

CENNI STORICI.

Il fattore che più di ogni altro caratterizza le costruzioni aeronautiche è il peso. Tutto quanto è utilizzato nella costruzione di un velivolo si caratterizza per l'elevato rapporto qualità (sia essa resistenza meccanica, potenza motrice, ecc.) / peso. È ovvio che un minor peso a vuoto dell'aeromobile consente carichi più elevati di carburante, di passeggeri, di merci. Vediamo di esaminare come si sono sviluppate le strutture aeronautiche dall'inizio ad oggi.

Nei primi "tentativi" la principale necessità era volare e le esigenze aerodinamiche erano spesso lasciate in secondo piano; ciò era dovuto anche alle basse velocità di volo dell'epoca. In questa situazione veniva spesso utilizzato il bambù. Questo "tubo" naturale offriva buone caratteristiche di leggerezza e resistenza e, soprattutto, facilità di lavorazione. Una volta selezionate le canne di diametro adeguato, esse potevano essere impiegate al naturale, semplicemente tagliandole alla lunghezza voluta. Una volta tagliati gli elementi di bambù venivano collegati tramite fazzoletti in lamiera (molto spesso ottone). Le strutture risultanti, di tipo reticolare, venivano irrigidite e "messe in forma" con cavi metallici (*Fig. 1.1 e 1 bis*).

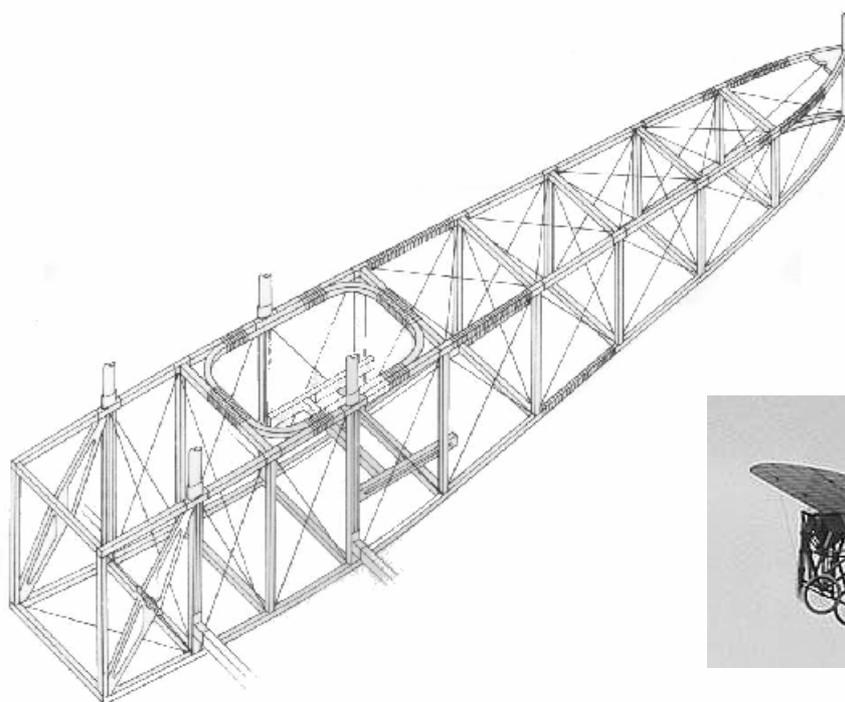


Fig 1.1: Fusoliera a traliccio con tiranti metallici



Fig. 1.1bis: Bleriot IX

La struttura reticolare (ancor oggi utilizzata per tralicci e ponti metallici) ha il pregio di essere semplice da calcolare e da costruire. I suoi elementi vengono classificati come puntoni se resistono a sollecitazioni di compressione o tiranti se resistono a sollecitazioni di trazione. Le basse potenze disponibili avevano già messo in rilievo la necessità di materiali più leggeri; le prime necessità aerodinamiche richiedevano materiali "sagomabili". La risposta a queste fu trovata nei legni di frassino e abete. Con questi legni si potevano profilare montanti alari e di fusoliera e soddisfare le esigenze di ali più spesse e di migliori caratteristiche aerodinamiche.

I longheroni alari, fino ad allora costruiti anch'essi in bambù, vengono costruiti in legno con sezione sagomata (dal pieno) a "I" (*Fig. 1.2*)

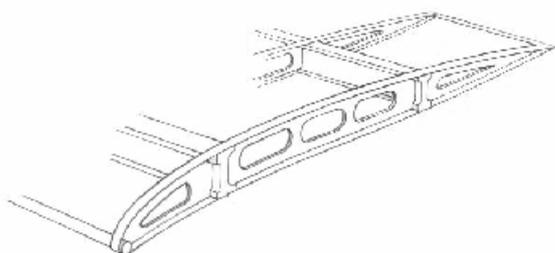


Fig. 1.2: Tipica sezione alare

La struttura reticolare per la fusoliera fu già nel 1910-11 considerata da alcuni antiquata (anche se nella sua forma metallica può essere ritrovata ancora in alcuni aerei leggeri amatoriali odierni); vennero quindi fatti alcuni tentativi per la costruzione di fusoliere a guscio. Nella struttura a guscio tutti gli sforzi sono sostenuti dal guscio esterno e non da una struttura portante interna, con evidenti vantaggi aerodinamici e di peso; svantaggio da non

sottovalutare è un maggior difficoltà costruttiva. Esempi di queste prime strutture a guscio furono il monoplano Handley-Page 1911 e i monoplani Deperdussin Thunderbug (terrestre) e Seagull (idrovolante), il Sopwith Snail (1918) e i velivoli tedeschi Albatros (Fig. 1.3), Roland, Pfalz utilizzati operativamente durante la I G.M.

Alcune di queste fusoliere (come quella del Sopwith Snail) incorporavano, in effetti, alcuni elementi di rinforzo interni che concorrevano ad assorbire parte del carico; tali esempi, quindi, dovrebbero essere visti come esempi di strutture a semiguscio o a rivestimento lavorante. La struttura a guscio vera e propria, ottenuta avvolgendo, sagomando e incollando sottili fogli di legno compensato, venne solo più tardi e raggiunse la sua massima espressione con i De Havilland Mosquito (Fig. 1.4) e De Havilland Vampire (Fig. 1.5) che utilizzavano un sandwich di compensato-balsa-compensato. Il DH Vampire limitava questa tecnica costruttiva alla sola fusoliera.



Fig. 1.3: Albatros

La costruzione dell'ala pone una serie di problemi differenti, tanto da non rendere applicabile la costruzione a guscio "puro". Il rivestimento dell'ala resiste bene alla tensione ma



Fig. 1.4: De Havilland Mosquito

non alla compressione, a meno che non sia adeguatamente sostenuto da rinforzi. In volo l'ala sostiene il peso del velivolo e lavora con il rivestimento del ventre in tensione e quello del dorso in compressione; a terra si verifica la situazione inversa.

Per l'ala si utilizzava (e si utilizza tuttora con le opportune modifiche) una struttura costituita da uno o più longheroni (di sezione diversa) e una serie di centine ad essi collegati

Spesso le centine erano a travatura reticolare in legno o in legno sagomato con alleggerimenti. Anche in questo caso tutta la struttura era irrigidita da un adeguato numero di cavi metallici. Un problema particolare era quello posto dalle “superfici di governo”: sulle prime macchine volanti non esistevano alettoni (e meno che mai ipersostentatori) ed era tutta la parte esterna della semiala che

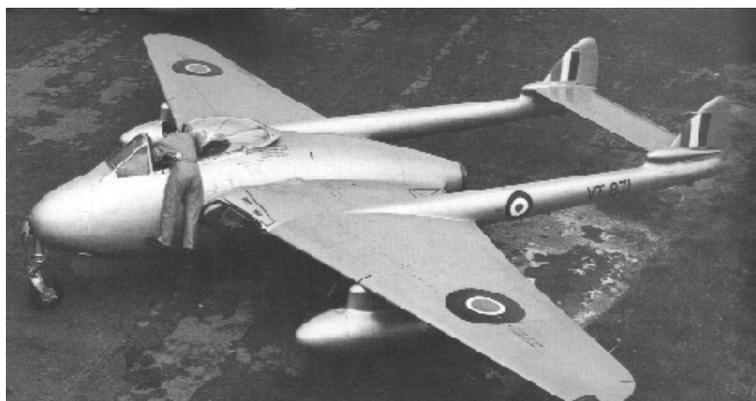


Fig. 1.5: De Havilland Vampire

variava curvatura variando, quindi, la portanza della semiala e permettendo l'esecuzione di virate -molto spesso approssimative- controllate. Quali e quanti problemi costruttivi comportasse questo svergolamento dell'ala è facilmente immaginabile (cavi per il comando incrociato, centine a listelli deformabili progressivamente, ecc.). Oltre a questo veniva preferita la soluzione pluriala a quella monoplana per distribuire le sollecitazioni e i carichi su superfici più grandi.

Tutti i problemi visti fino ad ora venivano risolti artigianalmente, dato il piccolo numero di velivoli prodotti. Fu, però, la I.G.M. a decidere la svolta nelle costruzioni aeronautiche, rendendo necessaria la produzione in serie e la qualità costante e controllata del prodotto. L'aumento della domanda, intesa sia come numero che come qualità del prodotto, incominciò a far intravedere le limitazioni del legno per le costruzioni aeronautiche: necessità di scorte di legname stagionato, caratteristiche non sempre costanti al 100%, forme e dimensioni limitate. Questi problemi erano sentiti più che altrove in Germania e la risposta fu trovata nelle strutture



Fig. 1.6: Junkers J-7

metalliche (acciaio); pionieri furono le Ditte Dornier e Junkers. Già nel 1910 Hugo Junkers brevettò un'ala a sbalzo a profilo spesso, da costruirsi in metallo e senza sostegni esterni. Solo nel 1915 Junkers fu in grado di mettere in pratica quanto studiato, per arrivare nel 1918 al J.7, primo caccia monoplano con ala a sbalzo, di costruzione interamente metallica (Fig. 1.6).

Alcune soluzioni costruttive (come l'ala bassa a sbalzo) adottate da Junkers influenzarono pesantemente, e a buona ragione, lo sviluppo successivo delle costruzioni aeronautiche. Tra i primi esempi i monoplani Pfalz e Fokker; fu progettato da Fokker il primo monoplano concepito espressamente come caccia. L'ala progettata da Pfalz prevedeva centine con flange di irrigidimento; questa costruzione divideva l'ala in tante celle tali da dare resistenza allo svergolamento.



Fig. 1.7: Ala a cassone di Rohrbach

Il rivestimento in lamierino ondulato progettato da Junkers risultava poco efficace nelle ali; nel 1919 il Dr. Adolf Rohrbach sviluppò un'ala con longheroni a scatola collegati al rivestimento in metallo liscio che assorbiva gran parte dei carichi (Fig. 1.7).

È questo il principio del rivestimento lavorante, termine utilizzato da Rohrbach nel 1924,

e successivamente sviluppato da altri. Fu proprio Rohrbach che, con una serie di conferenze tenute negli USA nel 1926, aiutò a diffondere quei concetti da cui si svilupparono le serie rivoluzionarie di aerei da trasporto americani dopo gli anni '30. Non dobbiamo però dimenticare che le strutture metalliche costituivano, in effetti, solo una piccolissima parte della produzione alla metà degli anni '20. Normalmente gli aerei erano costruiti come scheletri, montati su scali e "tirati" in forma mediante cavi metallici. Era lo scheletro a portare tutti i carichi e il rivestimento era costituito da tela di cotone a trama fitta, tesa e impermeabilizzata mediante più mani di vernice tenditela alla cellulosa. Ove era richiesta una copertura più "solida" veniva utilizzato il legno compensato (bordi d'attacco, fianchi abitacolo). La fine della I G.M. segnò un brusco arresto nella progettazione e produzione aeronautica. Famiglie di velivoli di notevole impegno ingegneristico (bombardieri Caproni e Handley-Page) vennero repentinamente annullate

Il surplus bellico permise il fiorire di numerosissime società commerciali -soprattutto negli USA- per il trasporto di merci, posta e passeggeri. Questa offerta del surplus portò a quel brusco arresto a cui si accennava prima e che si protrasse per almeno 6 anni. In questi anni vennero commissionati dal Ministero dell'Aeronautica inglese approfonditi studi per valutare i materiali e i tipi di strutture più idonei per la costruzione "tutto metallo". Vennero così convertiti in strutture metalliche i velivoli che erano nati con struttura lignea; buoni progressi erano stati fatti sul fronte dei materiali ma ben poco era stato fatto per il progetto di nuove strutture. L'evidenza di quanto sopra è lo scarso sfruttamento delle caratteristiche del metallo, con conseguente produzione di biplani, quando proprio il metallo era il fattore chiave per la produzione di monoplani a sbalzo. Le strutture di fusoliera in tubi saldati, pur essendo tecnologicamente all'avanguardia, furono soggette a molte critiche a causa dello scarso



affidamento. La soluzione al problema stava, però, nella migliore qualificazione delle maestranze e non nella tecnica inadeguata. Per ovviare a questo, continuando a produrre giunti chiodati (e non saldati) la Hawker Aircraft sviluppò un sistema di collegamento che, dai biplani Hart- Fury (*Fig. 1.8*) passò all'Hurricane (*Fig. 1.8a*) e -in alcune parti- anche ai Typhoon (*fig. 1.89 b*) e Tempest.

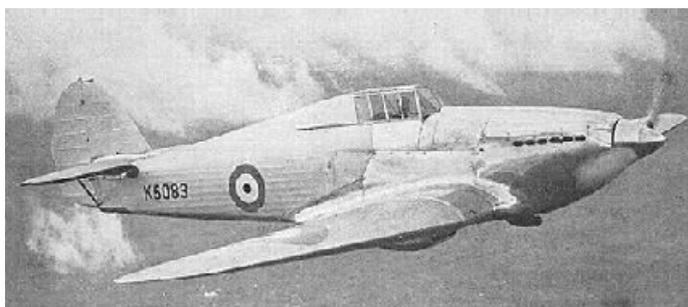


Fig. 1.8b: Hawker Hurricane

Questa tecnica richiedeva che i tubi, nel punto in cui venivano uniti, avessero sezione quadrata al fine di migliorare l'aderenza delle piastre di collegamento e dei chiodi o bulloni passanti (*Fig. 1.9*). Di conseguenza si potevano usare tubi rotondi deformati alle estremità o tubi quadrati.



Fig. 1.8c: Hawker Typhoon

In questo tipo di struttura gli elementi trasversali erano tubi rotondi che entravano in guaine collegate agli attacchi mediante bulloni; il tutto veniva irrigidito mediante cavi metallici.

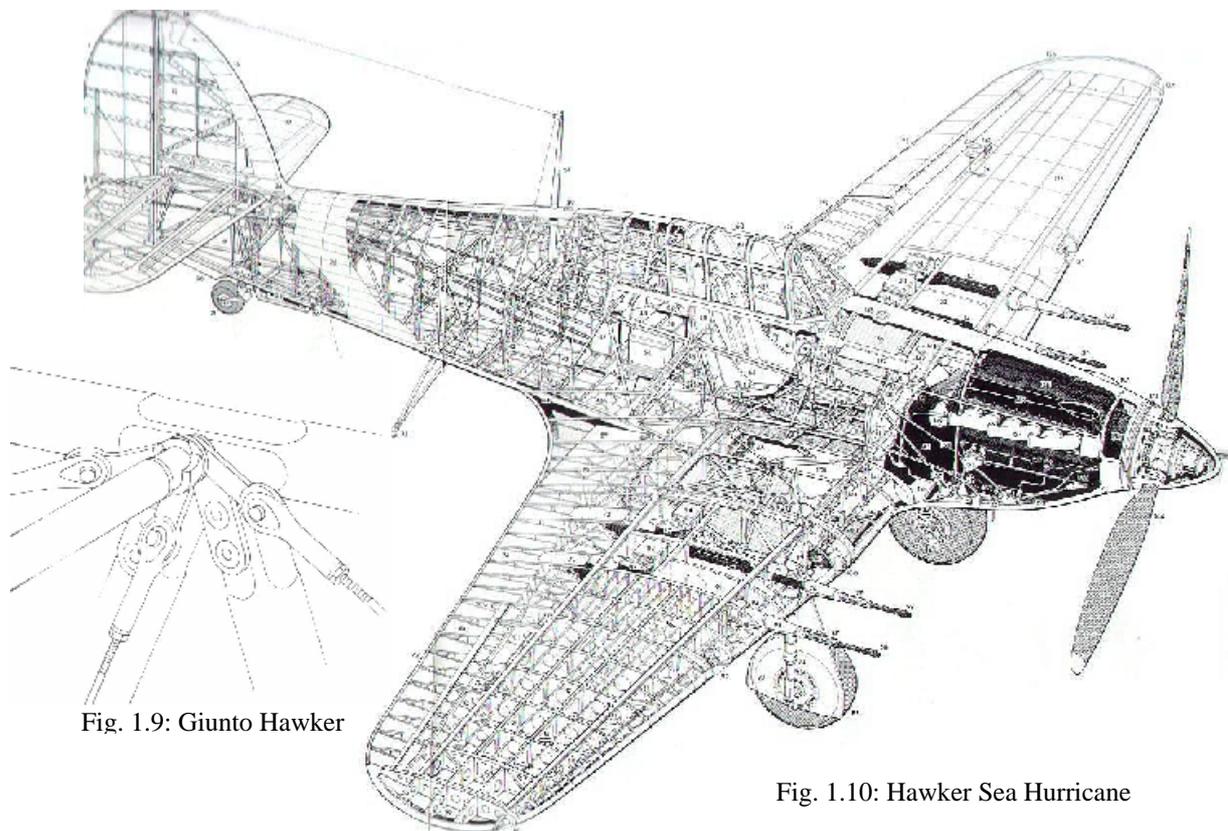


Fig. 1.9: Giunto Hawker

Fig. 1.10: Hawker Sea Hurricane

L'inconveniente che persiste nella struttura reticolare -indipendentemente dai materiali utilizzati- è dato dalla necessità di rendere il tutto aerodinamico e di lasciare spazi interni per il carico pagante. È quindi necessario costruire un sostegno per il rivestimento (non lavorante), sia questo metallico o in tela (Fig. 1.10: Hawker Hurricane). Ovviamente questa struttura e il rivestimento sono pesi aggiuntivi che non partecipano alla resistenza della struttura. Una delle soluzioni scelte per ovviare a questo problema prevedeva la costruzione di parti di fusoliera in nastro d'acciaio a elevata resistenza (ditta Bristol). Nel resto d'Europa e negli Stati Uniti si seguivano strade diverse. Soprattutto negli Stati Uniti, sul finire degli anni '20, la produzione di aerei monomotori da trasporto ad ala alta conobbe una certa affermazione. Caratteristiche medie erano 1 pilota più 6÷8 passeggeri e autonomia di circa 800 km. Esponente di rilievo di questa



Fig. 1.11: Lockheed Vega

categoria era il Lockheed Vega (1927, Fig. 1.11) che, con un motore radiale da 220 HP, trasportava a 175 km/h per 880 km 1 pilota e 6 passeggeri. Con un motore da 425 HP trasportava 8 passeggeri a 215 km/h. L'ala era a sbalzo in legno e la fusoliera era in legno a rivestimento lavorante,

costituita da 2 sezioni pressate l'una contro l'altra. In questo periodo, grazie al Vega, si ebbe la dimostrazione pratica che una struttura a rivestimento lavorante dava lo stesso volume interno di una fusoliera a struttura reticolare con un risparmio del 35% nell'area della sezione trasversale, a tutto vantaggio della diminuita resistenza aerodinamica e della riduzione del peso.



Fig. 1.12: Supermarine S6

In campo militare la formula monoplana aveva avuto pochi sviluppi; in Gran Bretagna era, addirittura, penalizzata da una sospensione “temporanea” del 1912. Ancora per molti anni (v. Fiat CR.42) si preferirono i biplani ai monoplani a causa della loro “insuperata” manovrabilità. Due gare aeree, il trofeo Pulitzer e la coppa Schneider, stimolarono il progetto e la costruzione di veloci monoplani che, in molti casi, furono la base per successivi velivoli di successo (dal Supermarine S.6 derivò lo Spitfire, progettista ing. Reginald J. Mitchell, *Figg. 1.12 e 1.13*). Caratteristica peculiare

del Supermarine Spitfire, in tutte le sue versioni, l’ala a pianta ellittica che gli consentiva notevolissime prestazioni aerodinamiche. L’eccezionale aerodinamica non trovava riscontro nella struttura alare decisamente complessa. Superiore, dal punto di vista strutturale e soprattutto in termini di ingegnerizzazione, il Messerschmitt Bf (poi Me) 109 (*Fig. 1.14a e dettagli costruttivi in fig. 1.14b*) che, nel 1943-44, raggiunse numeri di produzione superiori anche ai velivoli statunitensi.



Fig. 1.13 Supermarine Spitfire Mk IX



Fig. 1.14a: Messerschmitt Bf 109 F

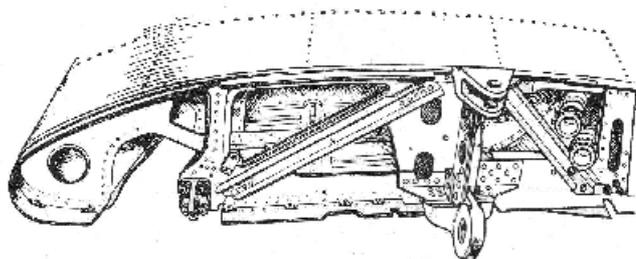
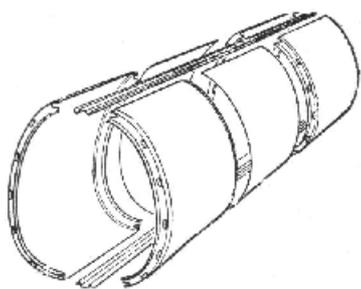
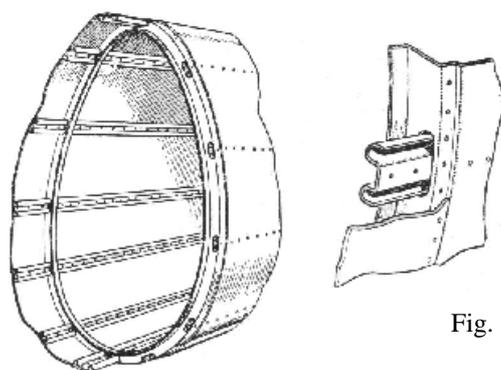


Fig. 1.14b: Dettagli costruttivi del Messerschmitt Bf 109

In alto l’attacco alare a tre punti (si noti un attacco ad asse verticale).

A sinistra lo schema di assemblaggio della fusoliera, costituita da pannelli sagomati, priva di ordinate (sono i risvolti terminali dei pannelli che fungono da ordinate) e irrigidita da correntini.

Anche l'industria italiana partecipò alla Coppa Schneider con risultati lusinghieri e, sebbene detentrici del primato mondiale di velocità per idrovolanti con il Macchi MC72 (primato tuttora imbattuto), non seppe realizzare aeroplani altrettanto validi, complice indirizzi errati provenienti dagli stati maggiori e una diffusa miopia industriale.

Il crescente impiego di materiali metallici (leghe d'acciaio e d'alluminio) portò all'adozione generalizzata delle strutture a semiguscio, dapprima in combinazione legno-metallo e, successivamente, tutto metallo. Fondamentalmente questa tecnica consiste nell'impiegare un certo numero di ordinate di forza e di forma atte a dare alla fusoliera la sua forma trasversale e da un rivestimento metallico irrigidito da correntini, fissato alle ordinate, in grado di resistere agli



Fig. 1.15: Douglas C-47 / C-53 "Dakota"

sforzi di compressione. Nelle ali alle ordinate si sostituiscono le centine; l'elemento portante dell'ala rimane il longherone. Il sistema di costruzione a rivestimento lavorante permise la progettazione e la costruzione di un velivolo come il Douglas DC-2 da cui derivò il DC-3 Dakota (C-47 e C-53 militari) (Fig. 1.15).

I progettisti (Donald Kindelberger e Arthur Raymond) realizzarono un aereo con una struttura a rivestimento lavorante e con un'ala multilongherone a lunga durata, gettando le basi del concetto fail safe.

Una struttura **fail safe** è una struttura nella quale più elementi so-stengono gli sforzi maggiori (in luogo di uno solo di più grandi dimensioni). La robustezza dei singoli elementi è tale che, se uno dovesse cedere, i restanti sono ancora in grado di resistere alle sollecitazioni, permettendo di concludere il volo in sicurezza. Per contro le strutture **life safe** prevedono un solo elemento di forza, dimensionato in modo da resistere un certo numero di ore (o di cicli).



Fig. 1.16: Struttura geodetica (fusoliera di Vickers Wellington)

Eventuali incrinature che possono svilupparsi prima di questo limite non sono in grado di estendersi in maniera catastrofica. A causa del dimensionamento la loro velocità di propagazione sarà tale che potranno essere rilevate durante uno dei controlli periodici. Raramente conviene dare alla struttura completa caratteristiche life safe; in genere si progettano con questo criterio solo le parti particolarmente soggette a fatica. Nei primi anni '30 Barnes

Wallis sviluppava la struttura geodetica, partendo dalle esperienze avute con il dirigibile R.100. La struttura geodetica (Figg. 1.16 e 1.17) è essenzialmente costituita da un reticolo in lega leggera a forma di cesta, ricoperto in tela.

Questo tipo di struttura è molto resistente e in grado di sopportare notevoli sollecitazioni senza danni. La struttura geodetica permette di costruire fusoliere affinate, con grande spazio interno e ali di forte allungamento, senza centine. Per contro la costruzione è più complicata rispetto alle strutture convenzionali e richiede alcuni accorgimenti nello inserimento delle aperture (finestrini, porte) e nella esecuzione di pannelli a doppia curvatura. Da ricordare la tecnica prevista nell'assemblare il Vickers Wellington (Fig. 1.18, esempio più evidente di aereo a struttura

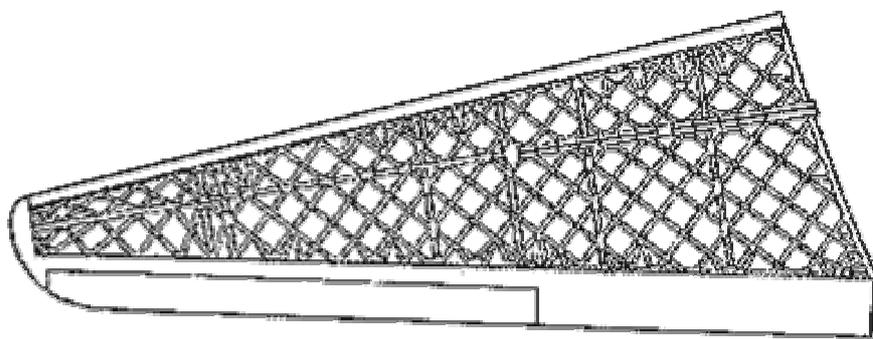


Fig. 1.17: Struttura geodetica (semiala di Vickers Wellington)

geodetica): ogni sezione veniva finita come unità completa di installazioni interne e rivestimento e quindi assemblata alle altre.

Le necessità di consegne in grandi numeri e in tempi ridotti non permisero di elaborare e mettere in pratica questo concetto che verrà ripreso solo in tempi successivi. Un

grosso impulso al miglioramento delle strutture a rivestimento lavorante fu dato dalla



Fig. 1.18: Vickers Wellington

propulsione a getto, sviluppata in contemporanea in Inghilterra ed in Germania, che richiedeva aerei sempre più leggeri e veloci. È doveroso ricordare il notevole lavoro di ricerca effettuato in Germania, nel corso della 2^a guerra mondiale sull'aerodinamica transonica e supersonica, con lo sviluppo di progetti di aeroplani con ala a freccia negativa e a

delta. Alcuni di questi, in modo particolare il Messerschmitt Me 262 Schwalbe (Fig. 1.19), ebbero impiego pienamente operativo nell'ultimo anno di guerra.

Un cenno particolare merita il Bell X-1 (Fig. 1.20 alla pagina seguente) sviluppato specificamente per superare la barriera del suono. Il primo "bang" supersonico avvenne il 14/10/1947 con Charles "Chuck" Yeager ai comandi. Si noti, comunque, la configurazione (ala diritta) non idonea al volo supersonico che denota una certa arretratezza della ricerca nell'aerodinamica delle alte velocità.

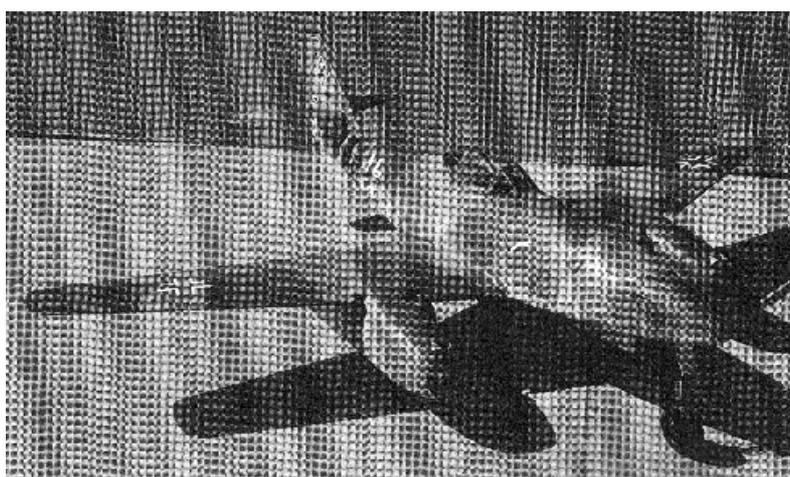


Fig. 1.19: Messerschmitt Me 262

Lo sviluppo dei trasporti aerei nel dopoguerra, il conseguente aumento delle ore volate e la necessità della pressurizzazione posero l'accento sulla resistenza a fatica delle cellule. Alcuni drammatici incidenti dovuti a cedimenti a fatica (D.H. Comet, Fig. 1.21 alla pagina seguente) misero in rilievo la necessità di progetti più accurati e l'importanza delle strutture fail safe.

La resistenza a fatica viene incrementata con la scelta di materiali adeguati e un'attenta



Fig. 1.20: Bell X-1

gradualmente gli spessori ed evitando brusche variazioni di sezione. La fresatura meccanica di grandi pannelli permette di ottenere da un unico massello i vari elementi di irrigidimento, le centine, le aperture che fanno parte dell'elemento in lavorazione. Per la

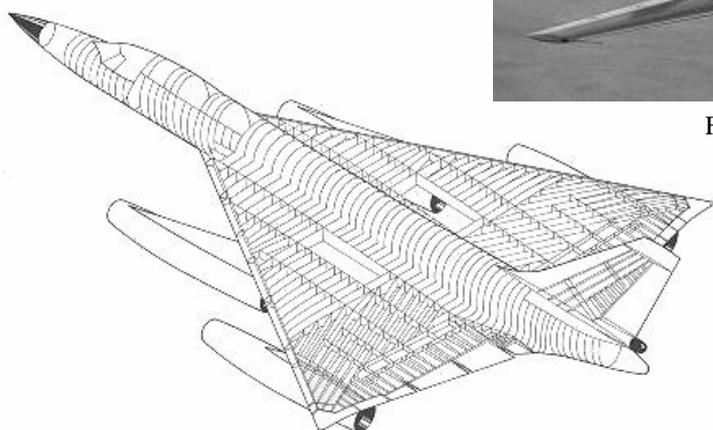


Fig. 1.22 a: Struttura del Convair B-58 Hustler



Fig. 1.22 b: Convair B-58 Hustler

progettazione delle parti, evitando pericolose concentrazioni di sforzi. Le prestazioni sempre più spinte e l'aumento delle dimensioni degli aerei hanno portato a sviluppare tecniche di fabbricazione particolari, quali la fresatura chimica e la fresatura di grandi pannelli. La fresatura chimica consiste nel consumare con un acido debole le zone non isolate da apposita vernice di una lastra (di spessore adeguato), fino a portarle allo spessore, alle dimensioni e alla forma volute. Questo processo di lavorazione permette di eseguire lavorazioni precise, riducendo



Fig. 1.21: De Havilland Comet

esecuzione di queste parti si richiedono grandi macchine a CNC (Controllo Numerico Computerizzato). Tanto gli incollaggi che queste tecniche di fresatura permettono di ridurre i problemi di sigillatura (si possono così ottenere serbatoi integrali) e di concentrazione ai carichi. Inoltre un elemento lavorato a macchina può essere più piccolo e più leggero (ovvero più resistente) di uno eseguito tramite assemblaggio convenzionale. Particolari molto sollecitati sono spesso ottenuti tramite pressoforgiatura. Tutti i sistemi di produzione visti sino ad ora permettono una certa flessibilità alla struttura, consentendo deformazioni aeroelastiche sotto carico. L'avvento del volo supersonico (continuato) con il

grande aumento delle sollecitazioni – che comporta una grande precisione nei profili – e il riscaldamento cinetico hanno portato nuovi problemi da risolvere. Il mantenimento dei profili anche alle alte velocità e in atmosfera turbolenta (aerei d'attacco) rende necessaria una struttura particolarmente rigida. Il riscaldamento cinetico può provocare innalzamenti di temperatura tali da giungere ai limiti del decadimento delle caratteristiche meccaniche delle leghe leggere (circa 100-130 °C). Per i velivoli che compiono voli supersonici di breve durata raramente ciò costituisce un problema serio, in quanto l'innalzamento di temperatura del rivestimento non ha il tempo di propagarsi alla struttura interna. Nei voli di lunga durata, invece, si cerca di distribuire su tutta la cellula il calore che viene generato, evitando picchi di temperatura che possono risultare pericolosi. Tra i primi esempi di questo tipo di progettazione consideriamo il Convair B-58 Hustler (*Fig. 1.22a e 1.22b alla pagina precedente*). Alcune aree del suo rivestimento giungevano a temperature di circa 1200 °C; per risolvere questo problema venivano usati estesamente pannelli in nido d'ape in acciaio inox, in grado di mantenere le caratteristiche meccaniche fino a 260 °C, con costi di 1200\$ ogni 30 cm.

Anche il Concorde (*Fig. 1.23*) deve affrontare questi problemi, ma sono stati risolti in modo più convenzionale con leghe di alluminio resistenti a temperature superiori a 130 °C. I correnti di fusoliera sono per la maggior parte estrusi e saldati al rivestimento. Solo nelle gondole motori e nel rivestimento delle superfici di controllo si trovano pannelli in nido d'ape in acciaio inox.



Fig. 1.23: SA – BAC Concorde

Sull'XB-70 Valkirye (*Fig. 1.24 alla pagina seguente*), progettato per volare a Mach 3 con temperature di circa 280 °C, si ricorse, invece, a grandi pannelli presagomati provenienti da estrusioni in acciaio inox, con rinforzi in nido d'ape in acciaio inox. La maggior parte delle giunzioni era effettuata tramite saldatura (oltre 10 km di saldature, la più lunga delle quali era di 24 m). I costi elevatissimi e un tragico incidente durante i collaudi decretarono la fine del progetto. Ma era comunque l'epoca dei grandi supersonici civili (Boeing SST ed altri) che non ebbero, però, nessuna fortuna. Solo in campo militare i progetti proseguirono con il Lockheed YF-12A, poi SR-71 (*Fig. 1.25 alla pagina seguente*), la cui struttura è quasi tutta in titanio, riducendo così il ricorso ai costosissimi pannelli in nido d'ape in acciaio inox. Notevole in questo velivolo la struttura dimensionata alle temperature di Mach 3+ (con i serbatoi integrali che perdono a freddo) e i motori (a reazione ma che ad alte quote e velocità funzionano come statorattori) installati a metà ala e non in gondole sub-alari (come sul Concorde).

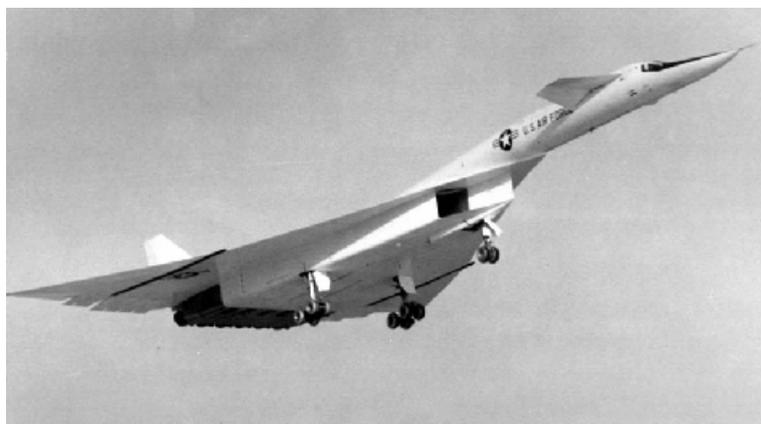


Fig. 1.24: XB-70 Valkyrie



Fig. 1.25: Lockheed SR-71 Blackbird

dell'elicottero. Anche l'evoluzione della struttura dell'elicottero, per quanto relativamente "giovane" come macchina, ha seguito i passi visti per gli aeroplani, passando per la struttura reticolare prima, per la struttura a rivestimento lavorante dopo e giungendo ai materiali compositi nell'ultimo ventennio.

L'altro campo della ricerca aerodinamica, al quale si è accennato, è quello delle velocità

Una struttura decisamente inedita è quella del North American X-15 (Fig. 1.26), composta da scheletro in acciaio inox e titanio e rivestimento in Inconel X (Ni+Cr) atto a resistere a temperature da $-185\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+650\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Dai primi anni '70 sono stati introdotti materiali compositi anche per elementi strutturali. Fino ad allora materiali fibrosi annegati in resine erano utilizzati in particolari non strutturali quali carrucole, carenature, pannelli vari. Con velivoli come il McDonnell-Douglas F-15 si sono utilizzate fibre di carbonio e boro per la costruzione di nido d'ape utilizzato per le superfici mobili. Da allora la ricerca di nuovi materiali "plastici" (compositi di Kevlar, Nomex, ecc.) ha portato a ridurre drasticamente i pesi di elementi strutturali (longheroni, rivestimenti) mantenendo la resistenza in campi di tutta sicurezza. A questo punto "l'aereo di plastica" sta diventando una realtà. Dal punto di vista dei materiali metallici si stanno sperimentando con successo leghe di alluminio-litio al posto delle leghe tradizionali (alluminio - rame, alluminio - zinco, alluminio - magnesio) e l'uso delle leghe di titanio è ampiamente diffuso.

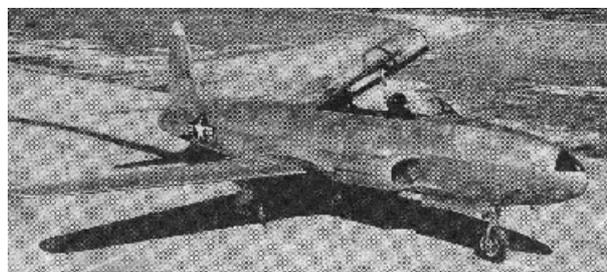
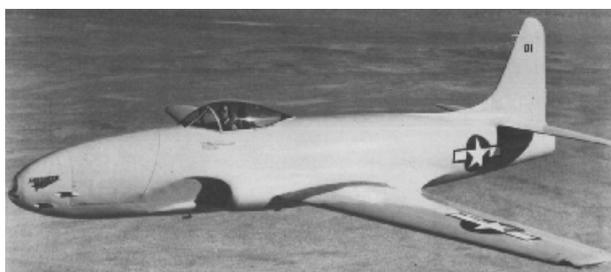
Nel corso di questa veloce carrellata non ci si è soffermati sugli aspetti aerodinamici del volo; sicuramente è doveroso un accenno al volo verticale ed allo sviluppo



Fig. 1.26: North American X-15

supersoniche. La disponibilità di modelli di calcolo sempre più efficaci ha permesso di sviluppare aerodinamiche particolari che hanno imposto strutture altrettanto particolari, soprattutto in ambito militare ove ai requisiti aerodinamici e strutturali si aggiunga anche la richiesta di una bassa segnatura radar (stealth).

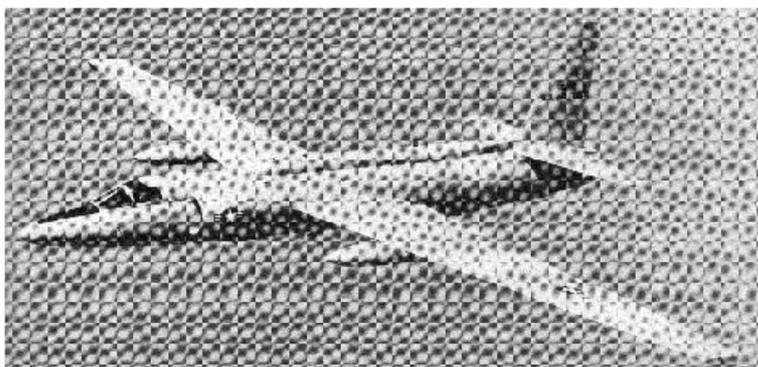
Al termine di questa rapida trattazione storica delle strutture aeronautiche è doveroso riconoscere come la Lockheed di Burbank (California) si sia sempre contraddistinta per una grande innovazione tecnologica (Vega, P-38 "Lightning", P-80 "Shooting Star" e T-33, F-104 "Starfighter", C-130 "Hercules", U-2, SR-71 "Blackbird", F-117 "Stealth") e, a partire dalla II G.M. sino alla fine degli anni '70, poté contare sulle capacità di un progettista come Clarence "Kelly" Johnson e sulle fabbriche segrete degli "Skunk Works". Gli aerei citati sono esempi di realizzazione "mirate", al vertice delle loro categorie specifiche. Anche a distanza di parecchi decenni alcune delle caratteristiche salienti rimangono di tutto rispetto; basti ricordare il T-33 (primo vero addestratore a getto, diffuso in tutto il mondo), le doti di accelerazione dello Starfighter e l'estrema razionalità dell'Hercules come aeroplano da trasporto.



P-80 "Shooting Star", primo caccia a reazione USA operativo (già nel maggio 1945 in Italia) e T-33, derivato dal P-80, primo vero addestratore a getto.



Primi prototipi del F-104 "Starfighter"; aereo con aerodinamica futuristica per l'epoca (metà anni 50). Si notino la presa d'aria mascherata per ragioni di sicurezza nella foto a sinistra, la presa d'aria del primo tipo nella foto a destra, la deriva di corda ridotta e la completa assenza di pinne stabilizzatrici ventrali. Le sue prestazioni "velocistiche" sono rimaste imbattute per molti anni.



U-2 “Dragon Lady”: concepito come aereo spia da alta quota ha avuto una lunga carriera ottenendo risultati lusinghieri.



C-130 “Hercules”:
l’aereo da trasporto più diffuso nel mondo, ha segnato una vera pietra miliare nel trasporto aereo. La versione J ha rinnovato l’avionica mantenendone la struttura pressoché intatta, a conferma della bontà del progetto originario.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.