



Capire il volo

ovverossia:

La corretta concezione della portanza

Realizzare un modello volante partendo da zero assume anche una certa valenza culturale: infatti, qualunque sia lo spunto iniziale, bisogna fare uno schizzo quotato, passare ad un disegno costruttivo (magari tracciato su carta da pacco), fare qualche semplice calcoletto per verificare i parametri fondamentali (superficie alare, allungamento, carico alare, ecc.). Per fare ciò s'impegnano tutte le nozioni che si hanno, tenendo sottomano il nostro testo preferito e qualche rivista aeromodellistica (leggendo tra le righe, si trovano sovente molti spunti utili). Per chi s'interessa d'aviazione e pratica l'aeromodellismo da anni, è ovvia la constatazione che l'aerodina (modello volante o aeroplano che sia) sta in volo perché sostenuto dalla portanza generata dall'ala, per via dell'impatto con l'aria ad una certa velocità (velocità di sostentamento). Nel volo orizzontale, la portanza è esattamente uguale al peso del modello completo. Sin qui tutto normale, tutti d'accordo. La questione si complica se ci si pone la domanda "Come si forma la portanza?". Tutti i testi divulgativi di aerodina-

mica elementare forniscono una semplice ed esatta risposta: la portanza è la componente verticale della reazione aerodinamica, mentre la resistenza ne è la componente orizzontale (Fig. 1). Mettiamo a computer questa nozione: è una semplice constatazione, non una spiegazione. Per approfondire il discorso, si fa normalmente un discorso di questo tipo: il contorno superiore del profilo (extradosso) è normalmente più lungo di quello inferiore (intradosso). Prendiamo in considerazione due molecole d'aria, scelte

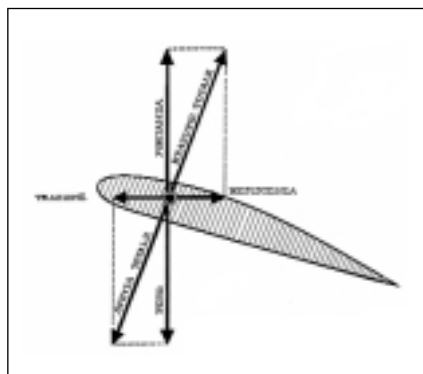


Fig. 1: Forze agenti sull'ala anche in un velivolo privo di motopulsore ad elica.

tra i miliardi che si presentano al bordo d'attacco, dove si separano. Una scorre sul dorso, l'altra sul ventre (Fig. 2). Se si devono tassativamente incontrare al bordo d'uscita, quella sul dorso dovrà camminare un po' più velocemente.

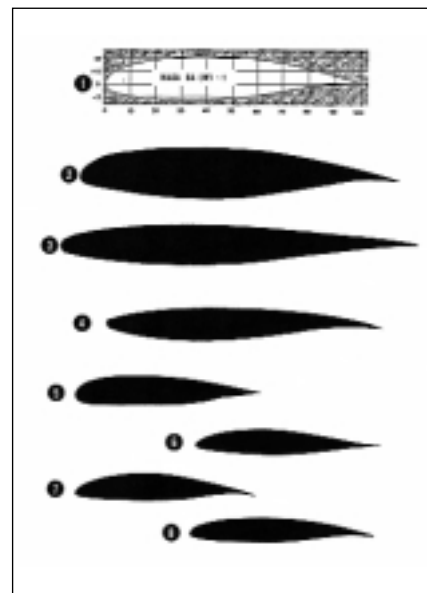
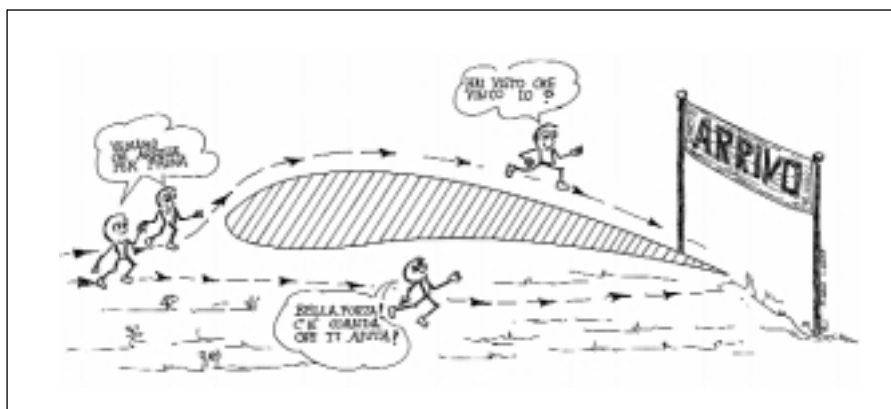


Fig. 3: Questi profili, adottati per le ali di moderni velivoli da trasporto e da turismo, presentano il contorno ventrale più lungo di quello dorsale. Dall'alto in basso: 1) NASA GA(W)-1, calcolato da Whitcomb, al quale si devono anche la regola delle aree (volo supersonico) e le alette d'estremità. 2) Do A-5 (Dornier), basato sugli stessi principi di Whitcomb, come i seguenti. 3) A 300 B10X-13 (Airbus) 4) A 300 B2/B4 (Airbus) 5) Peterson-Chen 6) Jacobs 7) Eagle 1 8) Whitcomb (aerei da turismo) Secondo la "teoria della gobba", non potrebbero generare portanza (!?!)

Fig. 2: Sul dorso del profilo le molecole d'aria corrono più velocemente, però non basta...



E qui cominciano i dubbi: non esiste alcun principio fisico, corretto teoricamente e verificato sperimentalmente, che obblighi le nostre molecole ad arrivare al bordo d'uscita esattamente nello stesso istante. Muovendosi sul dorso e sul ventre del profilo, l'aria genera una pressione dinamica, che dipende dalla sua densità e dal quadrato della velocità di traslazione. A questo punto - regolarmente - si tira in ballo il teorema di Bernoulli: in parole povere si stabilisce e si dimostra che in ogni punto di un fluido in movimento (aria o acqua), la somma della pressione

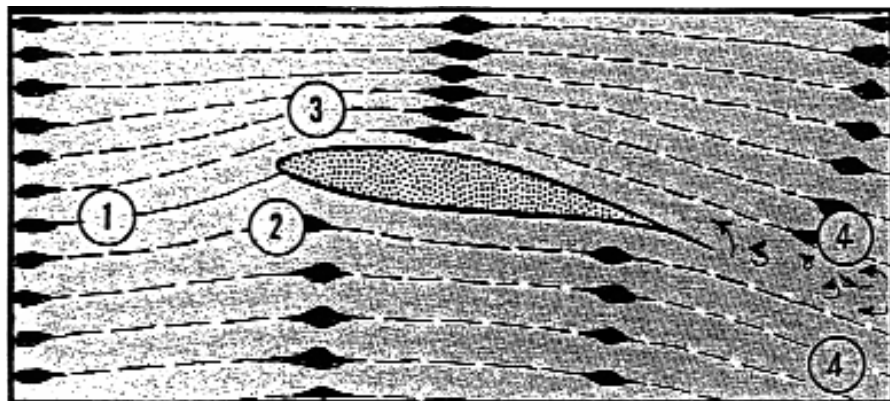


Fig. 4: Le nuvolette di fumo sotto al profilo rallentano cospicuamente.

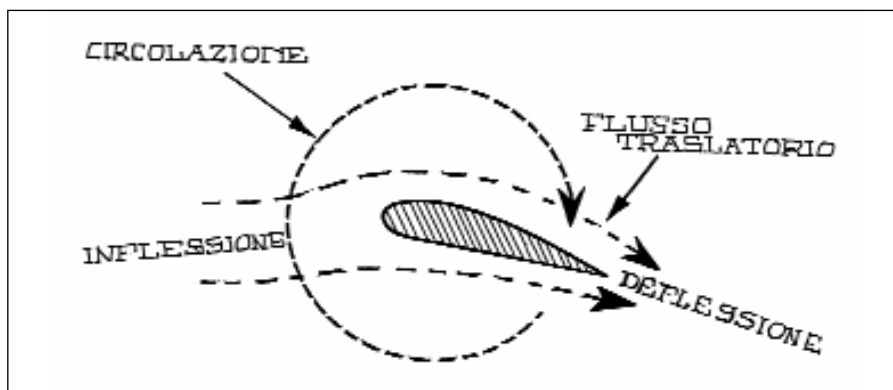


Fig. 5: Se le molecole d'aria fossero visibili, un osservatore immobile vedrebbe la "circolazione" attorno all'ala in movimento; se si muovesse assieme all'ala, vedrebbe il flusso traslatorio, con "inflexione" e "deflessione".

statica e di quella dinamica rimane costante. Bernoulli aveva eseguito le sue sperimentazioni in tubazioni: si considera quindi l'ala immersa in un ipotetico condotto. I limiti superiore ed inferiore sono costituiti dal livello dove cessa l'effetto della pressione dinamica. Sul dorso e sul ventre risultante (cioè quella che interessa agli effetti del volo, visto che la pressione dinamica non interessa all'ala) risulta inferiore a quella atmosferica, per via delle pressioni dinamiche sopra citate. Purtroppo lo scostamento tra le due è molto piccolo: infatti la differenza di lunghezza tra extradosso ed intradosso è molto piccola, tipicamente compresa tra il 2% ed il 4%. A questo proposito osservate la tabella allegata, che si riferisce a profili impiegati da parecchi decenni in aviazione e in aeromodellismo. Esistono anche profili (Fig. 3), nei quali il contorno ventrale è più lungo di quello dorsale: secondo la citata interpretazione del teorema di Bernoulli, non potrebbero volare. Parimenti non dovrebbe essere possibile il volo rovescio, né il volo di acrobatici (aeroplani ed aeromodelli), nei

quali ala e stabilizzatore sono muniti di profili biconvessi simmetrici calettati a zero gradi. Tutto ciò è noto come la "teoria della gobba". Poniamoci la domanda: quale spinta dev'essere esercitata sul ventre dell'ala per sostentarla? La risposta sta scritta su ogni manuale di aeromodello che si rispetti: la spinta deve uguagliare il peso del modello, cioè su ogni decimetro quadrato d'ala deve esse-

re esercitata un spinta pari al carico alare. Applicando Bernoulli siamo ben lontani dall'ottenere il valore desiderato. Da sempre siamo stati ingannati, depistati da insegnanti e sacri testi che attribuivano al buon Bernoulli una responsabilità che lui - per amore di verità storica - non si era mai attribuito. Qualche dubbio in proposito era venuto, parecchi decenni fa, anche a chi scrive; come giovane studente universitario si guardò bene dal contestare la scienza ufficiale. Osserviamo ora la Fig. 4, che rappresenta ciò che avviene in una galleria a fumo, nella quale quest'ultimo venga alimentato in modo intermittente (pulsante) e non continuo, come si fa di solito. Notiamo subito che: a) le nuvolette di fumo scorrono più velocemente sul dorso, quindi il flusso dorsale lascia l'ala ad una velocità superiore a quella di arrivo. Domanda: chi ha fornito l'energia necessaria? b) il flusso s'inarca poco prima di giungere al bordo d'attacco (inflexione). Domanda: chi gli ha fornito l'accelerazione necessaria? c) allontanandosi dal profilo, il flusso risulta deviato verso il basso (deflessione).

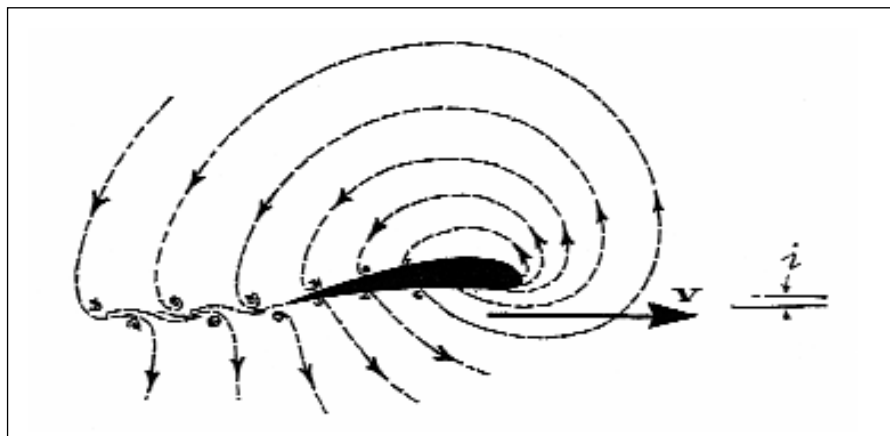


Fig. 6: Rappresentazione della circolazione in un classico testo degli anni '30.

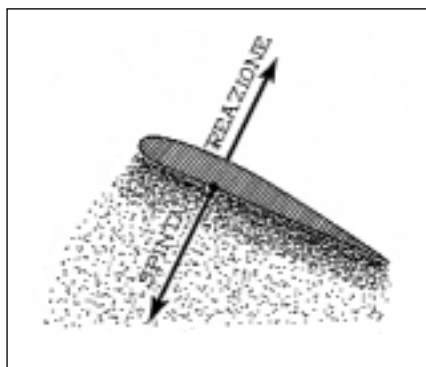


Fig. 7: Percuotendo l'aria (come una pala d'elica) l'ala provoca la "costipazione" delle molecole d'aria sotto al profilo.

Domanda: perché non se ne va via diritto, com'era arrivato al bordo d'attacco? Abbiamo così delineato i primi elementi costitutivi della corretta concezione della portanza: inflessione e deflessione fanno parte di quel fenomeno detto circolazione o circuitazione, che richiede un minimo di riflessione per essere correttamente inteso. Normalmente si rappresenta il flusso sopra e sotto l'ala evidenziando inflessione e deflessione: questo è quello che potremmo vedere, qualora le molecole d'aria fossero visibili, se ci muovessimo parallelamente all'ala, alla sua stessa velocità. In una galleria del vento, opportunamente attrezzata, si vedrebbe anche il flusso circolatorio (Fig. 5): di tratta di una fotografia realizzata, con opportuni accorgimenti, dal Gen. Bernasconi, del genio Aeronautico, agli inizi del 1900. La Fig. 6 mostra come veniva rappresentata la circolazione in un quotato testo degli anni '30. Come si vede, la corretta concezione della portanza, che stiamo mettendo assieme, non è una geniale intuizione dei nostri giorni; come un mosaico di pregio, è formato da tante tessere, che sinora erano state prese in considerazione una ad una, mai globalmente. A tutto ciò dobbiamo aggiungere l'effetto Coanda, scoperto dall'ing. franco-rumeno Henri Coanda: per via della viscosità, l'aria tende ad aderire a qualsiasi superficie curva, sia sul dorso (convessità), sia sul ventre (concavità). Questo principio è il responsabile primario della citata circolazione. Come spiegare la portanza, visto che abbiamo giubilato il teorema di Bernoulli? La salvezza ci viene dal principio di Newton (azione e reazione). L'ala, traslando nell'aria, impartisce ad essa un impulso notevole: la reazione a questa spinta è la risultante aerodinamica, che scom-

poniamo in portanza e resistenza per nostra comodità di ragionamento (Fig. 7). Non ci hanno sempre insegnato che sull'ala si sviluppa una reazione aerodinamica? Se c'è una reazione, quale è l'azione? E' la "sberla" che l'ala esercita in continuità sull'aria: moltiplicando la quantità d'aria deviata verso il basso per la sua velocità verticale di discesa, si ottiene una spinta uguale al peso dell'aerodina in volo. Se l'aeroplano sorvolasse a bassa quota un'ipotetica enorme bilancia, munita di un piatto tanto grande da poter raccogliere tutta l'aria deviata in basso, si registrerebbe il peso dell'aeroplano in volo (Fig. 14). Un'elica, una ventola, un rotore d'elicottero spingono dietro di sé una grande quantità d'aria, per ottenere lo scopo voluto: esattamente la stessa cosa avviene per l'ala. L'unica differenza, irrilevante dal punto di vista concettuale, sta nel movimento: è traslatorio nell'ala, è rotatorio per elica, ventola, rotore d'elicottero. Prendiamo in considerazione un motomodello in volo orizzontale: l'elica spinge dietro di sé una quantità d'aria ad una velocità tale, da produrre una reazione esattamente uguale alla resistenza globale da vincere. Tutto ciò è lapalissiano, d'accordo; però non si era mai pensato di mettere assieme, in modo razionale, tutte queste considerazioni e nozioni, note praticamente dagli albori dell'aviazione.

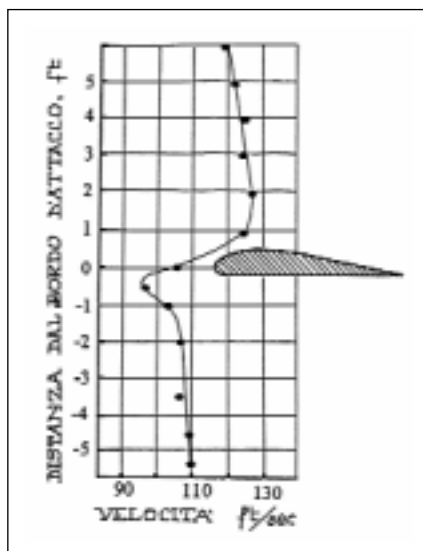


Fig. 9: Le velocità sopra e sotto l'ala del Cessna 150, a diverse distanze verticali dal bordo d'attacco. Ad 1 piede di distanza (circa 30 cm) si ha: sopra 125 ft/sec; sotto, 105 ft/sec. Questa differenza di velocità non è sufficiente per produrre la portanza necessaria.



Fig. 8: Sull'asta rigida, fissata sul bordo d'attacco, sono installati tubi di Pitot che si possono bloccare a diverse altezze. E' così possibile misurare le pressioni dinamiche e quindi la velocità del flusso a diverse altezze, sopra e sotto l'ala.

In America è stato eseguito un interessante esperimento: su un tubo verticale, fissato al bordo d'attacco di un Cessna 150, sono stati sistemati tubi di Pitot, con la possibilità di bloccarli a diverse altezze (Fig. 8). E' stato così possibile misurare le velocità sul dorso e sul ventre del profilo, a diverse distanze dallo stesso. I risultati sono sintetizzati nella Fig. 9, confermando tout court che l'applicazione del teorema di Bernoulli non spiega la generazione della portanza. La differenza di pressione è troppo piccola: ci vorrebbe un profilo come quello della Fig. 10!! Tirando le somme, anziché pensare che l'ala si sostenga in volo grazie al differenziale di pressione (Bernoulli), conviene mentalmente immaginare l'ala come una pompa d'aria, oppure come un grande condotto (come quelli per l'aria condizionata), che scaraventa in basso una grande quantità d'aria (Fig. 11): pensiamo ai tetti scoperti nei dintorni di Malpensa 2000 (Fig. 12). Qui, gli inconvenienti citati sono stati frettolosamente attribuiti ai vortici d'estremità, ma in realtà non sono loro i veri colpevoli: in genere tendono ad allontanarsi tranquillamente dietro il velivolo (Fig. 13). La quantità d'aria scaraventata in basso si può determinare - come ordine di grandezza -

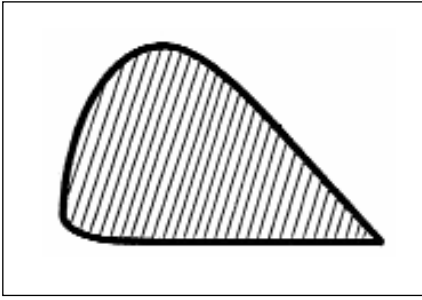


Fig. 10: Secondo la "teoria della gobba", un profilo portante dovrebbe essere così; evidentemente c'è qualcosa che non quadra!! Vedere il testo.

con quattro calcoletti semplici, semplici: li omettiamo per non annoiare troppo i lettori. Si tratta comunque di quantità enormi, proporzionali al peso ed alla velocità del velivolo.

Che cosa cambia ora, a causa del corretto principio della portanza? Per il momento assolutamente niente: ci vorranno decenni prima che esso diventi patrimonio comune e compaia sui sacri testi. E' inutile chiederci come mai una concezione errata abbia resistito per decenni: aveva scritto il grande scienziato aerodinamico Theodore Von Karman: "Quando parlate a persone incolte, dovete fare ricorso a plausibili falsità, anziché a verità difficili da intendere". La spiegazione basata su Bernoulli è infatti accattivante e d'immediata percezione. Come aeromodelisti, appassionati d'aviazione, siamo soddisfatti di essere arrivati per primi al concetto esatto della portanza. Lasciando ai giovani l'incombenza di ri-

leggere queste note tra un po' di tempo (diciamo tra una ventina d'anni), per ora possiamo azzardare alcune ipotesi: 1) visto che i vortici d'estremità non sono creati dal debole differenziale di pressione (Bernoulli), ci sembra che, a proposito delle alette d'estremità, Hoerner ci abbia azzeccato meglio di Whitcomb. 2) Sarebbe interessante conoscere fino a che altezza, sopra e sotto il profilo rimanga influenzato dal fenomeno circolatorio (Fig. 9). Probabilmente saranno necessarie galleria del vento di concezione completamente di-

verse da quelle attuali. 3) Quando usiamo un profilo che mostra, per esempio, un'efficienza aerodinamica $E = 20$ misurata in galleria, ci ritroviamo tipicamente con $E = 10$ nel modello volante, sia pure in condizioni migliori della galleria (Reynolds, allungamento, ecc.). Forse, possiamo ipotizzare che ciò sia dovuto al fatto che i profili in galleria (soprattutto in quelle di piccole dimensioni), essendo relativamente vicini al soffitto ed al fondo, operano con due limitazioni: a) il grande flusso sopra l'ala è disturbato dal soffitto

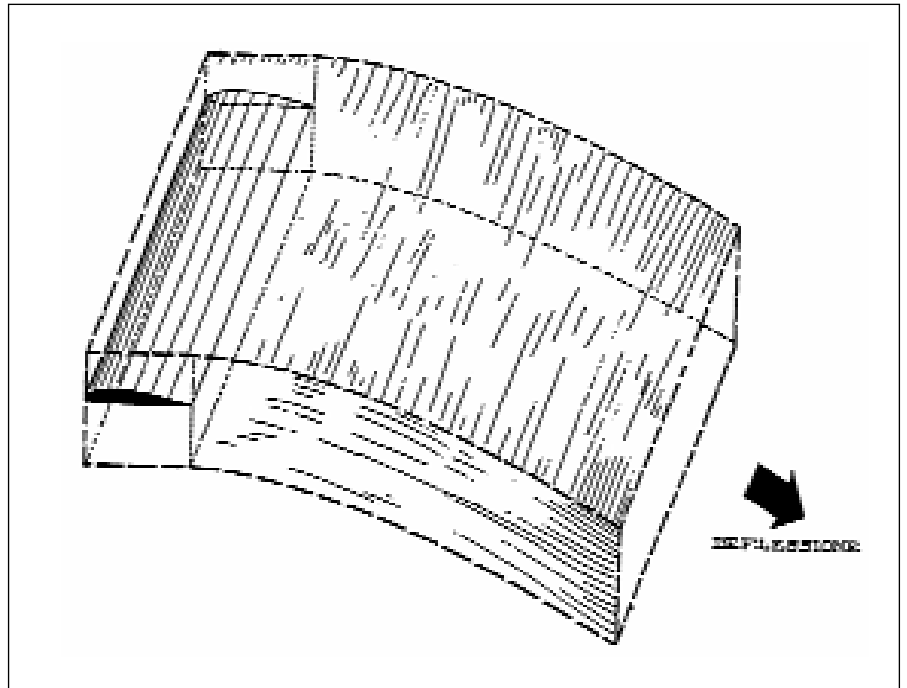


Fig. 11: Si può mentalmente immaginare l'ala come un grande condotto che scaraventa verso il basso grandi quantità d'aria, proporzionali al peso dell'aerodina in volo.

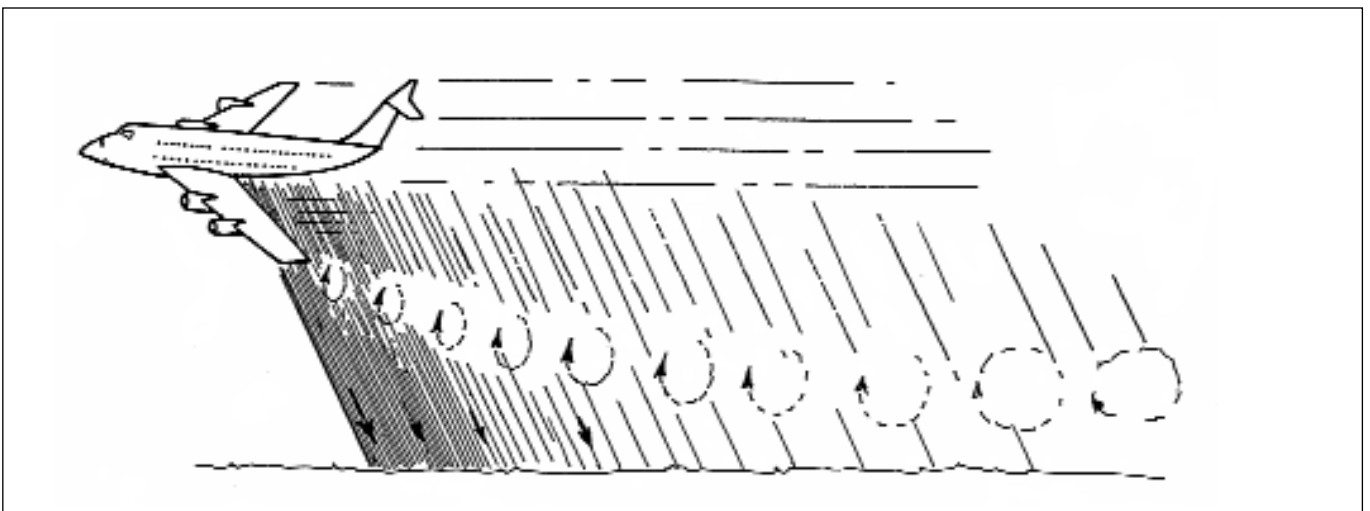


Fig. 12: Oltre ai vortici d'estremità che si esauriscono allontanandosi dall'ala, quest'ultima scaraventa continuamente in basso una grande quantità d'aria. L'effetto pratico equivale a quello di un "wind shear" a ciel sereno.



Fig. 13: Deflessione (macchia scura subito dietro l'ala) e vortici d'estremità (in lontananza), dietro un bireattore che vola nella nebbia. Sembra che i vortici non abbiano alcuna intenzione di precipitarsi a terra.

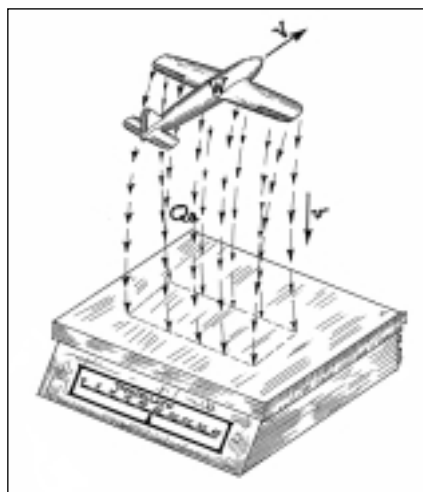


Fig. 14: Se l'aerodina potesse sorvolare a bassa quota un'ipotetica bilancia, con un piatto tanto grande da poter raccogliere tutta l'aria deviata in basso, la bilancia registrerebbe il peso dell'aerodina in volo.

(deflessione alterata); b) sotto al profilo c'è regime di effetto suolo, con portanza esaltata.

Questo potrebbe spiegare i valori ottimistici a volte forniti da talune gallerie del vento. Si tratta ovviamente d'ipotesi, sulle quali invitiamo i lettori intraprendenti a riflettere: esternando le loro idee ed osservazioni faranno cosa utile a tutti. E' così che si crea il progresso delle idee: non lo si può comprare al supermercato come taluni aerogiocattoli, che qualcuno si ostina a chiamare aeromodelli...

Con tante scuse a chi si è annoiato leggendo queste note a ruota libera.

Ferdinando Galè

Riferimento: *PERCHE' l'aeroplano VOLA?*

**16-17 settembre 2000
VERCELLI - Aeroporto C. Del Prete**

Fly Expo Model international



Grande festa dell'aeromodellismo radiocomandato con mostra, vendita, scambio, esibizioni in volo di aeromodelli. Potrai acquistare o vendere tutto ciò che riguarda il modellismo, utilizzando le strutture messe a disposizione dall'organizzazione.

Per informazioni - Prandi: 0161 33366 - 0347 5733032 - Cotella: 0372 433869

colortek@pn.itnet.it - www.albireo.it/flyexpo