

Una revisione della teoria moderna sulle vele
di: Arvel Gentry
Boeing Commercial Airplane Company
Proceedings of the Eleventh AIAA Symposium on the Aero/Hydronautics of Sailing September
12, 1981 Seattle, Washington
Copyright: Arvel Gentry.

Note dei traduttori:

- Il testo originale in inglese con annessi grafici, referenze e note è parte integrale di questa traduzione.
- Nel testo originale la parola "Slot" viene tradotta come: "fessura" che in Italiano e' il termine aerodinamico piu' vicino al concetto inteso dall' autore: La fessura e' quella zona che parte dall' inferitura del fiocco ed arriva alla parte sottovento della randa. Il "Canale" e' solo la zona dove le vele si sovrappongono, se il fiocco e' abbastanza lungo.
- Ci e' dato di credere che in Italiano si usa il termine: "Effetto Venturi" per descrivere cio' che capita tra il fiocco e la randa. Una delle dissertazioni piu' importanti di questo saggio e' proprio di dimostrare che quando l'aria passa tra le due vele l' Effetto Venturi, nel vero senso scientifico delle parole non e' la causa di quello che succede tra il fiocco e la randa. Quindi cio' che succede tra fiocco e randa viene chiamato "effetto fessura" (Slot effect nel testo originale) e viene scomposto e spiegato dall' autore in tutti i suoi componenti.
- Alcuni termini aerodinamici sono usati ma crediamo non sufficientemente definiti nel testo, per cui li definiamo:
 - linea di ristagno: La linea ideale di flusso che separa i filetti fluidi che transitano sull'estradosso da quelli che transitano sull'intradosso del profilo.
 - punto di ristagno: Il punto ideale sul profilo alare che separa il flusso che transita sull'estradosso da quello che transita sull'intradosso.
 - Upwash: L'aria che passa dalla parte sopravvento alla parte sottovento di una superficie aerodinamica quando essa si presenta al vento con un angolo d'attacco.

Buon divertimento!

Copyright Arvel Gentry

RIASSUNTO

Si discutono concetti comuni su come le vele generano la portanza e come le vele interagiscono tra di loro basandosi sulla moderna ricerca aerodinamica. Si dimostrerà che molta della vecchia teoria sulle vele che compare nelle più note referenze sul soggetto è sbagliata. Si discute sull'origine di queste vecchie idee e si presentano le spiegazioni nuove e corrette. Si discuterà come applicare i concetti moderni a problemi pratici dello sport della vela.

Introduzione

Bruce barns e Dick Benny, nel loro libro: " Looking at sails" (referenza 1) dichiarano che " è essenziale che chiunque sia interessato alle vele ed alla pratica della vela deve capirne i principi fondamentali." In seguito continuano con parecchie pagine di teoria della vela e ripetono le idee di base che sono apparse nei libri di vela da molti anni. Sfortunatamente le loro spiegazioni degli aspetti più importanti della teoria della vela (il modo in cui una vela genera portanza, l'interagire tra fiocco e randa: L'effetto "fessura") sono completamente sbagliate. Praticamente tutte le referenze sulla teoria della vela contengono spiegazioni simili ed erronee quando discutono l'aerodinamica delle vele. Le referenze dalla 1 alla 5 sono tipiche. Questi libri ed articoli sono stati scritti da autorità riconosciute, campioni di classe, velisti Olimpionici e famosi velai. Come può essere che le idee fondamentali sulla teoria della vela siano sbagliate e come hanno potuto persistere così a lungo? Tutti questi individui sono certamente dei velisti eccellenti. Hanno imparato dall'esperienza pratica quali sono i requisiti per far andare avanti una barca velocemente ma quando parlano o scrivono sul tema dell'aerodinamica delle vele si mettono nei guai.

Essendo ricercatore di aerodinamica, sono rimasto di stucco quando cominciai a leggere la letteratura velica mentre ero un velista principiante e constatai in che stato di confusione era il soggetto della teoria della vela.

Persino le spiegazioni di come una vela genera portanza erano sbagliate, questo lo potevo capire perché addirittura i libri più comuni sull'aviazione sbagliavano nei loro tentativi di spiegare la portanza. E' difficile spiegare come la portanza viene generata ad una persona comune, le semplificazioni adottate nei tentativi di far ciò sembravano logiche ma di solito risultavano sbagliate.

Sono rimasto infastidito anche dalle incongruenze nelle spiegazioni della interazione tra due vele. (effetto fessura) Anche per quanto riguarda questo caso anche la letteratura tecnica sull' aerodinamica sembrava mettersi nei guai.

In quei tempi lavoravo per un famoso studioso di aerodinamica: A.M.O. Smith. Il suo gruppo stava eseguendo della ricerca avanzata sulla teoria di profili aerodinamici articolati (ali con flaps e slats) . Ho avuto la fortuna di poter imparare molto da questi individui, di avere

accesso al loro software, alla loro attrezzatura per la simulazione dei flussi, e di poter provare qualcuna delle nuove idee su di una vela. Con il tempo i pezzi del puzzle cominciarono a combaciare. Le nuove teorie sui profili aerodinamici articolati applicate alle vele resero obsoleta tutta la letteratura sul tema dell' interazione tra il fiocco e la randa. (l' effetto fessura). Presentai i risultati della mia ricerca al 3rd AIAA Ancient interface Symposium a Redondo Beach in California nel 1971 (referenza 6). La referenza 7 contiene alcuni dei risultati preparati da A.M.O. Smith ed il suo gruppo per ali di aeroplani.

Purtroppo i temi discussi nel simposio in verità non avrebbero mai raggiunto il tipico velista. Gli articoli sulle riviste ed i libri continuavano a ripetere le vecchie teorie. Riuscii ad interessare un editore della rivista SAIL: Chip Mason, che stampò una versione estesa del mio materiale in una serie di articoli a cominciare dall' Aprile del 1973. L'intera raccolta degli articoli apparve poi nel libro: "The Best of SAIL Trim" (8). Lo scopo di questi articoli era di dare una versione più esaustiva del saggio presentato alla AIAA, ma l'approccio era ancora di carattere tecnico. Almeno le mie idee diventarono disponibili al pubblico velistico generale, anche se un po' oscurate da grafici di distribuzioni di pressioni che erano probabilmente capiti solo da un ingegnere.

E come furono accolte queste nuove teorie? Stephen Haarstick dell' omonima veleria mi chiese il permesso di farne delle copie da distribuire ai suoi collaboratori e dichiarò che "...sono di gran lunga i migliori articoli scritti su questa materia e disponibili per il pubblico comune". Ricevetti richieste simili anche da posti lontani come l'Australia, ed apparvero degli indizi che altre persone avevano letto gli articoli trovandoci dentro dei concetti per uso pratico. In un articolo discussi il "Il fenomeno della bolla di separazione sul bordo d'attacco" (8) e proposi una serie di piccoli nastri corti applicati immediatamente ad incominciare dall' inferitura per fungere da aiuto nelle andature di bolina. Questo sistema cominciò ad apparire su qualche barca locale. Anche se non mi aspettavo che molte superstars della vela adottassero il mio sistema, i miei mini-nastri apparvero poi su una barca campione del quarter ton, nella Congressional cup su un maxi yacht e su una barca dell' Americà cup. Ciò nonostante, la maggior parte della "autorità" della materia erano fermamente bloccate dalle vecchie idee.

Ci fu un caso dove la reazione fu particolarmente negativa. Dopo solo il primo articolo della serie pubblicata dalla rivista SAIL, Peter Barrett di Yacht Racing Magazine (velista Olimpico, velaio, auto-descrittosi istruito come "ingegnere specializzato in fluidodinamica ") fece delle dichiarazioni piuttosto forti sui miei articoli (9). Egli affermò "che gli articoli a seguire contribuirebbero poco, se non niente, a migliorare le prestazioni di una data classe di barca o di una persona che avesse letto gli articoli. In effetti, sottintendendo che un errore di base nel modo di pensare di tutti stà per essere corretto (e quindi tutti saremmo capaci di utilizzare questo flusso d'aria e regatare con più successo) credo che sia stato perpetrato un disservizio al lettore."

All' inizio rimasi scioccato ed arrabbiato dai commenti del Sig. Barrett, soprattutto perché erano

stati pubblicati prima che avesse l'opportunità di leggere tutta la serie completa. Ero ben preparato a difendere gli aspetti tecnici delle mie teorie. Non mi aspettavo delle reazioni come quelle che esternò il Sig. Barrett. Ad ogni modo uno dei suoi punti era certamente vero: " Pochi skippers di successo prestano attenzione agli articoli scientifici". Un indizio di ciò si manifestava nel fatto che queste persone continuavano a pubblicare nuovi libri contenenti le solite teorie, vecchie e totalmente sbagliate, di come funzionano le vele (10-13). Era ovvio che non tutti condividevano il mio interesse nell' apprendere la spiegazione corretta di come funzionavano le loro vele.

Finalmente, nel 1979, C.A. Marchaj pubblicò il suo nuovo libro: Aereo-Hydrodynamics of Sailing (14). Marchaj richiama molto del materiale dei miei articoli nella rivista SAIL, inoltre afferma che "molti problemi che riguardano l'interferenza tra fiocco e randa furono chiarificati da A. Gentry che ha spiegato per la prima volta in modo corretto gli effetti di interazione tra il fiocco e la randa."

Riferendosi alle vecchie teorie, Marchaj afferma che " Tutto quello che si può dire a difesa dei teorici della vela è che questi concetti sbagliati riguardanti l'interazione tra fiocco e randa erano derivati dalle teorie aerodinamiche più rispettate e rispecchiavano fedelmente la situazione contingente contemporanea in quella materia."

Arrivati a questo punto, avrete senza dubbio constatato che questo non è un tipico saggio tecnico. L'approccio qui' è di rivisitare le vecchie teorie, indicare dove sono gli sbagli e contrastarle con la accettata e moderna teoria della vela . Il formato è un pò diverso: Ogni parte del testo è abbinato ad un diagramma. La discussione di ogni punto è spesso molto breve e se possibile vengono evitati termini tecnici e grafici ingegneristici. Se volete i dettagli tecnici della teoria moderna della vela, leggete i miei articoli nel: "The best of SAIL trim" (8) oppure nel libro di Marchaj.

Ma se come Mr. Barrett (9) credete che "il velista medio ma anche il regatante serio farebbe più danno che beneficio cercando di capire la linea di flusso teorica definita secondo la teoria fluidodinamica avanzata," allora suggerisco di trascurare il resto di questo saggio e di andare a guardare la televisione.

2. Generazione della portanza - Vecchie Teorie

Fig.1. Stephen Colgate afferma che (15) "A causa della curvatura più accentuata della parte superiore di una ala, l'aria che passa sopra quella parte deve percorrere una distanza maggiore dell' aria che passa dalla parte inferiore. Siccome quest'aria deve percorrere un tragitto più lungo, deve andare più veloce per raggiungere il bordo di uscita allo stesso tempo dell' aria che passa sotto l'ala. Questo è uno dei concetti sbagliati più vecchi per quanto riguarda la generazione di portanza e sembra pervenire dai libri di aeronautica più popolari (16, per esempio). In ogni caso non c'è nessuna legge fisica dell' aerodinamica che stabilisca che l'aria

scorra come richiede questa teoria. Non troverete questa teoria in nessun libro di testo moderno di aerodinamica. Al contrario, i calcoli dimostrano che l'aria che scorre lungo la parte superiore arriva al bordo di uscita molto prima della sua particella sorella che scorre lungo la parte inferiore.

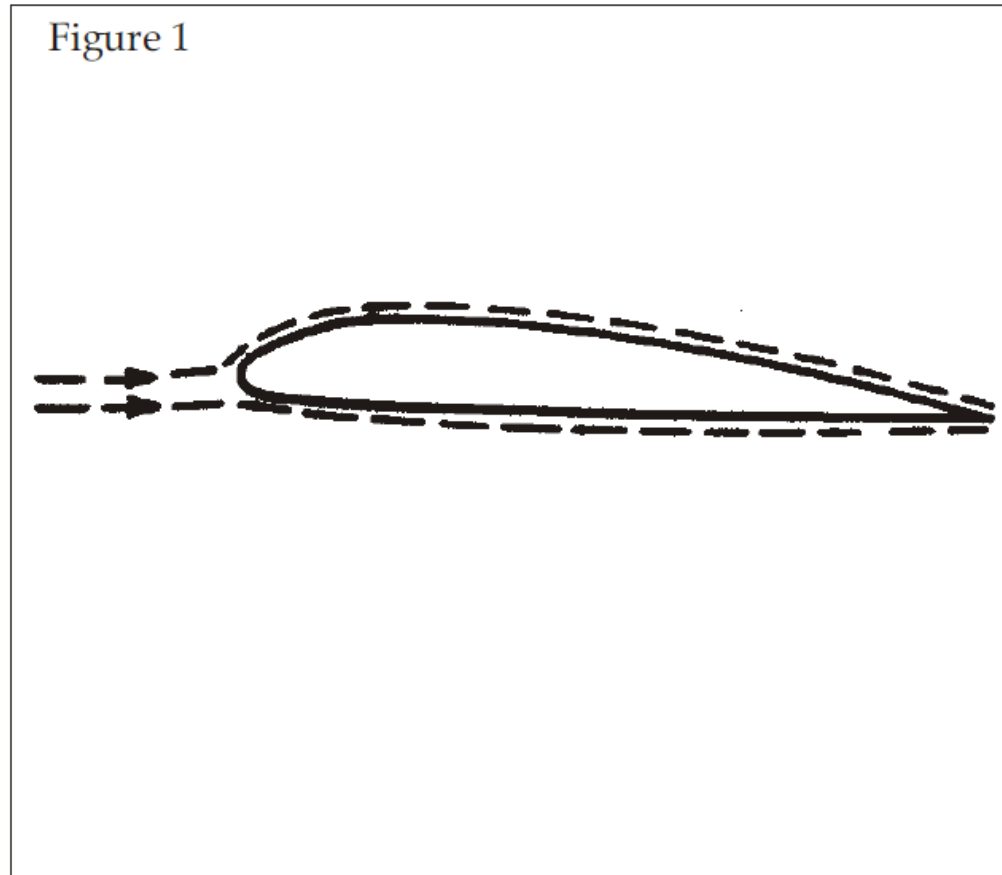


Fig.2. Qualche libro (4) afferma che la densità dell' aria è differente nelle due parti del profilo aerodinamico. Questa idea è completamente sbagliata. La densità è definita come peso per unità di volume (per esempio libbre per piede cubo) La densità dell' aria non cambia mentre stà scorrendo da entrambe le parti della vela. Le forze sulla vela sono causate da altri fattori. Per arrivare al punto dove il differenziale di densità diventi un fattore, l'aria dovrebbe avere la stessa velocità di uscita di un reattore di un jet di linea.

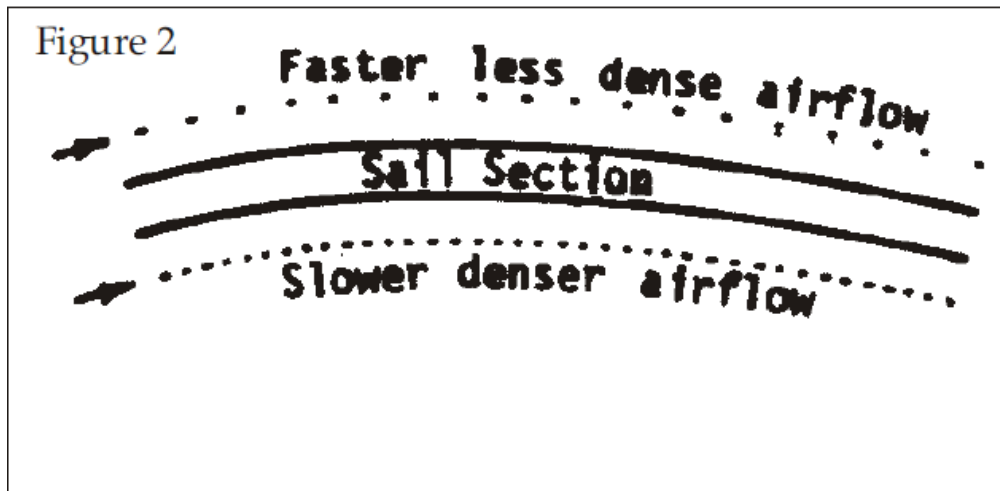


Fig.3. Il teorema di Bernoulli viene spesso citato nelle referenze veliche per aiutare a spiegare la generazione di portanza. Vengono disegnati flussi di corrente intorno a profili aerodinamici come per esempio una vela, dopodiché il teorema di Bernoulli viene adoperato per spiegare perché l'aria scorre più veloce dove i flussi sono più vicini e più piano dove i flussi sono più distanziati. Il teorema afferma che la metà della velocità al quadrato più la pressione divisa per la densità è costante dentro ogni tubo nel quale l'aria si muove. Quando il tubo diventa più piccolo l'aria viaggia più veloce e la pressione diminuisce. Questa equazione è certamente

Copyright Arvel Gentry

valida. Ad ogni modo dobbiamo prima conoscere la forma del tubo. La letteratura velica è popolata di flussi d'aria disegnati da gente che non sa niente di aerodinamica. Il risultato è che le spiegazioni che accompagnano i disegni potrebbero sembrare corrette, ma in verità di solito sono completamente sbagliate. I flussi disegnati in ognuna delle referenze rivelano rapidamente quanto, o meglio quanto poco l'autore capisca di aerodinamica.

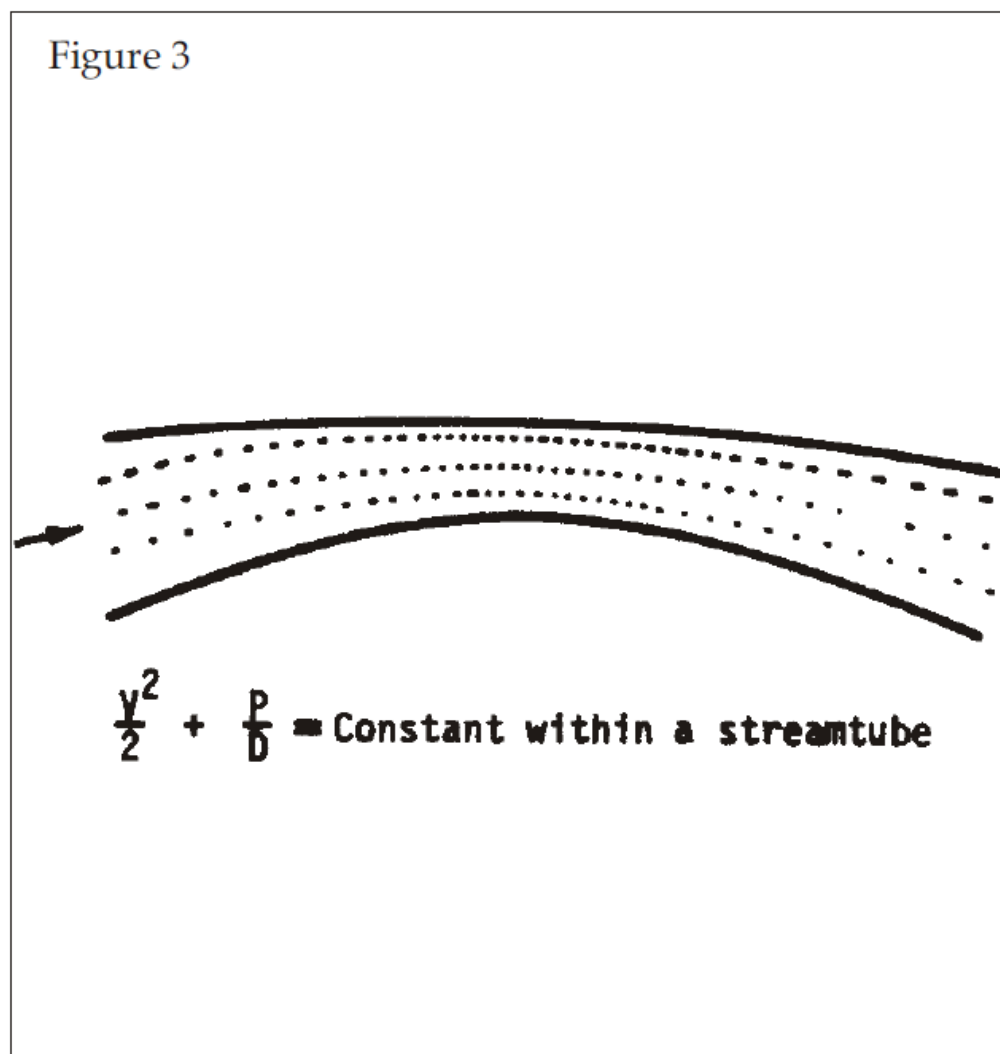
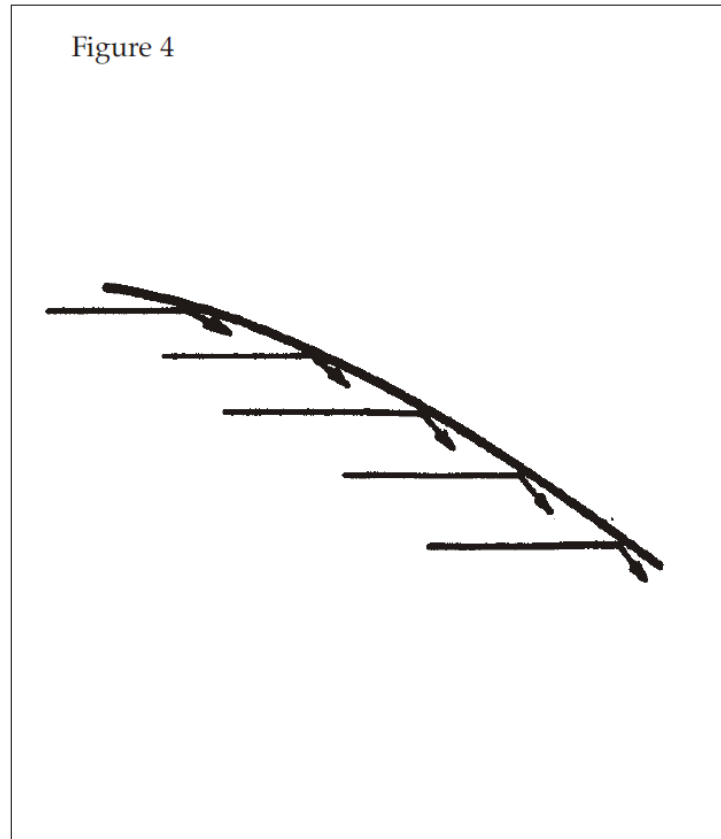


Fig.4. I primi tentativi fatti da scienziati per calcolare la portanza su un profilo aerodinamico impiegarono quello che si chiama principio di azione e reazione Newtoniano. Si credeva che le particelle individuali di aria colpissero la superficie e rimbalzassero via, trasmettendo la loro energia all'ala in uno scambio di energia uguale ed opposto. Purtroppo la portanza calcolata in questo modo era poca e la resistenza molto elevata. Ovviamente l'uomo non avrebbe mai potuto volare, ma come potevano farlo gli uccelli e perché piccoli aeromodelli

riuscivano a volare? I primi scienziati trattavano l'aria come un insieme di piccole particelle che colpivano il profilo aerodinamico e non come un fluido che passava lungo l'oggetto. Alcuni libri di vela (17) ancora provano ad usare questa idea vecchia ma sbagliata. Nella normale andatura di bolina l'aria vicino alla superficie della vela le scorre sempre parallela, La forma e la reazione delle vele è un risultato del flusso e delle pressioni sulla superficie e non il risultato di particelle che colpiscono la vela come granelli di sabbia. L'effetto-impatto diventa un fattore solo se il profilo aerodinamico raggiunge una velocità vicina a quelle del rientro nell' atmosfera della Space Shuttle.



3. Generazione della portanza - Nuove Teorie.

Fig. 5. Spiegare come una vela od una ala di aeroplano genera la portanza non è un compito semplice. Molto di quello che c'è nella letteratura è un tentativo di semplificare una materia complessa per renderla comprensibile alle persone comuni. Sfortunatamente queste

semplificazioni di solito sono sbagliate. La spiegazione presentata in questa sezione segue la moderna teoria della generazione di portanza che si trova nei libri di testo dell' aerodinamica ma senza la matematica avanzata che la accompagna. Un esperimento che potrete fare a casa aiuterà a capire questi concetti. La generazione di portanza confuse parecchi scienziati in passato, non è una sorpresa che il tipico velista odierno non la capisca.

La teoria corretta deve poter essere applicata in ogni condizione. Deve funzionare per profili aerodinamici normali, come quelli delle ali di un aeroplano, per profili a monosuperficie curva come le nostre vele, e persino per superfici piatte e sottili come un portone di una stalla che vola (come durante un tornado - nota del traduttore). Comincerò con la porta della stalla siccome aiuta a dimostrare i principi importanti uno ad uno. I profili a monosuperficie verranno poi introdotti nella discussione. Gli stessi concetti più qualche altro fattore più complesso vengono applicati anche a profili tridimensionali.

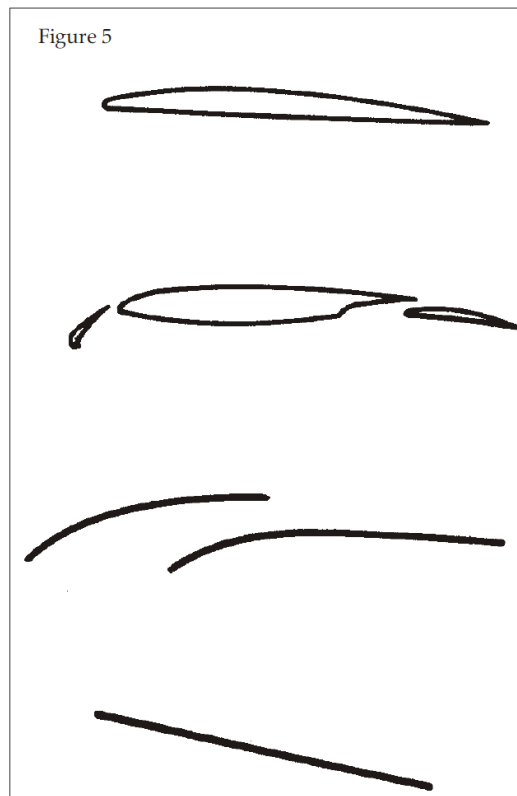


Fig.6. Se potessimo brandire una bacchetta magica ed eliminare tutta la viscosità dell' aria succedrebbero delle cose molto fuori dal comune. Scopriremmo che un profilo aerodinamico come una vela, un' ala, una macchina, etc., avrebbe un attrito pari a zero. Sfortunatamente però la portanza non esisterebbe. Nella realtà non abbiamo il potere magico di fare questo esperimento, ma lo possiamo fare con il software moderno. La nostra "aria a zero viscosità" scorrerebbe

intorno ad un piano come mostrato nella fig. 6. Si noti la simmetria del flusso. Ciò causa una cancellazione netta di tutte le forze e non genera ne attrito ne portanza.

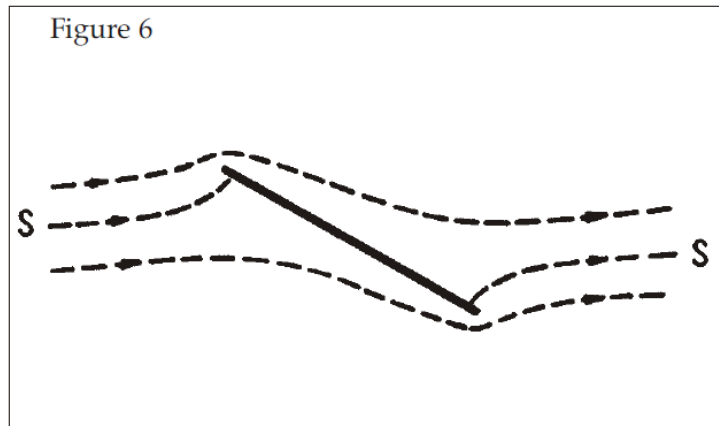


Fig.7. Si noti che il flusso che scorre lungo la parte inferiore riesce a girare intorno al bordo di uscita ed a scorrere brevemente contro corrente fino a quando incontra il flusso proveniente dalla parte superiore. Persino l'aria intorno al bordo di entrata fa delle cose strane: Un pò di essa si rigira e risale intorno al bordo per scorrere lungo la parte superiore. Le linee divisorie tra i flussi che corrono sopra o sotto il profilo si chiamano linee di ristagno (denotate con S). In questo modello non viscoso del flusso, l'aria più vicina alla superficie "scivola" lungo le superfici.

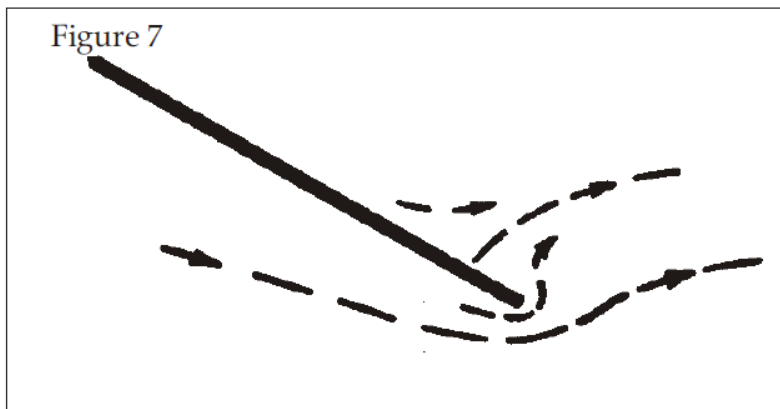


Fig.8. però L'aria ha una viscosità ed a causa di questa viscosità il flusso d'aria più vicino alla superficie rimarrà appiccato alla superficie e rimarrà immobile in relazione ad essa.

La fig. 8 mostra questo fenomeno. Ad una distanza vicina dalla superficie, l'aria si muove in

relazione alla superficie, Una volta che siamo lontani dagli effetti del piano aerodinamico gli effetti della viscosità non hanno più importanza. La parte del flusso totale di aria che sta più vicina alla superficie e che viaggia con essa si chiama lo strato limite . La differenza nella velocità del flusso relativa alla superficie nello strato limite si chiama lo strato di gradiente. E' questo strato che causa la frizione superficiale sulle vele, scafo e chiglia.

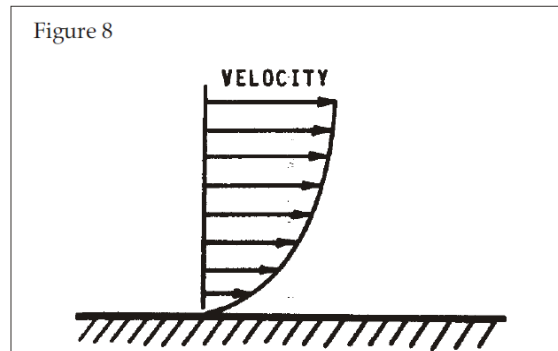


Fig.9. Se tutto d'un tratto "accendiamo" la viscosità dell'aria, il flusso intorno alla nostra superficie aerodinamica piatta comincerà a cambiare.

Lo strato limite viscoso comincerà a formarsi sulla superficie. Nel nostro magico modello a viscosità nulla (fig. 8) il flusso girava intorno al bordo di uscita ad una alta velocità esattamente nel punto finale del bordo . Adesso che la viscosità dell'aria ha il suo effetto, il flusso non è più in grado di fare il giro completo intorno al bordo. Inizialmente tenta di girare ma poi si separa dalla superficie. Questo tentativo iniziale di girare intorno al bordo di uscita crea un vortice, questo vortice viene poi trasportato sottovento, via dalla superficie, dal flusso stesso.

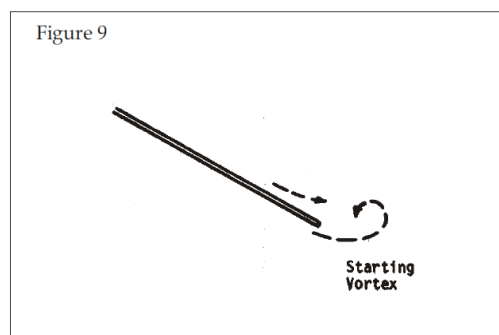


Fig.10. In mancanza di aria che gira dalla parte inferiore del profilo intorno al bordo di uscita e risale controvento subito dopo aver girato il bordo, il flusso che già segue la parte superiore del profilo dall' inizio continuerà ora verso il bordo di uscita per riempire questo vuoto. Con l'aria che segue la parte superiore fino al bordo di uscita, il flusso vicino al bordo di attacco si riaggiusta per indirizzare una quantità di aria maggiore verso la parte superiore per riempire i

vuoti nel flusso. Questo è mostrato dallo spostamento della linea di ristagno nella superficie inferiore, verso la parte posteriore del profilo aerodinamico. Per dire la verità l'intero flusso che circonda tutto il profilo aerodinamico subirà un cambiamento permettendo che una maggior quantità d'aria scorra sulla parte superiore o sottovento del profilo aerodinamico. Dopo che abbiamo "acceso" la viscosità con la nostra bacchetta magica, l'aria si è aggiustata rapidamente per permettere sia al flusso che segue la parte superiore, sia a quello che segue la parte inferiore di fluire paralleli, senza sbalzi (ed alla stessa velocità) dal bordo di uscita. Nel vernacolo dell' aerodinamica questo fenomeno che accade al bordo di uscita è conosciuto come "la condizione di Kutta" dal nome del suo scopritore.

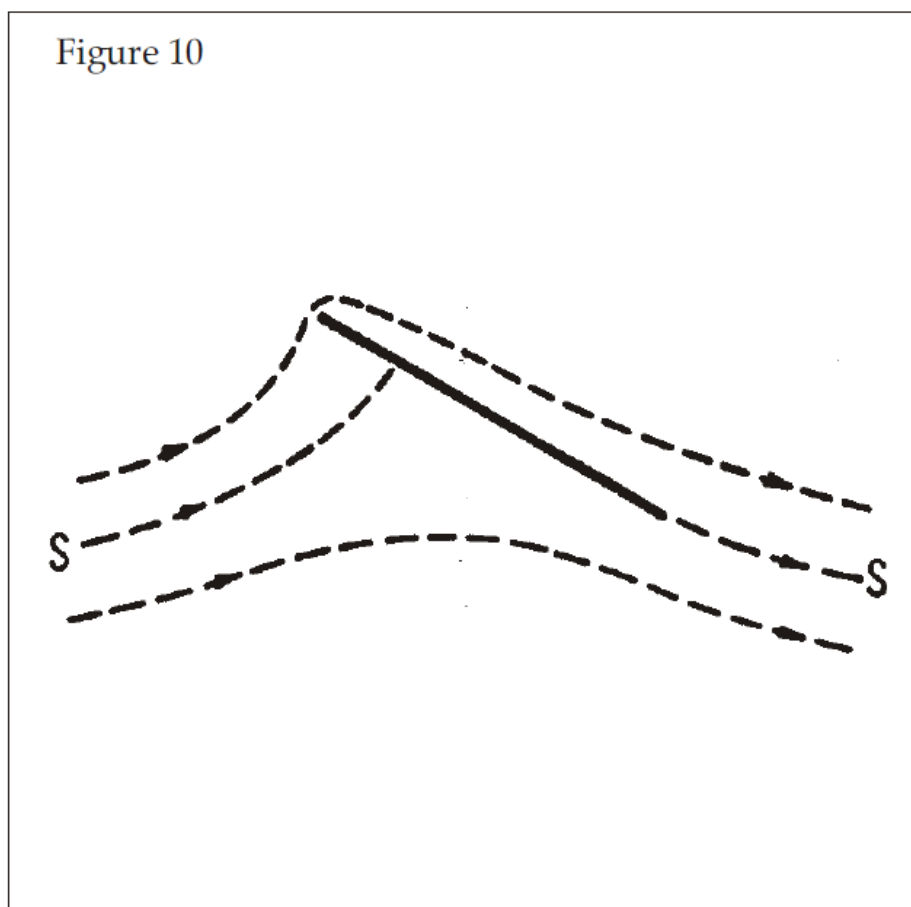


Fig. 11. Il flusso intorno al nostro profilo piatto non è più simmetrico. La somma delle forze intorno ad esso daranno una risultante perpendicolare alla direzione del flusso. Questa è la forza che chiamiamo portanza. Sfortunatamente lo sfregamento dello strato limite sulla superficie del profilo piatto induce anche della resistenza, però adesso la portanza è notevole (molto di più di quella dovuta al principio di azione e reazione Newtoniano menzionato poc' anzi). Finalmente gli

uccelli e gli aeroplani possono volare ed abbiamo una forza che ci spinge lungo l'acqua! Senza la viscosità dell'aria non avremmo mai potuto alzarci dalla terra o mollare gli ormeggi dalla banchina. In questa figura però abbiamo ancora un problema: L'aria tenta di scorrere intorno ad un affilato bordo di attacco. Possiamo risolvere questo problema semplicemente piegando il bordo di attacco in giù in modo che esso abbia la stessa angolazione del flusso d'aria.

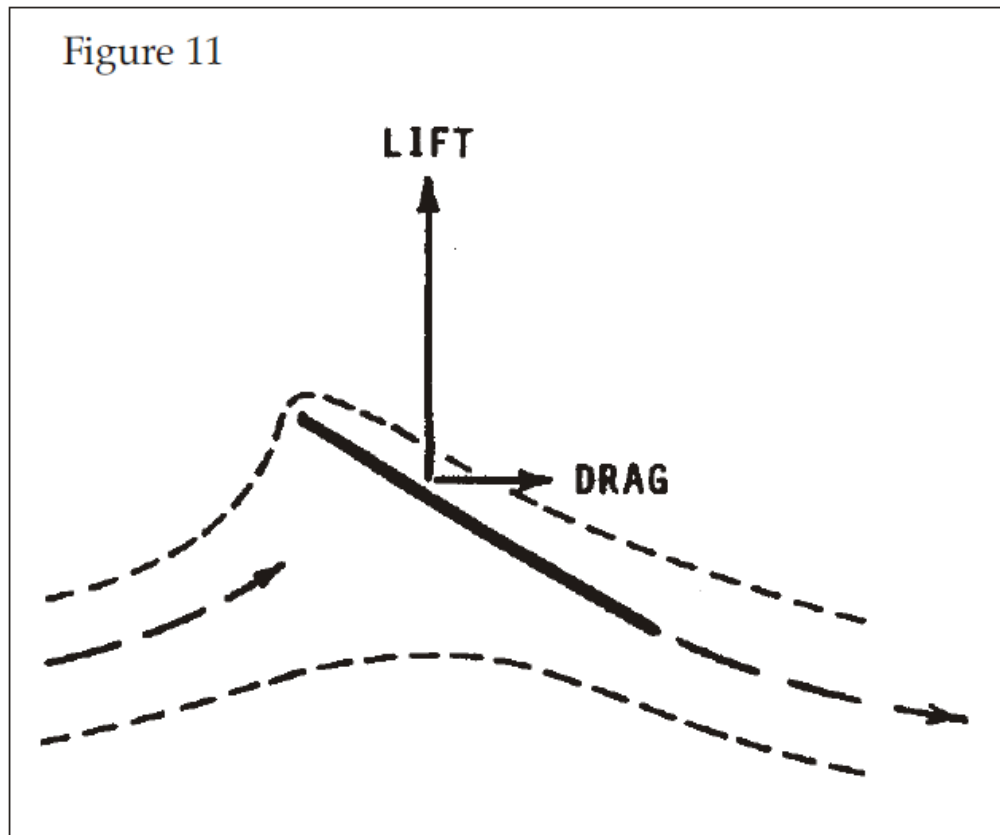
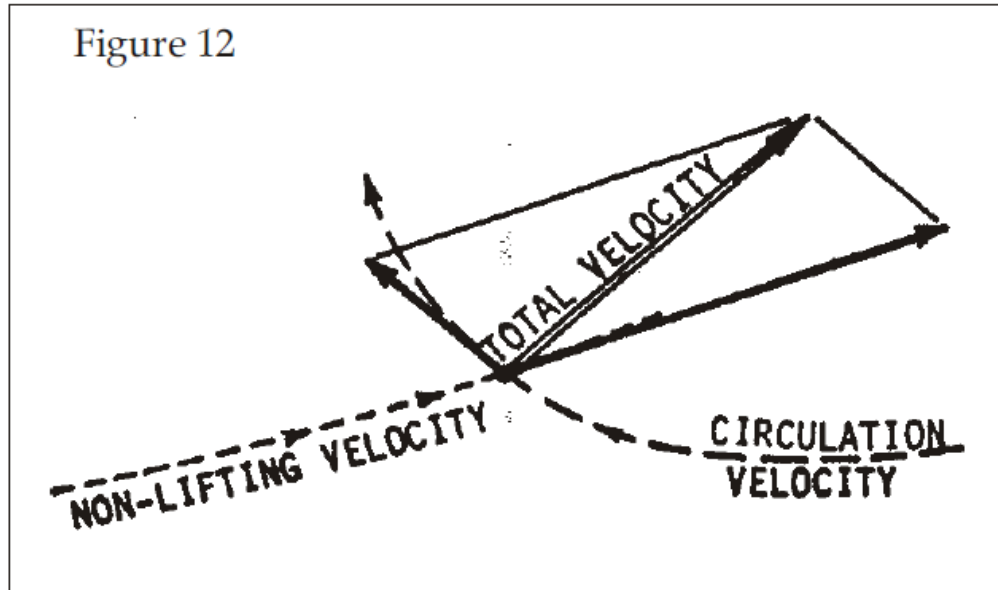


Fig. 12. Il flusso intorno ad un profilo aerodinamico in verità consiste in due flussi separati ma messi insieme. Uno di questi flussi viene chiamato il flusso non-portante, come illustrato nella figura 8, l'altro è il flusso circolatorio intorno al profilo aerodinamico che è necessario per generare un flusso privo di sbalzi nel punto del bordo di uscita. Questi due flussi si sommano insieme come la velocità della nostra barca si somma al vento reale per risultare

Copyright Arvel Gentry

nel vento apparente che sentiamo in barca. Il flusso circolatorio non è un flusso immaginario o un trucco matematico, è vero e può essere visualizzato usando un esperimento descritto nella prossima pagina.



4. L'esperimento della vasca da bagno.

Fig. 13. Se avete dei problemi a capire l'idea della circolazione provate da voi a fare questo esperimento: Riempite la vasca da bagno con circa 4 centimetri di acqua e lasciatela ristagnare per renderla immobile. Cercate qualcosa da spargere sulla superficie dell' acqua per poter vedere meglio il movimento dell' acqua durante l'esperimento. Un pò di segatura, talco, o anche un pò di pepe vanno bene. Adesso

Copyright Arvel Gentry

abbiamo bisogno di un profilo aerodinamico. Un pezzo di cartone del latte di circa 9 x 14 cm funziona bene. Piegate questo cartoncino leggermente per simulare la metà della curvatura di una vela. Con molta delicatezza, posizionate il foglio di carta nella vasca, nel centro longitudinale, e leggermente angolato con il bordo di uscita verso di voi. Questo ci darà quello che chiamiamo l'angolo di attacco. Lasciate che l'acqua ritorni immobile.

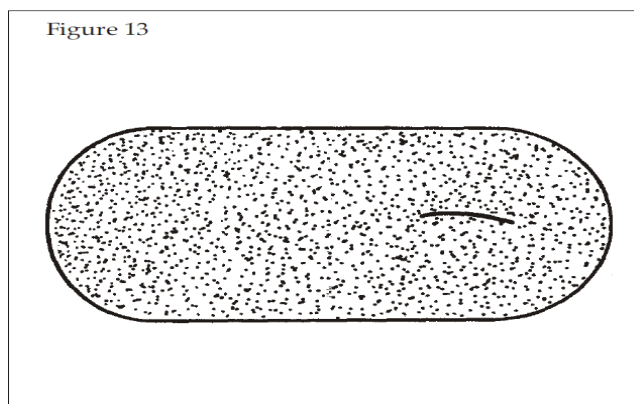


Fig. 14. Adesso prendete il cartoncino in modo da non disturbare l'acqua. Cominciate a muoverlo lungo la lunghezza della vasca verso la parte opposta. Guardate che cosa succede nei paraggi del bordo di uscita quando incominciate a muoverlo: Il flusso inizialmente comincerà a muoversi verso il bordo di uscita e poi si separerà per formare il vortice iniziale come descritto sopra. Il vortice iniziale rimarrà nella sua posizione iniziale mentre muoviamo il cartoncino verso la parte sinistra della vasca. Questo è illustrato nel diagramma. In questo esperimento, siccome è fatto con l'acqua, dobbiamo limitare l'angolo d'attacco e la curvatura del cartoncino per evitare una eccessiva separazione del flusso dalla superficie del cartoncino, ma ogni fenomeno osservato nell'acqua accade anche nell'aria.

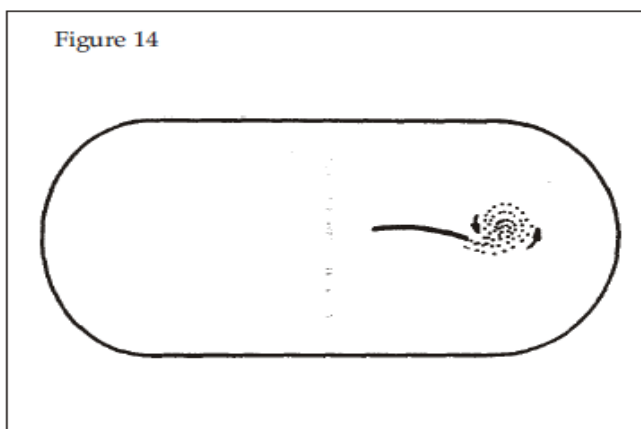


Fig. 15. Quando la superficie aerodinamica (il cartoncino) si avvicina al centro della vasca da bagno, prestate attenzione al flusso d'acqua di fronte ed intorno allo stesso. Notate che il flusso di fronte al cartoncino in qualche modo "capisce" che sta arrivando il cartoncino e comincia a cambiare la sua posizione ancor prima che il cartoncino arrivi per scorrere meglio intorno ad esso. Se il

cartoncino è trascinato esattamente in mezzo alla vasca da bagno noterete che parte dell' acqua di fronte e sotto il cartoncino finirà per scorrere lungo la sua superficie superiore. Il flusso che si inarca in alto in fronte al cartoncino viene chiamato upwash. Forse dovrete ripetere l'esperienza più volte per concentrarvi ogni volta su una parte differente del flusso.

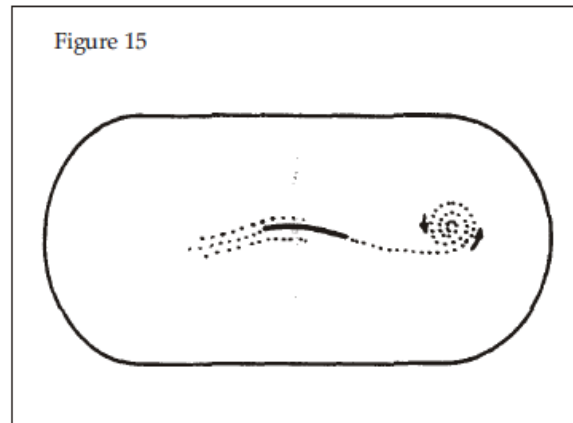
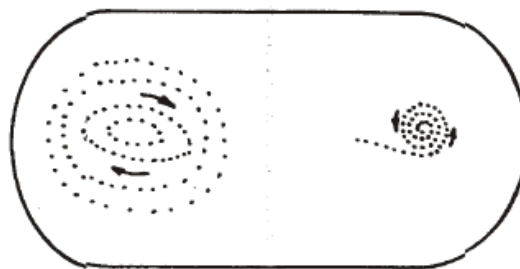


Fig. 16. Adesso arriva la parte cruciale di questo esperimento. Quando il cartoncino si trova a circa 30 CM dal bordo di sinistra della vasca da bagno, alzate immediatamente dall' acqua. Rimuovendo il cartoncino avete rimosso uno dei componenti dei due flussi intorno alla superficie aerodinamica (questo è analogo a fermare una barca per misurare il vento reale) Quando rimuovete il cartoncino, rimarremo solo con i flussi rotanti causati dal movimento della superficie aerodinamica (il cartoncino). Nella parte destra della vasca vedremo il vortice iniziale che ancora ruota in senso antiorario. Nella parte sinistra della vasca un vortice che ruota in senso orario. Questo è il flusso circolatorio intorno ad una superficie aerodinamica ed è il responsabile della generazione della portanza. Il movimento in avanti del cartoncino ed il campo circolatorio sono sommati insieme per generare il flusso finale, come si addizionano i due vettori di vento reale e velocità della barca per arrivare al vento apparente.



5. Separazione del flusso.

Fig. 17. Il fenomeno di separazione del flusso sono molto importanti per un velista. Pochi velisti però capiscono che cosa è che causa la separazione. La credenza nell' effetto di Venturi per

Copyright Arvel Gentry

spiegare l'effetto fessura è la prova di questa ignoranza. La foto sotto mostra un profilo aerodinamico completamente separato, in condizione di stallo. A causa dello stallo, la superficie aerodinamica genera più resistenza che portanza. Questa foto è stata fatta in un canale d'acqua (una versione più tecnica della nostra vasca da bagno). La macchina fotografica seguiva il flusso alla sua stessa velocità ed è stata usata una esposizione relativamente lunga per registrare l'effetto sulla polvere d'alluminio cosparsa sulla superficie dell'acqua.

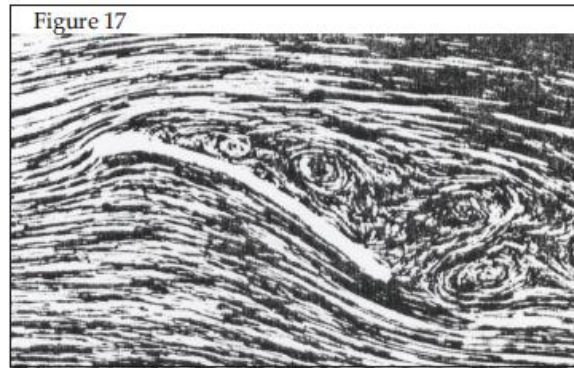
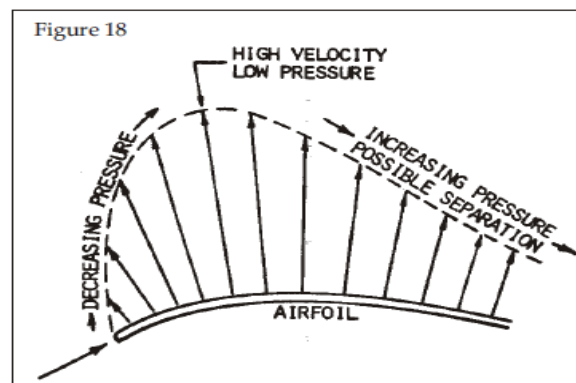


Fig. 18. La separazione del flusso è un effetto dovuto alla viscosità. Avviene quando lo strato limite non riesce più a stare attaccato alla superficie. L'abilità dello strato limite di riuscire a rimanere attaccato alla superficie dipende dalle condizioni locali del flusso e da cosa è accaduto al flusso appena prima di quel punto. Quando il flusso sta accelerando lungo la superficie, la pressione diminuisce, quando il flusso diminuisce in velocità, la pressione aumenta. Questo viene chiamato un gradiente inverso di pressione (lo strato limite scorre contro un aumento di pressione). Quando l'aumento di pressione è troppo elevato il flusso si separerà e diventerà caotico ed instabile.



6. La bolla di separazione sul bordo d'attacco.

Fig. 19. Molti anni fà, mentre stavo facendo delle ricerche su delle ali piuttosto sottili per un caccia, sono venuto a confronto con quello che si chiama il fenomeno della bolla di separazione sul bordo d'attacco. Aumentando l'angolo di attacco il flusso si separava proprio sul bordo d' attacco ma si riattaccava subito dopo sulla superficie superiore dell' ala. Più l'angolo d'attacco aumentava, più la bolla si allungava. Quando il flusso non si poteva più riattaccare, la bolla scoppiava e si diffondeva lungo tutta la superficie superiore dell' ala causando uno stallo completo. Mi resi conto che la stessa cosa doveva succedere nell'area sottovento dell' inferitura un fiocco. Quel fine settimana appiccicai 500 piccoli nastri sul mio fiocco per constatare questo fenomeno.

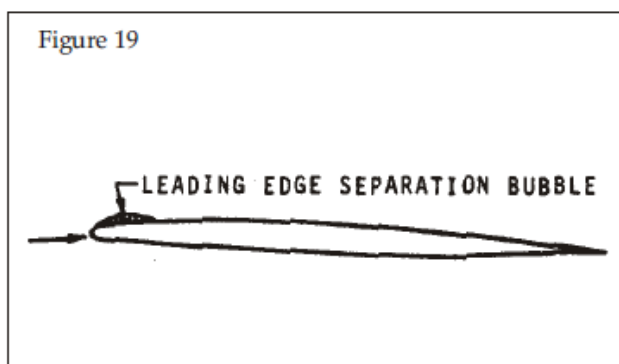


Fig. 20. Come previsto dalla teoria, trovai una piccola bolla di separazione lungo tutta l'inferitura del fiocco quando mettevo il fiocco leggermente in stallo. Il graduale aumento dell' angolo d'attacco causava un allungamento della bolla, infine la bolla scoppiò e tutta la vela rimase stallata. Ricercai la letteratura velica ma non trovai nessuna referenza al fenomeno della bolla di separazione sul bordo d'attacco.

Il fenomeno è spiegato più in dettaglio nei miei articoli scritti per la rivista SAIL. (pagine 97 e 254 della referenza 8) ed esaustivamente nel nuovo libro di Marchaj (14).

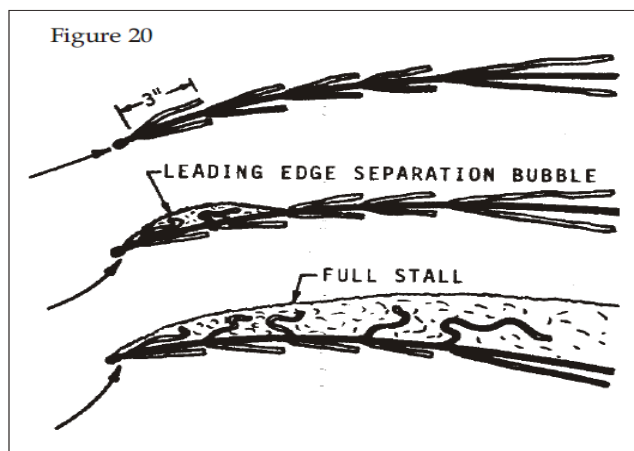
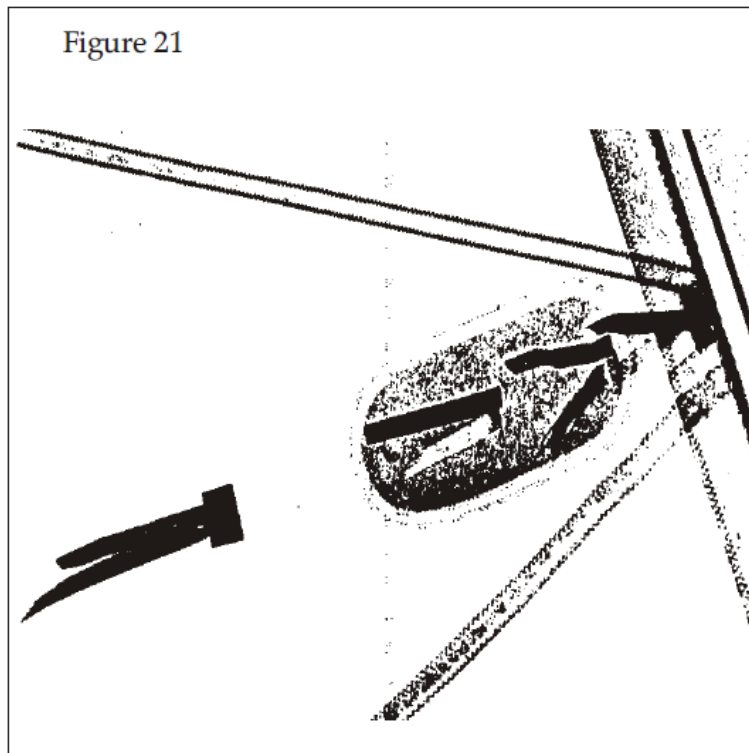


Fig. 21. La maggioranza dei velisti usano dei fili di lana che distano circa 30 - 45 CM dall' inferitura per segnalare quando il fiocco stalla, questi fili pero mostrano solo quando il fiocco e già in stallo. Avete già sbagliato e state già poggiando troppo. E se metteste una serie di nastri a partire dall' inferitura fino ad arrivare dove normalmente ci sono i fili? Ho provato questa idea e si e rivelata molto utile per tenere la barca nel miglior angolo possibile in una andatura di bolina. Non solo ci si può rendere conto dove si è tra l'orzare troppo e lo stallare, ma se avete bisogno di riprendere velocità, basta poggiare un pochettino fino a quando i primi due o tre nastri sottovento cominciano a rigirarsi per poi orzare quando avete riguadagnato la velocità' Ho scoperto che anche il velista principiante può imparare velocemente a veleggiare di bolina abbastanza bene con il sistema dei nastri.



7. Caratteristiche di un' ala monosuperficie

Fig. 22. La figura qui' sotto mostra le linee del flusso intorno ad una vela che è stata aggiustata in modo che la linea di ristagno anteriore colpisca direttamente il bordo d' attacco. Si noti che nella parte sinistra di questo diagramma le linee del flusso sono leggermente angolate all' insù (upwash). Bisogna arrivare a parecchie lunghezze prima o dopo il profilo aerodinamico per trovarsi in linee di flusso indisturbate dal profilo stesso, in più, una analisi accurata del flusso completo mostrerebbe che il livello della linea di ristagno molto dietro al profilo è identico al livello molto davanti a esso. Queste linee sono state calcolate da un software togliendo gli effetti dello strato limite e di qualsiasi separazione tra flusso e profilo. Con il software moderno riusciamo a eliminare gli effetti viscosi ma allo stesso tempo riusciamo anche a mantenere le condizioni di flusso realistiche nella regione del bordo di uscita, la condizione di Kutta. Con questo tipo di Alchimia fornita dal computer riusciamo a isolare e studiare i diversi fattori che influenzano il flusso.

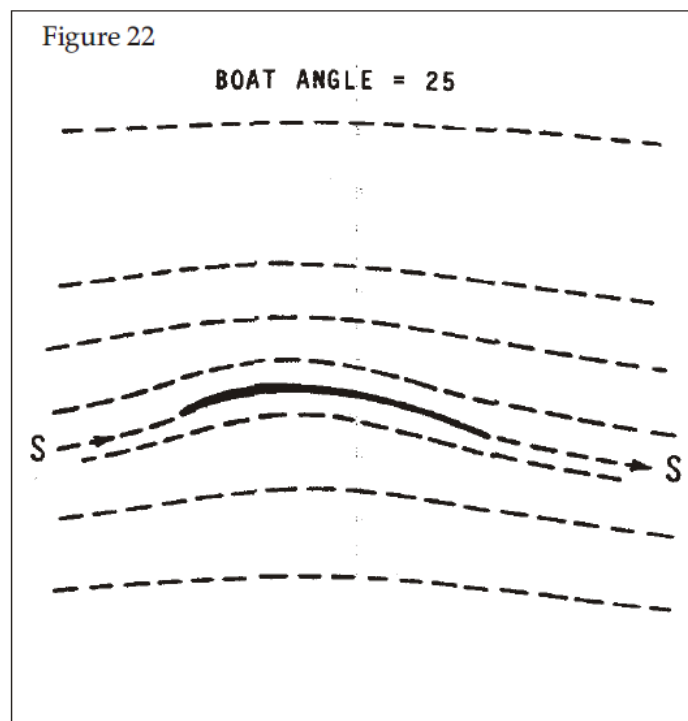


Fig.23. Questa figura mostra la stessa vela di prima ma a un angolo più aggressivo rispetto al vento: 35 gradi. Di nuovo, il programma non ha incluso gli effetti dello strato limite e della separazione del flusso dalla superficie. Con questo angolo molta più aria passa per la parte superiore - sottovento del profilo. Possiamo notare questo perché la linea di ristagno, S, comincia e finisce a un livello molto inferiore di quello alla Fig. 20. Il profilo riesce a generare più portanza ma notate anche che la S colpisce il profilo sulla parte inferiore - sopravvento, vicino al bordo d'attacco; Ciò creerà problemi quando aggiungeremo gli effetti della viscosità.

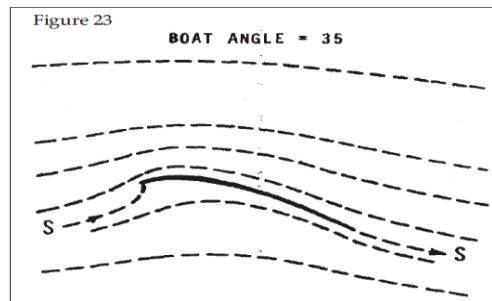


Fig.24. Questa figura mostra la distribuzione di pressione calcolata su una vela con un angolo d'attacco di 25 gradi al vento. Le frecce che si indirizzano in alto al di sopra del lato superiore rappresentano pressioni inferiori alla pressione ambiente: Pressioni di risucchio. La lunghezza di ciascuna freccia denota la velocità del flusso. Le frecce che puntano verso il lato inferiore del profilo rappresentano pressioni che sono superiori alla pressione ambiente e le loro lunghezze rappresentano velocità minori di quelle sopra il profilo. Questo differenziale di pressione tra i due lati genera la portanza. La velocità maggiore del flusso si trova dove le frecce sul lato superiore sono più lunghe. La velocità è minore dove le frecce inferiori sono più lunghe.

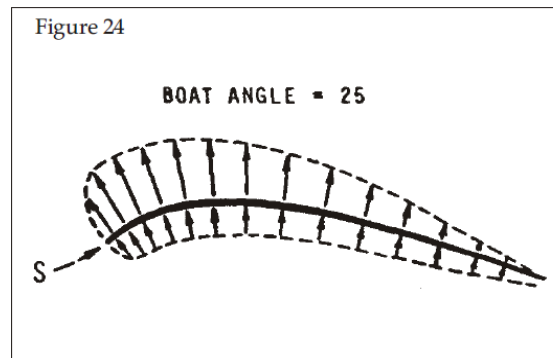


Fig.25. Questa figura mostra le pressioni su una vela con un angolo d'attacco di 35 gradi al vento. Si notino le frecce lunghissime (alto risucchio, alta velocità) sul lato superiore o di sottovento. La velocità è molto elevata perché la linea di ristagno si è riposizionata un pò più indietro sul lato inferiore o di sopravvento. L'aria accelera molto rapidamente mentre va dal lato inferiore intorno al bordo d' attacco. La velocità poi diminuisce quando il flusso si avvicina al bordo di uscita. Il rapido aumento di pressione dietro il bordo di attacco causerà probabilmente una separazione dei flussi vicino all' inferitura. Se l'aumento di pressione non è troppo rapido, si formerà solo una piccola bolla di separazione ma poi il flusso si riattaccherà alla vela. Se l'angolo d'attacco è troppo ampio e l'aumento di pressione troppo rapido, tutto il lato di sottovento si separerà e la vela stallerà.

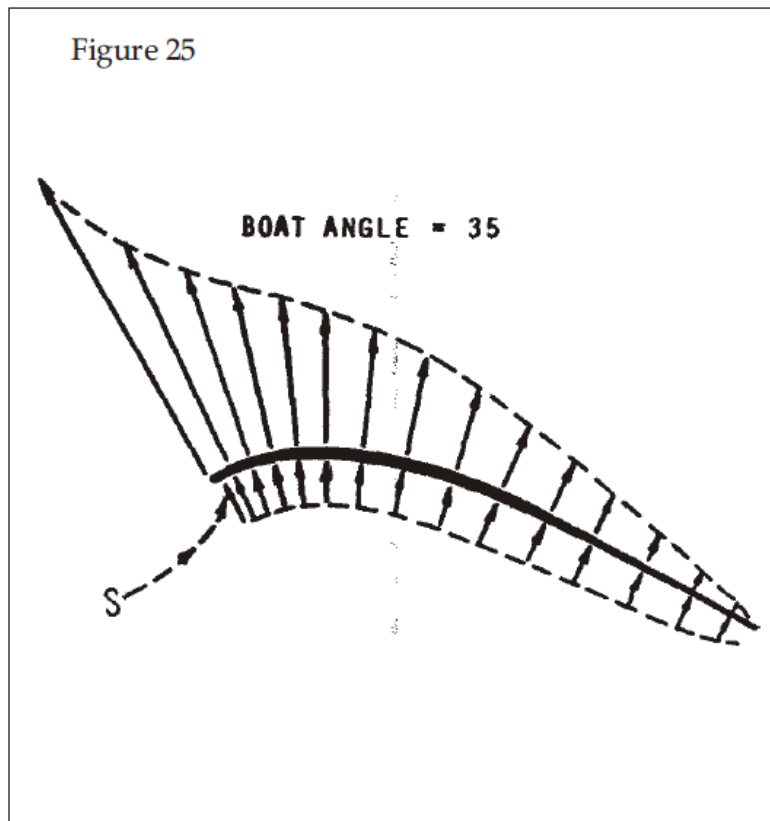
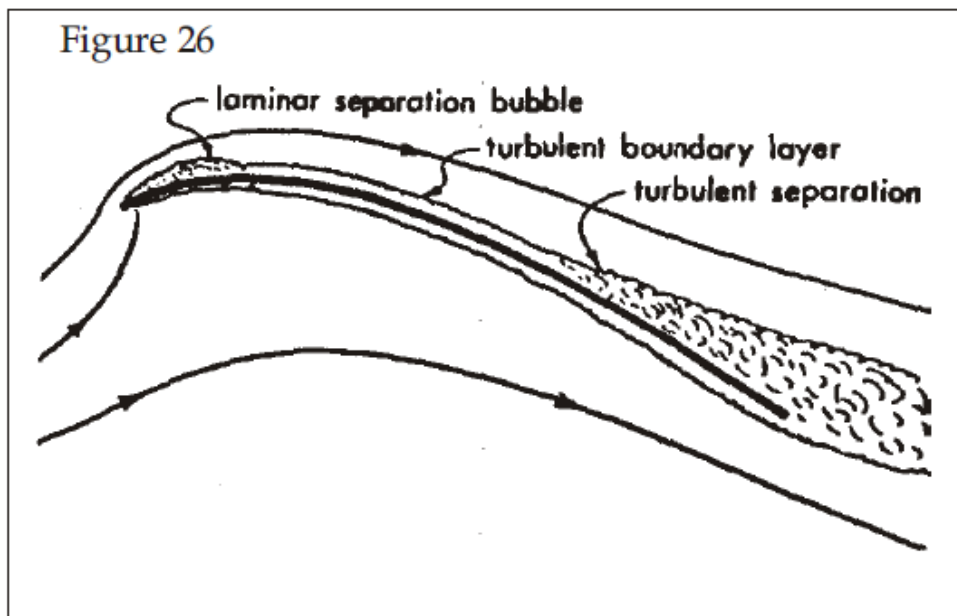


Fig. 26. Se le pressioni sono troppo elevate nella parte posteriore del profilo aerodinamico, ci sarà la separazione del flusso anche in quella zona. Questo succede se la balumina è orientata troppo sopravvento o se c'è troppa curvatura nella vela per le condizioni del vento. Come vedremo più tardi il fiocco ha un effetto molto forte sulle caratteristiche di separazione del flusso dalla randa e, anche se non è percepito da molti, la randa stessa influenza il livello di separazione del flusso dal lato di sottovento del fiocco.



8 Interazione Tra Le Vele - Vecchie Teorie.

Fig. 27. L'interazione tra il fiocco e la randa (l'effetto fessura) è probabilmente uno degli aspetti più fraintesi della teoria della vela. La spiegazione dell'effetto fessura di Stephen Colgate è tipica di quelle che appaiono nella letteratura velica. "Il fiocco incanala l'aria dietro la randa, l'azione d'incanalamento tende ad aumentare la velocità dell'aria che passa sottovento alla randa." I diagrammi come quello fornito qui sembrano convalidare questa teoria. E' vero che il fiocco produce un flusso d'aria orientato più controvento sulla randa ma l'effetto è esattamente l'opposto di questo mito popolare. Se l'effetto principale del fiocco fosse di aumentare la velocità sulla parte sottovento della randa, il risultato sarebbe di aumentare la probabilità che il flusso si separi dalla randa invece di diminuire la probabilità, che come sappiamo avviene in realtà.

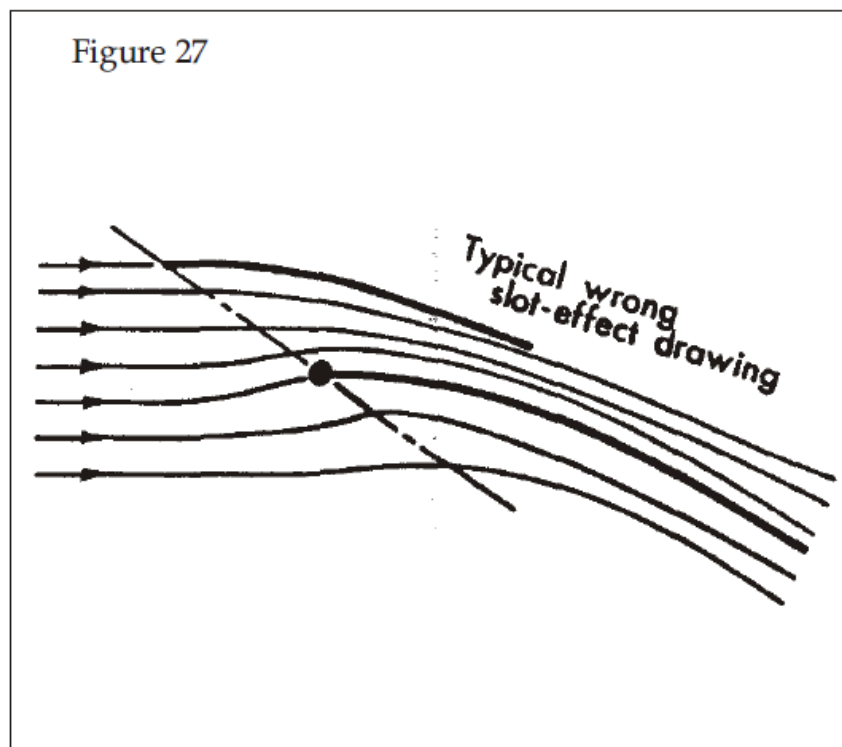


Fig. 28. Se il fiocco causasse un getto ad alta velocità sulla parte sottovento della randa che cosa succederebbe? Prima di tutto il flusso che esce dalla balumina di una singola vela è molto vicino alla velocità dello stesso flusso molto prima d'incontrare la vela, ciò significa che la pressione vicino alla balumina è molto simile alla pressione ambiente. Se il fiocco causasse un aumento di velocità del flusso nella parte di sottovento della randa vicino all' inferitura, avremmo una diminuzione di pressione anche in quella zona. Se la pressione in quella zona fosse ridotta, significa che ci dovrebbe essere un rapido aumento di pressione quando il flusso si avvicina alla balumina. Il flusso quindi sarebbe più suscettibile di separarsi. Inoltre, un aumento di velocità nella fessura aiuterebbe la randa ma danneggerebbe il fiocco visto che la pressione avrebbe un effetto anche nel lato sopravvento di quest' ultimo.

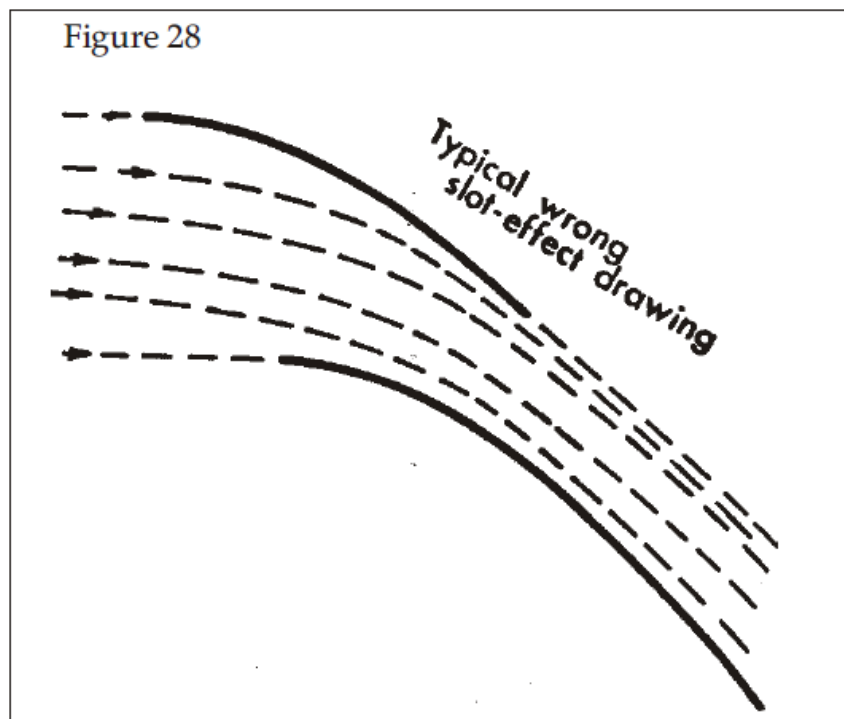


Fig. 29. Una vela essendo flessibile reagisce direttamente alle pressioni intorno a se stessa. Quando la pressione è più alta sul lato di sopravvento la vela assumerà la sua forma curva a noi nota ed eserciterà una spinta sulla barca. Quando le pressioni sono uguali in entrambi i lati, la vela fileggia. Se il fiocco generasse una velocità maggiore sulla parte sottovento della randa, allora perché la randa fileggia dietro l'inferitura quando il fiocco è cazzato un pò troppo? Se la fessura resa più piccola dal fiocco più cazzato generasse più velocità e quindi meno pressione sulla parte di sottovento della randa, allora la randa avrebbe un differenziale di pressione ancora più grande tra le due parti e non potrebbe fileggiare. Solo se il fiocco generasse velocità minori invece che maggiori e quindi le pressioni dalla parte sottovento diventassero equilibrate con quelle sottovento la randa potrebbe reagire come ben sappiamo quando cazziamo il fiocco un pò troppo.

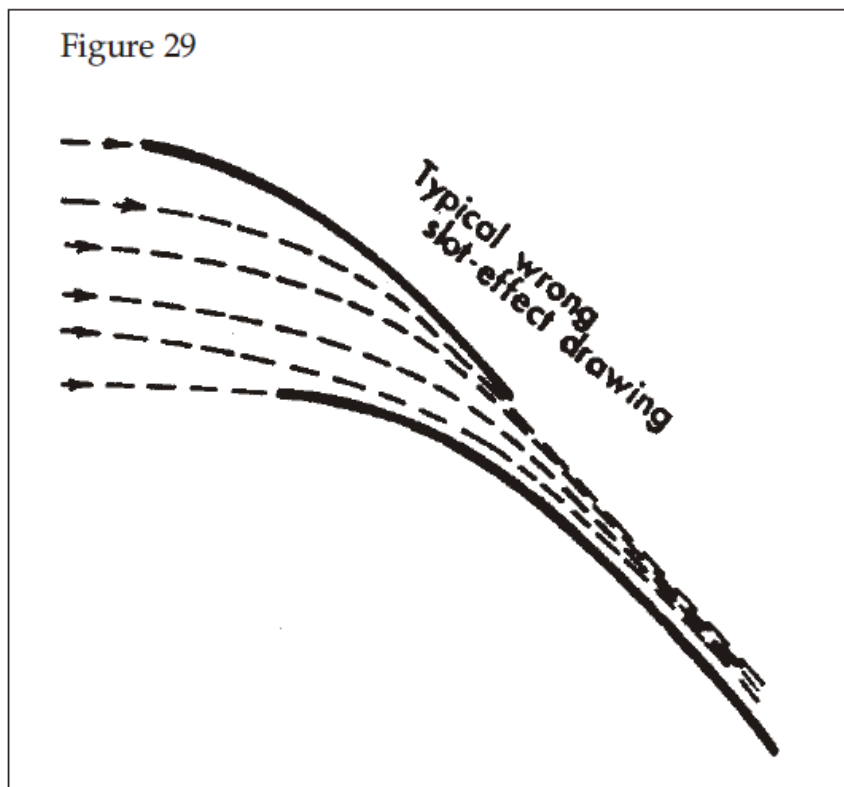
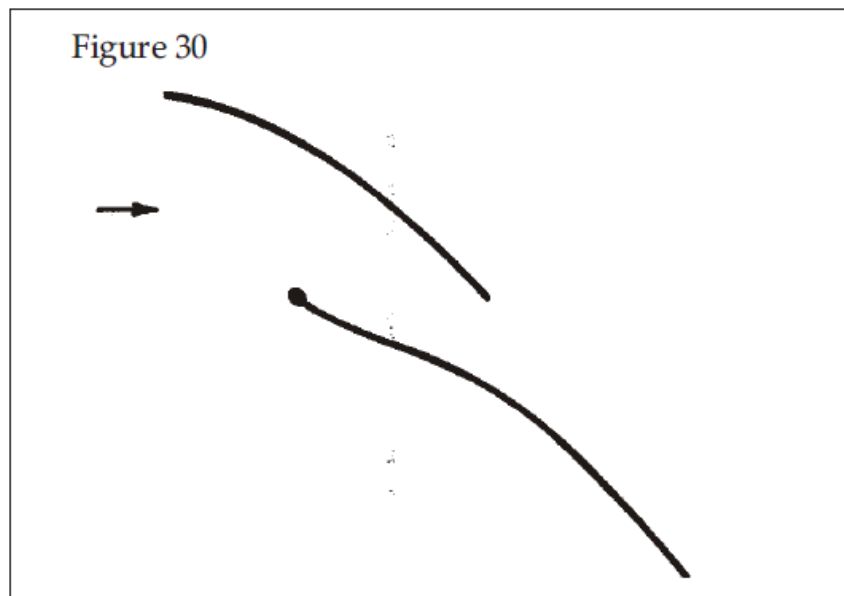


Fig. 30. La figura 30 mostra un effetto che spesso vediamo su qualche barca. Le vele sono regolate in maniera tale da creare una curvatura inversa vicino all'inferitura della randa. Spesso la "bolla" nella randa è assai stabile. In questa situazione, la pressione sopra la parte anteriore sottovento della randa è più alta che la pressione dalla parte sopravvento. La vecchia teoria dell'Effetto fessura (basata sull'effetto Venturi - nota del traduttore) non può spiegare questa situazione. Arrivati a questo punto dovremmo cominciare a capire che il fiocco causa una diminuzione della velocità invece di un aumento. Vedremo adesso perché è così.



9. Interazione tra le vele, teorie moderne

Fig. 31. Una delle ragioni principali per cui l'effetto fessura è stato incompreso così a lungo e che non riusciamo a separare i vari aspetti del flusso mentre stiamo veleggiando. Con del software moderno siamo capaci di separare ognuno degli effetti e di studiarli in maniera sistematica. Questo ci permette di studiare la fisica basica del flusso. Più tardi possiamo studiare come lo strato limite reagisce alle varie distribuzioni di pressione. Questi computi sperimentali ci confermano senza dubbio che la vecchia teoria dell' effetto fessura è sbagliata.

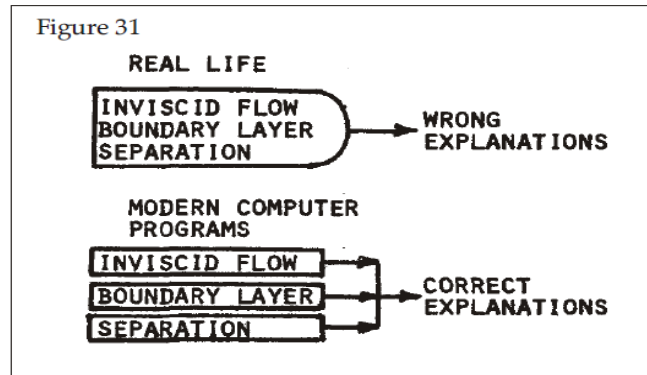


Fig.32. La figura mostra i flussi intorno a una randa da sola. La linea di ristagno che divide il flusso che va da ambo parti della vela viene chiamato S_m . Il flusso che passa attraverso lo strallo viene chiamato H . L' H con il cerchio e lo strallo dove poi verrà posizionata l' inferitura del fiocco. L'aria che passa tra lo strallo e l'albero viene chiamata "aria della fessura" nella parte sinistra della figura. Si noti che la linea di ristagno colpisce la randa sulla parte di sopravvento. Questo significa che vi sono delle velocità molto elevate, e bassa pressione, nella parte anteriore di sottovento della randa. Se gli effetti della viscosità fossero presenti in questo modello, la randa stallerebbe.

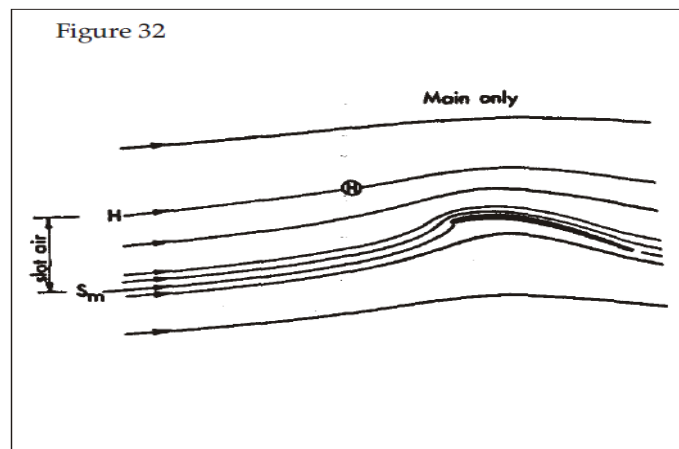


Fig. 33. In questa figura includiamo il fiocco. Le linee solide rappresentano i flussi con il fiocco, quelle tratteggiate, senza. La linea che nella fig. 32 correva ai lati dello strallo H adesso va di parecchio sottovento sul fiocco. La linea che adesso divide il flusso nelle due parti del fiocco la chiamiamo la linea di ristagno del fiocco S_j . La linea di ristagno per la randa, S_m è stata spostata sottovento dal fiocco. La quantità di aria che passa tra lo strallo e il bordo di attacco della randa è adesso molto minore, paragonata al caso dove la randa è l'unica vela. Questo è constatabile perché il "tubo" dove passa l'aria della fessura in questa figura è molto più stretta di quella nella Fig. 32. Molta dell' aria del canale nella Fig. 32 adesso passa sottovento al fiocco.

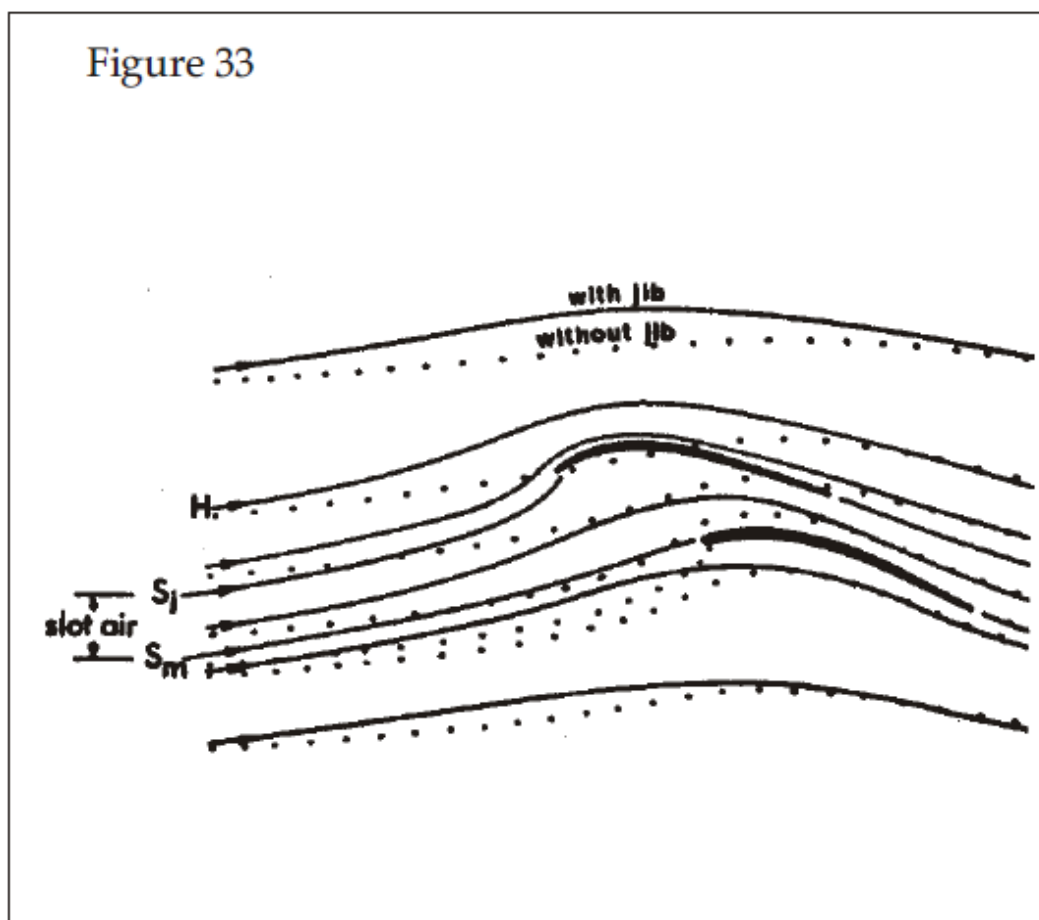


Fig.34. Nei quattro disegni qui giù mostriamo l'effetto causato da vari angoli di regolazione delle vele rispetto al vento. La percentuale a sinistra denota i cambi dell' aria che passa nella fessura per le varie regolazioni.

Nel caso B, con il fiocco cazzato 5 gradi di più del necessario, l'ammontare di aria che passa nella fessura tra le due vele è ridotta del 60%. Guardate la posizione della linea di ristagno, essa colpisce la randa sulla parte di sottovento. Siccome abbiamo preso la maggioranza dell' aria della fessura e la abbiamo mandata sottovento al fiocco, non rimane molta aria nella fessura. Siccome questa aria deve riempire tutta la regione tra il fiocco e la randa, dovrà per forza rallentare (di nuovo il teorema di Bernoulli). La pressione in questa regione aumenta, addirittura forse più' che la pressione dalla parte di sopravvento della randa. Se la randa fosse flessibile aggiusterebbe la sua forma generando una "bolla" o certamente fileggerebbe in quello che chiamiamo backwind.

Nel caso C entrambi il fiocco e la randa sono cazzati di 5 gradi di più del necessario e l'aria nella fessura viene ridotta del 30% . La linea di ristagno per il fiocco adesso colpisce il fiocco abbondantemente nella parte di sopravvento. Ciò significa che ci saranno delle velocità molto elevate quando questa aria tenderà di aggirare l' inferitura del fiocco. Molto probabilmente il fiocco stallerà immediatamente. Per prevenire ciò dovremo fare una di due cose: O lasciare il fiocco oppure come facciamo solitamente: Orzare in modo che la linea di ristagno si riposizioni di fronte all' inferitura.

Nel caso D, quando il fiocco è nella sua posizione normale ma la randa è cazzata di 5 gradi in più del necessario, il flusso d'aria nella fessura tra le vele aumenta del 20%. La linea di ristagno per la randa si sposta leggermente sopravvento. La velocità del flusso sulla parte sottovento della randa aumenta e la pressione diminuisce. Il flusso sottovento della randa potrebbe staccarsi all' altezza dell' albero. Per evitare questa situazione dovremo cazzare di più il fiocco per smorzare le velocità nel canale, oppure dovremmo orzare.

Da questi studi constatiamo che l'effetto primario del fiocco e quello di ridurre la velocità sul lato sottovento della randa. Questa riduzione di velocità risulterà in un aumento di pressione, una riduzione del gradiente di pressione sulla randa e quindi diminuirà la possibilità di separazione sottovento.

Figure 34

A. Basic settings



B. Jib in 5°



C. Jib and main in 5°



D. Main in 5°



Fig. 35. Facendo l'esperimento della vasca da bagno abbiamo constatato la circolazione intorno a una vela. Quando ci sono due vele abbiamo due campi circolatori che devono essere sommati. Notate come nella figura i due campi circolatori tendono a opporsi nel canale tra il fiocco e la randa. Questa è una ulteriore prova che il fiocco veramente causa una riduzione di velocità sulla parte sottovento della randa. I due campi circolatori che si addizionano causano anche più upwash di fronte alle vele dando alla barca la capacità di orzare di più.

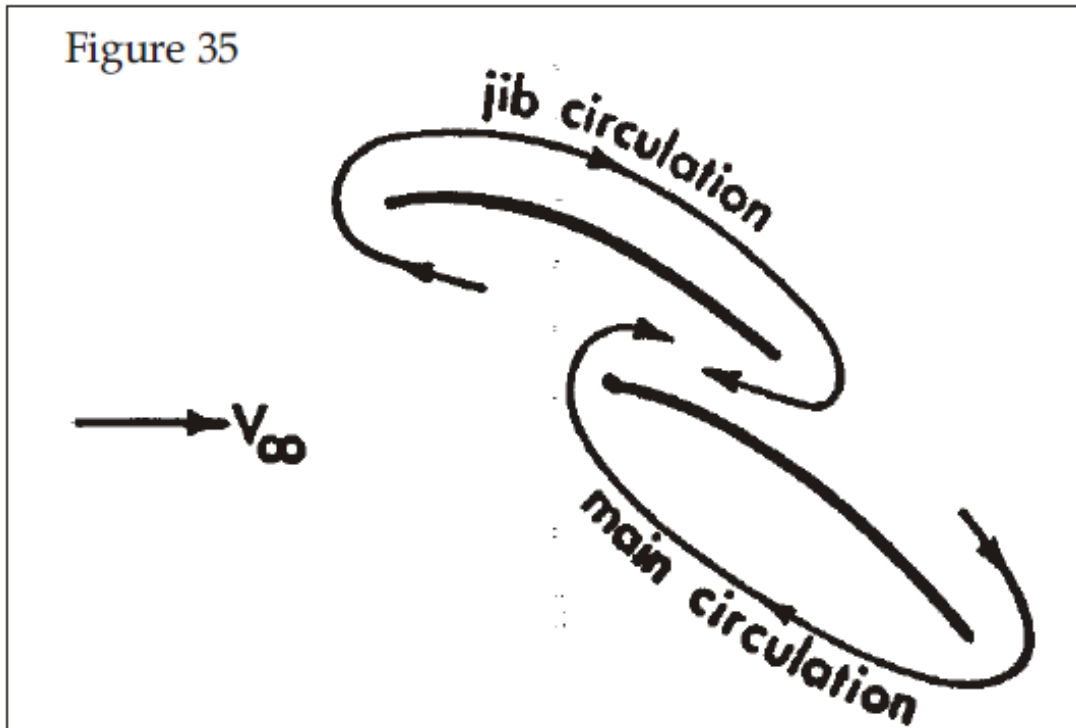


Fig. 36. Ci rimane da esplorare ancora uno degli effetti primari dell' interazione tra fiocco e randa: L' effetto della randa sul fiocco. Tutti sappiamo quanto più potente è il fiocco rispetto alla randa, qualche volta si dà la colpa di ciò all' albero ed alla separazione che esso crea sulla randa, ma questa non è la intera storia. Abbiamo già visto come la randa può generare un aumento dell' upwash sull' inferitura del fiocco. Non abbiamo ancora parlato del fatto che il bordo di uscita - balumina del fiocco si trova in una zona di alta velocità creata dalla randa. Avevo menzionato prima che il flusso di uscita della randa deve ritornare nella condizione originale del flusso indipendente dalle vele. Non è così per il fiocco: Il flusso che esce dal bordo di uscita deve solo ritornare alla velocità presente sulla superficie sottovento della randa.

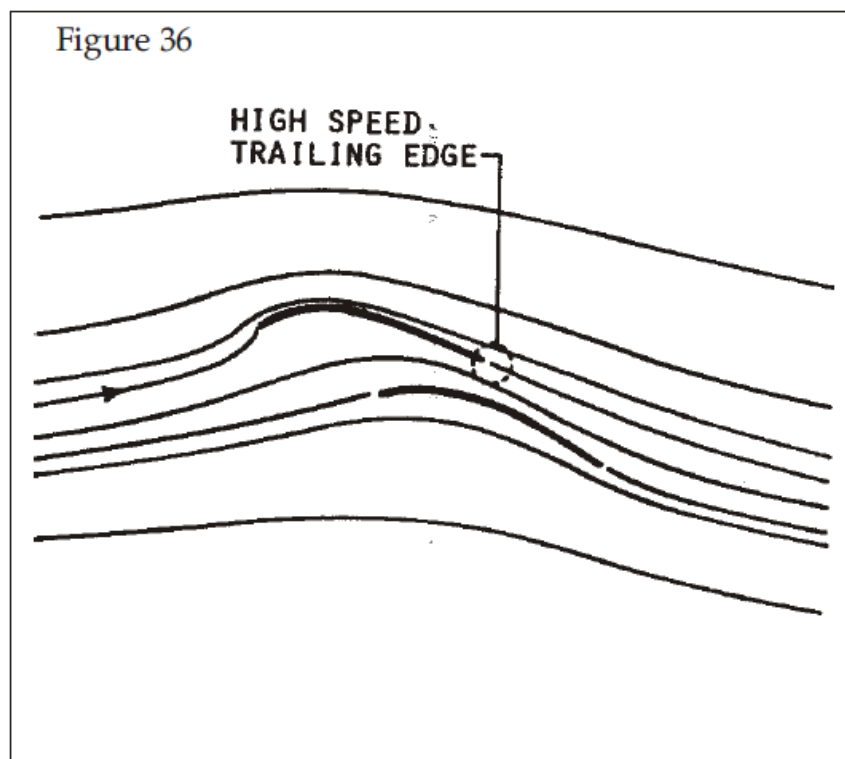
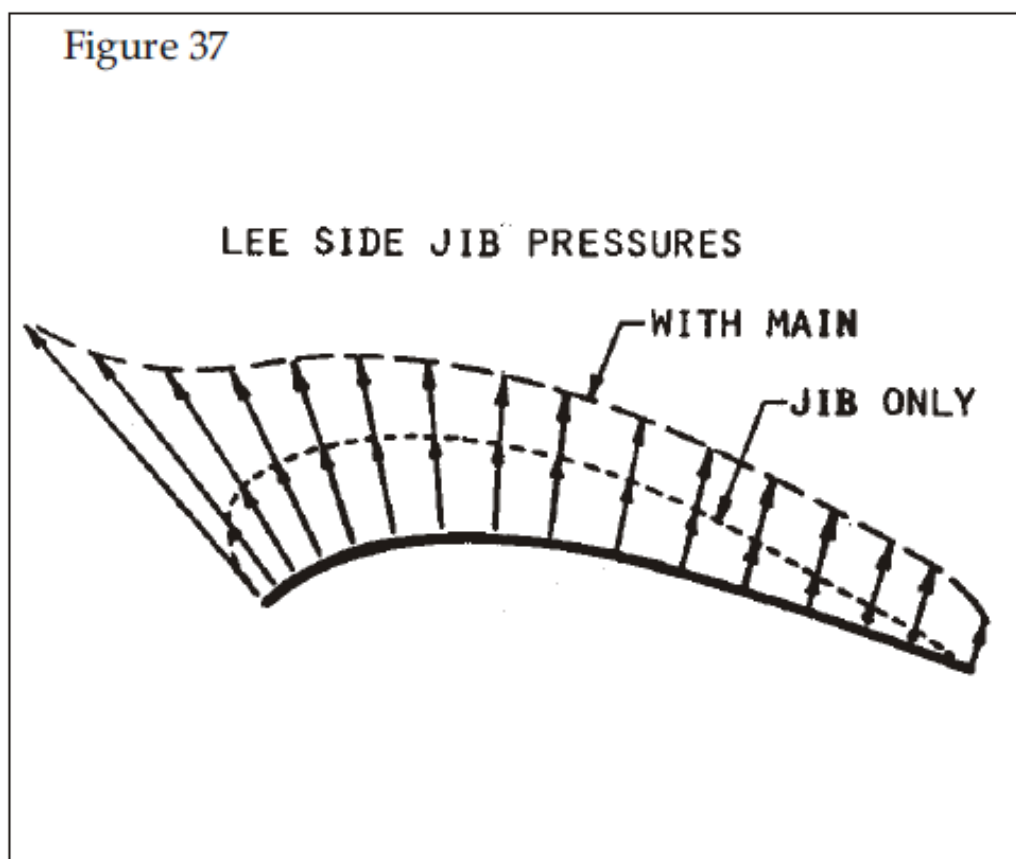


Fig 37. La vela singola ha un campo di circolazione che, quando viene addizionato al campo non-portante, soddisfa le condizioni necessarie per un flusso liscio al bordo di uscita. Quando ci sono due vele, abbiamo due campi di circolazione che si addizionano per creare la situazione totale del flusso. Abbiamo visto come la randa causa lo scorrimento addizionale di aria sulla parte di sottovento del fiocco. La maggior velocità sottovento del fiocco e in più il fatto che la velocità del flusso sul bordo di uscita del fiocco ritorna a una velocità maggiore che su quello della randa significa che il fiocco avrà un differenziale di pressione tra sotto e sopravvento molto più elevato e quindi avrà molta più portanza.

L'aumento della velocità dei flussi sul bordo di uscita inoltre diminuisce la tendenza del flusso di separarsi dal fiocco. Tutto ciò può essere trasformato in una maggior spinta o capacità di stringere meglio il vento.



10. Sommario Dell'Interazione Delle Vele.

Nonostante il fatto che siano interdipendenti, gli effetti più importanti dell' interazione tra fiocco e randa verranno scomposti in effetti del fiocco sulla randa ed effetti della randa sul fiocco.

10.1 Effetti del fiocco sulla randa.

1. Il fiocco causa uno spostamento del punto di ristagno sulla randa verso la parte frontale dell' albero.
2. Come risultato, le velocità massime di risucchio nella parte anteriore sottovento della randa vengono molto ridotte.
3. Dovuto alla diminuzione del gradiente di pressione sulla randa, si riduce la possibilità di separazione dello strato limite e di stallo.
4. Quando è presente il fiocco, una randa può essere usata efficientemente senza separazione e senza stallare ad angoli di attacco più stretti che se non fosse usata da sola. Questo è causato da una riduzione della velocità sulla parte anteriore sottovento della randa piuttosto che un aumento di velocità (che è la teoria comune).
5. Molta meno aria passa tra lo strallo e l'albero quando il fiocco è piazzato nel flusso con la randa. Le circolazioni del fiocco e della randa tendono a opporsi e a cancellarsi a vicenda nella zona tra le due vele. I due campi di circolazione girano nella stessa direzione di fronte alle vele e sulla parte sottovento del fiocco, questo forza più aria a passare dalla parte sottovento del fiocco.
6. Una cazzata del fiocco che lo porta più vicino alla randa crea una continua diminuzione nella pressione di risucchio sulla parte di sottovento della randa. (Esattamente il contrario del comune mito di Venturi). Quando le pressioni su ambo le parti della randa sono uguali non ce più un differenziale di pressione per mantenere la forma del profilo aerodinamico e la vela comincia a fileggiare.

10.2 Effetti Della Randa Sul Fiocco.

1. Il flusso dell' upwash di fronte alla randa causa uno spostamento del punto di ristagno del fiocco verso il suo lato sopravvento e la barca può essere portata più all'orza senza che il fiocco stalli o fileggi.
2. La balumina del fiocco si trova in una zona di alta velocità creata dalla randa. La velocità dell' aria quando esce dalla balumina è quindi più veloce che se il fiocco fosse usato da solo.
3. A causa delle velocità dei flussi nella zona della balumina, la velocità del flusso lungo tutta la superficie sottovento del fiocco aumenta sostanzialmente quando il fiocco e la randa vengono usate insieme. Questo contribuisce all' alta efficienza del fiocco.
4. L'aumento di velocità del flusso sulla superficie del fiocco permettono di usare il fiocco ad angoli più stretti prima che il flusso sottovento si separi e la vela stalli.

5. A causa di ciò, la regolazione corretta e la forma della randa influisce significativamente sull'efficienza del fiocco sovrapposto. Qualsiasi fattore che causi una riduzione di velocità nell'area della balumina del fiocco (come per esempio una separazione nella parte posteriore della randa) risulterà in una riduzione di spinta generata dal fiocco.

6. La regolazione della randa influisce in maniera determinante sulle capacità della barca di stringere il vento siccome influenza direttamente l'upwash che si avvicina all'inferitura del fiocco.

11. CONCLUSIONE

Si è dimostrato che la generazione di portanza di una vela è dovuta alla combinazione di due campi di flussi. Il primo è il flusso generato se l'aria non avesse viscosità. Il secondo è un campo circolatorio intorno al profilo aerodinamico. Quest'ultimo campo circolatorio è un risultato indiretto del fatto che l'aria ha viscosità. L'avvio del campo di flusso circolatorio avviene simultaneamente con la formazione di un vortice iniziale nella regione del bordo di uscita. Le vecchie teorie che dipendevano sul principio di azione e reazione, differenziale di densità dell'aria, o le distanze differenti tra i due lati del profilo aerodinamico sono tutte sbagliate.

L'interazione tra le due vele è molto più complicata di quanto suggerivano le vecchie teorie. Il flusso intorno al fiocco e la randa è il risultato di due campi di circolazione che si sommano l'uno con l'altro.

Queste due circolazioni si oppongono nel canale tra il fiocco e la randa. L'effetto principale del fiocco è di rallentare il flusso sulla parte di sottovento della randa, ridurre il gradiente di pressione e quindi prevenire la separazione sulla randa. Se l'effetto del flusso fosse di aumentare la velocità, come dice la vecchia teoria basata sull'effetto Venturi, la probabilità di separazione aumenterebbe invece di diminuire. La vecchia spiegazione dell'effetto fessura che adopera la teoria di Venturi è completamente sbagliata.

Queste teorie moderne si sono rivelate utili nello sviluppo di strumenti per navigare di bolina (i nastrini). L'idea dell'interazione delle vele dovrebbe aiutare a capire i requisiti per la regolazione ottimale per le andature di bolina. Il concetto d'interazione dovrebbe rivelarsi utile anche nella scelta e nella regolazione dei fiocchi per facilitare il flusso intorno alla randa. La comprensione dell'interazione delle vele ha giocato un ruolo importante nella ricerca dell'autore, ricerca che risultò in un miglioramento del profilo dell'albero usato nelle barche da Coppa America Courageous, Enterprise e Freedom (18 & 19).

12. References

- (1) Bruce Banks and Dick Kenny, LOOKING AT SAILS, SAIL Books, Inc., 1979.
- (2) Jeremy Howard-Williams, SAILS, John de Graff, Inc., 1967.
- (3) Wallace Ross, SAIL Power, Alfred A. Knopf, 1975.
- (4) Alan Watts, WIND AND SAILING Boats, Quadrangle Books, 1965.
- (5) Tony Gibbs, PRACTICAL SAILING, Motor Boating & Sailing Books, 1971.
- (6) Arvel E. Gentry, The Aerodynamics of Sail Interaction, Ancient Interface III, AIAA Symposium, November 1971.
- (7) A.M.O. Smith, High Lift Aerodynamics, AIAA Paper No 74-939, Los Angeles, 1974
- (8) Anthology, THE BEST OF SAIL TRIM, SAIL Books, Inc., 1975.
- (9) Peter Barrett, Carte Blanche, Yacht Racing Magazine, June 1973.
- (10) Stephen Colgate, FUNDAMENTALS OF SAILING CRUISING & RACING, W. W. Norton & Company, Inc., 1978.
- (11) Peter Cook & Barbara Webb, THE COMPLETE BOOK OF SAILING, Doubleday & Company, Inc., 1977.
- (12) Bob Bond, THE HANDBOOK OF SAILING, New York Alfred A. Knopf, 1980.
- (13) Alan Watts, BASIC WINDCRAFT, Dodd, Mead & Company N.Y., 1976.
- (14) C.A. Marchaj, AERO-HYDRODYNAMICS OF SAILING, Dodd, Mead & Company, 1979.
- (15) Stephen Colgate, COLGATE'S BASIC SAILING THEORY, Van Norstrand Reinhold Company, 1973.
- (16) Richard L. Taylor, UNDERSTANDING FLYING, Delacorte Press, 1977.
- (17) Jeremy Howard-Williams, RACING DINGHY SAILS, quadrangle Books, 1971.
- (18) Arvel E. Gentry, Design of the *Courageous* Mast, Yachting Magazine, February 1975.

BIOGRAPHY

Arvel Gentry is presently a research supervisor in the Aerodynamics Research Department at the Boeing Commercial Airplane Company. He has raced his own boats very successfully (primarily in Southern California), and has extensive crewing experience on larger ocean racing yachts. He has authored numerous magazine articles on sailing aerodynamics and sailboat performance. He has conducted research efforts in support of America's Cup projects, and designed the mast section shape used on *Courageous* and *Freedom*. He has also developed specialized sailboat performance recording equipment and served as a sailing performance test engineer on Jim Kilroy's *Kialoa* maxi-boats.