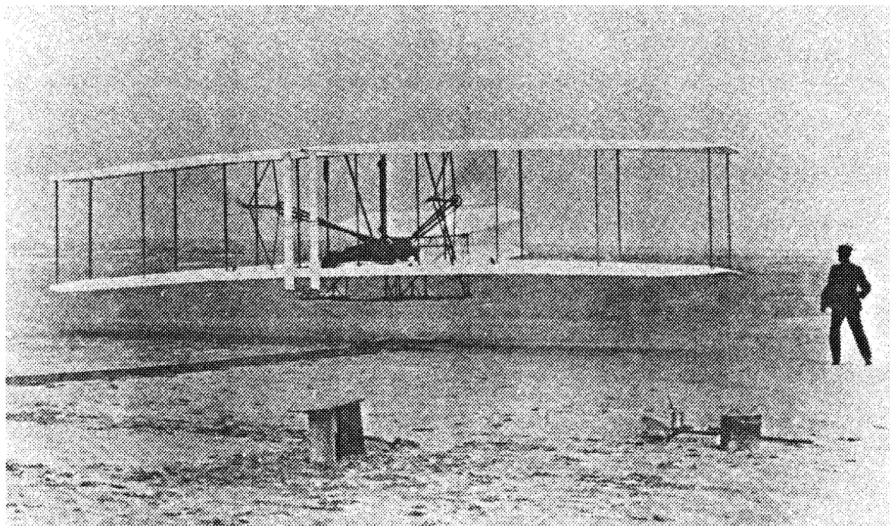


COSTRUZIONI AERONAUTICHE
Articolazione Costruzione del Mezzo Aeronautico

Come compimmo il primo volo

How We Made the First Flight



di **Orville Wright**

pubblicato su *Flying and The Aero Club of America Bulletin*, dicembre 1913
ristampa a cura della Federal Aviation Administration

Traduzione italiana con testo inglese a fronte (da stampare dall'originale FAA), note del traduttore, conversioni nel Sistema Internazionale, glossario di inglese tecnico aeronautico.

Traduzione e apparato didattico: Prof. Ing. Biagio Raucci
ITIS «E. Majorana» — Somma Vesuviana (NA)

Il testo originale è di pubblico dominio.

Indice

I	Prima di leggere	2
2	Come compimmo il primo volo	3
2.1	Peso e spinta	3
2.2	Il gruppo motopropulsore	5
2.3	Le prove di volo a Kitty Hawk	6
2.4	L'esperienza di Chanute	6
2.5	Il guasto agli alberi delle eliche	7
2.6	Il primo tentativo	8
2.7	Gli ultimi preparativi	9
2.8	Audacia — e calcolo	9
2.9	Il volo	10
2.10	Il secondo e il terzo volo	11
A	Glossario di inglese tecnico aeronautico	14
B	Fattori di conversione	15
C	Dentro il motore del Flyer: quaderno tecnico	16
C.1	Alesaggio, corsa, cilindrata	16
C.2	Come funziona: il ciclo a quattro tempi	17
C.3	Da dove viene la potenza: la pressione media effettiva	18
C.4	Che cosa significa «potenza al freno»	19
C.5	Il volano leggero e i colpi di coppia	19
C.6	Catena, ruote dentate, eliche controrotanti	19

Prima di leggere

Dove stiamo andando

Il 17 dicembre 1903, su una spiaggia ventosa della Carolina del Nord, una macchina più pesante dell'aria si sollevò da terra con un uomo a bordo, avanzò sostenuta dal proprio motore e atterrò a una quota pari a quella di partenza. Durò dodici secondi. Dieci anni dopo, Orville Wright raccontò in prima persona come lui e il fratello Wilbur arrivarono a quel momento: questo è il testo che state per leggere.

Non è un racconto d'avventura, o meglio: non è *solo* un racconto d'avventura. È il resoconto di un *progetto di ingegneria* condotto con un rigore che oggi riconosciamo come moderno: dati sperimentali di galleria, calcolo preventivo delle prestazioni, prove a terra dei componenti, strumentazione di misura in volo, analisi dei guasti e riprogettazione. Leggendolo con gli occhi del futuro perito aeronautico, vi accorgerete che i fratelli Wright affrontarono — con i mezzi del 1903 — gli stessi problemi che studiamo nel nostro corso: la spinta necessaria al sostentamento, il rendimento dell'elica, il rapporto peso-potenza, la resistenza strutturale degli alberi di trasmissione, la stabilità e il controllo sui tre assi.

Perché leggerlo in inglese (anche)

L'inglese è la lingua della documentazione tecnica aeronautica: manuali di manutenzione, bollettini di servizio, normative EASA e FAA. Questo testo, breve e concreto, è una palestra ideale per iniziare. Il metodo di lavoro è questo: stampate l'originale FAA e questa traduzione, leggete un paragrafo in italiano, poi *rileggetelo* in inglese cercando di riconoscere i termini tecnici. In Appendice A trovate il glossario dei termini che incontrerete.

Nota del traduttore

La traduzione è fedele al testo della ristampa FAA, compresi i titoli di sezione (riportati anche in inglese, in grigio, per facilitare la lettura a fronte). Le grandezze fisiche sono lasciate nelle unità originali — piedi, miglia orarie, libbre, cavalli — perché così le troverete nella letteratura anglosassone; tra parentesi quadre trovate però la conversione nel Sistema Internazionale, verificata numericamente. La tabella completa dei fattori di conversione è in Appendice B. Alcune sviste tipografiche della ristampa sono state corrette silenziosamente; dove la questione ha rilievo storico, una nota del traduttore lo segnala. Infine: il testo è fitto di termini motoristici e meccanici — alesaggio, corsa, volano, potenza al freno, ruote dentate — che Orville usa senza spiegarli, perché scriveva per lettori del 1913 cresciuti fra officine e biciclette. Il *quaderno tecnico* in Appendice C li spiega tutti, uno per uno, con i numeri del Flyer.

Come compimmo il primo volo

di Orville Wright

I voli dell'aliante del 1902 avevano dimostrato l'efficacia del nostro sistema per il mantenimento dell'equilibrio, e insieme l'accuratezza del lavoro di laboratorio sul quale il progetto dell'aliante era stato fondato. Sentimmo allora di essere in grado di calcolare in anticipo le prestazioni delle macchine con un grado di precisione che non era mai stato possibile con i dati e le tabelle in possesso dei nostri predecessori. Prima di lasciare il campo, nel 1902, eravamo già al lavoro sul progetto generale di una nuova macchina che ci proponevamo di muovere con un motore.

Subito dopo il nostro ritorno a Dayton scrivemmo a diversi costruttori di automobili e di motori, dichiarando lo scopo per cui desideravamo un motore e chiedendo se potessero fornircene uno capace di sviluppare otto cavalli effettivi¹ con un peso complessivo non superiore alle 200 libbre [$\simeq 90,7$ kg]. La maggior parte delle ditte rispose di essere troppo occupata con la produzione ordinaria per intraprendere la costruzione di un simile motore per noi; una sola rispose di avere motori da 8 hp secondo il sistema di valutazione francese, del peso di sole 135 libbre [$\simeq 61,2$ kg], e che, se ritenevamo che quel motore potesse sviluppare potenza sufficiente al nostro scopo, sarebbero stati lieti di vendercene uno. Da un esame delle caratteristiche di quel motore apprendemmo che aveva un solo cilindro con alesaggio di 4 pollici e corsa di 5 pollici [101,6 mm $\times$ 127 mm], e temevamo che fosse molto sopravvalutato. A meno che il motore non sviluppasse pienamente 8 cavalli effettivi, per il nostro scopo sarebbe stato inutile.

Alla fine decidemmo di intraprendere noi stessi la costruzione del motore. Stimammo di poterne realizzare uno a quattro cilindri con alesaggio di 4 pollici e corsa di 4 pollici, di peso non superiore a duecento libbre, accessori compresi. La nostra sola esperienza fino ad allora nella costruzione di motori a benzina era stata la realizzazione di un motore raffreddato ad aria, con alesaggio di 5 pollici e corsa di 7 pollici, che usavamo per azionare le macchine del nostro piccolo laboratorio. Per essere certi che quattro cilindri della misura adottata (4" $\times$ 4") avrebbero sviluppato gli 8 cavalli necessari, li montammo dapprima su un telaio provvisorio di costruzione semplice ed economica. In appena sei settimane dall'inizio del progetto avevamo il motore al banco per la prova di potenza. La rapidità con cui ciò fu possibile si dovette in gran parte ai servizi entusiasti ed efficienti del signor C.E. Taylor, che eseguì tutte le lavorazioni meccaniche nella nostra officina, per la prima macchina sperimentale come per le successive. Non era prevista alcuna lubrificazione dei cilindri né dei cuscinetti durante il funzionamento: per questa ragione non era possibile farlo girare più di un minuto o due per volta. In queste brevi prove il motore sviluppò circa nove cavalli. Fummo allora convinti che, con una lubrificazione adeguata e migliori registrazioni, ci si potesse attendere un po' più di potenza. Si procedette dunque senz'altro al completamento del motore secondo i disegni.

2.1 Peso e spinta

Weight and Thrust

Mentre il signor Taylor era impegnato in questo lavoro, Wilbur ed io eravamo occupati a completare il progetto della macchina vera e propria. Le prove preliminari del motore ci avevano convinti che avremmo ottenuto più di 8 cavalli, e ci sentimmo perciò liberi di aggiungere peso sufficiente a costruire una macchina più robusta di quanto avessimo in origine previsto.

¹N.d.T. — Nell'originale *brake horse power* (bhp): la potenza misurata al freno dinamometrico, cioè effettivamente disponibile all'albero; 8 hp $\simeq 5,97$ kW.

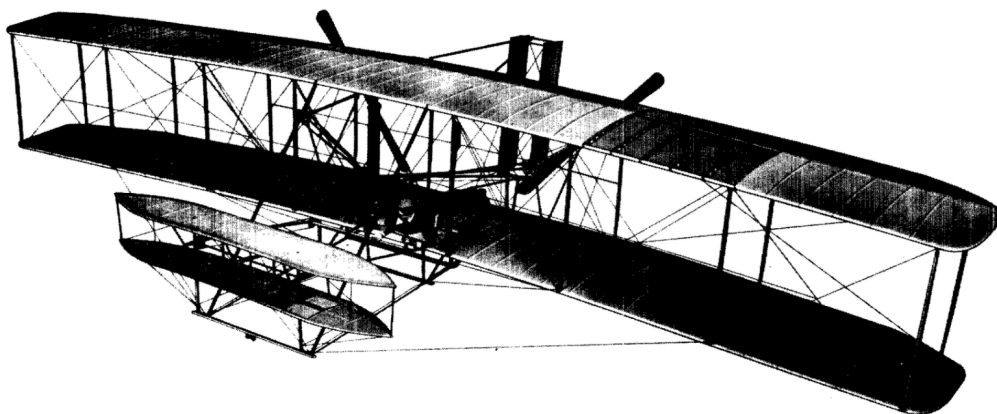


Figura 2.1. Illustrazione del Wright Flyer del 1903 (disegno di R. Mclarren e J. Fisher, dalla ristampa FAA).

Le nostre tabelle delle pressioni dell'aria e l'esperienza di volo con l'aliante del 1902 ci mettevano in grado, così pensavamo, di calcolare con esattezza la spinta necessaria a sostenere la macchina in volo. Ma progettare un'elica che fornisse quella spinta con la potenza di cui disponevamo era una questione che non avevamo ancora considerato seriamente. Non esistevano dati sulle eliche aeree; avevamo però sempre sentito dire che non era difficile ottenere un rendimento del 50% con le eliche marine. Tutto ciò che sarebbe stato necessario — credevamo — era apprendere la teoria del funzionamento delle eliche marine dai libri di ingegneria navale, e poi sostituire alle pressioni dell'acqua quelle dell'aria. Ci procurammo dunque parecchi di quei libri dalla Biblioteca Pubblica di Dayton. Con nostra grande sorpresa, tutte le formule sulle eliche contenute in quei testi erano di natura puramente empirica: non c'era modo di adattare al calcolo delle eliche aeree. Poiché non potevamo permetterci né il tempo né la spesa di una lunga serie di esperimenti per trovare per tentativi un'elica adatta alla nostra macchina, decidemmo di affidarci alla teoria più di quanto non fosse pratica fra gli ingegneri navali.

Era evidente che un'elica non è che un aeroplano che percorre una traiettoria a spirale. Poiché sapevamo calcolare l'effetto di un aeroplano che avanza su una traiettoria rettilinea, perché non avremmo dovuto saper calcolare l'effetto di uno che avanza lungo una spirale? A prima vista la cosa non sembra difficile; ma a un esame più attento è arduo trovare persino un punto da cui cominciare, perché nulla, dell'elica o del mezzo in cui essa agisce, sta fermo un solo istante. La spinta dipende dalla velocità e dall'angolo con cui la pala colpisce l'aria; l'angolo con cui la pala colpisce l'aria dipende dalla velocità di rotazione dell'elica, dalla velocità di avanzamento della macchina e dalla velocità con cui l'aria scivola all'indietro; il regresso dell'aria dipende a sua volta dalla spinta esercitata dall'elica e dalla quantità d'aria interessata. Quando uno qualunque di questi elementi cambia, cambiano tutti gli altri, perché sono tutti interdipendenti. E questi sono soltanto alcuni dei molti fattori che occorre considerare e determinare nel calcolo e nel progetto delle eliche. Le nostre menti ne divennero così ossessionate che quasi non riuscivamo a fare altro. Ci impegnammo in discussioni innumerevoli, e spesso, dopo un'ora circa di acceso confronto, scoprivamo di essere lontani dall'accordo come all'inizio — ma ciascuno era passato alla posizione iniziale dell'altro. Dopo un paio di mesi di questo studio e di queste discussioni riuscimmo a seguire le varie azioni e reazioni nelle loro intricate relazioni abbastanza a lungo da cominciare a comprenderle. Ci rendemmo conto che la spinta generata da un'elica a punto fisso non dava alcuna indicazione della spinta in movimento. Il solo modo di provare davvero il rendimento di un'elica sarebbe stato provarla sulla macchina.

L'occhio dell'ingegnere: l'elica come ala rotante

L'intuizione dei Wright — «un'elica non è che un aeroplano che percorre una traiettoria a spirale» — è esattamente il punto di partenza della moderna *teoria dell'elemento di pala*, che studieremo in quinta: ogni sezione della pala è un profilo alare investito da una velocità relativa che compone rotazione e

avanzamento. E il groviglio di grandezze interdipendenti che Orville descrive (spinta, regresso, velocità indotta) è lo stesso che la teoria impulsiva di Rankine–Froude scioglie con il bilancio di quantità di moto. I Wright, senza saperlo, stavano descrivendo un problema di punto fisso non lineare: nel 1903 lo risolsero con l'unico calcolatore disponibile — la discussione serrata fra due menti oneste.

Per due ragioni decidemmo di impiegare due eliche. In primo luogo potevamo così, mediante l'uso di due eliche, ottenere la reazione contro una maggiore quantità d'aria e al tempo stesso adottare un angolo di calettamento maggiore di quanto fosse possibile con un'elica sola; in secondo luogo, facendo ruotare le eliche in versi opposti, l'azione giroscopica dell'una avrebbe neutralizzato quella dell'altra. Il metodo che adottammo per azionare le eliche in versi opposti per mezzo di catene è ormai troppo noto perché occorra descriverlo. Decidemmo di collocare il motore a lato dell'uomo, cosicché, in caso di picchiata a capofitto, il motore non potesse cadergli addosso. Nei nostri esperimenti di volo librato ci era accaduto più volte di atterrare su un'ala sola, ma lo schiacciamento dell'ala aveva assorbito l'urto, sicché non eravamo in ansia per il motore in un atterraggio di quel genere. Per premunirci contro il capovolgimento in avanti della macchina all'atterraggio, progettammo pattini simili a quelli di una slitta, sporgenti davanti alle superfici principali. Per il resto, la costruzione generale e il funzionamento della macchina sarebbero stati simili a quelli dell'aliante del 1902.

2.2 Il gruppo motopropulsore

The Power Plant

Quando il motore fu completato e provato, trovammo che sviluppava 16 cavalli [$\simeq 11,9$ kW] per pochi secondi, ma che la potenza calava rapidamente finché, in capo a un minuto, era di soli 12 cavalli [$\simeq 8,9$ kW]. Ignari di quanto un motore di quelle dimensioni avrebbe dovuto rendere, fummo molto soddisfatti delle sue prestazioni. Una maggiore esperienza ci mostrò poi che non ottenevamo neppure la metà della potenza che avremmo dovuto avere.

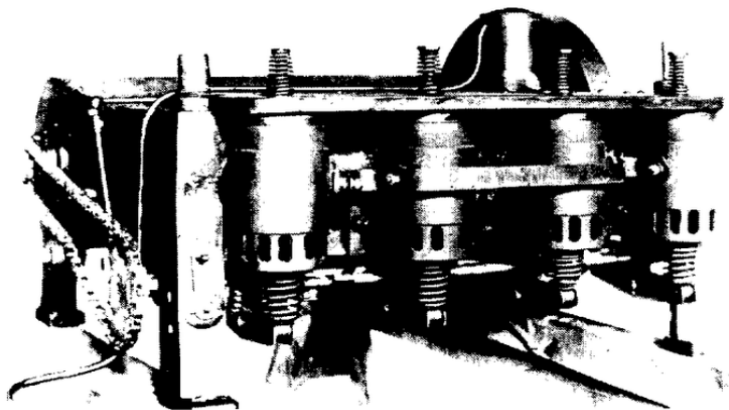


Figura 2.2. Il propulsore sviluppato dai fratelli Wright per il Flyer del 1903: quattro cilindri, 179 libbre [$\simeq 81,2$ kg], 12 cavalli a 1090 giri al minuto. Azionava due eliche controrotanti tramite catene.

Con dodici cavalli a disposizione ritenemmo di poter lasciar salire il peso della macchina con l'operatore fino a 750 o 800 libbre [$\simeq 340$ kg–363 kg], conservando tuttavia lo stesso margine di potenza che avevamo originariamente previsto per la prima stima di 550 libbre [$\simeq 249$ kg].

Il rapporto peso–potenza

Fate il conto con i valori dichiarati: circa 363 kg di peso massimo con 8,9 kW disponibili significano circa 41 kg per kilowatt. Un moderno aereo da turismo leggero sta attorno a da 6 kg–8 kg per kilowatt. Il Flyer volò dunque con un motore *cinque volte* più «debole», in proporzione, di quelli odierni: fu il

rendimento delle eliche, progettate con la teoria e non per tentativi, a rendere sufficiente quella potenza esigua. Il progetto aeronautico è sempre un bilancio fra peso, potenza e rendimento.

Prima di partire per il nostro campo a Kitty Hawk provammo nella nostra officina di Dayton la trasmissione a catena delle eliche, e la trovammo soddisfacente. Scoprimmo tuttavia che i primi alberi delle eliche, costruiti in tubo d'acciaio di forte spessore, non erano abbastanza robusti da sopportare gli urti provenienti da un motore a benzina con volano leggero, benché sarebbero stati capaci di trasmettere tre o quattro volte quella potenza applicata in modo uniforme. Costruimmo perciò una nuova serie di alberi in tubo più pesante, che collaudammo e giudicammo abbondantemente robusti.

2.3 Le prove di volo a Kitty Hawk

Flight Testing at Kitty Hawk

Lasciammo Dayton il 23 settembre e giungemmo al nostro campo di Kill Devil Hill venerdì 25. Vi trovammo provviste e attrezzi, spediti per ferrovia parecchie settimane prima. La baracca, eretta nel 1901 e ampliata nel 1902, risultò essere stata strappata dai suoi plinti di fondazione da una tempesta alcuni mesi prima. Mentre attendevamo l'arrivo della spedizione di macchinari e parti da Dayton, ci demmo da fare a riparare il vecchio edificio e a costruirne uno nuovo che servisse da officina per il montaggio e il ricovero della nuova macchina.

Proprio mentre l'edificio veniva completato, le parti e i materiali per le macchine arrivarono insieme a una delle peggiori tempeste che avessero visitato Kitty Hawk da anni. La tempesta giunse all'improvviso, soffiando a 30–40 miglia orarie [$\simeq$ da 13 m/s — 18 m/s]. Crebbe durante la notte, e il giorno seguente soffiava a oltre settantacinque miglia orarie [$\simeq$ 33,5 m/s]. Per salvare il tetto di carta catramata decidemmo che era necessario uscire in quel vento e inchiodare più saldamente certe parti particolarmente esposte. Quando salii la scala e raggiunsi il bordo del tetto, il vento mi si infilò sotto l'ampio cappotto, me lo soffiò intorno alla testa e mi legò le braccia lasciandomi perfettamente inerme. Wilbur venne in mio aiuto e mi tenne fermo il cappotto mentre cercavo di piantare i chiodi. Ma il vento era così forte che non riuscivo a guidare il martello, e colpivo le mie dita con la stessa frequenza dei chiodi.

Le tre settimane successive furono spese a montare la macchina a motore. Nei giorni di vento più favorevole acquisimmo ulteriore esperienza nel governo di un velivolo volando con la macchina del 1902, che avevamo ritrovato in condizioni discrete nel vecchio edificio, dove l'avevamo lasciata l'anno precedente.

Il signor Chanute e il dottor Spratt, che erano stati ospiti del nostro campo nel 1901 e nel 1902, trascorsero un po' di tempo con noi; ma nessuno dei due poté trattenersi fino alla prova della macchina a motore, a causa dei ritardi provocati dai guai sviluppatisi negli alberi delle eliche.

2.4 L'esperienza di Chanute

Chanute's Experience

Mentre il signor Chanute era con noi, buona parte del tempo fu spesa a discutere i calcoli matematici sui quali avevamo fondato la nostra macchina. Egli ci informò che, nel progetto delle macchine, si usava assumere circa il 20 per cento per le perdite nella trasmissione della potenza. Poiché noi avevamo assunto soltanto il 5 per cento — cifra alla quale eravamo giunti con alcune misure grossolane dell'attrito di una delle catene sotto un carico molto leggero — ne fummo assai allarmati: secondo la stima del signor Chanute, l'attrito nelle catene di trasmissione avrebbe consumato più dell'intero margine di potenza previsto dai nostri calcoli. Dopo la partenza del signor Chanute sospendemmo una delle catene su una ruota dentata, appendendo ai due lati della ruota sacchi di sabbia di peso approssimativamente uguale alla trazione che si sarebbe esercitata sulle catene azionando le eliche. Misurando il sovrappeso necessario da un lato per sollevare il peso dall'altro, calcolammo la perdita di trasmissione. Il risultato indicò che la perdita di potenza per questa causa sarebbe stata solo del 5 per cento, come avevamo in origine stimato. Ma benché non vedessimo alcun errore serio in questo metodo di determinazione della perdita, restammo inquieti finché non avemmo occasione di far girare le eliche col motore, per vedere se ottenevamo il numero di giri previsto.

Un esperimento da officina

Osservate il metodo: davanti a un'obiezione autorevole (Chanute era l'ingegnere più stimato d'America in materia di volo), i Wright non si fidano né dell'autorità né della propria stima precedente: *costruiscono un esperimento* — semplice, economico, da officina — che misura direttamente la grandezza contestata. E anche dopo il buon esito, mantengono la riserva finché la prova completa (eliche + motore) non conferma. Questo atteggiamento ha un nome: metodo sperimentale. In laboratorio, quest'anno, faremo lo stesso.

La prima prova del motore sulla macchina rivelò un difetto in uno degli alberi delle eliche che non era stato scoperto nelle prove di Dayton. Gli alberi furono subito spediti a Dayton per la riparazione e non tornarono che il 20 novembre, dopo due settimane di assenza. Li montammo immediatamente sulla macchina e facemmo un'altra prova. Si manifestò un guaio nuovo: le ruote dentate, avvitate sugli alberi e bloccate con dadi a filettatura contraria, si ostinavano ad allentarsi. Dopo molti inutili tentativi di serrarle, dovemmo rinunciare e andammo a letto molto scoraggiati. Dopo una notte di riposo ci alzammo di umore migliore e decisi a riprovare.

Nell'attività di ciclisti avevamo acquisito grande familiarità con l'uso del mastice duro per fissare i copertoni ai cerchioni. Una volta l'avevamo perfino impiegato con successo per riparare un cronometro, dopo che parecchi orologiai ci avevano detto che non era riparabile. Se il mastice da copertoni andava bene per fissare le lancette di un cronometro, perché non avrebbe dovuto andar bene per fissare le ruote dentate sull'albero dell'elica di una macchina volante? Decidemmo di provare. Scaldammo alberi e ruote dentate, colammo il mastice fuso nelle filettature e li avvitammo di nuovo insieme. Il problema era risolto: le ruote dentate rimasero salde.

Proprio quando la macchina fu pronta per la prova, sopraggiunse il cattivo tempo. Faceva un freddo sgradevole già da parecchie settimane, tanto che certi giorni si riusciva a stento a lavorare alla macchina. Ma ora cominciarono pioggia e neve, e un vento di 25–30 miglia [$\simeq$ da 11 m/s — 13 m/s] soffiò per parecchi giorni da nord. Mentre il tempo ci teneva bloccati, predisponemmo un meccanismo per misurare automaticamente la durata del volo dall'istante in cui la macchina cominciava ad avanzare all'istante in cui si fermava, la distanza percorsa nell'aria in quel tempo, e il numero di giri compiuti dal motore e dall'elica. Un cronometro misurava il tempo; un anemometro l'aria attraversata; un contagiri il numero di rotazioni delle eliche. Cronometro, anemometro e contagiri venivano avviati e arrestati tutti automaticamente e simultaneamente. Dai dati così ottenuti contavamo di provare, o smentire, l'accuratezza dei nostri calcoli sulle eliche.

2.5 Il guasto agli alberi delle eliche

Propeller Shaft Trouble

Il 28 novembre, mentre facevamo girare il motore al chiuso, ci parve di scorgere di nuovo qualcosa che non andava in uno degli alberi delle eliche. Fermato il motore, scoprimmo che uno degli alberi tubolari si era incrinato!

Si preparò immediatamente il ritorno a Dayton per costruire un'altra serie di alberi. Decidemmo di abbandonare l'impiego dei tubi, perché non offrivano elasticità sufficiente ad assorbire gli urti delle accensioni premature o mancate del motore. Optammo per alberi pieni in acciaio da utensili, di diametro minore dei tubi usati in precedenza: questi avrebbero consentito una certa elasticità. Gli alberi tubolari erano molte volte più robusti di quanto sarebbe stato necessario per trasmettere la potenza del nostro motore, se le sollecitazioni su di essi fossero state uniformi; ma i grossi alberi cavi non avevano in sé elasticità per assorbire le sollecitazioni irregolari.

Rigidità non è resistenza (e la fatica esiste)

Qui c'è una lezione di Costruzioni in piena regola. Il tubo cavo, a parità di massa, ha momento d'inerzia — e quindi rigidità torsionale — maggiore dell'albero pieno: sembrerebbe la scelta migliore. Ma proprio la sua rigidità fa sì che i picchi di coppia dovuti alle accensioni irregolari si scarichino sul materiale

come sovrasollecitazioni impulsive, senza essere attenuati da deformazione elastica. L'albero pieno, più cedevole, agisce da molla torsionale e «spalma» il picco nel tempo. I Wright scoprirono sul campo che in una trasmissione contano non solo le tensioni massime statiche, ma la natura *dinamica e ciclica* del carico — l'anticamera del concetto di fatica, che in quinta tratteremo formalmente.

Wilbur rimase al campo mentre io andavo a procurare i nuovi alberi. Non rientrai al campo che venerdì 11 dicembre. Sabato pomeriggio la macchina era di nuovo pronta per la prova, ma il vento era così debole che non si sarebbe potuto decollare dal terreno pianeggiante con la corsa di soli sessanta piedi [$\simeq 18,3$ m] consentita dal nostro binario monorotaia; né restava abbastanza tempo, prima di sera, per portare la macchina su una delle colline dove, disponendo il binario su un ripido pendio, si sarebbe potuta raggiungere la velocità sufficiente a partire in aria calma.

Lunedì 14 dicembre era una giornata bellissima, ma non c'era vento sufficiente a consentire il decollo dal terreno pianeggiante attorno al campo. Decidemmo perciò di tentare un volo dal fianco della grande collina di Kill Devil. Ci eravamo accordati con gli uomini della stazione di salvataggio di Kill Devil, situata poco più di un miglio dal nostro campo, perché li informassimo quando fossimo stati pronti per la prima prova della macchina. Fummo presto raggiunti da J.T. Daniels, Robert Westcott, Thomas Beacham, W.S. Dough e zio Benny O'Neal, della stazione, che ci aiutarono a portare la macchina alla collina, un quarto di miglio più in là. Stendemmo il binario per 150 piedi [$\simeq 45,7$ m] su per il fianco della collina, su una pendenza di 9 gradi. Con la pendenza del binario, la spinta delle eliche e la partenza della macchina direttamente controvento, non prevedevamo alcuna difficoltà a raggiungere la velocità di volo sui 60 piedi del binario monorotaia. Ma non eravamo certi che l'operatore riuscisse a mantenere la macchina in equilibrio sul binario.

2.6 Il primo tentativo

The First Attempt

Quando la macchina fu assicurata con un cavo al binario, in modo che non potesse partire finché l'operatore non l'avesse sganciata, e il motore fu fatto girare per accertarne le condizioni, lanciammo una moneta per decidere a chi toccasse la prima prova. Vinse Wilbur. Io presi posizione a una delle ali, con l'intenzione di aiutare a bilanciare la macchina durante la corsa sul binario. Ma quando il cavo di ritegno fu mollato, la macchina partì così rapidamente che riuscii a starle dietro solo per pochi piedi. Dopo una corsa di 35–40 piedi [$\simeq$ da 11 m — 12 m] si staccò dalla rotaia. Ma le fu lasciato assumere una cabrata eccessiva: salì di qualche piede, stallò e poi si posò al suolo vicino al piede della collina, 105 piedi [$\simeq 32$ m] più in basso. Il mio cronometro mostrò che era stata in aria appena 3 secondi e mezzo. Nell'atterraggio l'ala sinistra toccò per prima; la macchina girò su se stessa, piantò i pattini nella sabbia e ne ruppe uno. Anche varie altre parti si ruppero, ma il danno alla macchina non era serio. Sebbene la prova non avesse mostrato nulla circa la sufficienza della potenza del motore a sostenere la macchina — dato che l'atterraggio era avvenuto molti piedi più in basso del punto di partenza — l'esperimento aveva dimostrato che il metodo adottato per il lancio della macchina era sicuro e pratico. Nel complesso, ne fummo molto soddisfatti.

Due giorni furono consumati nelle riparazioni, e la macchina non fu pronta di nuovo che nel tardo pomeriggio del 16. Mentre la tenevamo fuori sul binario davanti all'edificio, per gli ultimi aggiustamenti, passò uno sconosciuto. Dopo aver guardato la macchina per qualche secondo, chiese che cosa fosse. Quando gli dicemmo che era una macchina volante, domandò se intendevamo farla volare. Rispondemmo di sì, non appena avessimo avuto un vento adatto. La guardò ancora per qualche minuto e poi, volendo essere cortese, osservò che aveva l'aria di poter volare — se avesse avuto un «vento adatto». Ci divertimmo molto: senza dubbio pensava alla recente burrasca da 75 miglia quando ripeté le nostre parole, «un vento adatto»!

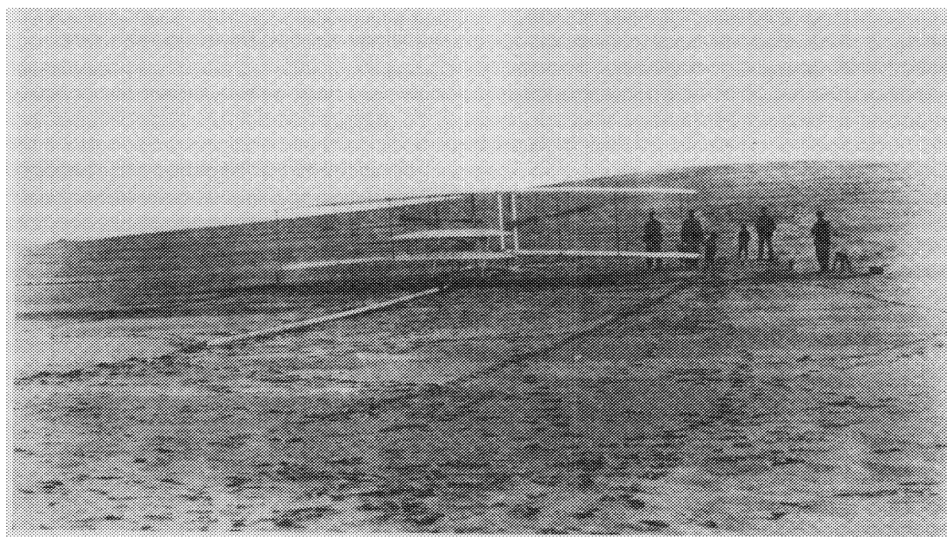


Figura 2.3. Il primo tentativo: Wilbur Wright in posa con gli spettatori prima del decollo. 14 dicembre 1903.

2.7 Gli ultimi preparativi

Final Preparations

Durante la notte del 16 dicembre 1903 un forte vento freddo soffiò da nord. Quando ci alzammo, la mattina del 17, le pozzanghere d'acqua rimaste attorno al campo dopo le piogge recenti erano coperte di ghiaccio. Il vento aveva una velocità di 10–12 metri al secondo (22–27 miglia orarie). Pensammo che sarebbe calato di lì a poco, e restammo al chiuso per la prima parte della mattina. Ma quando alle dieci il vento era vivace come prima, decidemmo che era meglio tirar fuori la macchina e tentare un volo. Esponemmo il segnale per gli uomini della stazione di salvataggio. Ritenevamo che, puntando il velivolo contro un vento forte, non ci sarebbe stata difficoltà a lanciarlo dal terreno pianeggiante attorno al campo. Ci rendevamo conto delle difficoltà di volare con un vento così teso, ma stimavamo che i maggiori pericoli in volo sarebbero stati in parte compensati dalla minore velocità di atterraggio.

Stendemmo il binario su un tratto di terreno liscio un centinaio di piedi a nord del nuovo edificio. Il vento freddo e pungente rendeva faticoso il lavoro, e dovevamo andarci a scaldare di frequente nel nostro alloggio, dove avevamo un buon fuoco in una stufa improvvisata ricavata da un grosso bidone di carburo. Quando tutto fu pronto erano arrivati J.T. Daniels, W.S. Dough e A.D. Etheridge, della stazione di salvataggio di Kill Devil; W.C. Brinkley di Manteo; e Johnny Moore, un ragazzo di Nags Head.

Avevamo un anemometro a mano «Richard» col quale misurammo la velocità del vento. Le misure eseguite subito prima del primo volo mostrarono velocità di 11–12 metri al secondo, ossia 24–27 miglia orarie. Quelle eseguite subito prima dell'ultimo volo diedero fra i 9 e i 10 metri al secondo; una eseguita subito dopo mostrò poco più di 8 metri. I registri dell'Ufficio Meteorologico governativo di Kitty Hawk diedero, per la velocità del vento fra le 10:30 e le 12 — l'arco di tempo in cui i quattro voli furono compiuti — una media di 27 miglia al momento del primo volo e di 24 al momento dell'ultimo.

2.8 Audacia — e calcolo

Audacity—and Calculation

Con tutta la conoscenza e l'abilità acquisite in migliaia di voli negli ultimi dieci anni, oggi esiterei a compiere il mio primo volo su una macchina sconosciuta con un vento di ventisette miglia, anche sapendo che quella macchina ha già volato ed è sicura. Dopo questi anni di esperienza guardo con stupore alla nostra audacia nel tentare voli con una macchina nuova e mai provata, in simili circostanze. Eppure la fiducia nei nostri calcoli e nel progetto della prima macchina — fondata sulle nostre tabelle di pressioni dell'aria, ottenute con mesi di accurato lavoro di laboratorio — e la fiducia nel nostro sistema di controllo, sviluppato in tre anni di esperienze

reali nell'equilibrare alianti nell'aria, ci avevano convinti che la macchina era capace di sollevarsi e di mantenersi in aria e che, con un po' di pratica, avrebbe potuto essere pilotata in sicurezza.

«Audacity — and calculation»

Il titolo di questa sezione è forse la sintesi più bella dell'intero testo. L'audacia senza calcolo, nella storia del volo, ha un lungo elenco di vittime; il calcolo senza audacia non ha mai staccato una ruota da terra. La professione che state imparando vive esattamente su questo crinale: rischi calcolati, mai calcoli rischiosi.

Wilbur, avendo consumato il suo turno nel tentativo sfortunato del 14, il diritto alla prima prova spettava ora a me. Dopo aver fatto girare il motore per qualche minuto per scaldarlo, sganciai il cavo che tratteneva la macchina al binario, e la macchina avanzò nel vento. Wilbur correva al fianco della macchina, reggendo l'ala per tenerla in equilibrio sul binario. A differenza della partenza del 14, avvenuta in aria calma, la macchina, affrontando un vento di 27 miglia, partì molto lentamente. Wilbur riuscì a starle accanto finché essa si staccò dal binario dopo una corsa di quaranta piedi [$\approx 12,2$ m]. Uno degli uomini del salvataggio scattò per noi la fotografia, cogliendo l'istante in cui la macchina aveva raggiunto l'estremità del binario e si era alzata a circa due piedi di quota. La lentezza dell'avanzamento della macchina rispetto al suolo è mostrata chiaramente nella fotografia dall'atteggiamento di Wilbur: riusciva a restare a fianco della macchina senza alcuno sforzo.

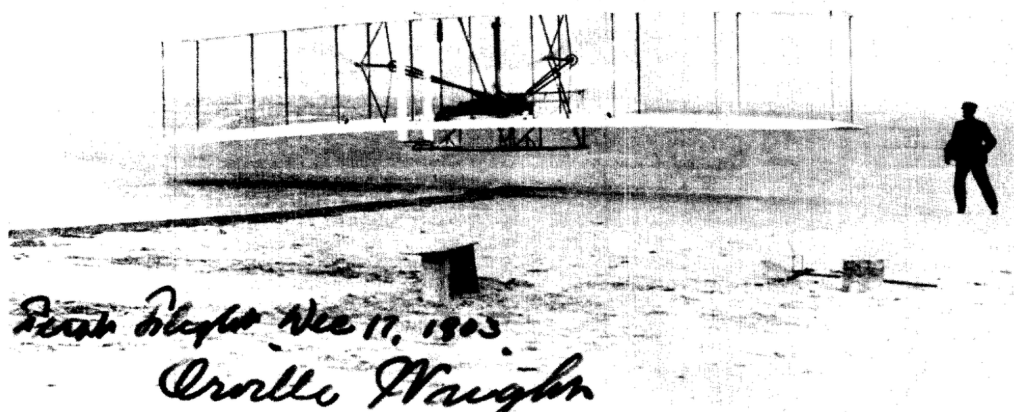


Figura 2.4. L'alba dell'era del volo a motore: ore 10:35 del 17 dicembre 1903. Orville decolla contro un vento di 27 miglia orarie; Wilbur è a destra. La fotografia fu scattata con la macchina fotografica di Orville da John T. Daniels.

2.9 Il volo

Flight

La traiettoria del volo, in su e in giù, fu estremamente irregolare, in parte per l'irregolarità dell'aria, in parte per la mancanza di esperienza nel governo di questa macchina. Il controllo del timone anteriore² era difficile, perché esso era incernierato troppo vicino al proprio centro: ciò gli conferiva la tendenza a ruotare spontaneamente una volta avviato, cosicché deviava troppo da un lato e poi troppo dall'altro. Ne risultava che la macchina saliva d'improvviso a circa dieci piedi, e poi altrettanto d'improvviso puntava verso il suolo. Una di queste picchiate improvvise, a poco più di cento piedi dall'estremità del binario — ossia a poco più di 120 piedi [$\approx 36,6$ m] dal punto in cui la macchina si era alzata in aria — pose fine al volo. Poiché la velocità del vento era superiore a 35 piedi al secondo [$\approx 10,7$ m/s] e la velocità della macchina rispetto al suolo, contro questo vento, era di dieci piedi al secondo [≈ 3 m/s], la velocità della macchina rispetto all'aria superava i 45 piedi al secondo [$\approx 13,7$ m/s], e la lunghezza del volo equivaleva a un volo di 540 piedi [≈ 165 m] compiuto

²N.d.T. — Il *front rudder*: la superficie orizzontale anteriore che nel Flyer svolgeva la funzione dell'odierno equilibratore (configurazione che oggi chiamiamo «canard»).

in aria calma. Questo volo durò soltanto 12 secondi, ma fu nondimeno il primo nella storia del mondo in cui una macchina recante un uomo si era sollevata in aria con la propria potenza in pieno volo, aveva navigato in avanti senza riduzione di velocità, ed era infine atterrata in un punto alto quanto quello da cui era partita.

Velocità al suolo e velocità rispetto all'aria

Il ragionamento di Orville è un calcolo di composizione delle velocità che useremo per tutto il corso. Detta V la velocità del velivolo rispetto all'aria (*airspeed*), V_g la velocità rispetto al suolo (*ground speed*) e V_w la velocità del vento contrario:

$$V = V_g + V_w = 10 \text{ ft/s} + 35 \text{ ft/s} = 45 \text{ ft/s} \simeq 13,7 \text{ m/s.}$$

La portanza dipende da V , non da V_g : ecco perché i Wright scelsero deliberatamente di decollare con vento forte. E la «distanza equivalente in aria calma» è semplicemente $V \cdot t = 45 \text{ ft/s} \times 12 \text{ s} = 540 \text{ ft}$: verificate voi stessi che i conti di Orville tornano al piede esatto.

Con l'aiuto dei nostri visitatori riportammo la macchina al binario e ci preparammo per un altro volo. Il vento pungente, però, ci aveva gelati tutti da capo a piedi, sicché prima di tentare un secondo volo andammo tutti a scaldarci di nuovo nell'edificio. Johnny Moore³, vedendo sotto il tavolo una cassetta piena di uova, chiese a uno degli uomini della stazione dove ne avessimo prese così tante. La gente dei dintorni strappa una magra esistenza pescando durante la breve stagione di pesca, e le sue provviste di altri generi alimentari sono limitate: probabilmente non aveva mai visto tante uova in una volta in tutta la sua vita. L'interpellato, scherzando, gli domandò se non avesse notato la piccola gallina che correva fuori dall'edificio: «Quella gallina fa dalle otto alle dieci uova al giorno!». Moore, che aveva appena visto una macchina sollevarsi da terra e volare — cosa a quel tempo ritenuta impossibile quanto il moto perpetuo — era pronto a credere quasi a tutto. Ma dopo essere uscito e aver dato una buona occhiata al prodigioso pennuto, tornò con questo commento: «È solo una gallina qualunque!»

2.10 Il secondo e il terzo volo

The Second and Third Flights

Alle undici e venti Wilbur partì per il secondo volo. La traiettoria fu molto simile a quella del primo: un continuo su e giù. La velocità rispetto al suolo fu alquanto maggiore che nel primo volo, per via del vento minore. La durata del volo fu inferiore di un secondo a quella del primo, ma la distanza coperta fu maggiore di circa settantacinque piedi.

Venti minuti dopo prese il via il terzo volo. Fu più stabile del primo di un'ora prima. Stavo procedendo abbastanza bene quando una raffica improvvisa da destra sollevò la macchina di dodici–quindici piedi e la inclinò lateralmente in modo allarmante. La macchina cominciò a scivolare d'ala verso sinistra, con vivacità. Svergolai le ali per cercare di recuperare l'equilibrio laterale, puntando al tempo stesso la macchina verso il basso per raggiungere il suolo il più rapidamente possibile. Il controllo laterale si rivelò più efficace di quanto immaginassi e, prima che raggiungessi il suolo, l'ala destra era più bassa della sinistra e toccò per prima. Il tempo di questo volo fu di quindici secondi, e la distanza sul terreno poco più di 200 piedi [$\simeq 61 \text{ m}$].

Wilbur partì per il quarto e ultimo volo a mezzogiorno in punto. Le prime centinaia di piedi furono, come prima, un su e giù; ma quando trecento piedi furono coperti, la macchina era sotto un controllo molto migliore. La traiettoria dei successivi quattro–cinquecento piedi ebbe ben poche ondulazioni. Tuttavia, giunta a circa ottocento piedi, la macchina ricominciò a beccheggiare e, in una delle sue picchiate, urtò il suolo. La distanza sul terreno fu misurata e risultò di 852 piedi [$\simeq 260 \text{ m}$]; il tempo del volo, 59 secondi. Il telaio che sosteneva il timone anteriore era gravemente rotto, ma la parte principale della macchina non aveva subito alcun danno. Stimammo che la macchina avrebbe potuto essere rimessa in condizioni di volo in un giorno o due.

³N.d.T. — La ristampa FAA qui riporta «Johnny Ward», ma si tratta di una svista: il ragazzo di Nags Head presente quel giorno — lo stesso elencato poche righe sopra — era Johnny Moore.

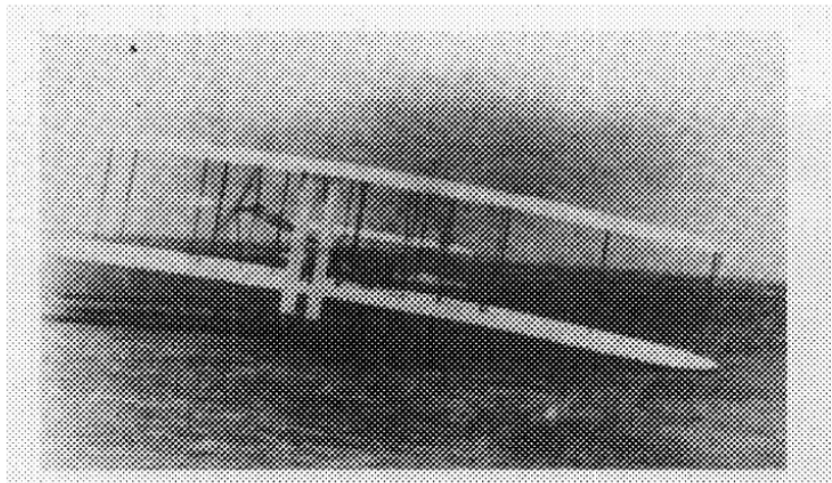


Figura 2.5. Il terzo volo della giornata: Orville sorvola le dune coprendo 200 piedi in 15 secondi.

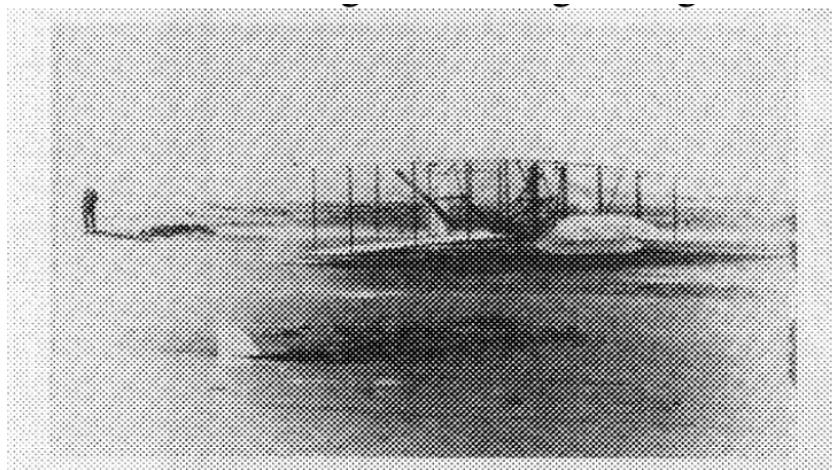


Figura 2.6. Il quarto volo, il più lungo: 852 piedi in 59 secondi, con Wilbur ai comandi.

Mentre ce ne stavamo lì a discutere di quest'ultimo volo, una forte raffica improvvisa investì la macchina e cominciò a rovesciarla. Tutti si precipitarono verso di essa. Wilbur, che era a un'estremità, l'afferrò sul davanti; il signor Daniels ed io, che eravamo dietro, cercammo di fermarla aggrappandoci ai montanti posteriori. Ogni sforzo fu vano: la macchina rotolò più e più volte su se stessa. Daniels, che non aveva mollato la presa, fu trascinato con essa e sballottato a capofitto dentro la macchina. Per fortuna non riportò ferite serie, benché uscisse malconcio dagli urti contro il motore, le guide delle catene e il resto. Le cinghie delle superfici della macchina erano rotte, il motore danneggiato e le guide delle catene malamente piegate: ogni possibilità di ulteriori voli, per quell'anno, era finita.

Il senso di tutto questo

Dodici secondi, poi dodici, quindici, cinquantanove. In tutto meno di due minuti di volo, conclusi da una raffica che distrusse la macchina. Eppure quella giornata cambiò la storia, e il testo che avete appena letto spiega *perché* riuscì: dietro i dodici secondi ci sono le tabelle di pressione ricavate in galleria del vento, il motore progettato attorno a un requisito di peso e potenza, le eliche calcolate con la teoria quando i libri offrivano solo formule empiriche, l'esperimento dei sacchi di sabbia per misurare l'attrito delle catene, la strumentazione automatica di bordo, e tre anni di addestramento al pilotaggio sugli alianti. Il volo a motore non fu un colpo di fortuna: fu il primo collaudo riuscito di un progetto di ingegneria completo. È il mestiere che state imparando.

Glossario di inglese tecnico aeronautico

I termini che seguono compaiono nel testo originale FAA. Impararli ora significa costruire il vocabolario minimo per leggere manualistica e letteratura tecnica in inglese.

Inglese	Italiano	Nota
thrust	spinta	forza propulsiva dell'elica
lift	portanza	(non compare, ma è implicito ovunque)
drag	resistenza aerodinamica	
weight	peso	
equilibrium	equilibrio	inteso come controllabilità
glider	alante	
flying machine	macchina volante	termine d'epoca per «aeroplano»
propeller	elica	
blade	pala (dell'elica)	
pitch (angle)	(angolo di) calettamento	delle pale
slip	regresso	scorrimento dell'aria all'indietro
shaft	albero (di trasmissione)	
sprocket	ruota dentata (per catena)	
chain drive	trasmissione a catena	
flywheel	volano	
bore	alesaggio	diametro del cilindro
stroke	corsa	del pistone
brake horse power	potenza effettiva al freno	bhp; misurata al banco
power plant	gruppo motopropulsore	
front rudder	timone (di profondità) anteriore	oggi: canard
wing warping	svergolamento alare	antenato degli alettoni
lateral balance	equilibrio laterale	controllo di rollio
to stall	stallare	perdita di portanza
to pitch	beccheggiare	moto attorno all'asse trasversale
skid	pattino (d'atterraggio)	
strut / upright	montante	
rib	centina	
span	apertura (alare)	
monorail track	binario monorotaia	rotaia di decollo
anemometer	anemometro	misura la velocità del vento
revolution counter	contagiri	
ground speed	velocità al suolo	
airspeed	velocità rispetto all'aria	
headwind	vento contrario	
gust	raffica	

Fattori di conversione

Tutte le conversioni nel testo sono state calcolate con i fattori esatti seguenti e arrotondate alla precisione mostrata.

Unità	Simbolo	Equivalenza SI	Regola pratica
piede	ft	1 ft = 0,3048 m	≈ 30 cm
pollice	in	1 in = 25,4 mm	≈ 2,5 cm
miglio terrestre	mi	1 mi = 1609,344 m	≈ 1,6 km
miglio orario	mph	1 mph ≈ 0,447 m/s	dimezza e poco meno
piede al secondo	ft/s	1 ft/s = 0,3048 m/s	un terzo circa
libbra (massa)	lb	1 lb ≈ 0,4536 kg	poco meno di mezzo kg
cavallo (imperiale)	hp	1 hp ≈ 745,7 W	≈ 3/4 di kW

Esercizio svolto: rifare i conti di Orville

Dati. Nel primo volo: durata $t = 12$ s; distanza al suolo $d_g = 120$ ft; velocità del vento $V_w > 35$ ft/s; distanza equivalente dichiarata in aria calma $d = 540$ ft.

Modello fisico. Moto rettilineo uniforme in prima approssimazione; composizione delle velocità: $V = V_g + V_w$ (vento esattamente contrario).

Svolgimento. La velocità media al suolo è

$$V_g = \frac{d_g}{t} = \frac{120 \text{ ft}}{12 \text{ s}} = 10 \text{ ft/s} \simeq 3,0 \text{ m/s},$$

cioè poco più di una camminata svelta: ecco perché Wilbur poteva correre a fianco della macchina. La velocità rispetto all'aria:

$$V = V_g + V_w = 10 + 35 = 45 \text{ ft/s} \simeq 13,7 \text{ m/s} \simeq 49 \text{ km/h}.$$

La distanza percorsa *rispetto all'aria*:

$$d = V t = 45 \text{ ft/s} \times 12 \text{ s} = 540 \text{ ft} \simeq 165 \text{ m}.$$

Conclusione. Il valore dichiarato da Orville è riprodotto esattamente: i suoi «540 piedi in aria calma» sono la distanza aerodinamicamente significativa, quella che l'ala ha realmente «visto». *Limite del modello:* abbiamo assunto vento e velocità costanti, mentre il testo descrive un volo «estremamente irregolare»; il risultato va dunque inteso come media rappresentativa.

Dentro il motore del Flyer: quaderno tecnico

Dove stiamo andando

Orville parla di alesaggi, corse, cavalli al freno, volani leggeri e ruote dentate come noi parleremmo del motorino: senza spiegare nulla, perché per lui erano il pane quotidiano dell'officina. Questo quaderno rimette in fila quei concetti, nell'ordine in cui compaiono nell'articolo, e li usa per un piccolo esperimento di *archeologia ingegneristica*: dai soli dati che Orville dichiara ricaveremo quanto «respirava» davvero il motore del Flyer — e scopriremo che una sua frase, apparentemente solo un rammarico, è in realtà una misura precisa.

C.1 Alesaggio, corsa, cilindrata

Definizione: alesaggio e corsa

L'**alesaggio** B (inglese *bore*) è il diametro interno del cilindro, cioè il diametro del pistone che vi scorre dentro. La **corsa** S (inglese *stroke*) è la distanza percorsa dal pistone fra le sue due posizioni estreme: il *punto morto superiore* (PMS), di massimo avvicinamento alla testata, e il *punto morto inferiore* (PMI). La corsa è legata alla geometria del manovellismo: vale il doppio del raggio di manovella, $S = 2r$.

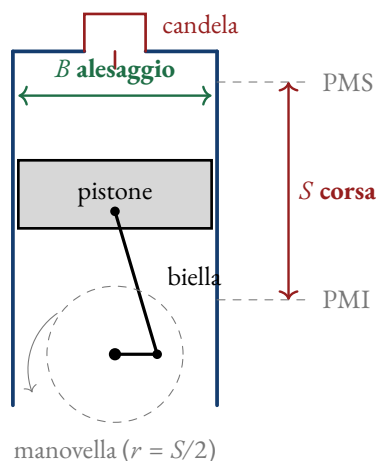


Figura C.1. Nomenclatura del cilindro: alesaggio B , corsa S fra punto morto superiore e inferiore, manovellismo biella-manovella. (Il pistone è disegnato in posizione intermedia; le quote della corsa si riferiscono alla posizione del cielo del pistone.)

Dal punto di vista geometrico, il volume spazzato dal pistone in una corsa è un cilindro di diametro B e altezza S :

Cilindrata

La **cilindrata unitaria** (di un cilindro) è il volume spazzato dal pistone fra PMI e PMS:

$$V_u = \frac{\pi B^2}{4} S,$$

e la **cilindrata totale** di un motore a i cilindri è $V_t = i V_u$. Attenzione alle unità: con B e S in decimetri, V risulta in litri.

Esercizio svolto C.1 — Le tre cilindrata dell'articolo

Dati. Orville cita tre motori: (a) il monocilindro offerto in vendita, $B = 4$ in, $S = 5$ in; (b) il motore del Flyer, $i = 4$ cilindri da 4 in $\times$ 4 in; (c) il motore d'officina, monocilindrico, 5 in $\times$ 7 in.

Modello. Pura geometria: $V_u = \pi B^2 S / 4$. Convertiamo prima in unità SI: 4 in = $101,6$ mm, 5 in = $127,0$ mm, 7 in = $177,8$ mm.

Svolgimento.

$$\begin{aligned} \text{(a)} \quad V_t &= \frac{\pi (1,016 \text{ dm})^2}{4} \cdot 1,270 \text{ dm} \simeq 1,03 \text{ L}; \\ \text{(b)} \quad V_t &= 4 \cdot \frac{\pi (1,016)^2}{4} \cdot 1,016 \simeq 4 \cdot 0,824 \text{ L} \simeq 3,30 \text{ L}; \\ \text{(c)} \quad V_t &= \frac{\pi (1,270)^2}{4} \cdot 1,778 \simeq 2,25 \text{ L}. \end{aligned}$$

Conclusione. Il motore del Flyer aveva la cilindrata di una grossa automobile odierna (3,3 L) per soli 12 cavalli: è il primo indizio che qualcosa, in quel motore, lavorava molto al di sotto delle possibilità. Il paragrafo C.3 trasformerà questo indizio in una misura. Notate anche perché i Wright diffidavano del monocilindro in vendita: con appena 1 L avrebbe dovuto dare gli stessi 8 cavalli promessi — «molto sopravvalutato», appunto.

C.2 Come funziona: il ciclo a quattro tempi

Il motore del Flyer era un motore a combustione interna a quattro tempi, funzionante secondo il ciclo che oggi chiamiamo *ciclo Otto*. L'idea fisica è questa: si intrappola nel cilindro una miscela di aria e vapori di benzina, la si comprime, la si accende; la combustione, quasi istantanea, innalza fortemente pressione e temperatura del gas, e il gas in pressione spinge il pistone compiendo *lavoro meccanico*. Il manovellismo biella-manovella converte il moto alterno del pistone in rotazione dell'albero. In termini energetici: energia chimica del combustibile → energia interna del gas → lavoro sul pistone → energia meccanica all'albero.

I «quattro tempi» sono quattro corse del pistone, cioè *due giri completi* dell'albero per ogni ciclo utile:

Tempo	Nome	Pistone	Che cosa accade
1	aspirazione	PMS → PMI	entra miscela aria-benzina
2	compressione	PMI → PMS	la miscela viene compressa
3	espansione	PMS → PMI	accensione; il gas <i>spinge</i> : è il tempo utile
4	scarico	PMI → PMS	i gas combusti vengono espulsi

«Motore a scoppio» è un soprannome, non una descrizione

Nel linguaggio comune si dice «motore a scoppio», ma fisicamente in un motore ben funzionante non avviene alcuno scoppio: la combustione è una *deflagrazione* rapida e controllata, un fronte di fiamma

che attraversa la camera in pochi millisecondi. Quando invece la miscela detona davvero (fenomeno del *battito in testa*), il motore si danneggia. Orville lo sapeva bene: parlando degli alberi rotti cita proprio le «accensioni premature o mancate», cioè combustioni fuori tempo che producevano colpi di coppia anomali.

Su un solo cilindro, dunque, un solo tempo su quattro produce lavoro: per mezzo giro l'albero è spinto, per un giro e mezzo deve «tirare avanti» il pistone attingendo all'energia cinetica delle masse rotanti. Da qui due rimedi classici, entrambi presenti nella vicenda del Flyer: *più cilindri* con accensioni sfalsate (i quattro cilindri dei Wright) e il *volano* (§C.5).

C.3 Da dove viene la potenza: la pressione media effettiva

Quanta potenza può dare un motore? Il ragionamento è da fare una volta nella vita, perché illumina tutto il resto. Ad ogni ciclo, il gas compie sul pistone un certo lavoro netto L_{ciclo} . È comodo esprimerlo così: immaginiamo una pressione *costante* fittizia p_{me} che, agendo sul pistone per l'intera corsa di espansione, produca lo stesso lavoro del ciclo reale. Poiché il lavoro di una pressione costante su un pistone è pressione $\times$ volume spazzato:

$$L_{\text{ciclo}} = p_{me} V_t.$$

Questa p_{me} si chiama **pressione media effettiva** ed è la «pagella» del motore: misura quanto lavoro si sprema da ogni litro di cilindrata, indipendentemente dalle dimensioni. Se il motore compie n giri al secondo, essendo a quattro tempi completa $n/2$ cicli al secondo, e la potenza — lavoro nell'unità di tempo — è:

Potenza di un motore a quattro tempi

$$P = p_{me} V_t \frac{n}{2} \quad \begin{array}{ll} P \text{ in watt,} & p_{me} \text{ in pascal,} \\ V_t \text{ in m}^3, & n \text{ in giri al secondo.} \end{array}$$

La potenza cresce con la cilindrata (V_t), con il regime di rotazione (n) e con la qualità della combustione e del riempimento (p_{me}). Tutta la storia del motore aeronautico a pistoncini — dal Flyer ai grandi stellari — è la storia dell'aumento di questi tre fattori a parità di peso.

Esercizio svolto C.2 — La «pagella» del motore del Flyer

Dati. Dall'articolo e dalla didascalia FAA: potenza continua $P = 12 \text{ hp} \simeq 8,95 \text{ kW}$ a 1090 giri/min; cilindrata $V_t \simeq 3,30 \text{ L}$ (esercizio C.1).

Modello. Motore a quattro tempi in regime stazionario: $P = p_{me} V_t n/2$. *Incognita:* p_{me} .

Svolgimento. Il regime in giri al secondo:

$$n = \frac{1090}{60} \simeq 18,2 \text{ giri/s} \quad \Rightarrow \quad \frac{n}{2} \simeq 9,08 \text{ cicli/s.}$$

Invertiamo la formula della potenza:

$$p_{me} = \frac{2P}{V_t n} = \frac{8950 \text{ W}}{3,30 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times 9,08 \text{ s}^{-1}} \simeq 2,99 \times 10^5 \text{ Pa} \simeq 3,0 \text{ bar.}$$

Conclusione. Circa 3 bar. Un motore automobilistico aspirato odierno raggiunge da 10 bar–12 bar; perfino i buoni motori del decennio successivo al Flyer superavano i da 6 bar–7 bar. Ecco la frase di Orville trasformata in numero: «una maggiore esperienza ci mostrò poi che non ottenevamo neppure la metà della potenza che avremmo dovuto avere» — ed è esattamente ciò che troviamo: 3 contro 6–7 bar. Le cause? Carburazione rudimentale (la benzina gocciolava in una camera scaldata), niente pompa di lubrificazione, accensione primitiva, condotti strozzati. *Limiti del modello:* p_{me} qui è ricavata dai dati di targa, non misurata al banco; e assumiamo la cilindrata geometrica esatta da $4'' \times 4''$.

E il pistone, quanto correva?

Un altro indice dello stato dell'arte: la *velocità media del pistone*, $v_p = 2 S n$ (in ogni giro il pistone percorre due corse). Per il Flyer: $v_p = 2 \times 0,1016 \text{ m} \times 18,2 \text{ s}^{-1} \simeq 3,7 \text{ m/s}$. I motori moderni lavorano a da 10 m/s–15 m/s: il motore dei Wright girava piano, con sollecitazioni miti — una scelta prudente e coerente con officina, materiali e lubrificazione di cui disponevano.

C.4 Che cosa significa «potenza al freno»

Orville chiede ai costruttori *eight brake horse power*: otto cavalli *al freno*. Il freno in questione è il *freno dinamometrico*: si applica all'albero del motore un dispositivo che lo frena con una coppia resistente C regolabile e *misurabile* (nei più semplici, un nastro o dei ceppi su una puleggia, con la forza letta da una bilancia — da cui il nome). In regime stazionario la coppia motrice eguaglia quella frenante, e la potenza si ottiene da:

$$P = C \omega = C \cdot 2\pi n.$$

È la potenza *effettivamente disponibile all'albero*, al netto di tutti gli attriti interni: quella che conta per far girare le eliche. La distinzione era tutt'altro che accademica: il motore da 8 hp «alla francese» che i Wright rifiutarono era accreditato con un sistema di valutazione nominale più generoso, non con una misura al freno. Sulle prestazioni, i Wright volevano *misure*, non dichiarazioni — e su un monocilindro da un litro, 8 cavalli veri erano semplicemente poco credibili nel 1903.

C.5 Il volano leggero e i colpi di coppia

Il **volano** (inglese *flywheel*) è un disco massiccio calettato sull'albero motore. La sua funzione è immagazzinare energia cinetica di rotazione,

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2,$$

dove I è il momento d'inerzia. Serve da «serbatoio di regolarità»: assorbe energia durante il tempo utile (quando il gas spinge) e la restituisce nei tre tempi passivi, mantenendo la rotazione quasi uniforme. Più grande è I , più piccole sono le oscillazioni di velocità e di coppia trasmesse a valle.

Ma un volano massiccio pesa, e su un aeroplano ogni libbra conta: i Wright montarono un volano *leggero*. Conseguenza: i picchi di coppia di ogni combustione — e peggio ancora quelli anomali delle «accensioni premature o mancate» — arrivavano quasi integri alla trasmissione. È l'anello che chiude la vicenda degli alberi delle eliche raccontata nell'articolo: gli alberi tubolari, rigidissimi, ricevevano quei colpi senza poterli attenuare e si incrinarono; gli alberi pieni, più cedevoli torsionalmente, funzionarono da molla e sopravvissero. Nel progetto di una trasmissione, la catena motore–albero–elica va vista come un *sistema elastico sollecitato dinamicamente*, non come un semplice condotto di potenza: rigidità, inerzia ed elasticità vanno dosate insieme.

Il compromesso è il mestiere

Notate la catena di compromessi: volano leggero per risparmiare peso $\Rightarrow$ coppia irregolare $\Rightarrow$ serve elasticità nella trasmissione $\Rightarrow$ albero pieno sottile invece del tubo rigido. In aeronautica nessuna scelta è locale: ogni grammo risparmiato in un punto va «ripagato» ripensando i componenti a valle. Vale nel 1903 e vale identico oggi.

C.6 Catena, ruote dentate, eliche controrotanti

La potenza passava dal motore alle due eliche tramite una **trasmissione a catena**, la tecnologia che i Wright padroneggiavano da costruttori di biciclette: su ciascun albero è calettata una **ruota dentata** (inglese *sprocket*:

la ruota per catena, da non confondere con *gear*, l'ingranaggio a contatto diretto) e la catena trasferisce il moto. Se la ruota condotta ha più denti della conduttrice, la rotazione viene *ridotta*: le eliche del Flyer giravano molto più lente del motore.

Perché ridurre? La risposta è nell'articolo stesso, dove Orville spiega la scelta delle due eliche: ottenere «*la reazione contro una maggiore quantità d'aria*». Un'elica grande e lenta accelera *molta* aria di *poco*; un'elica piccola e veloce accelera poca aria di molto. A parità di spinta, la prima disperde meno energia cinetica nella scia, cioè ha rendimento propulsivo maggiore — è lo stesso principio per cui i turboventola moderni hanno soppiantato i turbogetti puri, e lo ritroveremo studiando la teoria impulsiva. La riduzione a catena era il ponte fra un motore che rendeva al meglio a regime alto e due eliche che rendevano al meglio a regime basso.

Quanto alla *controrotazione*: un'elica in rotazione è un giroscopio, possiede un momento della quantità di moto $\mathbf{L} = I\boldsymbol{\omega}$ diretto lungo il proprio asse. Quando il velivolo manovra — beccheggia, imbarda — questo vettore viene forzato a ruotare, e il rotore risponde con coppie giroscopiche indesiderate su un asse *diverso* da quello di manovra (un beccheggio genera una tendenza all'imbardata, e viceversa). Con due eliche identiche in versi opposti i due momenti si annullano a coppia: $\mathbf{L}_1 + \mathbf{L}_2 = \mathbf{0}$, e la macchina resta giroscopicamente «neutra». Incrociando una catena delle due (altro trucco da ciclisti), i Wright ottennero la controrotazione senza alcun ingranaggio aggiuntivo.

Il senso di tutto questo

Rileggete ora il passo sul motore con questo quaderno accanto: ogni parola di Orville si è riempita di fisica. L'alesaggio e la corsa fissano la cilindrata; la cilindrata, il regime e la qualità della combustione fissano la potenza; la potenza al freno è l'unica che conta, perché è misurata; il volano governa la regolarità della coppia; la catena adatta i regimi e la controrotazione azzerava i momenti giroscopici. E soprattutto: da quattro numeri dichiarati in un articolo del 1913 avete ricavato voi stessi, con una formula e una divisione, quanto valeva davvero quel motore. Questo è leggere una fonte tecnica da ingegneri.

«Conceived by genius, achieved by dauntless resolution and unconquerable faith.»

Iscrizione sul monumento ai fratelli Wright, Kill Devil Hill