

Aquiloni da Trazione
Disegnarli e farli Volare

A Nonna che mia insegnato i segreti del cucito.

Ringraziamenti: un ringraziamento particolare va a Peter Thomas per aver sviluppato il programma Foilmaker, che rappresenta oggi il software più sofisticato per la progettazione di aquiloni da trazione. E poi grazie a tutti coloro che, condividendo le proprie esperienze sulla Rete, mi hanno permesso di sapere tutto quello che so su questo argomento.

Attenzione: Lo sport dell'aquilonismo e degli aquiloni da trazione in particolare, è potenzialmente pericoloso. Può comportare incidenti gravi, e purtroppo, anche mortali. Utilizzate tutte le precauzioni di sicurezza per voi e per chi vi circonda. L'autore non si assume nessuna responsabilità per qualsiasi danno diretto e indiretto causato da azioni in qualche modo riconducibili a quanto scritto nel libro.

Disclaimer: Tutto quanto è scritto in questo libro, comprese le figure, ove non specificatamente dichiarato, è Copyright dell'autore. È vietata la riproduzione del documento o di parti di esso, con qualsiasi mezzo, non preventivamente autorizzata dall'autore.

Introduzione

Ho scritto questo documento per lasciare traccia dell'esperienza accumulata dalla crescente comunità di kitebuilders che risiede su internet. Molto di quanto è contenuto in questo libro proviene dalla mia personale esperienza e dalla mia interpretazione di quanto si dice sui forum e le mailing-list, che frequento a riguardo.

Non vuole essere né una Bibbia, né tantomeno un Vangelo da seguire alla lettera, voglio solo raccontare quello che oggi penso su come si fanno certi aquiloni da trazione.

Dato che la maggior parte della letteratura reperibile in rete è in Inglese, volutamente utilizzerò, dove possibile, i termini tecnici in questa lingua, in modo da acquistare una certa familiarità con il linguaggio comune che si usa nei forum.

Per quanto voglia trattare l'argomento con la massima semplicità, darò per scontata una minima conoscenza dell'argomento aquiloni in generale; termini come: "finestra del vento", "briglie", cavi di comando, ecc., devono essere perfettamente chiari; per il resto farò del mio meglio per spiegarlo.

Darò per scontate anche delle nozioni basilari di fisica e geometria vettoriale, non vorrei spiegare anche la forza di gravità....

Attenzione però, costruire un aquilone è una cosa impegnativa, sia moralmente che economicamente. Il fallimento è sempre dietro l'angolo e se non vi sentite in grado di reggere il confronto, comprate le vostra attrezzatura bella e fatta, risparmierete tempo e denaro senza perdere comunque le vostre soddisfazioni, perché in fin dei conti, il bello di un aquilone è farlo volare!

Questo non vuol dire che sia inutile proseguire nella lettura, sapere come funzionano, come sono progettati e realizzati ci permette di scegliere con competenza, di tirare fuori il meglio da ogni vela che ci capiterà di utilizzare.

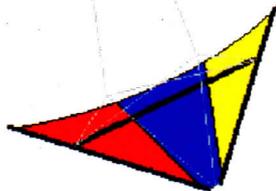
Capitolo 1 – Come è fatto un aquilone da trazione

Tipologie

Ci sono diversi tipi di aquiloni, statici, pilotabili, con armature rigide o gonfiabili, senza armature, per il sollevamento di oggetti o da combattimento... Ciò di cui andremo a parlare più avanti sono gli aquiloni da trazione, pilotabili a due, tre o quattro cavi in special modo parleremo di quelli senza armatura più comunemente detti **foil**.

Aquiloni con armatura rigida

Un classico esempio di questo genere di vele è rappresentato dallo "Speedwing" (Cfr. Stunt Kites I & II). A prima vista sembrerebbe un semplice acrobatico, ma facendoci un volo di prova si capisce subito la potenza di questo aquilone. Sulla rete si trovano diversi progetti e soluzioni per questo genere di ali. Hanno vantaggi e svantaggi, comunque non sono vele che possono raggiungere grosse dimensioni, per ovvie ragioni strutturali.



Pro: sono molto facili da costruire, non hanno più di dieci cuciture da fare, e tre briglie da regolare; sono "stackable" cioè funzionano bene anche in treni di due, tre, quattro o più (se si riesce a farli volare!) per cui, con più ali uguali si possono rinvigorire giornate tranquille e nei giorni ventosi si può volare in compagnia.

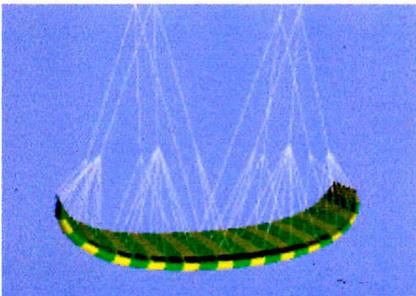
Contro: L'armatura di per se pesa molto, per cui difficilmente il potremo usare con divertimento in condizioni di vento marginale. Inoltre le stecche di carbonio di un certo spessore (devono comunque resistere alla trazione) costano un bel po' e, comunque, si rompono con una certa facilità.

Anche di piccole dimensioni sono un reale pericolo per chiunque si trovi sulla sua traiettoria e quindi poco adatto luoghi affollati. In dimensioni relativamente piccole rappresentano un ottimo compromesso tra costi e risultati.

Se vogliamo un aquilone acrobatico, ma che "tiri" un po', oppure se siamo alla prima esperienza dietro la macchina da cucire e vogliamo qualcosa che vada bene al primo volo; questa potrebbe essere una scelta interessante.

Foil

Oppure detti "ram-air inflatable", assomigliano in tutto e per tutto alle vele da parapendio, per la loro struttura cellulare, ricorda i materassi gonfiabili a mare. La forma è mantenuta dall'aria che entra da particolari aperture sulla prua e da un sistema più o meno complesso di briglie. In seguito approfondiremo ogni particolare di queste ali.



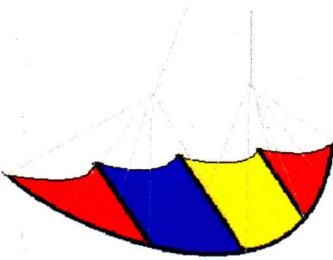
Pro: hanno un'altissima efficienza aerodinamica, poiché rappresentano un profilo alare completo. Sono molto leggeri e quindi adatti anche a venti leggerissimi. Non hanno particolari vincoli dimensionali o strutturali, virtualmente possiamo farlo delle dimensioni o della forma che vogliamo. Sono praticamente indistruttibili, a meno che non lo facciamo schiantare a tutta velocità contro un albero, un foil, con un poco di attenzione, ci dura una vita.

Contro: Sono molto difficili da progettare e realizzare. Richiedono una quantità enorme di cuciture e di tela (circa 3 volte la superficie utile). Per progettare una vela del genere sono necessari: almeno qualche fondamento di aerodinamica, un programma di CAD tridimensionale e un poco di esperienza. È molto facile sbagliare, la differenza tra una cosa che va bene e una che non va affatto è spesso questione di millimetri.

In condizioni di vento molto forte e rafficato, alcuni progetti mantengono con difficoltà la forma, per cui subiscono improvvisi collassi ed altrettanto improvvisi riprese di potenza che possono renderlo incontrollabile.

Ibridi

Come dice il nome sono una via di mezzo. Sono vele a profilo alare, assomigliano molto ai foil ma affidano la loro forma ad una struttura più o meno rigida fatta di stecche o tubolari gonfiabili. In genere rappresentano solo il contorno superiore di un profilo alare per cui sono un po' meno efficienti degli equivalenti ram-air.



Pro: Sono più semplici da realizzare, meno cuciture, meno tela e meno briglie, specialmente se in versione sled (V.).

Mantengono meglio la forma, soprattutto in condizioni di vento forte e rafficato grazie alla struttura più rigida rispetto ai foil; inoltre, per lo stesso motivo, possono raggiungere maggiori velocità di punta. **Contro:** Sono un po' meno efficienti di un equivalente foil ed inoltre sono più pesanti, per cui necessitano di qualche nodo in più di vento per

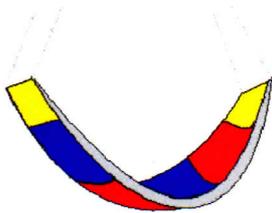
iniziare a volare. Sono relativamente fragili, a causa dell'armatura che non può essere troppo robusta per ovvie ragioni di peso.

Sled

Non rappresentano una vera e propria famiglia, come quelle già descritte, ma, più precisamente sono foil o ibridi che hanno una forma particolare: la vista frontale è un arco di cerchio.

Il vantaggio principale è che questa forma è mantenuta da due sole briglie alle estremità e dalla pressione aerodinamica all'interno del semicerchio.

Nonostante questa forma non sia la più efficiente in assoluto, presenta degli indiscussi vantaggi: primo fra tutti l'assenza di briglie che limita la possibilità ai cavi di intrecciarsi fra loro o impigliare parti della vela. Ultimamente sono diventati molto famosi per la loro particolare attitudine al kitesurf.



Caratteristiche principali di un aquilone di tipo foil

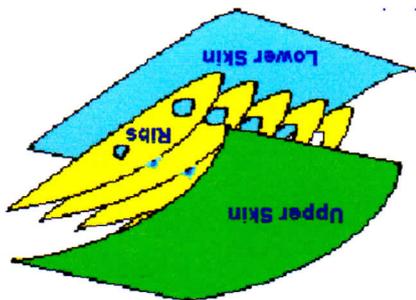
Vediamo di seguito quali sono le componenti principali del nostro aquilone.

Centine (Ribs)

Sono la struttura portante della vela che, meccanicamente, funziona come una trave scatolata. Servono a mantenere il profilo aerodinamico della vela e ne costituiscono la struttura longitudinale. Lo spazio compreso tra due profili contigui è chiamato comunemente **Cella**, al fine di mantenere uniforme la pressione dell'aria all'interno delle celle, le centine hanno dei fori di travaso (**Cross vent**). Al fine di distribuire lo sforzo su tutto il profilo, degli appositi **rinforzi** sono cuciti in corrispondenza degli attacchi per le briglie.

Estradosso ed intradosso (Upper & Lower skin)

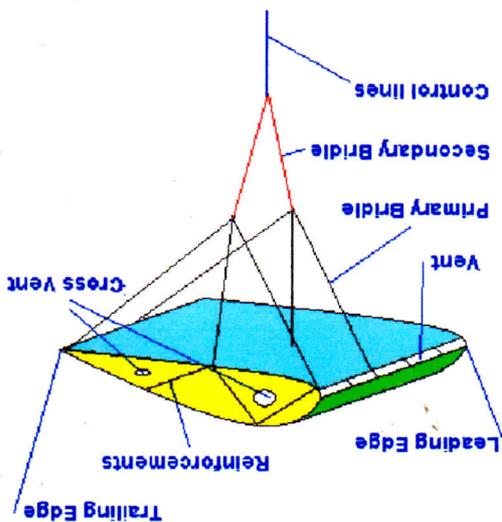
Sono rispettivamente la superficie superiore ed inferiore dell'aquilone. Per rispettare meglio la forma tridimensionale della vela, attualmente sono realizzati cella per cella con dei tagli opportunamente calcolati (**shaped skin**),



invece che essere dei semplici rettangoli di tessuto grandi quanto tutto l'aquilone. Le singole strisce che compongono le superfici, prendendo in prestito un termine marinresco, vengono comunemente chiamati **ferzi**.

Fori di ingresso aria (Vent)

Affinché l'aquilone rimanga gonfio durante il volo, nel bordo di entrata sono praticati dei fori, spesso queste aperture sono realizzate lasciando un certo spazio tra estradosso ed intradosso. Possono essere protetti da una garza, per evitare di riempire le celle con sabbia, rami e sporcizia varia. Spesso, per rendere questi aquiloni stagni, o per migliorarne il gonfiaggio, sia sui fori di ingresso che in quelli di travaso vengono installate delle particolari valvole in tessuto che lasciano fluire l'aria solo in un senso.



Briglie (Bridle)

Per trasferire la potenza dalla superficie dell'aquilone ai cavi di controllo e viceversa i comandi si usa un reticolo di cavi chiamati briglie. Generalmente sono distribuite su due ordini **Primarie** e **Secondarie**, possono avere configurazioni diverse, adattate all'utilizzo a due o quattro cavi.

Materiali

Il materiale usato per la costruzione di questi aquiloni è un tessuto di Nylon o Poliestere più comunemente conosciuto come **Spinnaker** o **Rip-stop**. Ne esistono diverse versioni dalle prestazioni e dai costi diversi, i più comuni sono:

Carrington: Nylon, generalmente pesa 42 g/m², la caratteristica principale è quella di avere una delle due superfici spalmata di un polimero che lo rende impermeabile all'aria ed all'acqua. Ha il difetto che a contatto con l'acqua, la superficie non spalmata, tende ad imbibirsi, appesantendo la vela.

Chickara: ha le stesse caratteristiche del Carrington, con la differenza che entrambi le superfici sono rese impermeabili. E' il tessuto più adatto per aquiloni che possono venire a contatto con l'acqua, con un ottimo rapporto qualità/prezzo.

Icarex: poliestere, esiste in due grammature, 38 e 42 g/m². È un tessuto di lusso, molto più rigido del nylon, assolutamente impermeabile ed idrorepellente, ha lo svantaggio di costare molto, praticamente il doppio degli altri ed è più difficile da cucire perché molto scivoloso. Ha la capacità di aderire perfettamente su una superficie liscia, come un altro pezzo di tessuto, e di rimanere "incollato" grazie alla carica elettrostatica che accumula; questa caratteristica lo rende particolarmente indicato per la costruzione delle valvole di non ritorno sia sui fori di ingresso che sui travasi.

Capitolo 2 – Cenni di aerodinamica

In questo capitolo cercheremo di capire perché un aquilone vola, e perché, quando si progetta una vela, si fanno certe scelte piuttosto che altre. Non scenderò troppo nei dettagli di questo argomento, non è nello scopo del libro, è importante però cogliere tutti quegli aspetti che caratterizzano il nostro progetto, lasciando ad ognuno gli spunti per approfondire i paragrafi che seguono.

Perché l'aquilone vola ?

Semplice! Perché c'è vento!

Sembrerà banale ma è proprio così, il fatto che l'aria si muove intorno all'aquilone basta a generare una spinta e farlo decollare.

Da secoli si studia il volo, i cinesi facevano volare i propri aquiloni migliaia di anni fa, lo stesso Leonardo da Vinci aveva tentato di costruire le sue macchine volanti, ma è solo con l'avvento dei moderni sistemi di ricerca matematica che si sono scoperte e leggi che regolano questo fenomeno.

Ormai i modelli matematici, in un modo o nell'altro, ricostruiscono ogni fenomeno che ci circonda, con un certo livello di approssimazione e affidabilità, ma non sempre le previsioni sono azzeccate, basta pensare a quelle meteorologiche !

In seguito, capiremo perché l'aquilone "tira" di più quanto più corre, che differenza c'è tra una vela e un'altra, ecc.

Portanza

Tutti quanti abbiamo fatto il banale esperimento di mettere la mano fuori dal finestrino della macchina e provato che inclinando il palmo di qualche grado rispetto alla direzione del moto si sente una spinta che ci fa alzare o abbassare il braccio. Questa spinta si chiama appunto **portanza** (Lift). Tre sono le leggi che ne regolano il comportamento, e portano ognuna il nome di chi le ha scoperte:

1) La terza legge di **Newton**

2) L'effetto **Coanda**

3) Il principio di **Bernoulli**

Prima di entrare nel dettaglio facciamo un premessa: indipendentemente da come ci appaiono nella realtà i due attori in gioco, cioè il vento e l'aquilone, la cosa che conta è come si muovono uno rispetto all'altro. Per questo motivo, per semplificare le cose, consideriamo la vela come se stesse ferma e fosse investita direttamente da un flusso uniforme di aria.

Newton

Dopo aver preso la mela in testa ed aver scoperto la legge di gravità ha teorizzato quello che viene chiamato "principio della causa e dell'effetto"

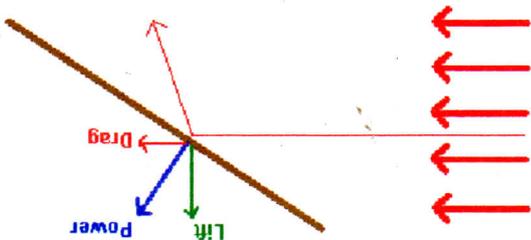
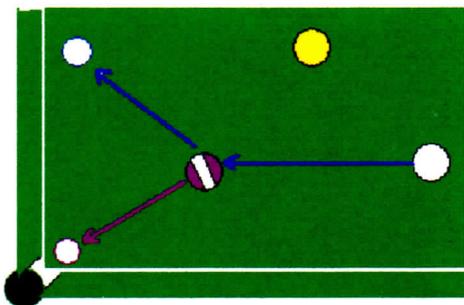
oppure "azione e reazione"; cioè: ad ogni azione applicata ad un corpo corrisponde una reazione uguale e contraria.

E che c'entrano gli aquiloni?

Ogni molecola d'aria che colpisce la vela con un certo angolo la superficie dell'ala viene deviata verso il basso (azione), in un certo qual modo rimbalza e genera una forza che devia l'aquilone verso l'alto (reazione).

Per capire bene questo principio osserviamo bene due bocce da biliardo che si scontrano: la prima, quella in movimento, urta la seconda, e viene deviata in una direzione, l'altra riceve una spinta nell'altra direzione e inizia a muoversi.

Per cui maggiore sarà l'angolo di incidenza (e quindi la deviazione) maggiore sarà la portanza. (fino a 45°, in teoria)

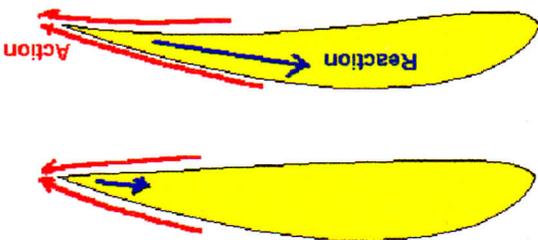


Coanda

Molti dei suoi studi si basano sul principio della conservazione della quantità di moto e quindi sulla legge di Newton di cui abbiamo già parlato. Le sue scoperte si basano sull'osservazione del flusso intorno al profilo.

Nei discorsi fatti fino a questo punto non abbiamo mai pensato a cosa succede al flusso di aria quando esce dal profilo, si è sempre pensato che questo si ricompone più o meno uniformemente nella stessa direzione da cui proveniva prima di incontrare la vela.

Non è così. Se osserviamo la figura, il flusso dell'aria che scorre lungo il



profilo, viene proiettato lungo la tangente del profilo stesso vicino al bordo di uscita. Secondo la legge di Newton di cui sopra, se deviamo l'aria in una direzione avremo una forza che spinge la nostra vela nel senso opposto.

Cioè se noi costringiamo l'aria ad uscire verso il basso ne risulterà un

spinta verso l'alto.

In un profilo convesso, questo effetto dovuto alla superficie superiore viene compensato dallo stesso effetto dovuto alla superficie inferiore, compensazione che diminuisce con l'aumentare dell'incidenza.

In un profilo concavo, invece, la direzione in cui viene spinto il flusso d'aria dalla superficie inferiore concorre a deviare il flusso verso il basso.

Abbiamo definito un altro aspetto che ci farà capire meglio la nostra vela:

A parità di condizioni, un profilo concavo genera più portanza di uno convesso.

Per questo motivo gli aerei usano slats e flaps in fase di atterraggio, per avere, tra l'altro, un profilo concavo e, quindi, maggiore portanza a basse velocità.

La portanza dipende principalmente dalla capacità dell'ala di deviare il flusso perpendicolarmente al piano di volo.

Anche se in realtà le cose sono più complesse (V. teorie sulla circolazione, boundary layer, ecc.), semplicemente guardando la figura di sopra notiamo che il maggior contributo viene dato dalla superficie superiore, per questo motivo, gli aerei portano i motori, i serbatoi e a volte anche i missili, sotto le ali. Proprio perché i disturbi che queste appendici portano all'aerodinamica dell'ala, influenzano il meno possibile la portanza.

È facile scoprire che, cambiando l'incidenza del profilo, cambia direzione della spinta che il profilo riceve.

Bernoulli

Il principio di Bernoulli è anche chiamato "principio della conservazione dell'energia". Per semplificare al massimo questa legge diremo che, in un certo qual modo, per un dato fluido, la somma di temperatura, pressione e velocità è costante. In realtà la formula è ben più complicata ma per noi va bene così.

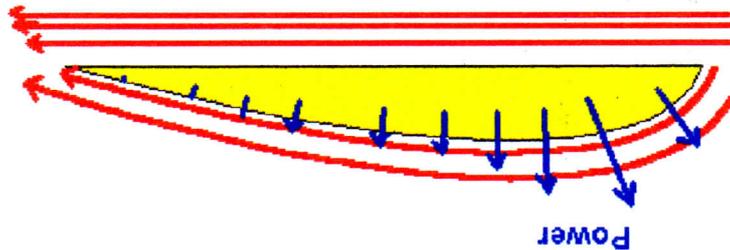
Ciò vuol dire che se aumentiamo una grandezza le altre diminuiscono in proporzione. Manteniamo per ora costante anche la temperatura e vediamo che succede.

Osserviamo il comportamento del flusso d'aria che investe un profilo alare: (1) prima di raggiungere il profilo, le particelle di aria si muovono parallele secondo la direzione del vento e tutte alla stessa velocità.

(2) Quando incontrano la vela, alcune di esse sono costrette a correre lungo il profilo percorrendo un percorso più lungo (V. fig.) rispetto a quelle che invece procedono lungo il percorso rettilineo.

(3) Per poter ristabilire il flusso uniforme a fine profilo queste particelle devono perciò aumentare la loro velocità.

(4) Secondo Bernoulli, affinché questo avvenga, la pressione deve diminuire lungo il profilo.



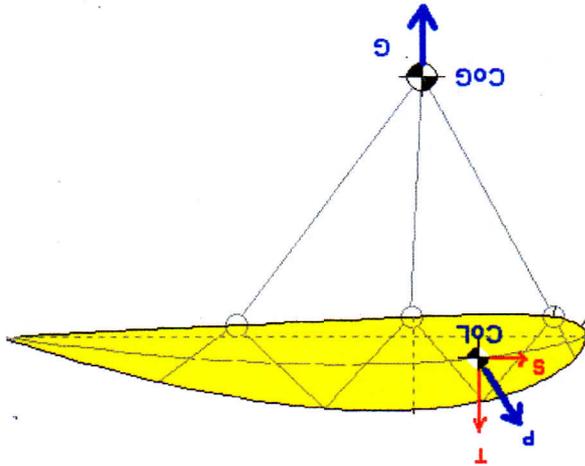
Abbiamo notato, perciò che se il nostro profilo viene investito da una corrente d'aria subisce una depressione, una specie di risucchio nella sua parte più curva, e tanto maggiore sarà la curvatura tanto maggiore sarà questa forza. Se consideriamo un profilo simmetrico, cioè con uguale curvatura su entrambi i lati, queste due forze sono uguali e contrarie e non sortiranno nessun effetto sulla nostra vela come una nave con il timone al centro, procede dritta (non è proprio così, ma per noi va benissimo). Se, invece, ci troviamo di fronte ad un profilo asimmetrico, cioè con una superficie più curva dell'altra notiamo che esiste una differenza di pressione, che tende ad aspirare la vela verso l'alto.

A questo punto possiamo dire che un profilo asimmetrico, investito da un flusso d'aria viene risucchiato piuttosto che spinto nella direzione della curvatura maggiore e, tanto maggiore è lo spessore del profilo, maggiore sarà la sua portanza.

Spesso si tende a sopravvalutare questa legge, indicandola come la causa principale della portanza, questo non è vero. Primo, perché uno dei presupposti affinché il principio sia verificato, i filletti fluidi dovrebbero ricongiungersi alla fine dell'ala, e questo non è vero. Secondo, perché la spinta, generata a causa della variazione di pressione sulla superficie dell'ala, è piccola rispetto a quanto causato dagli altri due effetti che ho già descritto. E comunque importantissimo sapere come agiscono le pressioni sulle superfici alari, perché questo influenza drasticamente il comportamento dell'ala al variare della velocità.

Spinta

Finora abbiamo parlato di portanza in modo generale, come quella forza che tiene la vela in aria, ma in realtà, facendo volare un aquilone, ci rendiamo conto che gli effetti di questa forza sono due e ben distinti. Uno diretto lungo la direzione dei cavi e che chiameremo **trazione - T**, ed uno che spinge l'aquilone verso avanti e che chiameremo **spinta - S**.



Questo perché la direzione del vettore portanza non è perpendicolare al profilo, ma diretta leggermente in avanti.

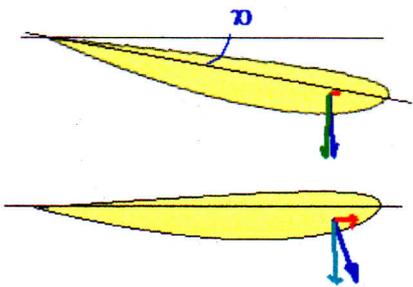
Nella figura al lato possiamo osservare questo fenomeno.

Possiamo anche osservare che ad ognuna di queste componenti si oppone una forza ben specifica: alla trazione si oppone direttamente il nostro peso tramite i cavi di controllo, mentre alla spinta si oppone la resistenza aerodinamica.

Questo ci permette di capire che, quando la portanza è massima, l'aquilone accelera, perché la spinta è maggiore della resistenza, mentre man mano che ci avviciniamo al bordo della finestra rallenta, perché la spinta diminuisce e le forze tendono ad equilibrarsi.

In tutto questo gioco di forze non abbiamo ancora inserito il peso dell'aquilone, che può essere determinante in condizioni di vento leggero, trascurabile in condizioni di vento più forte. È facile intuire che in una situazione in cui la vela ci trascina via, anche 2 kg di tessuto e cavi sono poca cosa contro i nostri 70 kg, ma quando teniamo i cavi con un dito, a anche 20 grammi possono far volare o meno il nostro aquilone.

Come possiamo vedere dalla figura al lato, l'entità della spinta, varia in funzione dell'angolo d'incidenza, ed è **proporzionalmente più grande tanto minore è l'angolo di incidenza**. Questo vuol dire, che aumentando l'angolo, aumenta sì la portanza, ma si riduce la quota che partecipa al moto dell'aquilone. Che però non vuol dire che diminuisce in valore assoluto! Nel nostro caso le differenze sono molto più sottili, ed è su questo campo che si misura tutto il mondo dei costruttori.



(Es. il 10% di una portanza di 100kg vale il doppio del 50% di una di 10kg)

Resistenza

Rimaniamo con il braccio fuori dal finestrino, oltre la spinta verso l'alto notiamo che dobbiamo fare un certo sforzo a mantenere il braccio orizzontale. Cioè la nostra mano incontra una certa resistenza all'avanzamento.

Anche qui abbiamo diversi motivi che dipendono dalle grandezze in gioco e con le quali dobbiamo confrontarci nel nostro progetto di aquilone.

Resistenza all'avanzamento

Il profilo deve fare uno sforzo per spostare le particelle d'aria sopra e sotto e passarci dentro, ovviamente l'energia necessaria per questo lavoro la prende a scapito della propulsione. Tanta più aria deve spostare, tanta più energia dovrà "sprecare", per cui la resistenza è direttamente proporzionale alla proiezione della vela nel senso del moto. Per fare un esempio pratico: proviamo a piantare qualche chiodo in un pezzo di legno, è facile

sperimentare che tanto più il chiodo è grande tanto più è difficile da infiggere.

Dopo questo semplice esperimento possiamo affermare che:

La resistenza è direttamente proporzionale allo spessore del profilo.

Notiamo, inoltre che la proiezione nel senso del moto aumenta all'aumentare dell'incidenza perciò **la resistenza è anche direttamente proporzionale**

all'angolo d'attacco.

Quest'ultima affermazione è supportata anche dalla legge di Newton che abbiamo visto per la portanza: in realtà la spinta generata dalle particelle d'aria non è orientata direttamente verso l'alto, ma più o meno perpendicolare al piano incidente, se togliamo la componente utile di portanza, rimane una componente nella direzione del moto ma con verso contrario... resistenza.

E' facile scoprire che la capacità di un profilo di penetrare nell'aria è determinata anche dalla sua forma, in particolar modo dalla forma della punta.

Proviamo a piantare un chiodo senza punta... rispetto ad uno affilato... la differenza si vede, eccome!

La resistenza è funzione del tipo di profilo, principalmente della forma della parte anteriore.

Attrito

Anche se ci sono teorie per cui esiste uno strato limite per cui l'attrito è aria - aria e non aria - superficie ecc... Ci basta sapere che esiste e che la rugosità della superficie e la natura del materiale in qualche modo influenzano il volo dell'ala e soprattutto la distribuzione delle velocità lungo il profilo.

I programmi di calcolo tengono in particolare considerazione lo spessore di questo strato limite (boundary layer) che, la fisica ci insegna, è strettamente legato alla pressione esercitata sul profilo.

In generale possiamo farci poco; i materiali di costruzione sono quelli che troviamo sul mercato, non possiamo inventare nulla di diverso.

Per contro, non ci metteremo ad analizzare numericamente le caratteristiche di un profilo, non è nello scopo di questo libro; sappiamo però che laddove la pressione è più alta avremo un attrito maggiore, e uno strato limite più sottile, e viceversa nelle zone di minore pressione. Per questo avremo cura di alcuni particolari nella costruzione.

Resistenze passive

Per resistenze passive intendiamo tutti quei fenomeni che, pur non rappresentando delle forze dirette contro l'avanzamento, tendono a diminuire la potenza utile a generata dall'ala.

Fino ad ora abbiamo considerato il flusso d'aria intorno all'ala come se fosse uniforme, liscio; che il nostro profilo fosse perfettamente rigido e infinito, cioè che gli stessi fenomeni fossero identici per tutta la larghezza dell'ala.

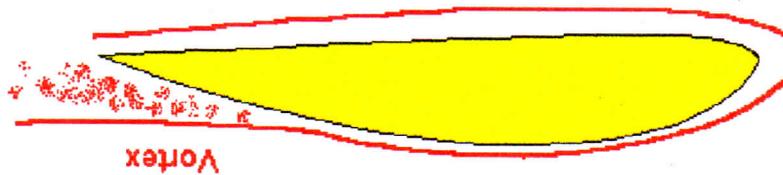
Inutile dire che sarebbe troppo facile.

Prima di tutto il flusso non è così perfettamente laminare, cioè non percorre tutto il profilo dalla punta alla coda, ma esiste un punto in cui questo si distacca generando vortici (V. fig. 4).

Per capire questo fenomeno ci aiuta Bernoulli: abbiamo visto che l'aria passando dal bordo di entrata e andando verso il bordo di uscita aumenta la propria velocità a scapito della pressione, trasferendo energia da una grandezza all'altra, poi rallenta recuperando pressione. Le osservazioni alla galleria del vento ci dicono che il processo è più "facile" all'andata, piuttosto che al ritorno, cioè la transizione può essere più repentina nel bordo d'ingresso, ed è per questo che i profili hanno il loro massimo spessore abbastanza avanti.

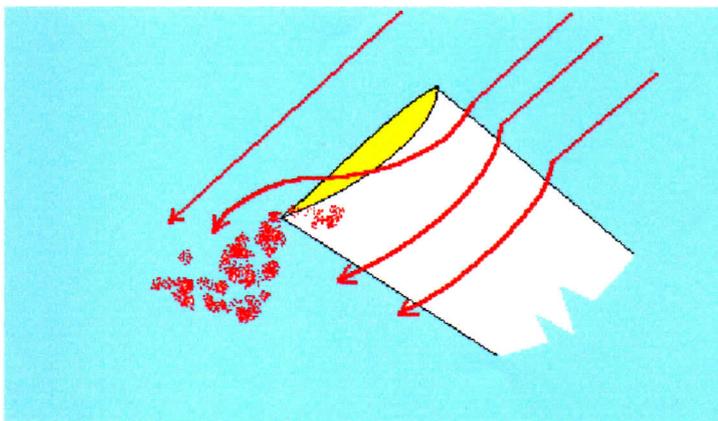
A questo punto si è scoperto che, se il recupero di pressione avviene troppo repentinamente, cioè si costringe il flusso a ripristinare la propria velocità senza avere il tempo di recuperare pressione, questo tende ad allungare il suo percorso in tutti i modi, nel nostro caso generando vortici, e quindi abbandonando il flusso laminare lungo la vela.

La variabile che regola questo fenomeno è ancora una volta la forma del profilo, ma questa volta è la parte che va dal punto di massimo spessore in poi. Per cui **data un certa velocità esistono profili che hanno punti di distacco differenti.**



Se noi avessimo considerato la depressione sull'estradosso, l'unica causa della portanza, questa situazione sembrerebbe favorevole, perché riusciremmo a mantenere bassa la pressione su di una porzione di profilo maggiore, in realtà i distacchi del flusso dal profilo generano una resistenza significativa, perché annullano, almeno parzialmente l'effetto Coanda (V. Figg.) che, dimensionalmente, è molto più grande. Altri distacchi possono essere generati, o meglio, aiutati da qualsiasi discontinuità della superficie del profilo (cuciture, rinforzi, protuberanze.ecc). Per questo motivo, preferiremo mantenere i risvolti delle cuciture sull'intradosso.

Tip drag: con questo termine si definiscono le resistenze passive generate



all'estremità dell'ala. A tutti ci è capitato di vedere durante una gara di Formula 1, soprattutto sotto la pioggia, che, ad alte velocità, appaiono due vortici alle estremità degli alettoni posteriori. Questo genere di vortice esiste sempre, soprattutto se l'ala finisce in modo tronco, non si vede, ma esiste.

I filetti fluidi che scorrono sull'ala sono costretti da questa a percorrere il percorso più lungo, non hanno scelta; per contro quelli che si trovano in prossimità della fine non hanno vincoli fisici e quindi tenteranno a tutti i costi, nel momento che hanno abbastanza energia, di scavalcare l'ala e ricongiungersi con il resto del flusso. A questo punto si genera una zona di turbolenza a valle delle estremità, la quale è tanto più intensa quanto maggiore è la velocità e quanto più è improvviso il passaggio tra il flusso che passa sull'ala e quello che procede indisturbato. La generazione di queste turbolenze sottrae anch'essa energia dal flusso.

Abbiamo stabilito un altro parametro importante: un'ala con le ali tronche offre maggiore resistenza di una con ali rastremate.

Stallo

Fino ad ora abbiamo capito che la nostra ala funziona grazie ad un flusso più o meno laminare che scorre sulle sue superfici; abbiamo visto che nonostante un certo grado di turbolenza il profilo funziona lo stesso. Abbiamo visto che aumentando velocità, spessore, incidenza aumentano in proporzione portanza e resistenza, vortici ecc... Per ottenere i nostri obiettivi possiamo stressare queste grandezze, le turbolenze aumenteranno, i distacchi saranno sempre più frequenti e interesseranno una parte più grande dell'ala fino al punto che tutti i filetti si distaccano e l'ala non porta più, la proporzione tra portanza e resistenza diminuisce drammaticamente a favore della resistenza e l'aquilone cade; questo punto si chiama stallo. Tra l'altro per recuperare il volo normale, l'ala ha bisogno di condizioni decisamente migliori di quelle che hanno determinato lo stallo. (Lo sa bene un windsurfista quanta forza ci vuole per recuperare da uno spin-out) L'esperienza ci insegna che ci sono alcuni profili che stallano più facilmente di altri, e ci sono altri, invece, che recuperano meglio. Comunque sia, dobbiamo evitare a tutti i costi di arrivare a questa situazione, proprio perché riuscire a ripristinare le condizioni per il volo normale è spesso impossibile prima che l'aquilone sia caduto a terra.

Un'altra situazione di stallo, la più frequente, si manifesta al top della finestra, soprattutto con ali particolarmente veloci e pesanti come gli ibridi gonfiabili. Come abbiamo visto nel paragrafo precedente, man mano che ci si avvicina al bordo della finestra, la spinta diminuisce e l'aquilone rallenta, questo perché la resistenza è maggiore della spinta (se fossero uguali, la vela si muoverebbe di moto uniforme); rallentando, diminuisce anche la resistenza, questo sistema dissipa energia finché si trova in una situazione di equilibrio ad aquilone fermo.

In questo gioco di forze conta molto anche il peso dell'aquilone, cioè la sua "inerzia", per semplificare le cose, diciamo che la differenza spinta-resistenza tende a frenare l'aquilone, ma deve essere abbastanza grande da farlo prima che questi abbia raggiunto lo zenith, altrimenti l'aquilone esce dalla finestra del vento, cioè da quella zona di cielo in cui è capace di volare, e cade. Per ovviare a questo inconveniente, le strade sono tre:

- 1) alleggerire la vela, è ovvio che oltre un certo limite non si può andare;
- 2) (soluzione per vela facile) creare una vela un po' meno efficiente, tale che la resistenza sia sempre abbastanza alta da evitare che arrivi troppo veloce a bordo finestra e che l'azione frenante sia più efficace possibile;
- 3) (soluzione per vela ad alte prestazioni) spingere al massimo l'efficienza, il pilota si troverà poi ad agire manualmente, tramite opportuni dispositivi (treni, depower, ecc.) per frenare l'ala e mantenere una posizione neutra, alla minima distrazione... vela giù: solo per kiter esperti.

Conclusioni

Abbiamo visto che i fenomeni, che interessano un'ala investita da un fluido come l'aria, sono molteplici, i principi che ne regolano il funzionamento sono complessi e spesso contrastanti. La scelta dei parametri di progetto è il risultato di una serie di compromessi che non sempre sono di facile comprensione anzi, in molti casi l'esperienza ci dice che la soluzione più razionale non è quella migliore.

Già Leonardo da Vinci aveva capito che in fluidodinamica i calcoli non sono tutto: "Nel parlar de l'acque guarda prima all'esperienza e poi alla ragione". Anche oggi, nonostante i sistemi di calcolo abbiano raggiunto sofisticazioni incredibili, nessun computer è riuscito a sostituire del tutto la galleria del vento o la vasca navale.

Questo ci fa capire quanto sia importante, per noi poveri mortali che non possiamo permetterci una galleria del vento in casa, conoscere le esperienze di tutti coloro che operano e progettano aquiloni come noi. L'esperienza sul campo di centinaia di aquilonisti è più preziosa di qualsiasi programma di calcolo fosse anche il più potente e sofisticato del mondo. Anche in Formula1 dove le risorse sono pressoché infinite, gli alettoni vengono calcolati, provati in galleria del vento, ricalcolati e studiati, ma nulla riesce a sostituire la prova in pista del collaudatore o del pilota. E così, non possiamo farci nulla, la natura non è così razionale.

È il risultato di tanti compromessi dove man mano che ci si evolve si favorisce l'uno o l'altro parametro, spesso fattori esterni ci aiutano, come materiali, allora possiamo modificare le cose e migliorare ancora. Non si parte mai da zero, si prende quanto già esiste, si modifica, si migliora; anche per questo motivo non esiste la vela migliore del mondo, esiste solo quella che più si adatta alle nostre esigenze, quella che va veloce anche se tira poco, perché ci piace così oppure che va lenta ma tira come un trattore perché ci piace in quest'altro modo.

Prima di affrontare un progetto occorre stabilire con cura le caratteristiche di volo.