanno raggiunto proporzioni tali da rendere la costruzione della pala prettamente necessitante di rapporti  $l/D$  elevati per avere delle sezioni di passaggio per il fluido adeguate alla portata massima prevista per la macchina. Quando passiamo dall'alta pressione alla media e a maggior ragione alla bassa, ci troviamo nella necessità di costruire la pala seguendo modalità completamente diverse. Per rapporti  $l/D$  intermedi tra i più bassi e i più elevati possiamo incorrere in una correzione geometrica della pala abbastanza semplice che prende il nome di rastremazione la quale consente di non stravolgere la geometria della pala tra la radice e l'apice. Il profilo della pala rimane pressoché identico o varia di poco e comunque la pala non è soggetta a distorsioni tridimensionali. Facciamo riferimento ad una macchina ad azione. Per semplicità riportiamo il profilo medio della palettatura. Supponiamo che il rapporto  $l/D$  sia non

elevatissimo ma sufficientemente elevato per imporre di differenziare l'analisi tra la radice e l'apice della pala. In corrispondenza della radice e dell'apice le velocità di trascinamento saranno rispettivamente :

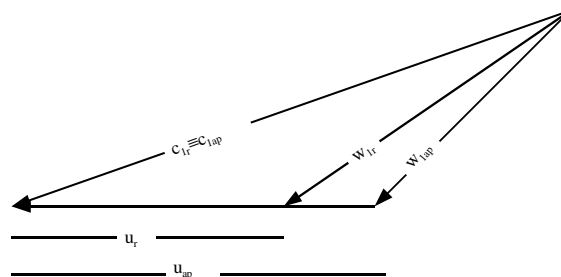
$$u_{ap} = \omega \frac{D_{ap}}{2} ; \quad u_{rad} = \omega \frac{D_{rad}}{2}$$

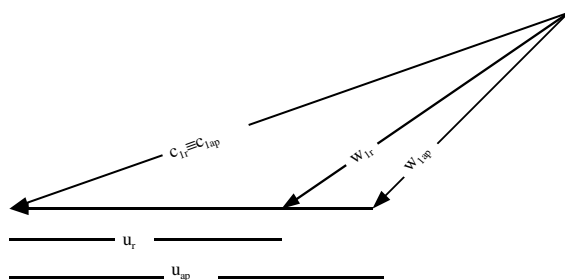


Queste due velocità  $u$  sono ragionevolmente uguali tra loro quando il rapporto  $l/D$  è molto piccolo e quando la differenza percentuale tra il diametro alla radice e il diametro all'apice è modesta. Supponiamo di non essere più in queste condizioni ma di voler rispettare in corrispondenza della radice la condizione di massimo rendimento cioè:

$$\left( \frac{u}{c_1} \right) = \frac{\cos \alpha_1}{2}$$

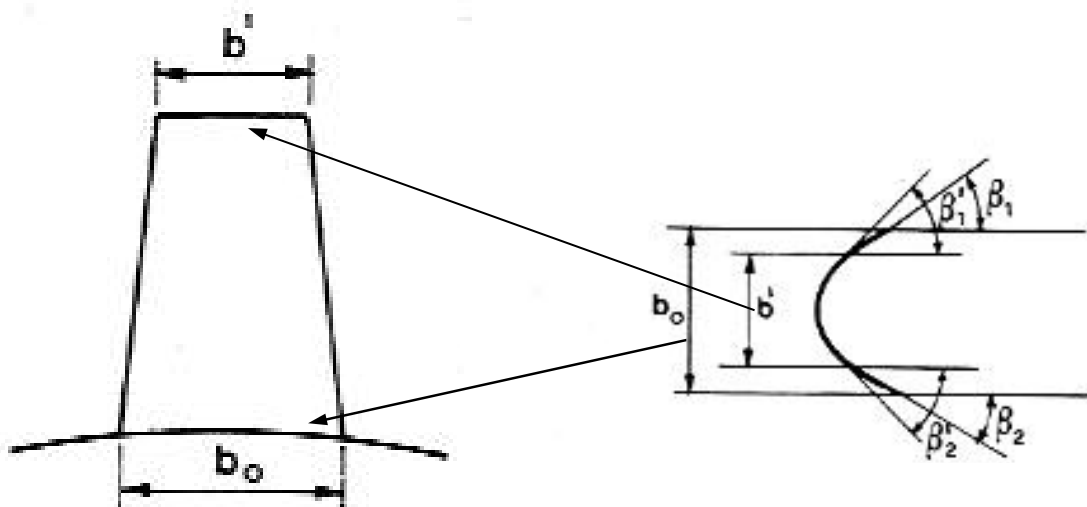
allora in corrispondenza della radice il triangolo delle velocità in ingresso sarà come indicato nella figura.





Avendo rispettato la condizione di rendimento ottimale alla radice, all'apice ammesso che il vettore  $c_1$  sia distribuito uniformemente tra la radice e l'apice, ipotesi formulabile ma non gratuitamente soddisfatta, avremo un triangolo delle velocità come in figura. Quindi a parità di  $c_1$ , il fluido vedrà l'apice della palettatura con un angolo diverso da quello che gli compete alla radice. In altri termini il  $\beta_1$  con il quale il fluido vede la palettatura sarà aumentato. E' chiaro che la pala se

fosse realizzata con geometria cilindrica si troverebbe a lavorare nelle condizioni ottimali alla radice e in condizioni sempre meno favorevoli nella misura in cui ci si sposta verso l'apice. Andando verso l'apice l'angolo  $\beta$  fluidodinamico cioè quello con cui il fluido vede la pala nel moto relativo cioè il  $\beta$  del vettore  $w_1$  sarà sempre più diverso dal  $\beta_1$  costruttivo che invece è rispettato teoricamente dal  $\beta$  fluidodinamico in corrispondenza della radice. E' chiaro che nella misura in cui ci spostiamo dalla radice verso l'apice il fluido sarà soggetto ad urti sempre più macroscopici in corrispondenza del bordo di ingresso della pala e quindi avremo macroscopiche dissipazioni di energia che ovviamente devono essere valutate e meritano livelli di analisi più complessi di quelli di cui ci siamo serviti fino ad ora. Si rende necessario limitare tale anomalia di funzionamento. La rastremazione della pala consente di superare questo problema brillantemente almeno dal punto di vista della concordanza tra il  $\beta$  fluidodinamico e il  $\beta$  costruttivo. Rastremare la pala significa passare dalla geometria cilindrica ad una geometria rastremata che consiste nel tagliare la pala secondo due piani opportunamente inclinati (nel caso di una macchina a azione saranno inclinati nella stessa maniera), in maniera che passando dalla radice all'apice l'estensione lungo la propria ascissa curvilinea del profilo palare diminuisca. In altri termini se noi effettuiamo una sezione cilindrica della pala così come l'abbiamo vista su questo schema e immaginiamo che questa sezione 1-2 sia riferita alla radice in corrispondenza dell'apice avremo la situazione indicata nella figura



Nella misura in cui si va verso l' apice il  $\beta$  costruttivo risulta modificato, più elevato in particolare del  $\beta$  costruttivo in corrispondenza della radice. La rastremazione ci permette di far sì che il  $\beta$  costruttivo aumenti tra la radice e l'apice in conformità con le esigenze del  $\beta$  fluidodinamico. In altri termini nella misura in cui il vettore velocità relativa vede la pala con un angolo  $\beta$  più elevato trova, nella sezione corrispondente in cui il fluido opera, il  $\beta$  costruttivo già predisposto ad uniformarsi alla direzione della velocità relativa. Questo accorgimento è semplice ed economico , richiede in definitiva un taglio della pala cilindrica e ovviamente al rifacimento dei bordi d' ingresso per ottimizzare in funzione delle esigenze fluidodinamiche. Viene così risolto il problema della discordanza tra il  $\beta$  fluidodinamici e il  $\beta$  costruttivo ma non viene risolto il problema delle condizioni di ottimo rendimento in quanto rimarrà sempre il rapporto  $u/c_1$  di massimo rendimento soddisfatto alla radice ma non più alle altre sezioni. In corrispondenza dell' apice avremo la massima discordanza in quanto il rapporto  $u/c_1$  è sempre esprimibile come  $\cos\alpha_1$  per un certo fattore numerico che varia da 1/2 ed 1 passando da  $R = 0$  ad  $R = 0.5$ . Ogni grado di reazione ha un rapporto  $u/c_1$  ottimale. e qui non abbiamo variato il grado di reazione ottimale della pala in quanto è sempre rimasta in questa situazione, in quanto i  $\beta$  acuti costruttivi sono gli stessi e la pala rimane sempre sagomata simmetrica. Noi per lavorare in condizioni di massimo rendimento su ogni sezione avremo bisogno di conservare il rapporto  $u/c_1$  costante pari a  $\cos\alpha_1/2$ , ma ciò è impossibile in quanto  $c_1$  lo abbiamo supposto con ragionevole approssimazione uniformemente distribuito mentre  $u$  varia proporzionalmente al raggio. La rastremazione la si può impiegare in stadi di media pressione con riferimento alle turbine a vapore di grande taglia per rapporti  $l/D$  non molto elevati e sino a quanto è tollerabile dal punto di vista della prestazione della macchina una caduta di rendimento abbastanza ragionevole tra la radice e l'apice.