

Serie Raucci — Costruzioni Aeronautiche

Storia dell'Aeronautica

Dalle ali di Icaro al Flyer dei fratelli Wright

prof. ing. Biagio Raucci

ITIS «E. Majorana» — Somma Vesuviana (NA)

Serie Raucci — Costruzioni Aeronautiche



Il filo del discorso

Undici tappe, dal mito al volo ipersonico

Le slide seguono la monografia capitolo per capitolo, con tutti e nove gli esercizi svolti.

Il volo che cambiò il mondo

Wilbur e Orville Wright: i primi ingegneri aeronautici

I precursori: dal mito al pallone aerostatico

Il triangolo aeronautico: Langley, i Wright e Curtiss

Sir George Cayley, il padre dell'aeroplano

Il problema della propulsione

L'interregno: 1853–1891

Più veloci e più in alto

Gli uomini dell'aria: Lilienthal e Pilcher

Le tappe fondamentali: quadro riassuntivo

L'aeronautica arriva in America: Chanute e Langley

Perché cominciare dalla storia

Premessa

Questa monografia non contiene travi da dimensionare né profili da analizzare: racconta *come* l'umanità sia arrivata a volare. Non è un capitolo decorativo. Ogni formula che studierete nei prossimi tre anni — portanza, resistenza, carico alare, rendimento dell'elica — è nata da un secolo di tentativi, errori, intuizioni e tragedie.

Da ricordare

L'ingegneria aeronautica non è un catalogo di formule, ma un metodo: osservare, misurare, dubitare dei dati altrui quando non tornano, e ricominciare da capo con esperimenti propri.

Parte 1

Il volo che cambiò il mondo

1

Kill Devil Hills, 17 dicembre 1903

Ore 10:35 del mattino

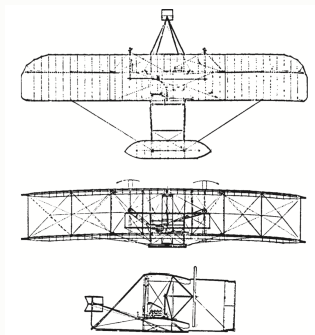
Una spiaggia della Carolina del Nord, dune di sabbia, freddo pungente. Su un binario di lancio lungo una ventina di metri attende una macchina fragile: due ali di abete e tela, un equilibratore *davanti*, un doppio timone dietro. Orville è sdraiato prono sull'ala inferiore. Wilbur corre a fianco della punta d'ala destra. Il velivolo si stacca, sale a tre metri, picchia, risale.



L'istante del decollo, fotografato da John Daniels.

Il Wright Flyer I

Configurazione biplana, canard anteriore, doppio timone



Trittico del *Wright Flyer I* (1903): pianta, prospetto frontale e vista laterale.

Quattro voli in un mattino

E un telegramma al padre, la sera stessa

Il primo volo dura 12 s e copre 120 ft (36,6 m). Il quarto, con Wilbur a bordo, copre 852 ft — circa 260 m — restando in aria 59 s.

Il telegramma della sera riporta: quattro voli contro un vento di ventuno miglia orarie, velocità media rispetto all'aria di trentuno miglia orarie, volo più lungo di cinquantasette secondi.

Osservazione

Un dettaglio che a un futuro tecnico non deve sfuggire: il telegramma dà la velocità *rispetto all'aria*, non quella rispetto al suolo. I Wright sapevano che per l'aerodinamica conta il moto relativo fra velivolo e aria.

Velocità all'aria e velocità al suolo

Il primo concetto del corso

Definizione

La **velocità all'aria** V (*airspeed*) è il modulo della velocità del velivolo rispetto alla massa d'aria in cui è immerso: da essa dipendono le forze aerodinamiche. La **velocità al suolo** V_g (*ground speed*) è quella rispetto al terreno.

Composizione delle velocità

$$\vec{V}_g = \vec{V} + \vec{V}_w \quad \implies \quad V_g = V - V_w \quad (\text{vento contrario allineato})$$

Esercizio 1.1 — La cinematica del primo volo

Traccia

Esercizio svolto 1.1

Dai dati storici del 17 dicembre 1903: distanza al suolo $d = 120$ ft, durata $t = 12$ s, vento contrario $V_w = 21$ mph, velocità all'aria dichiarata $V = 31$ mph.

Richieste. (a) Convertire i dati in unità SI. (b) Calcolare la velocità media al suolo e confrontarla con la differenza $V - V_w$. (c) Commentare l'eventuale discrepanza.

Esercizio 1.1 — Svolgimento

dati → *modello* → *equazione* → *incognita* → *verifica*

- 1) $1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$, $1 \text{ mph} = 0,44704 \text{ m/s}$: $d = 36,58 \text{ m}$, $V = 13,86 \text{ m/s}$, $V_w = 9,39 \text{ m/s}$.
- 2) Aria in moto traslatorio uniforme, vento frontale allineato alla traiettoria.
- 3) $V_g = \frac{d}{t}$ da confrontare con $V - V_w$
- 4) $V_g = 36,58/12 = 3,05 \text{ m/s} \approx 6,8 \text{ mph} \approx 11,0 \text{ km/h}$; $V - V_w = 10 \text{ mph} \approx 4,5 \text{ m/s}$
- 5) I due valori *non* coincidono: 6,8 mph misurati contro 10 mph attesi.

Esercizio 1.1 — Il commento

Perché la discrepanza è istruttiva

Osservazione

I 31 mph sono una *media* lungo il volo; il vento a raffiche non era costante; la traiettoria era tutt'altro che rettilinea e orizzontale — il Flyer saliva e picchiava di continuo — e gli strumenti del 1903 erano rudimentali.

Il senso di tutto questo

Rispetto al suolo il Flyer avanzava alla velocità di una corsa a piedi. Fu il vento sostenuto di Kitty Hawk — scelto apposta consultando l'ufficio meteorologico — a fornire gran parte della velocità all'aria necessaria a sostenere il peso.

Perché proprio loro?

Il senso di questa storia

I Wright non inventarono l'aeroplano dal nulla: sono il punto di arrivo di un secolo intero di ricerca. Il tempo era maturo; furono l'ingegno e la straordinaria metodicità dei due fratelli di Dayton a far sì che il traguardo fosse tagliato proprio da loro.

Che cosa rende «ingegnere» un pioniere

Il criterio che adotteremo è quello che userete nella professione: è ingegnere chi **quantifica**. Cayley che misura le forze su una superficie rotante, Lilienthal che tabula i coefficienti delle sue ali, i Wright che costruiscono galleria e bilancia. Chi salta da una torre con ali di piume, per quanto coraggioso, non lo è.

Parte 2

I precursori

2

Il sogno antico: imitare gli uccelli

Dedalo, Icaro e i saltatori dalle torri

Il mito di Dedalo e Icaro è la testimonianza più antica del desiderio di volare — e già associa il volo a un *vincolo tecnico da rispettare*. Potremmo dire, con un sorriso, che Icaro fu la prima vittima del mancato rispetto dei limiti di impiego del proprio mezzo.

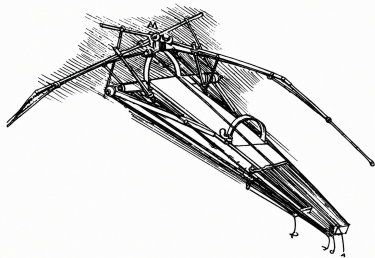
Per secoli il pensiero restò ancorato all'imitazione diretta dell'uccello: ali legate alle braccia, lanci da torri e tetti, risultati sempre fallimentari e spesso tragici. Poi l'idea si fece più elaborata: ali battenti azionate da meccanismi muscolari, cioè **ornitotteri**.

Leonardo e l'ossessione del volo

1486–1490 circa

Nei manoscritti superstiti di Leonardo oltre 35 000 parole e circa 500 schizzi riguardano il volo. Progettò un gran numero di ornitotteri.

Non sappiamo se li abbia mai costruiti o provati; sappiamo però, con gli strumenti dell'analisi moderna, che il volo umano ad ali battenti era destinato al fallimento.



Uno dei progetti di ornitottero di Leonardo da Vinci.

Perché l'ornitottero umano non può funzionare

Un problema energetico, prima che strutturale

Approfondimento

Un essere umano allenato eroga con continuità 200 W–300 W, con punte di 700 W–900 W per pochi secondi. Per un sistema uomo + macchina di 80 kg–100 kg, anche con aerodinamica eccellente, servono diverse centinaia di watt *continui*: il margine è inesistente.

Il senso di tutto questo

Non a caso il primo volo a propulsione umana (*Gossamer Condor*, 1977) fu ottenuto con ala *fissa*, elica e struttura ultraleggera. Gli sforzi di Leonardo, pur straordinari, non fecero avanzare la strada che portava all'aeroplano.

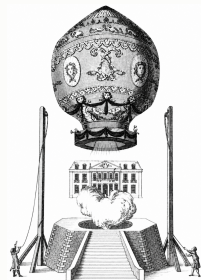
21 novembre 1783: l'uomo lascia il suolo

I fratelli Montgolfier

Pilâtre de Rozier e il marchese d'Arlandes si alzano in volo e derivano per circa otto chilometri sopra Parigi, restando in aria venticinque minuti.

L'idea era nata osservando un camino: la forza ascensionale dell'aria calda. I Montgolfier sperimentarono con sacchi di carta e tela e con dimostrazioni pubbliche — compreso il volo di otto minuti con a bordo una pecora, un gallo e un'anatra.

Pochi giorni dopo, il 1° dicembre, il fisico J. A. C. Charles vola con un pallone a idrogeno.



Il primo viaggio aereo della storia.

Archimede in aria

Un volo concettualmente opposto a quello dell'aeroplano

Osservazione

Il pallone vola per il principio di Archimede: la spinta aerostatica è pari al peso dell'aria spostata, e il volo è possibile perché l'aria calda (o l'idrogeno) ha densità minore dell'aria ambiente.

Da ricordare

L'aeroplano è «più pesante dell'aria» e deve *generare* la propria sustentazione con il moto. Il pallone galleggia; l'ala lavora.

Il quadro concettuale

Due famiglie, una sola storia difficile

Aerostati

- più leggeri dell'aria;
- palloni e dirigibili;
- sostenuti dalla spinta di Archimede.

Aerodine

- più pesanti dell'aria;
- alianti, aeroplani, elicotteri;
- sostenuti da forze aerodinamiche.

Nota

Gli aerostati non hanno ali. Ebbero però un ruolo storico enorme: per quasi un secolo furono l'unico mezzo di volo umano.

Parte 3

Cayley

3

1799: il disco d'argento

L'aeroplano moderno ha una data di nascita concettuale

Cayley concepisce il primo progetto della storia a riunire un'ala *fissa* per la sustentazione, un meccanismo *separato* per la propulsione e un impennaggio a croce per la stabilità.

Sul rovescio: la forza aerodinamica su una lastra inclinata, scomposta in **portanza** e **resistenza**.



Le due facce del disco d'argento, 1799.

Il principio di Cayley

L'idea che vale un secolo di ornitotteri

Separazione delle funzioni

L'**ala fissa**, investita dal vento relativo, genera la portanza L ; il **propulsore** genera la spinta T che vince la resistenza D ; gli **impennaggi** garantiscono stabilità e controllo. In volo orizzontale uniforme:

$$L = W, \quad T = D.$$

Il senso di tutto questo

Queste due uguaglianze, che ritroverete identiche nel modulo di meccanica del volo, sono la traduzione matematica dell'intuizione incisa sul disco d'argento del 1799.

L'uomo Cayley

Scarborough 1773 — Brompton 1857

Intelletto vastissimo, ottantaquattro anni di vita attiva. Nel 1825 inventa il trattore a cingoli; fonda la Yorkshire Philosophical Society (1821); è cofondatore della British Association for the Advancement of Science (1831); siede in Parlamento; è autorità riconosciuta in materia di bonifiche; pubblica di ottica e di sicurezza ferroviaria; soccorre personalmente le famiglie colpite dalla crisi industriale dello Yorkshire.

Da ricordare

Ma il suo contributo maggiore e duraturo all'umanità fu l'aeronautica. Nel 1846 Henson lo definì «il padre della navigazione aerea».

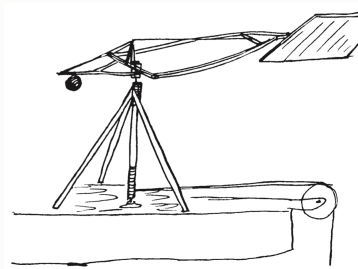
1804: il braccio rotante

L'antenato concettuale della galleria del vento

Una superficie portante all'estremità di un'asta in rotazione: per la prima volta si possono *misurare* le forze aerodinamiche e la posizione del centro di pressione.

Le misure non erano accurate — dopo alcuni giri l'aria si metteva in rotazione con l'apparato — ma fu il primo passo della sperimentazione aerodinamica.

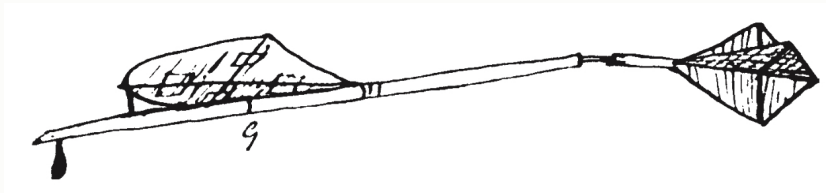
Per correttezza storica: il braccio rotante fu inventato dall'ingegnere militare Benjamin Robins nel 1742, per studi di balistica.



Il braccio rotante di Cayley.

1804: il primo aeroplano di configurazione moderna

Un metro di asta, un'ala fissa, un impennaggio regolabile



Lo schizzo di Cayley del suo aliante modello del 1804.

Il senso di tutto questo

Vi sembrerà un giocattolo. Nel 1804 quel modello fu *il primo aeroplano di configurazione moderna della storia*.

On Aerial Navigation, 1809–1810

Il primo trattato di aerodinamica della storia

Nel «triplo articolo» compaiono, per la prima volta:

- il principio della macchina volante come superficie che sostiene un peso applicando potenza contro la resistenza dell'aria;
- il fatto che una superficie **curva** genera portanza più efficientemente di una piana;
- l'affermazione che la portanza nasce da una **regione di bassa pressione sul dorso dell'ala**;
- la prima trattazione del ruolo dei piani di coda nella stabilità.

L'intuizione della depressione dorsale

Senza manometri e senza gallerie

Osservazione

Nel linguaggio moderno: in condizioni tipiche di volo circa *due terzi* della portanza di un profilo provengono dalla depressione sul dorso, e solo un terzo dalla sovrappressione sul ventre.

Il senso di tutto questo

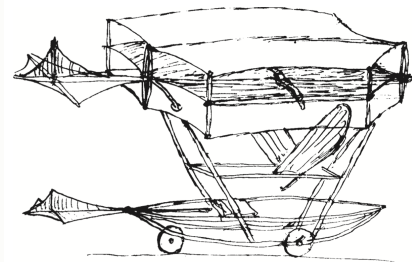
Quando tratterete le distribuzioni del coefficiente di pressione c_p lungo la corda, ricordate che il primo a «vedere» quella depressione fu un baronetto dello Yorkshire nel 1809.

1849: il *boy carrier*

Il primo a proporre le configurazioni multiplane

Un triplano a grandezza naturale: durante alcune prove un ragazzino di dieci anni fu sollevato di qualche metro planando lungo un pendio.

La motivazione delle ali sovrapposte era squisitamente **strutturale**: Cayley temeva il cedimento di un'unica grande ala monoplana.



Lo schizzo del triplano del 1849.

Biplano contro monoplano

Un problema di strutture, non di aerodinamica

Approfondimento

Un'ala monoplana di grande apertura è una trave a sbalzo molto sollecitata alla radice: con legno e tela una campata lunga e sottile non poteva reggere. La cellula biplana si comporta invece come una **travatura reticolare**: le due ali sono i correnti, montanti e cavi le aste di parete.

Il senso di tutto questo

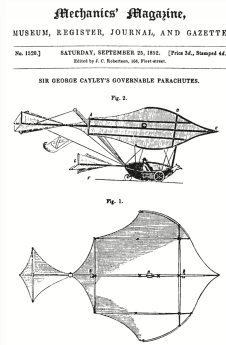
Struttura più rigida e leggera, al prezzo di più resistenza. La vicenda biplano/monoplano è la storia di questo compromesso, che risolveranno solo le strutture a guscio.

1852: il «paracadute governabile»

Quasi tutto l'aeroplano moderno, in un articolo di rivista

A settantanove anni Cayley pubblica il progetto di un grande aliante pilotato con: ala calettata e dotata di **diedro**; impennaggio cruciforme regolabile; equilibratore e timone *azionati dal pilota*; fusoliera a navicella con seggiolino e *carrello triciclo*; costruzione a travi tubolari e scatolari.

Bisognerà attendere i Wright per rivedere riuniti tutti questi elementi.



Il progetto del 1852.

1853: il volo del cocchiere

E un secolo di occasioni perdute

In una data imprecisata del 1853 il cocchiere di casa Cayley planò per alcune centinaia di metri attraverso una valletta a Brompton. L'atterraggio fu brusco e il cocchiere, riavutosi, presentò le dimissioni: era stato assunto per guidare, non per volare.

L'articolo del 1852 passò quasi inosservato e fu riscoperto solo nel 1960 da Gibbs-Smith, che sostenne: se i pionieri successivi lo avessero letto, il volo a motore sarebbe arrivato già negli anni Novanta dell'Ottocento.

Attenzione

La letteratura tecnica va letta. Chi non studia lo stato dell'arte è condannato a reinventare — male — ciò che altri hanno già fatto.

Parte 4

L'interregno

4

Un cinquantennio di tentativi scoordinati

Ma ogni tentativo aggiunge un piolo alla scala

Nel mezzo secolo successivo al volo del cocchiere non si registrarono progressi paragonabili a quelli del cinquantennio precedente: l'opera di Cayley era ormai oscura a quasi tutti.

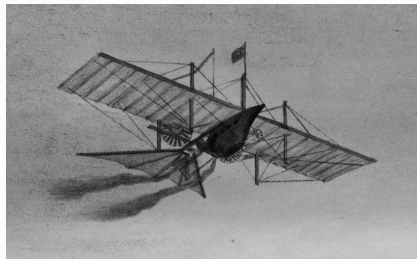
Ciononostante il periodo fu ricco di fermenti, con numerosi personaggi che si lanciarono — talvolta alla cieca e in direzioni scoordinate — alla conquista dell'aria. Vale la pena passarne in rassegna i principali, perché ciascuno aggiunse un piolo alla scala che i Wright avrebbero poi salito fino in cima.

Henson, 1843: l'aeroplano di carta più influente

L'aerial steam carriage

Un aeroplano ad ala fissa mosso da un motore a vapore che aziona due eliche. Non fu mai costruito, ma le incisioni che lo illustravano furono riprodotte e vendute in tutto il mondo.

Con occhio tecnico vi riconosciamo: motore *dentro* una fusoliera chiusa, due eliche, carrello triciclo e un'unica ala rettangolare di elevato **allungamento**.



Una delle celebri incisioni della carrozza aerea a vapore.

L'allungamento alare

Il parametro che l'Ottocento intuì senza saperlo spiegare

Definizione: allungamento (*aspect ratio*)

$$AR = \frac{b^2}{S}$$

con b apertura alare e S superficie in pianta. Per un'ala rettangolare di corda c costante si ha semplicemente $AR = b/c$.

Il senso di tutto questo

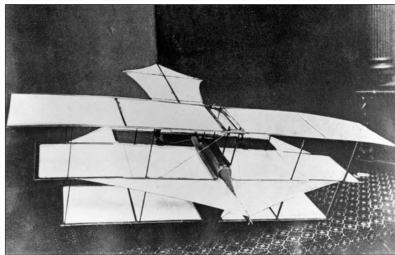
Ali di elevato allungamento generano portanza con minore **resistenza indotta**. Le idee di Cayley, dimenticate nelle riviste, furono tramandate proprio dalle stampe di Henson.

Stringfellow e il triplano del 1868

Il ponte verso il biplano moderno

Amico di Henson, Stringfellow costruì piccoli motori a vapore e tentò di far decollare modelli monopiani: ci andò vicino senza riuscirci.

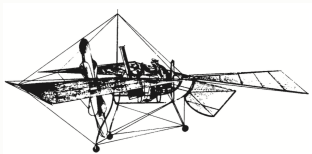
Il suo modello di triplano a vapore fu esposto nel 1868 alla prima esposizione aeronautica della storia, al Crystal Palace di Londra. Non ottenne il volo sostenuto, ma le sue illustrazioni influenzarono profondamente Chanute e, tramite lui, i Wright.



Il triplano a vapore di Stringfellow.

1874 e 1884: i primi «salti» a motore

Du Temple in Francia, Mozhaïski in Russia



Du Temple, 1874: lanciato lungo un piano inclinato a Brest.



Mozhaïski, 1884: lanciato da una rampa presso San Pietroburgo.

Nota

Entrambi si staccarono dal suolo per qualche istante: salti assistiti, non volo sostenuto.

Che cosa significa «aver volato»

Il criterio di Gibbs-Smith

Volo motorizzato e sostenuto

Un aeroplano ha compiuto un volo sostenuto solo se si è mantenuto liberamente in aria, su traiettoria orizzontale o in salita e senza perdita di velocità, *oltre* il punto in cui poteva ancora beneficiare della quantità di moto accumulata prima del distacco.

Attenzione

In caso contrario si tratta di un **balzo a motore**: una traiettoria sostanzialmente balistica corretta dalla spinta dell'elica. Occorre inoltre che la macchina mantenga un equilibrio soddisfacente in volo.

Esercizio 4.1 — Balzo balistico o volo sostenuto?

Traccia

Esercizio svolto 4.1

Un velivolo lascia una rampa con velocità $V_0 = 12 \text{ m/s}$ e pendenza di lancio trascurabile. Supponiamo, per assurdo, che ali ed elica non generino forze sufficienti al sostentamento e che il moto sia puramente balistico da una quota iniziale $h = 2 \text{ m}$.

Richieste. (a) Quanto dura il «volo» e quanta distanza copre? (b) Confrontare con i 12 s e i 36,6 m del primo volo Wright.

Esercizio 4.1 — Svolgimento

dati → *modello* → *equazione* → *incognita* → *verifica*

1) $V_0 = 12 \text{ m/s}$, $h = 2 \text{ m}$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

2) Moto del proiettile: componente orizzontale uniforme, verticale uniformemente accelerata, nessuna forza aerodinamica.

3) $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ $x = V_0 t$

4) $t = \sqrt{2 \cdot 2 / 9,81} = 0,64 \text{ s}$; $x = 12 \cdot 0,64 = 7,7 \text{ m}$

5) Il primo volo Wright durò 12 s: quasi *venti volte* tanto. Il quarto durò 59 s coprendo 260 m.

Esercizio 4.1 — Il verdetto

Perché i salti non contano e il 17 dicembre sì

Il senso di tutto questo

La quantità di moto iniziale non può in alcun modo spiegare simili prestazioni: esse richiedono un sostentamento aerodinamico continuo ($L \simeq W$) alimentato dalla spinta del motore ($T \simeq D$).

Da ricordare

Ecco perché i salti di Du Temple e Mozhaïski non superano il criterio di Gibbs-Smith, mentre i voli del 17 dicembre 1903 lo superano senza alcun dubbio.

1866: nasce la Aeronautical Society

E Wenham anticipa Prandtl di mezzo secolo

Fino ad allora chi si occupava di «navigazione aerea» era guardato con sufficienza. La Società offrì per la prima volta un canale scientifico coeso: vive ancora oggi come Royal Aeronautical Society, e servì da modello per le società confluite nel 1964 nell'AIAA.

Alla prima riunione, il 27 giugno 1866, l'ingegnere navale Francis Wenham lesse *Aerial Locomotion*, enunciando per primo che la maggior parte della portanza è generata vicino al **bordo d'attacco** e che l'ala di **elevato allungamento** è la più efficiente.

Quanto era acuta quell'intuizione

$$C_{D,i} = \frac{C_L^2}{\pi e AR}$$

Parte 5

Lilienthal e Pilcher

5

Otto Lilienthal (1848–1896)

L'uomo degli alianti

Bisognò attendere il 1891 perché un essere umano si lanciasse letteralmente in aria e volasse con delle ali in modo in qualche misura controllato. Quell'uomo fu Otto Lilienthal: progettista e pilota dei primi alianti pienamente riusciti della storia, figura di statura paragonabile a Cayley e ai Wright.

Formazione tecnica solida: laurea in ingegneria meccanica alla Technische Akademie di Berlino nel 1870. Fin da ragazzo il suo interesse era il volo — da giovane aveva perfino sperimentato ornitotteri di propria concezione.

Der Vogelflug, 1889

Quando i dati diventano scienza

«Il volo degli uccelli come fondamento dell'arte del volo»: un altro dei grandi classici dell'ingegneria aeronautica.

Lilienthal non si limitò a studiare la struttura delle ali degli uccelli: applicò le informazioni aerodinamiche così ricavate al progetto del volo meccanico, e corredò il libro di alcune fra le **tabelle di dati aerodinamici** più dettagliate disponibili all'epoca.

Nota

Porzioni tradotte di quell'opera sarebbero state lette anni dopo dai fratelli Wright, che ne incorporarono i dati nei loro primi alianti del 1900 e 1901. Torneremo su quei dati.

Airmen contro chauffeurs

La distinzione che spiega tutto il decennio

Gli airmen

- planare *prima* del motore;
- acquisire la sensibilità della macchina;
- il problema è il **controllo**.

Gli chauffeurs

- motore potente, cellula robusta;
- in qualche modo ti alzerai;
- governare sarà come guidare.

Da ricordare

La storia diede ragione agli airmen: la loro filosofia condusse al volo a motore, quella degli chauffeurs solo a fallimenti.

Una lezione permanente di ingegneria dei sistemi

Non è un aneddoto d'epoca

Attenzione

Un velivolo non è un motore con le ali: è un sistema in cui sostentamento, propulsione, stabilità e **controllo** devono essere progettati insieme.

Il senso di tutto questo

Ogni volta che, nel corso, dimensioneremo un componente, dovremo chiederci come esso interagisce con il resto del sistema. Chi progetta «alla chauffeur» — un pezzo alla volta, senza visione d'insieme — progetta male.

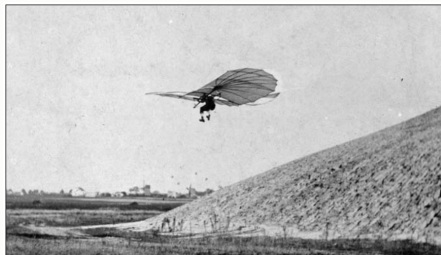
Duemila voli

Derwitz 1891, poi la collina artificiale di Lichterfelde

Una collina conica alta una quindicina di metri, costruita apposta: la forma conica permetteva di lanciarsi *contro vento* qualunque fosse la direzione del giorno.

Profili **curvi** concavo-convessi, impennaggi in coda: il pilota vi stava appeso e governava spostando il baricentro. Erano i nonni dei moderni deltaplani.

Fu il primo essere umano fotografato a bordo di un velivolo: quelle immagini cristallizzarono l'interesse dei Wright.



Lilienthal in volo su uno dei suoi alianti monopiani, 1894.

Esercizio 5.1 — L'efficienza aerodinamica di un aliante

Traccia

Esercizio svolto 5.1

Un aliante alla Lilienthal si lancia dalla sommità di una collina alta $h = 15$ m e, planando in aria calma a velocità sostanzialmente costante, tocca terra a distanza orizzontale $d = 190$ m dal punto di lancio.

Richieste. (a) Definire e calcolare l'efficienza aerodinamica media. (b) Calcolare l'angolo di rampa. (c) Sapendo che la planata dura 26 s, stimare la velocità media.

Esercizio 5.1 — Svolgimento

dati $\rightarrow$ *modello* $\rightarrow$ *equazione* $\rightarrow$ *incognita* $\rightarrow$ *verifica*

- 1) $h = 15 \text{ m}$, $d = 190 \text{ m}$, $t = 26 \text{ s}$.
- 2) Planata stazionaria in aria calma: il rapporto fra distanza percorsa e quota perduta è pari al rapporto L/D .
- 3) $E = \frac{L}{D} = \frac{d}{h}$, $\tan \gamma = \frac{h}{d} = \frac{1}{E}$, $V = \frac{\ell}{t}$ con $\ell = \sqrt{d^2 + h^2}$
- 4) $E = 190/15 \approx 12,7$; $\gamma = \arctan(15/190) \approx 4,5^\circ$; $\ell \approx 190,6 \text{ m}$,
 $V \approx 7,3 \text{ m/s} \approx 26 \text{ km/h}$
- 5) I 190 m non sono casuali: corrispondono ai 622,5 ft del record di planata dei Wright con l'aliante n. 3 nel 1902.

Esercizio 5.1 — Il commento

Pesare un'ala con una rotella metrica

Efficienza aerodinamica e planata

$$E = \frac{L}{D} = \frac{C_L}{C_D}, \quad \tan \gamma = \frac{1}{E}$$

Il senso di tutto questo

Un'efficienza di 12–13 è plausibile per un aliante rudimentale: i migliori di Lilienthal stavano su 8–10, un aliante da competizione moderno supera $E = 50$. Notate la potenza della relazione $E = d/h$: misurando *due lunghezze*, i pionieri potevano pesare la qualità aerodinamica delle proprie ali senza alcuno strumento di bordo.

9 agosto 1896: il prezzo del cielo

Gollenberg, una bella giornata estiva

Una raffica improvvisa arrestò il monoplano di Lilienthal: l'aliante **stallò** e precipitò. L'ala si accartocciò, il resto della macchina rimase quasi intatto; ma Lilienthal riportò la frattura della colonna vertebrale e morì il giorno seguente.

Definizione: stallo

Brusca perdita di portanza quando l'angolo d'attacco supera un valore critico: la corrente non riesce più a seguire il dorso del profilo e *si separa*. Una raffica frontale che si annulla di colpo riduce istantaneamente la velocità all'aria e può portare l'ala oltre l'angolo critico a quota troppo bassa per recuperare.

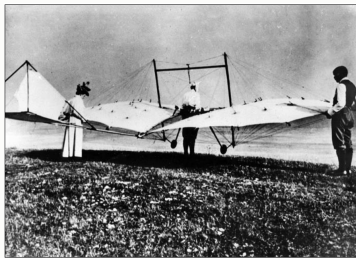
Percy Pilcher (1867–1899)

La tradizione continua, e finisce allo stesso modo

Allievo di Lilienthal a Berlino nel 1895, costruì una serie di alianti riusciti — il più noto è lo *Hawk* del 1896.

Nel 1897 calcolò che gli bastava un motore da 4 hp entro 40 lb con un'elica da 5 ft. Non esistendo in commercio, se lo progettò e costruì da solo: prove al banco completate a metà 1899.

Poi il destino: sotto la pioggia il gruppo di coda impregnato d'acqua cedette. Morì il giorno dopo, come il suo maestro.



Lo *Hawk* di Percy Pilcher, 1896.

Due incidenti, due pilastri normativi

Da dove nascono davvero CS-23 e CS-25

Osservazione

Notate la natura dei due incidenti: uno **stallo a bassa quota** e un **cedimento strutturale** per degrado delle condizioni — struttura in legno e tela impregnata d'acqua.

Da ricordare

Sicurezza del volo e integrità strutturale sono ancora oggi i due pilastri normativi dell'aeronautica, e i due grandi temi dei vostri corsi. I regolamenti che studieremo nascono, in ultima analisi, dalle lezioni pagate col sangue dai pionieri.

Parte 6

Chanute e Langley

6

Un vuoto da colmare

La geografia dei progressi

Dopo la stagione francese dei palloni, il baricentro del volo più pesante dell'aria si sposta in Inghilterra — Cayley, Henson, Stringfellow — in coerenza con il fatto che l'Inghilterra fu la culla della rivoluzione industriale. Poi passa al continente con Du Temple, Mozhaïski e Lilienthal, con qualche lampo britannico.

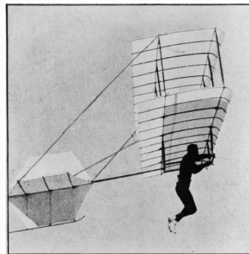
Gli Stati Uniti, in tutto questo tempo, restano praticamente assenti: la giovane nazione era impegnata a consolidare le proprie istituzioni e a espandere le proprie frontiere.

Octave Chanute (1832–1910)

Lo storico-ponte

Ingegnere civile, per trentacinque anni raccolse e organizzò ogni informazione aeronautica su cui riuscì a mettere le mani. Nel 1894 pubblicò *Progress in Flying Machines*: la prima vera storia critica dell'aviazione, che indicava con concretezza le direzioni future.

I Wright divorarono quel libro e nel 1900 lo cercarono personalmente: ne nacque un rapporto durato fino al 1910.



L'aliante biplano di Chanute, 1896.

La travatura Pratt e la cellula biplana

Il contributo tecnico di Chanute

Approfondimento

Nella travatura Pratt i montanti verticali lavorano a **compressione** e le diagonali a **trazione**. È uno schema felice per una cellula in legno e cavi d'acciaio: i montanti corti e tozzi in legno reggono bene la compressione, i cavi — sottilissimi e leggerissimi — reggono benissimo la trazione e nulla più.

Il senso di tutto questo

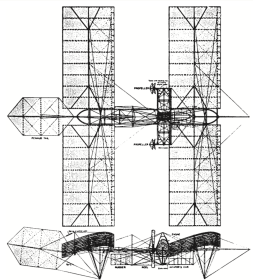
Ogni elemento lavora nel modo a lui più congeniale: un esempio da manuale di progetto strutturale razionale. I Wright lo adottarono integralmente.

Samuel Pierpont Langley (1834–1906)

La potenza senza il controllo

Segretario della Smithsonian Institution, astronomo di fama internazionale. Dal 1887 costruì un grande braccio rotante a vapore, quasi cento modelli a elastico, poi modelli a vapore.

Il successo arrivò nel 1896: il 6 maggio un *Aerodrome* volò per circa 1000 m, il 28 novembre un altro superò i 1200 m. Furono i primi voli sostenuti a motore di macchine più pesanti dell'aria — sia pure *senza pilota*.



L'*Aerodrome* sulla casa galleggiante con la catapulta, Potomac 1903.

1896: l'anno che accende i Wright

Come fluiscono le idee

Osservazione

Fu proprio nel 1896 — l'anno dei successi di Langley e della morte di Lilienthal — che i fratelli Wright si accesero definitivamente per il volo a motore.

Il senso di tutto questo

È un bell'esempio di come le idee fluiscano nella scienza e nella tecnica: uno scienziato rispettato che credeva nel volo meccanico, e lo dimostrava coi fatti, diede coraggio a due costruttori di biciclette dell'Ohio.

Nel dicembre 1898 il Dipartimento della Guerra gli stanziò 50 000 dollari per costruire una macchina capace di portare un uomo. Langley accettò.

Il motore di Manly

Un capolavoro dimenticato

Abbandonato il vapore, Langley comprese correttamente che il propulsore giusto era il motore a benzina. Lo commissionò a Stephan Balzer; insoddisfatto, ne affidò la riprogettazione al proprio assistente Charles Manly.

Il motore che ne uscì — un **radiale a cinque cilindri** — erogava 52,4 hp con un peso di sole 208 lb. Per l'epoca, un risultato spettacolare.

Nota

Teniamo questi numeri: fra un attimo li confronteremo con quelli del motore che i Wright si costruirono in officina.

Esercizio 6.1 — Il rapporto potenza/peso

Traccia

Esercizio svolto 6.1

Confrontiamo il motore Manly–Balzer dell'*Aerodrome* ($\Pi = 52,4$ hp, $W = 208$ lb) con il motore costruito dai Wright per il *Flyer I* ($\Pi = 12$ hp, $W \simeq 200$ lb).

Richieste. (a) Esprimere le potenze in kW e i pesi in kg. (b) Calcolare il rapporto potenza/massa in W/kg per entrambi. (c) Commentare il paradosso storico che ne emerge.

Esercizio 6.1 — Svolgimento

dati → *modello* → *equazione* → *incognita* → *verifica*

- 1) 1 hp = 745,7 W, 1 lb = 0,4536 kg.
2) –3) Parametro di merito del propulsore: Π/m .
4)

	Π [kW]	m [kg]	Π/m [W/kg]
Manly–Balzer	39,1	94,3	414
Wright	8,95	90,7	99

- 5) Il motore di Manly era più di **quattro volte** migliore — eppure l'*Aerodrome* finì due volte nel Potomac.

Esercizio 6.1 — La morale

Una delle più importanti dell'intera monografia

Da ricordare

La potenza installata non basta. Senza un'aerodinamica sana, una struttura adeguata e soprattutto il *controllo* del velivolo, il miglior motore del mondo non produce un aeroplano.

Il senso di tutto questo

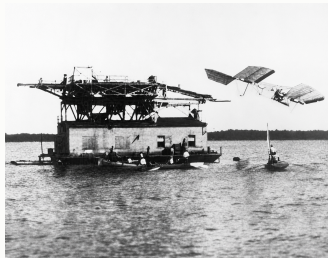
Langley fu, nel senso di Gibbs-Smith, il più illustre degli chauffeurs. Per riferimento: i motori alternativi aeronautici maturi della Seconda guerra mondiale superarono i 1000 W/kg.

Il doppio tuffo nel Potomac

7 ottobre e 8 dicembre 1903

Al taglio del cavo la catapulta scattò e l'*Aerodrome* rovinò oltre il bordo della casa galleggiante: i cronisti scrissero che era scivolato in acqua come una manciata di malta. Manly ne uscì illeso, due volte.

Un'analisi strutturale moderna (Howard Wolko, NASM) ha dimostrato che il grande *Aerodrome* era effettivamente inadeguato dal punto di vista strutturale.



Il primo lancio, 7 ottobre 1903: un attimo dopo il velivolo precipitò nel Potomac.

L'eredità di Langley

Nove giorni prima di Kill Devil Hills

Il Dipartimento della Guerra chiuse il programma; stampa e parlamentari si accanirono con attacchi feroci e ingiusti. Langley si ritirò e morì nel 1906, amareggiato e sconfitto.

Non fece *mai* esperimenti con alianti pilotati per «sentire» l'aria; ignorò completamente il problema del controllo; tentò di lanciare in volo Manly senza che questi avesse un solo secondo di esperienza di pilotaggio.

Osservazione

Il suo lavoro ebbe comunque un'importanza reale: prestò al volo meccanico il peso della sua reputazione scientifica, e i suoi *Aerodromes* del 1896 incoraggiarono gli altri — Wright compresi.

Parte 7

I fratelli Wright

7

Due fratelli di Dayton

Nessuno dei due conseguì il diploma

Wilbur nasce nel 1867 a Millville (Indiana), Orville nel 1871 a Dayton (Ohio). Il padre è vescovo; la madre, figlia di un carradore, progetta e costruisce da sé elettrodomestici e giocattoli. Quando i ragazzi hanno un dubbio meccanico si rivolgono a lei.

Nel 1889 pubblicano un settimanale stampato con una pressa di loro progettazione; nel 1892 aprono a Dayton un negozio di biciclette e dal 1895 ne costruiscono di proprie con attrezzi fatti in casa.

Nota

Attività redditizie: saranno loro a finanziare interamente la futura ricerca aeronautica. Nessun mecenate, nessun fondo pubblico.

1899: l'idea decisiva

Come fa l'uccello a rimettersi in equilibrio?

La morte di Lilienthal nel 1896 diede un impulso decisivo al loro interesse. Wilbur prese a studiare il volo degli uccelli e nel 1899 giunse a un'osservazione capitale: quando una raffica li sbilancia lateralmente, gli uccelli ristabiliscono l'equilibrio *torcendo le estremità delle ali*.

Nasceva lo **svergolamento alare** (*wing warping*). Nel maggio 1899 Wilbur scrisse alla Smithsonian per ricevere pubblicazioni; nell'agosto costruirono un aquilone biplano di 5 ft di apertura, comandato da terra con quattro funi, per provare l'idea. Funzionava.

Il controllo laterale

L'idea per cui i Wright hanno il brevetto

Definizione: controllo laterale (rollio)

Governo della rotazione attorno all'asse longitudinale. Si ottiene creando una dissimmetria di portanza fra le due semiali: con lo svergolamento (torsione elastica comandata via cavi) o con gli **alettoni**. Il momento di rollio è $\mathcal{L} = \Delta L \cdot d$.

Da ricordare

Prima del 1908 i progettisti europei ignoravano quasi completamente l'importanza di questo controllo: fu il grande insegnamento dei Wright al mondo.

1900–1901: gli alianti di Kitty Hawk

Da veri airmen: prima l'aria, poi il motore

Interpellato l'ufficio meteorologico, individuarono il luogo ideale: Kitty Hawk, con venti forti e costanti e sabbie morbide.

L'aliante n. 1 (17 ft) volò nell'ottobre 1900, per lo più frenato da funi. Il n. 2 (22 ft) fu provato nel 1901 dalle dune di Kill Devil Hills, con Wilbur prono sull'ala inferiore.

L'equilibratore era sempre *davanti*: i fratelli ritenevano che li avrebbe protetti dalla picchiata fatale che aveva ucciso Lilienthal.



L'aliante n. 2 (1901): configurazione biplana alla Chanute, equilibratore anteriore.

La grande revisione

Il passo che li separa da tutti i predecessori

I risultati del 1901 non li soddisfacevano affatto: le prestazioni erano inferiori a quelle previste con i dati di Lilienthal e Langley, su cui avevano fatto totale affidamento.

Tornati a Dayton, maturarono la decisione: **dubitare dei dati**. Wilbur raccontò che, partiti con fiducia assoluta nei dati scientifici esistenti, furono spinti a dubitare di una cosa dopo l'altra, finché decisero di rigettare tutto e affidarsi soltanto alle proprie misure.

Da ricordare

Fra il settembre 1901 e l'agosto 1902: una **galleria del vento** nel retro del negozio, oltre **duecento forme di profili** provate, una **bilancia aerodinamica** progettata su misura.

Una precisazione storica onesta

I dati di Lilienthal non erano sbagliati

Osservazione

Studi moderni (Anderson, *A History of Aerodynamics*, 1997) hanno mostrato che i dati di Lilienthal erano in realtà ragionevoli: furono i Wright ad applicarli in modo scorretto ai loro alianti del 1900–1901.

Il senso di tutto questo

Questo non toglie nulla alla lezione. Di fronte a una discrepanza fra previsione ed esperimento i fratelli non aggiustarono i conti né ignorarono il problema: rifecero le misure da capo, con strumenti propri. È la definizione stessa di metodo sperimentale — e la ragione per cui in questo corso ogni risultato numerico va sempre *verificato*.

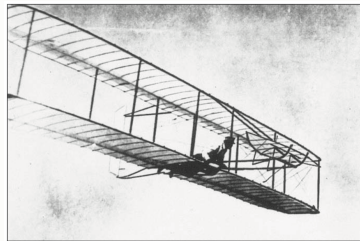
1902: l'aliante n. 3, il capolavoro

Il primo velivolo pienamente controllabile della storia

Biplano da 9,78 m di apertura. Orville poté scrivere che le tabelle ricavate nella loro galleria consentivano ormai di *calcolare in anticipo* le prestazioni: è il primo caso nella storia in cui la prova in galleria guida il progetto.

Poi il tocco finale: un **timone verticale mobile** collegato per muoversi in sincronia con lo svergolamento. Nasce la virata corretta e coordinata.

Oltre mille voli nel 1902.



L'aliante n. 3 dopo l'aggiunta del timone posteriore.

Il controllo completo sui tre assi

Molti storici lo considerano la vera invenzione dei Wright

Asse	Organo dell'aliante n. 3	Erede moderno
beccheggio	equilibratore anteriore (canard)	piano di coda
rollio	svergolamento alare	alettoni
imbardata	timone verticale posteriore	timone di direzione

Il senso di tutto questo

Con il n. 3 del 1902 esiste per la prima volta il controllo completo sui tre assi. Il motore, a quel punto, era «solo» l'ultimo tassello.

1903: il motore e, soprattutto, l'elica

Un problema che tutti avevano sottovalutato

Come già Langley, i fratelli non trovarono sul mercato un motore adatto: se lo costruirono con il meccanico Charlie Taylor, circa 12 hp per 200 lb.

Ma la vera intuizione fu un'altra: **una pala d'elica è un'ala rotante**, da progettare con gli stessi dati aerodinamici della galleria. Ne uscirono eliche lunghe e affusolate di efficienza sbalorditiva.

Rilievo	Rendimento
misure d'epoca (Berlino, 1909)	76 %
prove moderne in galleria (NASA Langley, 2002)	84 %
pale a paletta larghe in uso in Europa	40 %–50 %

Esercizio 7.1 — Rendimento dell'elica e spinta del Flyer

Traccia

Esercizio svolto 7.1

Il motore del Flyer I eroga $P = 12$ hp all'asse delle eliche. In volo alla velocità all'aria $V = 31$ mph, si assuma un rendimento propulsivo complessivo $\eta = 0,76$.

Richieste. (a) Scrivere la definizione di rendimento dell'elica. (b) Calcolare la spinta disponibile T . (c) Ripetere il calcolo con $\eta = 0,84$ e commentare.

Esercizio 7.1 — Svolgimento

dati → *modello* → *equazione* → *incognita* → *verifica*

- 1) $\Pi = 12 \cdot 745,7 = 8948 \text{ W}$; $V = 13,86 \text{ m/s}$; $\eta = 0,76$.
- 2) Volo stazionario; il rendimento è il rapporto fra potenza utile alla propulsione e potenza meccanica assorbita all'asse.
- 3) $\eta = \frac{TV}{\Pi} \implies T = \frac{\eta \Pi}{V}$
- 4) $T = \frac{0,76 \cdot 8948}{13,86} \approx 491 \text{ N} \approx 50 \text{ kgf}$; con $\eta = 0,84$: $T \approx 542 \text{ N} \approx 55 \text{ kgf}$
- 5) Con 340 kg al decollo, la spinta è appena il 15 % del peso.

Esercizio 7.1 — Il commento

Il Flyer volò grazie alla sua elica

Rendimento propulsivo

$$\eta = \frac{TV}{\Pi} \quad (0 < \eta < 1)$$

La potenza *disponibile* è $\Pi_d = \eta \Pi$: è questa, non la potenza all'asse, che va confrontata con la potenza *necessaria* $\Pi_n = DV$.

Il senso di tutto questo

Margini risicatissimi, che spiegano il vento contrario e il binario di lancio. Con le pale a paletta europee ($\eta \simeq 0,45$) la spinta sarebbe crollata a circa 290 N: quasi certamente insufficiente.

Esercizio 7.2 — Carico alare e C_L del Flyer

Traccia

Esercizio svolto 7.2

Valori storici: peso al decollo con pilota $W \simeq 750 \text{ lb}$, superficie alare complessiva $S \simeq 510 \text{ ft}^2$, velocità all'aria $V = 31 \text{ mph}$, densità a livello del mare $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$.

Richieste. (a) Calcolare il carico alare W/S . (b) Calcolare C_L in volo sostenuto ($L = W$). (c) Commentare i risultati.

Esercizio 7.2 — Svolgimento

dati → *modello* → *equazione* → *incognita* → *verifica*

- 1) $W = 750 \cdot 0,4536 \cdot 9,81 \approx 3336 \text{ N}$ (massa $\approx 340 \text{ kg}$); $S = 510 \cdot 0,0929 \approx 47,4 \text{ m}^2$.
- 2) Volo sostenuto non accelerato: $L = W$.
- 3) $\frac{W}{S}$ e $L = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_L = W \implies C_L = \frac{2W}{\rho V^2 S}$
- 4) $\frac{W}{S} = \frac{3336}{47,4} \approx 70 \text{ N/m}^2 \approx 7,2 \text{ kgf/m}^2$; $C_L = \frac{2 \cdot 3336}{1,225 \cdot 13,86^2 \cdot 47,4} \approx 0,60$
- 5) $C_L \simeq 0,6$ è un valore di crociera ragionevole per profili sottili e concavi: i numeri tornano.

Esercizio 7.2 — Il commento

Un aquilone con un motore

Osservazione

Il carico alare del Flyer è bassissimo: 7 kgf/m^2 , contro i 25 kgf/m^2 – 35 kgf/m^2 di un aliante scuola moderno e gli oltre 600 kgf/m^2 di un liner di linea.

Il senso di tutto questo

Un carico alare così basso consente di volare lentissimi — indispensabile con soli 12 hp — ma rende la macchina estremamente sensibile alle raffiche: ecco un'altra ragione del volo «nervoso» del 17 dicembre.

1904–1905: da esperimento ad aeroplano pratico

Huffman Prairie, un campo a otto miglia da Dayton

Il *Flyer II* (1904) compie oltre ottanta brevi voli, inclusa la prima virata completa di 360 gradi (Wilbur, 20 settembre 1904).

Il *Flyer III* (1905) è il **primo aeroplano pratico della storia**: più di quaranta voli, il più lungo di 38 minuti e 3 secondi su circa 39 km — voli che terminavano, in genere, solo per esaurimento del carburante.

Nota

Gibbs-Smith ne giustificò il titolo con: robustezza della struttura, capacità di virare e disegnare otto in cielo, affidabilità nel restare in aria per oltre mezz'ora.

Il silenzio: ottobre 1905 – maggio 1908

Ma l'ingegneria non si ferma

Non riuscivano a convincere il governo americano ad acquistare l'aeroplano, mentre si moltiplicavano i segnali di chi voleva copiarne il progetto; il brevetto chiesto nel 1902 fu concesso solo nel 1906. Così, per due anni e mezzo, nessuno dei due volò né mostrò le macchine ad alcuno.

In quel periodo costruirono almeno sei nuovi motori e progettarono il **Wright type A**: come il Flyer III ma con motore da 40 hp e due posti a sedere eretti fra le ali.

Il senso di tutto questo

Miglioramento progressivo di un progetto riuscito: il concetto che governa il progetto aeronautico ancora oggi.

8 agosto 1908: Le Mans

Il mondo scopre i Wright

All'ippodromo di Hunaudières, davanti a pionieri, stampa e curiosi, Wilbur decollò, virò con eleganza per quasi due minuti e atterrò. L'aeronautica europea, ferma dai tempi di Lilienthal, si risvegliò di colpo. Entro fine 1908 Wilbur compì in Francia 104 voli.

Orville, intanto, volava per l'esercito a Fort Myer: dieci voli, il più lungo di 1 ora e 14 minuti. Il 17 settembre il cedimento di una pala d'elica provocò la caduta: Orville rimase gravemente ferito e il tenente Thomas Selfridge morì — prima vittima di un incidente di volo a motore.

Le due eredità tecniche dei Wright

Che cosa l'Europa adottò immediatamente

Approfondimento

(i) Il **controllo laterale**: prima del 1908 gli europei non ne avevano né il concetto né il meccanismo; già nel 1909 Henri Farman introdusse gli *alettoni* a cerniera sul bordo d'uscita, che arrivano fino a oggi. (ii) L'**elica** lunga e affusolata, che sostituì le palette larghe e inefficienti.

Da ricordare

Controllo laterale ed elica efficiente: questo, in estrema sintesi, il lascito tecnico dei fratelli all'aeroplano di tutti i tempi.

Stabilità statica: da difetto a scelta progettuale

Un epilogo curioso, con un secolo di ritardo

Il momento d'oro dei Wright durò fino al 1910; poi l'Europa li raggiunse e li superò. Il motivo è istruttivo: tutte le macchine Wright erano **staticamente instabili** — non volavano «da sole», ma richiedevano l'intervento correttivo continuo del pilota. Gli europei puntarono su aeroplani controllabili ma *stabili*.

Il senso di tutto questo

I caccia moderni (dall'F-16 in poi) sono tornati staticamente instabili per esigenze di manovrabilità — solo che al posto dei riflessi del pilota c'è un calcolatore che comanda le superfici centinaia di volte al secondo (*fly-by-wire*). La filosofia dei Wright, con un secolo di anticipo.

Parte 8

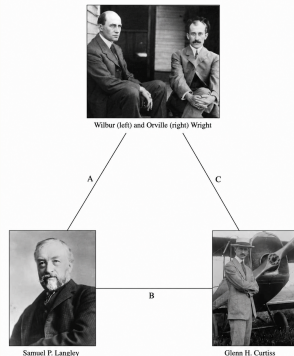
Il triangolo aeronautico

8

Tre vertici, una storia

L'aviazione americana fra il 1886 e il 1916

Abbiamo già raccontato il lato Langley–Wright: la corsa parallela verso il 1903, vissuta come competizione soltanto dai fratelli — Langley non risulta fosse nemmeno al corrente della macchina che aspettava sulle dune di Kill Devil Hills. Restano da raccontare gli altri due lati, e il personaggio che li incarna: Glenn Curtiss.



I tre vertici del triangolo aeronautico.

Glenn Curtiss (1878–1930)

La passione per la velocità

Nato a Hammondsport, sul lago Keuka. Lasciò la scuola dopo l'ottavo anno; tornato in paese nel 1900 rilevò — guarda caso — un'officina di biciclette. Corridore ciclista vincente, nel 1901 montò un motore sulle sue biciclette; nel 1903 aveva già una fabbrica di motociclette e costruiva i motori con il miglior rapporto potenza/peso sul mercato.

Nel gennaio 1904, a Ormond Beach, stabilì il record mondiale di velocità per un veicolo terrestre: 67 mph, circa 108 km/h. Resistette sette anni.

Nota

Entrò in aviazione «dalla porta di servizio»: fornendo motori per i dirigibili di Thomas Baldwin, di cui divenne anche pilota.

1906: l'incontro di Dayton

Le conversazioni che diventeranno un processo

Baldwin portò i suoi dirigibili alla fiera di Dayton, con Curtiss al seguito come motorista. Fra il pubblico c'erano i fratelli Wright, che aiutarono perfino a recuperare un dirigibile finito fuori campo.

In quella settimana Baldwin e Curtiss visitarono il negozio dei fratelli e discussero a lungo di volo a motore; i Wright — che in quel periodo non volavano e non mostravano le macchine a nessuno — furono con Curtiss relativamente aperti.

Attenzione

Anni dopo, quelle conversazioni sarebbero diventate il fulcro dell'accusa dei Wright a Curtiss di aver rubato le loro idee.

La *Aerial Experiment Association* di Bell

Cinque uomini, cinque aeroplani

Nell'estate 1907 Alexander Graham Bell — amico personale di Langley — fondò la AEA con Douglas McCurdy, Frederick Baldwin, il tenente Thomas Selfridge e Glenn Curtiss, pagato cinque volte più degli altri. Scopo dichiarato: andare in aria.

Il primo aeroplano, il *Red Wing*, volò il 12 marzo 1908 per 318 ft e fu presentato come il primo volo *pubblico* negli Stati Uniti.

Osservazione

La cosa punse i fratelli: Wilbur ricordò alla stampa che nel 1904–1905 essi volavano ogni pochi giorni in un campo a fianco della strada maestra fra Dayton e Springfield, sotto gli occhi di centinaia di viaggiatori. Chiunque avesse voluto guardare, avrebbe visto.

Il *White Wing* e la nascita degli alettoni

Come si aggira un brevetto

Consapevole del brevetto Wright sullo svergolamento, e attentissimo a non violarlo, il gruppo di Bell adottò per il controllo laterale delle **superfici mobili triangolari** alle estremità alari: di fatto, una forma di alettoni.

Dal 18 maggio 1908 il *White Wing* volò più volte; in un volo con Curtiss ai comandi coprì 339 yd in 19 s con la macchina in perfetto controllo. Due giorni dopo, con l'inesperto McCurdy, si schiantò definitivamente.

Esercizio 8.1 — *White Wing* e *June Bug*

Traccia

Esercizio svolto 8.1

- (a) Nel volo di Curtiss il *White Wing* coprì $d_1 = 339$ yd in $t_1 = 19$ s: verificare la velocità di 37 mph annunciata all'epoca da Selfridge.
- (b) Il 4 luglio 1908 la *June Bug* percorse poco più di $d_2 = 1$ mi in $t_2 = 1$ min 40 s: calcolare la velocità media.

Esercizio 8.1 — Svolgimento

dati → *modello* → *equazione* → *incognita* → *verifica*

- 1) $1 \text{ yd} = 0,9144 \text{ m}$, $1 \text{ mi} = 1609 \text{ m}$, $1 \text{ mph} = 0,44704 \text{ m/s}$.
- 2) –3) Moto rettilineo uniforme: $V = d/t$.
- 4) $d_1 = 310,0 \text{ m} \Rightarrow V_1 = 310,0/19 = 16,3 \text{ m/s} = 58,7 \text{ km/h} \approx 36,5 \text{ mph}$
 $V_2 = 1609/100 = 16,1 \text{ m/s} = 57,9 \text{ km/h} \approx 36 \text{ mph}$
- 5) Il valore di 37 mph annunciato all'epoca è corretto entro l'arrotondamento.

Il senso di tutto questo

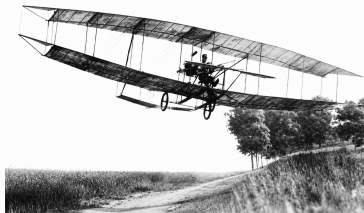
Cinque anni dopo Kitty Hawk gli aeroplani volavano attorno ai 55 km/h–60 km/h: poco più del doppio del primo Flyer. La crescita esplosiva doveva ancora cominciare.

4 luglio 1908: la *June Bug*

Il trofeo dello Scientific American

Terzo aeroplano del gruppo e primo progettato da Curtiss. Davanti a una delegazione dell'Aero Club — con starter ufficiale nientemeno che Charles Manly — Curtiss coprì oltre un miglio in un minuto e quaranta secondi.

I Wright avrebbero potuto vincere quel premio con largo anticipo: la rivista aveva perfino offerto a Orville la precedenza, ma i fratelli, assorbiti dai preparativi per Francia e Fort Myer, declinarono.



Curtiss in volo sulla *June Bug*, 4 luglio 1908.

Cinque anni di cause

Il capitolo meno glorioso della storia

Nel settembre 1909 i Wright citarono Curtiss per violazione di brevetto, sostenendo che il brevetto del 1906 sullo svergolamento, interpretato estensivamente, coprisse *ogni* forma di controllo laterale, alettoni compresi.

Ne seguirono cinque anni di battaglie legali che dissiparono le energie di tutti e assorbirono in particolare Wilbur, sottraendolo al lavoro tecnico. Nel gennaio 1914 i tribunali diedero ragione ai Wright (Wilbur era morto due anni prima).

Attenzione

Allo scoppio della Grande Guerra, nel 1914, gli Stati Uniti — patria dell'aeroplano — erano tecnologicamente molto indietro rispetto all'Europa.

L'ascesa di Curtiss

Il pilota numero uno

Sciolta la AEA nel 1909, Curtiss proseguì da solo. Nell'agosto 1909, al raduno di Reims, vinse la prima coppa Gordon Bennett alla media di 75,7 km/h (47,04 mph), battendo diversi piloti su macchine Wright.

Nel 1911 un velivolo Curtiss decollò da una nave e vi riatterrò; nello stesso anno sviluppò i primi idrovolanti riusciti. L'Aero Club gli assegnò la licenza di pilota **n. 1**.

Osservazione

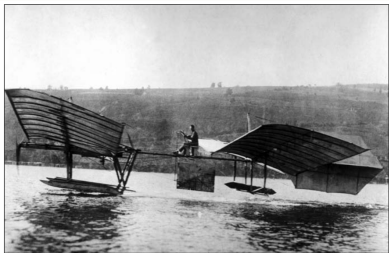
I suoi aeroplani erano apprezzati perché *staticamente stabili*, e quindi più facili e sicuri delle macchine Wright, volutamente instabili. Nel 1910 il pubblico metteva ormai Curtiss e i Wright sullo stesso piano.

1914: l'*Aerodrome* vola

Con 93 modifiche tecniche

Il nuovo segretario della Smithsonian volle dare alla macchina di Langley una terza possibilità e stanziò 2000 dollari — affidandoli proprio a Curtiss.

A Hammondsport l'*Aerodrome* non fu solo riparato: subì **93 distinte modifiche** aerodinamiche, strutturali e al motore, con la consulenza di Charles Manly. Munito di galleggianti, volò il 28 maggio 1914 per 150 ft sul lago Keuka.



L'*Aerodrome* modificato in volo sul lago Keuka.

Il Flyer in esilio, e due ironie

1918–1948

Esposto nel 1918 con una targa che lo proclamava la prima macchina *capace* di volo libero sostenuto con un uomo a bordo — senza menzionare le 93 modifiche. L'indignazione di Orville fu tale che nel 1928 spedì il Flyer originale allo Science Museum di Londra, dove rimase, indenne ai bombardamenti, fino al 1948.

Osservazione

Nel 1929 la Wright Aeronautical si fuse con la Curtiss Aeroplane: nacque la **Curtiss-Wright**, che avrebbe prodotto il P-40 — unendo per sempre, almeno sulla carta intestata, i nomi dei due rivali. E oggi non esiste in servizio ordinario un solo aeroplano che porti l'uno o l'altro nome.

Parte 9

La propulsione

9

Il collo di bottiglia dell'Ottocento

Un problema che si enuncia in una riga

Per tutto il diciannovesimo secolo numerosi visionari predissero che il volo umano sarebbe stato inevitabile non appena si fosse reso disponibile un propulsore adeguato.

Serviva un motore con potenza sufficiente e, al tempo stesso, con peso contenuto. Fu questo lo scoglio contro cui si infransero Stringfellow, Du Temple e Mozhaiski: il motore a vapore, con la sua caldaia, l'acqua e il condensatore, semplicemente non era all'altezza del compito.

Definizione: rapporto potenza/peso

Per un propulsore di potenza Π e massa m si definisce rapporto potenza/massa la quantità Π/m (W/kg). È il parametro di merito fondamentale di ogni propulsore aeronautico.

La svolta: il motore a combustione interna

1860–1885, venticinque anni che cambiano tutto

- **1860** — Jean Joseph Étienne Lenoir costruisce il primo motore a gas pratico. Nel 1865 quattrocento motori Lenoir lavorano già nelle officine di Parigi.
- **1876** — Otto e Langen sviluppano in Germania il motore a **quattro tempi**, ancora alimentato a gas.
- **1885** — Daimler e Benz, indipendentemente, realizzano il quattro tempi **a benzina** e lo montano su una carrozza: nasce l'industria automobilistica.

Il senso di tutto questo

Sarà proprio quell'industria a fornire all'aviazione nascente gran parte della tecnologia e dei meccanici qualificati.

Esercizio 9.1 — Un secolo di rapporto potenza/peso

Traccia

Esercizio svolto 9.1

Confrontiamo tre generazioni di propulsori alternativi aeronautici: il motore Wright del 1903 ($\Pi = 12 \text{ hp}$, $m \simeq 91 \text{ kg}$), il Manly-Balzer del 1903 ($\Pi = 52,4 \text{ hp}$, $m \simeq 94 \text{ kg}$) e un radiale della Seconda guerra mondiale ($\Pi = 2200 \text{ hp}$, $m \simeq 1100 \text{ kg}$).

Richieste. (a) Calcolare Π/m per i tre motori. (b) Rappresentare il progresso come fattore moltiplicativo rispetto al motore Wright.

Esercizio 9.1 — Svolgimento

dati → *modello* → *equazione* → *incognita* → *verifica*

1) –3) 1 hp = 745,7 W; parametro di merito Π/m .

4)

Motore	Π [hp]	m [kg]	Π/m [W/kg]
Wright 1903	12	91	98
Manly–Balzer 1903	52,4	94	414
radiale 1945	2200	1100	1490

5) Fattore di progresso rispetto al motore Wright: circa 4,2 già nel motore di Manly — contemporaneo! — e circa 15 nel radiale del 1945.

Esercizio 9.1 — Il commento

Due conferme

Da ricordare

Primo. Nel 1903 il problema della propulsione era ormai risolto *in linea di principio* — il motore di Manly lo dimostra — e il vero scoglio residuo era il controllo, come sostenevano gli airmen.

Il senso di tutto questo

Secondo. Nei quarant'anni successivi il rapporto potenza/peso crebbe di oltre un ordine di grandezza, ed è questa crescita che trascinò le velocità dai 50 km/h del Flyer agli oltre 800 km/h dei caccia a pistoncini del 1945.

Automobile e aeroplano

Un secolo di sviluppo parallelo

Il rapporto fra le due industrie, nato con Daimler e Benz, non si è mai interrotto. Nel 1926 la Ford introdusse il trimotore 4-AT; durante la Seconda guerra mondiale praticamente tutte le grandi case automobilistiche costruirono motori e cellule per l'aviazione; la General Motors mantenne per decenni la Allison di Indianapolis, oggi ramo nordamericano della Rolls-Royce.

E il flusso si è invertito: i progettisti d'automobile hanno adottato l'affinamento aerodinamico e la galleria del vento per ridurre resistenza e consumi.

Da ricordare

La propulsione ha scandito ogni grande avanzamento della velocità di volo. In tutta la storia del volo umano è stata la chiave che ha aperto le porte del «più veloce e più in alto».

Parte 10

Più veloci e più in alto

10

Un secolo di crescita esponenziale

La filosofia dominante del Novecento

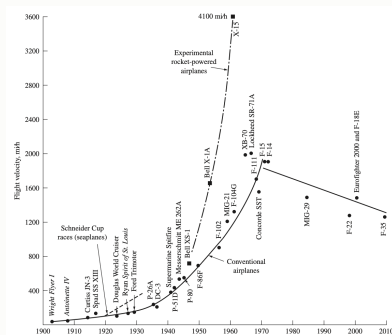
Dopo le dimostrazioni pubbliche del 1908 lo sviluppo divenne esponenziale, e tale è rimasto. Non possiamo seguirne qui tutti i dettagli — molti episodi li incontreremo nelle monografie specialistiche — ma possiamo coglierne la filosofia dominante: per gran parte del secolo, la spinta è stata **volare più veloci e più in alto**.

Il senso di tutto questo

Il modo migliore per visualizzarlo è un diagramma velocità-tempo: una crescita continua e impetuosa, resa possibile prima dai motori a pistoncini sempre più potenti e poi, con un salto netto, dal motore a getto.

Le velocità, 1903–2010

Crescita, salto del getto, plateau



Velocità di volo tipiche in funzione dell'anno: si notino il contributo degli idrocorsa della coppa Schneider, il salto del motore a getto e il plateau successivo dei velivoli convenzionali.

La coppa Schneider

1913–1931: quando la gara fa avanzare la tecnica

Istituita nel 1913 dal francese Jacques Schneider come stimolo allo sviluppo degli idrovolanti veloci, promosse uno sviluppo precoce e avanzato dei velivoli ad alta velocità.

Non a caso il vincitore dell'ultima edizione, il Supermarine S.6B, fu il progenitore diretto dello Spitfire della Seconda guerra mondiale.

Osservazione

Una vicenda a cui l'Italia partecipò da protagonista con gli idrocorsa Macchi del reparto alta velocità di Desenzano: merita un approfondimento a parte in classe.

Perché la curva si è appiattita

Dal 1970 la velocità massima dei caccia è perfino diminuita

Approfondimento

Non per un regresso tecnologico, ma perché il progetto ha smesso di essere dettato dalla velocità: il combattimento fra caccia supersonici degenera rapidamente verso velocità transoniche, dove la manovrabilità è massima. Sul fronte civile, i trasporti sono rimasti subsonici.

Attenzione

C'è anche un limite fisico preciso: oltre Mach 2,2 circa il **riscaldamento aerodinamico** diventa così severo che l'alluminio non basta più e occorre il titanio — costoso e difficile da lavorare.

I nuovi requisiti

E una frontiera che resta aperta

Da ricordare

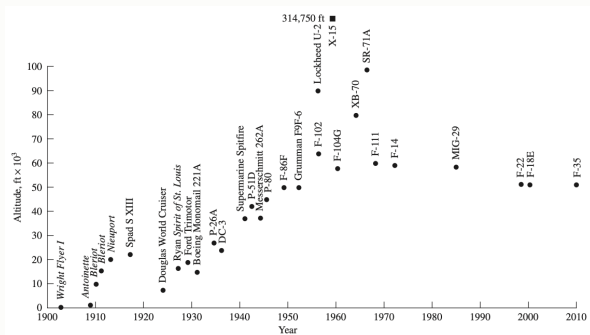
Ai requisiti storici «più veloce e più in alto» si sono affiancati, e spesso sostituiti, quelli di oggi: più sicuro, più economico, più affidabile, più silenzioso, più pulito.

Il senso di tutto questo

Resta aperta, affascinante, la frontiera del volo **ipersonico** (Mach maggiore di 5), possibile nuovo orizzonte del secolo in corso.

Le quote, 1903–2010

Stessa corsa, stesso plateau



Quote massime tipiche in funzione dell'anno: la stessa corsa verso l'alto fino al 1970 e il successivo appiattimento; il valore fuori scala è la quota raggiunta dall'X-15.

Esercizio 10.1 — Dal Flyer all'X-15

Traccia

Esercizio svolto 10.1

Il velivolo sperimentale a razzo North American X-15 raggiunse negli anni Sessanta la velocità di circa 4100 mph ad alta quota.

Richieste. (a) Esprimere la velocità in m/s e km/h. (b) Stimare il numero di Mach, assumendo per la stratosfera inferiore $T = 216,65$ K. (c) Calcolare il rapporto fra questa velocità e la velocità all'aria del primo volo Wright.

Esercizio 10.1 — Svolgimento

dati $\rightarrow$ *modello* $\rightarrow$ *equazione* $\rightarrow$ *incognita* $\rightarrow$ *verifica*

- 1) $V = 4100 \text{ mph}$, $T = 216,65 \text{ K}$, $\gamma = 1,4$, $R = 287 \text{ J/(kg K)}$.
- 2) Aria come gas perfetto; atmosfera standard fra 11 km e 20 km.
- 3) $a = \sqrt{\gamma RT}$, $M = V/a$
- 4) $V \approx 1833 \text{ m/s} \approx 6600 \text{ km/h}$; $a \approx 295 \text{ m/s}$; $M = 1833/295 \approx 6,2$
 $\frac{V_{\text{X-15}}}{V_{\text{Flyer}}} = \frac{1833}{13,86} \approx 132$
- 5) In una sessantina d'anni la velocità di volo è cresciuta di oltre *due ordini di grandezza*.

Esercizio 10.1 — Uno sguardo più largo

Le capsule spaziali

Le missioni Apollo rientrarono dall'orbita lunare a circa 36 000 ft/s, ossia

$$V_f = 36\,000 \cdot 0,3048 \approx 11,0 \text{ km/s},$$

la velocità di fuga dalla Terra: quasi **800 volte** il Flyer.

Da ricordare

Nessun'altra tecnologia del Novecento ha conosciuto una progressione paragonabile.

Tre missioni, tre epoche

Sintesi e congedo

Per i Wright, nel 1903, la missione era staccarsi dal suolo e volare in modo controllato per un tempo apprezzabile.

Per lo *Spirit of St. Louis* di Lindbergh, nel 1927, attraversare l'Atlantico con un solo pieno.

Per il Douglas DC-3 del 1935, trasportare più passeggeri, più in fretta e a costi più bassi di ogni altro velivolo di linea.

Per il Lockheed F-104, essere il primo caccia a crociera a Mach 2. E così continuerà.



Tre epoche al National Air and Space Museum.

Parte 11

Quadro riassuntivo

11

La scala, gradino per gradino (1/2)

Dal mito al primo aliante riuscito

- **1486–1490.** Leonardo concepisce l'ornitottero. La via delle ali battenti azionate dall'uomo si rivelerà un vicolo cieco.
- **21 novembre 1783.** Il pallone dei Montgolfier sorvola Parigi: per la prima volta un essere umano è sollevato e trasportato nell'aria per un tempo prolungato.
- **1799.** Data spartiacque: Cayley incide sul disco d'argento la configurazione fusoliera–ala fissa–impennaggi e propone la separazione fra sostentamento e propulsione.
- **1874 e 1884.** I primi due «balzi» a motore con pilota: Du Temple e Mozhaiski. Decolli assistiti, non volo sostenuto.
- **1891–1896.** Lilienthal progetta i primi alianti pienamente riusciti e compie oltre duemila voli. La sua morte accende l'interesse dei Wright.

La scala, gradino per gradino (2/2)

Dal primo volo sostenuto all'esplosione mondiale

- **1896.** Langley ottiene con gli *Aerodromes* modello il primo volo sostenuto, a motore e senza pilota, di una macchina più pesante dell'aria; i suoi due tentativi pilotati falliranno nel 1903, l'ultimo appena nove giorni prima del successo dei Wright.
- **17 dicembre 1903.** A Kill Devil Hills, Orville e Wilbur Wright compiono il primo volo controllato, sostenuto, motorizzato e pilotato di una macchina più pesante dell'aria.
- **Dal 1908.** Dopo le dimostrazioni pubbliche in Francia e in America lo sviluppo diventa esponenziale; il «triangolo aeronautico» Wright–Langley–Curtiss domina la scena americana fino alla Grande Guerra.

Dove ritroverete questi personaggi

Questa monografia è la mappa; i territori li esploreremo insieme

Personaggio	Modulo del corso
Cayley	scomposizione della forza aerodinamica
Wenham e Prandtl	ala finita e resistenza indotta
Lilienthal	stallo, profili curvi, efficienza
Chanute	travature reticolari, cellula biplana
i Wright	galleria del vento, tre assi, elica
Langley e Manly	rapporto potenza/peso, propulsione

Riferimenti e letture consigliate

Il percorso segue il primo capitolo di Anderson

- J. D. Anderson, *Introduction to Flight*, McGraw-Hill — fonte principale della monografia.
- J. D. Anderson, *A History of Aerodynamics and Its Impact on Flying Machines*, Cambridge University Press, 1997.
- T. D. Crouch, *The Bishop's Boys*, Norton, 1989 — la biografia di riferimento dei fratelli Wright.
- C. H. Gibbs-Smith, *The World's First Aeroplane Flights*, HMSO, 1965 — i criteri di volo sostenuto.
- P. L. Jakab, *Visions of a Flying Machine*, Smithsonian, 1990 — sulla metodologia ingegneristica dei Wright.

L'eredità

Congedo

La prossima volta che vedrete un aeroplano passare in cielo, fermatevi un istante: quella macchina incorpora sinergicamente le leggi della fisica, applicate da persone che sanno usarle con metodi ingegneristici collaudati per ottenere un veicolo capace di svolgere una missione assegnata.

Da ricordare

È l'eredità di Cayley, di Lilienthal, di Chanute, di Langley, di Curtiss — e di due costruttori di biciclette di Dayton.