

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale  
«L'evoluzione strutturale in ambito  
aeronautico: analisi comparativa  
tra aerei storici e contemporanei »***

Tutor universitario: Prof. Ugo Galvanetto

Laureando: *Andrea Giro*

Padova, 20/09/2024

Tratteremo l'evoluzione delle strutture e dei materiali utilizzati in ambito aeronautico dagli albori ad oggi:



- ➔ Aerei in legno, tela e cavi metallici e struttura a biplano, negli anni '20.
- ➔ Aerei completamente in alluminio con ala a sbalzo, negli anni '30.
- ➔ L'introduzione della fusoliera a corpo largo, negli anni '70.

All'inizio della storia dell'aviazione le caratteristiche erano:

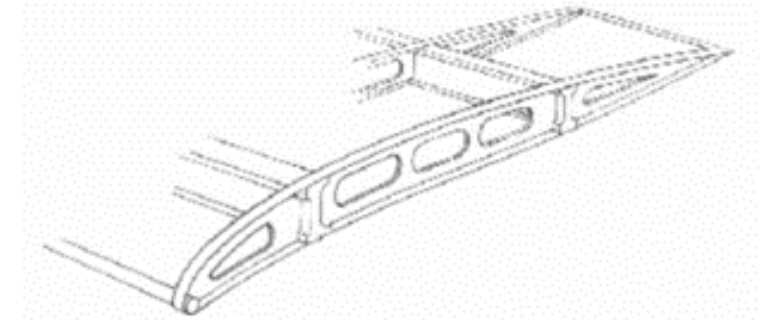
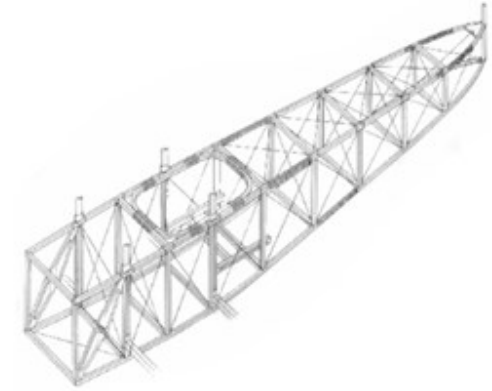
- Utilizzo di legno, tela e cavi metallici;
- Forme molto semplici accompagnati da una struttura a biplano o anche triplano.



I primi aerei erano caratterizzati da profilati d'acciaio e strutture reticolari in legno, in cui era principalmente usato il bambù.



Sostituite successivamente con strutture sagomate in legno di frassino e abete.

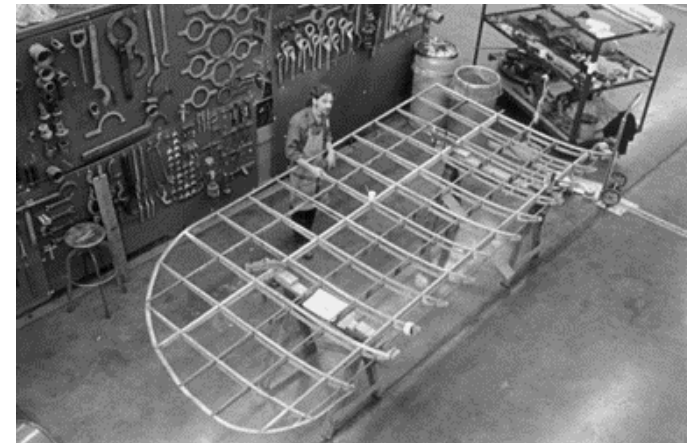


Successivamente si passa alla struttura a monoscocca, in cui la struttura esterna supportava l'intero carico agente sull'aereo.



Tali strutture permettono:

- Miglioramento dell'aerodinamica dei profili alari;
- Riduzione del peso del velivolo.



L'introduzione dell'uso del metallo:

- Introdotto durante la Prima Guerra Mondiale;
- Permetteva una maggior affidabilità dell'aereo;
- Principalmente usato l'alluminio o altre sue leghe leggere.



Le strutture dei velivoli rimasero invariate, continuando la costruzione ad ala doppia.

I primi aerei di successo con struttura interamente in alluminio furono: il Boeing 247 e il Douglass DC-2; entrambi risalenti agli inizi degli anni '30.



Concetto di «life-safe».



Tra le più significative innovazioni di questo periodo ci sono lo sviluppo dei carrelli di atterraggio retraibili, le cabine di pilotaggio separate dal resto della fusoliera e lo sviluppo delle prestazioni dei motori.



Durante la Seconda Guerra Mondiale:

- I serbatoi furono spostati all'interno della fusoliera;
- Forme delle ali più efficienti.



Miglioramento dell'aerodinamica del velivolo.



Sviluppo dei primi motori a getto.

Nel secondo periodo post bellico:

- Pressurizzazione della fusoliera per via delle quote di volo più elevate;
- Crescente utilizzo degli aerei nel settore commerciale.



Negli anni '50 e '60' ci furono delle innovazioni a livello di materiali e strutture degli aerei:



Per via dell'aumento delle temperature delle superfici, venne introdotto l'uso del titanio.



Introdotta il concetto di «wide body», ovvero la costruzione di aerei con fusoliera a corpo largo.



Negli anni successivi si iniziò a cercare materiali tali da ridurre il peso complessivo del velivolo .



Inizialmente si usò lo stesso materiale ma in strutture a «honeycomb».

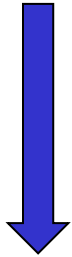


Successivamente negli anni '70 e '80 venne introdotto l'uso di materiali compositi

Dagli anni '70 ad oggi l'uso dei materiali compositi è diventato predominante.



Negli anni '80 vennero sostituiti i sistemi meccanici e idraulici che gestivano le superfici di controllo, con i più moderni sistemi elettronici.



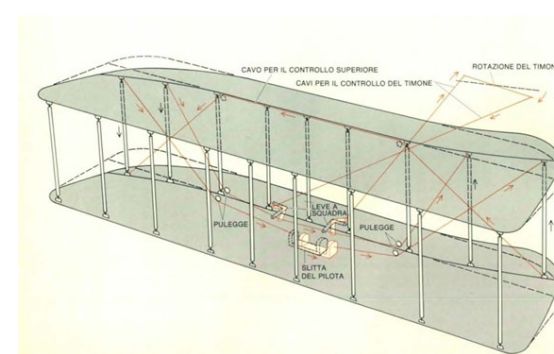
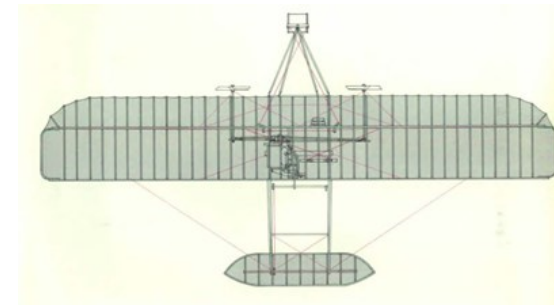
Gli aerei di ultima generazione a prima vista possiedono forme simili ai loro predecessori, ma da una analisi più approfondita possiedono caratteristiche aerodinamiche più efficienti.





Tale aereo risale al 1903, era caratterizzato da:

- Forma a biplano con una struttura reticolare in legno, tela e cavi metallici, merito del basso peso e dell'ampia superficie era soggetto a un carico aerodinamico poco superiore a  $7 \text{ kg/m}^2$ ;
- Utilizzava un motore creato dai fratelli Wright, accoppiato con eliche molto performanti;
- Era stato costruito preferendo la controllabilità rispetto alla stabilità con la presenza di superfici anteriori che comportavano instabilità rispetto al moto di beccheggio, mentre nel retro delle ali era presente un doppio timone;
- Era suscettibile allo stallo e sviluppava una elevata resistenza parassita;
- La manovrabilità era ottenuta tramite l'utilizzo di pulegge e cavi che collegavano le varie parti.





Il Boeing 247 fu uno dei primi aerei interamente in metallo ed entrò in servizio nel 1933 con la «United Airlines»:

- Venne definito come il primo aereo a presentare caratteristiche dei velivoli moderni;
- Possedeva una configurazione ad ala bassa a sbalzo con un carrello retraibile;
- La cabina era isolata tale da ridurre il rumore e permetteva di regolare la temperatura al suo interno;
- Ci fu un miglioramento anche riguardo la sicurezza, era dotato di un impianto antighiaccio e da scaricatori di elettricità statica sulle ali;
- Montava due motori Pratt & Whitney ma per la capacità limitata a solo 10 persone, venne presto rimpiazzato dal Douglass DC-2 con una capienza di 14-16 persone;
- L'elica del motore presentava un passo variabile con due diverse modalità cioè: passo fine per il decollo e atterraggio e passo grosso per il volo di crociera;
- La cabina di pilotaggio era caratterizzata da due postazioni per i piloti una strumentistica di base.

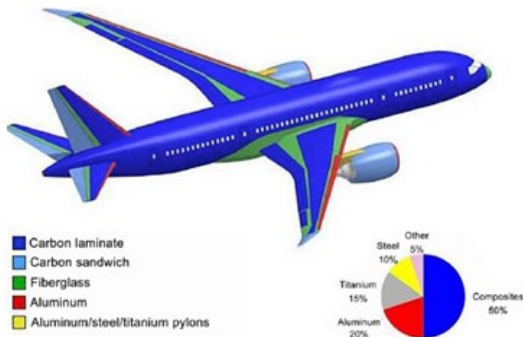
Il Boeing 747 volò per la prima volta nel gennaio del 1970 per la compagnia aerea americana, la «Pan America World Airways»:

- L'obiettivo degli anni '70 era di aumentare la capacità e di ridurre i costi per passeggero, fu reso possibile grazie all'innovazione della fusoliera a corpo largo;
- La fusoliera era costituita da una combinazione di telaio circolare e di longheroni longitudinali entrambe in alluminio;
- L'aereo era caratterizzato da un piano superiore al piano principale, era stato realizzato ponendo la cabina di pilotaggio in una posizione sopraelevata;
- Per le questioni di sicurezza e le procedure di evacuazione, vennero fatte un maggior numero di uscite di emergenza pari a cinque porte su ogni lato;
- Presentava un'apertura alare di più di sessanta metri che otteneva ottimi risultati in termini di efficienza e consumo di carburante;



- In funzione del peso dell'aereo erano stati progettati 4 carelli d'atterraggio che permettevano di controbilanciare il peso totale senza occupare troppo spazio una volta stivati;
- Vennero introdotti nuovi materiali come resine epossidiche e strutture in «honeycomb» nelle strutture delle ali e nelle superfici di controllo mentre l'uso del titanio nel rivestimento dei motori;
- Erano montati 4 motori turbofan ad alto bypass che permettevano una maggiore efficienza e una riduzione del rumore;
- L'aereo presentava una condizione di ridondanza multipla sia per le strutture sia per i componenti critici del sistema;
- Nel 1988 vennero introdotti nelle superfici delle ali i «winglets» che riducono l'effetto di «downwash»;
- All'interno della cabina di pilotaggio erano presenti un maggior numero di dispositivi di controllo analogici.





Il Boeing 787 è stato progettato con l'obiettivo di ridurre il peso e le emissioni prodotte; volò per la prima volta nel dicembre del 2009:

- Presenta la caratteristica forma a fusoliera larga ma al tempo stesso sono state ridotte le dimensioni;
- Le forme rimasero abbastanza invariate con un aumento dell'uso dei materiali compositi che compongono il 50% della struttura;
- Tali materiali permettono una riduzione del peso e una maggiore resistenza alla fatica;
- L'aereo è caratterizzato da un numero maggiore di confort e elevati livelli di sicurezza, sono stati migliorati i sistemi di pressurizzazione e le condizioni in cabina di pilotaggio;
- Possiede un sistema di controllo «fly by wire»;



- La cabina di pilotaggio presenta controlli digitali su più schermi in cui si può verificare costantemente lo stato dell'aereo e delle condizioni di volo;
- È stata introdotta la tecnologia «head up display»;
- I due motori montati erano prodotti dalla General Electric, presentano una tecnica costruttiva denominata «scalloping» che riduce il rumore prodotto.



- [1] Progressi nella ricerca e sviluppo nel settore dei materiali aeronautici. Uno sguardo alle scoperte in materia di ricerca e sviluppo. (2024, June 24). <https://fastercapital.com/it/contenuto/Progressi-nella-ricerca-e-sviluppo-nel-settore-dei-materiali-aeronautici--uno-sguardo-alle-scoperte-in-materia-di-ricerca-e-sviluppo.html#evoluzione-dei-materiali-aeronautici>
- [2] Airbus. (2022a, September 7). Aviation's material evolution. Airbus. <https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2017-02-aviations-material-evolution>
- [3] The evolution of aerospace materials (2019, November 18). The Scientific Teen. <https://www.thescientificteen.org/post/the-evolution-of-aerospace-materials>
- [4] Vance, J. E., Boyne, W. J. (2000, January 12). Airplane — Definition, Types, Mechanics, Facts. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/airplane/Materials-and-construction>
- [5] Fixed-Wing Aircraft — Aircraft Classification. (n.d.). [Video]. Aircraft Systems. [https://www.aircraftsystemstech.com/p/history-of-aircraft-structures.html?utm\\_content=cmp-true](https://www.aircraftsystemstech.com/p/history-of-aircraft-structures.html?utm_content=cmp-true)
- [6] A brief history of aircraft materials. (2023b, December 22). <https://www.thomasnet.com/insights/a-brief-history-of-aircraft-materials/>
- [7] Airbus. (2022, September 7). Safety innovation 1: Fly-by-wire (FBW). Airbus. <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2022-06-safety-innovation-1-fly-by-wire-fbw>
- [8] Le origini del primo aeroplano a motore pilotato. (1979). [https://download.kataweb.it/mediaweb/pdf/espresso/scienze/1979\\_133\\_5.pdf](https://download.kataweb.it/mediaweb/pdf/espresso/scienze/1979_133_5.pdf)
- [9] Coassin, C. (n.d.). La tecnica del Flyer 1. Copyright 2002-2005 Exenor Srl. <http://www.infodomus.it/flyer/tecnica.htm>
- [10] Boeing 247D — The Museum of Flight. (n.d.). Museum of Flight. <https://www.museumofflight.org/exhibits-and-events/aircraft/boeing-247d#:~:text=Its%20sleek%2C%20low%2Dwing%2C,1%20and%20Ford%20Tri%2DMotor.>
- [11] Boeing 247-D. (n.d.). National Air and Space Museum. [https://airandspace.si.edu/collection-objects/boeing-247d/nasm\\_A19540069000#:~:text=With%20its%20sleek%2C%20low%2Dwing,notably%20the%20Douglas%20DC%2D2.](https://airandspace.si.edu/collection-objects/boeing-247d/nasm_A19540069000#:~:text=With%20its%20sleek%2C%20low%2Dwing,notably%20the%20Douglas%20DC%2D2.)
- [12] The Boeing 247. (n.d.). Google Books. [https://books.google.it/books?hl=it&lr=&id=2zTueJhXW0QC&oi=fnd&pg=PR8&dq=boeing+247+structural+design+&ots=y91Vi4ldQu&sig=C9JwoIDjoOryq0362\\_tZwSUBg4&redir\\_esc=y#v=onepage&q=boeing%20247%20structural%20design&f=false](https://books.google.it/books?hl=it&lr=&id=2zTueJhXW0QC&oi=fnd&pg=PR8&dq=boeing+247+structural+design+&ots=y91Vi4ldQu&sig=C9JwoIDjoOryq0362_tZwSUBg4&redir_esc=y#v=onepage&q=boeing%20247%20structural%20design&f=false)
- [13] Walker, B., Wilkinson, S. (2023, January 18). Was the Boeing 247 Really Everything It's Supposed to Be? HistoryNet. <https://www.historynet.com/boeing-247-failures/>
- [14] Team, F. F. (2024, March 9). Wide Body Airplanes: Everything you need to know- 1 Ultimate Guide. Florida Flyers Flight Academy Flight School. <https://www.flightschoolusa.com/wide-body-airplanes-1-ultimate-guide/>
- [15] Boeing 747: A History. (n.d.). Google Books. [https://books.google.it/books?hl=it&lr=&id=Ej0RBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=boeing+747+structure+and+materials&ots=JldHwUZ1-t&sig=Y-odfRtoMZdMXZyXe973DHcDI14&redir\\_esc=y#v=onepage&q=boeing%20747%20structure%20and%20materials&f=false](https://books.google.it/books?hl=it&lr=&id=Ej0RBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=boeing+747+structure+and+materials&ots=JldHwUZ1-t&sig=Y-odfRtoMZdMXZyXe973DHcDI14&redir_esc=y#v=onepage&q=boeing%20747%20structure%20and%20materials&f=false)

- [16] Boeing 787 Dreamliner. (n.d.). Google Books. [https://books.google.it/books?hl=it&lr=&id=8L9DR0K1S7EC&oi=fnd&pg=PP1&dq=boeing+787&ots=Jf3\\_yVgjtq&sig=xCr9kEwuHyqCSXoyxtzL8T0k1xM&redir\\_esc=y#v=onepage&q=boeing%20787&f=false](https://books.google.it/books?hl=it&lr=&id=8L9DR0K1S7EC&oi=fnd&pg=PP1&dq=boeing+787&ots=Jf3_yVgjtq&sig=xCr9kEwuHyqCSXoyxtzL8T0k1xM&redir_esc=y#v=onepage&q=boeing%20787&f=false)
- [17] Officer, C. T. (2017, October 6). The Boeing 787 Dreamliner: Designing an aircraft for the future. *Journal of Young Investigators*. <https://www.jyi.org/2010-august/2010/8/6/the-boeing-787-dreamliner-designing-an-aircraft-for-the-future>
- [18] Page, C. (2020, October 31). Evolution of an airliner: From the 747 jumbo jet to the 787 Dreamliner. *The Points Guy*. <https://thepointsguy.com/news/evolution-747-to-787/>
- [19] Jimenez Duarte, E. (2024). Study of the Boeing 787-8 structure and reproduction of a 1:80 scale model.
- [20] Whitmore, M. (2018). Rise of airline transportation after WWII. In Elsevier eBooks (pp. 307–321). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809665-9.10270-8>
- [21] Jakab, P. L. (1999). Wood to Metal: the structural origins of the modern airplane. *Journal of Aircraft*, 36(6), 914–918. <https://doi.org/10.2514/2.2551>
- [22] Storia dell'evoluzione aeronautica. (n.d.). <https://www.valentiniweb.com/Piermo/meccanica/doc/storia.pdf>
- [23] Materiali per le costruzioni aeronautiche. (n.d.). <https://www.valentiniweb.com/Piermo/meccanica/doc/Materiali.pdf>
- [24] Richards, A., Case, B., Peterson, E., Holman, N., Goodrich, W., Hintze, A., Esplin, C., Christensen, D., Holfeltz, J., Filimoehala, N., & Alley, N. (2002). The Wrightstuff: A redesign of the 1905 Wright Flyer. *Mechanical and Aerospace Engineering Capstone Projects*. [https://digitalcommons.usu.edu/mae\\_capstoneprojects/1/](https://digitalcommons.usu.edu/mae_capstoneprojects/1/)
- [25] Lawrence, B., & Padfield, G. D. (2006). Flight Handling Qualities of the Wright Brothers' 1905 Flyer 3. *Journal of Aircraft*, 43(5), 1307–1316. <https://doi.org/10.2514/1.19607>
- [26] Collopy, P. D. (2004). Military technology pull and the structure of the commercial aircraft industry. *Journal of Aircraft*, 41(1), 85–94. <https://doi.org/10.2514/1.2121>
- [27] Sutter, J., Roff, R., & Dees, P. (2003). The Boeing 747 Jumbo Jet. *AIAA International Air and Space Symposium and Exposition: The Next 100 Years*. <https://doi.org/10.2514/6.2003-2883>
- [28] Lu, R. F., & Sundaram, S. (2002). Manufacturing 3: Manufacturing process modeling of Boeing 747 Moving Line concepts. *Winter Simulation Conference*, 1041–1045. <https://doi.org/10.5555/1030453.1030603>
- [29] Davis, R. A. (n.d.). 747 Modernization. Boeing Commercial Airplane Company.
- [30] Tang, C. S., Zimmerman, J. D., & Nelson, J. I. (2009). Managing new product development and supply chain risks: The Boeing 787 case. *Supply Chain Forum an International Journal*, 10(2), 74–86. <https://doi.org/10.1080/16258312.2009.11517219>