

Ao8
95

Enzo Bonvino / Umberto Bonvino

L'età dei jet

Dal Comet alla Città volante



Copyright © MMVI
ARACNE EDITRICE S.r.l.

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

00173 Roma
via Raffaele Garofalo, 133 A/B
(06) 93781065

ISBN 88-548-0442-8

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

I edizione: febbraio 2006

A *Grazia*, madre e moglie eccezionale,
per averci spronati nel conseguimento
di questo nostro traguardo

Indice

Introduzione	13
---------------------	----

PARTE 1 - I Jet di linea

1	La nascita del jet di linea	16
2	Cronologia dei jet	25

PARTE 2 - Le schede

1	Le schede dei jet	36
2	Adam Aircraft Industries	37
	A700	38
3	Aerion	39
	SBJ	40
4	Aerospaziale (Società Nazionale d'Industrie)	41
	SN 601 Corvette 100 Jetstar	43
5	Aerospaziale – British Aircraft Corporation	45
	Concorde	47
6	Airbus Industrie s.a.s.	55
	A 300	58
	A 300-B2/B4	64
	A 300-600	65
	A 310	66
	A 320	69
	A 320-100/200	72
	A 321-100/200	74
	A 319	76
	A 318	79
	A 330	81
	A 330-300	84
	A 330-200	86

	A 340	89
	A 340-200	92
	A 340-300	94
	A 340-500	96
	Beluga	99
	A 380	105
7	Antonov	116
	An 72/74	118
	An 124	122
	An 225	125
8	Beriev	129
	Be 200	131
9	Boeing Company	134
	B 707	140
	B 720	147
	B 717	151
	B 727	155
	B 737	160
	B 747	170
	B 757	196
	B 767	201
	B 777	209
	B 787	220
10	British Aircraft Corporation	226
	BAC One Eleven	228
11	British Aerospace poi BAe System	234
	BAe 146	236
	BAe Nimrod	240
12	Canadair poi Bombardier Aerospace	243
	CRJ 200	244
	CL 600 Challenger 600	248
	CL 600 Challenger 601, 604, 605	250
	CL 600 CRJ 700	253
	Bombardier CRJ 900	255

	Bombardier Challenger 300	256
	Bombardier BRJ-X	257
	Bombardier Global	258
13	Cessna Aircraft Company	263
	Serie Citation	265
	Citation X	274
	Citation Jet, CJ1, CJ2, CJ3	279
14	Convair Division	282
	880	284
	900 Coronado	286
15	Dassault Breguet	290
	Mercure	292
	Serie Mystère/Falcon	300
16	De Havilland	309
	Comet	311
17	Embraer	330
	Serie ERJ	332
18	Fairchild Dornier	339
	Serie 328 Jet	341
	Serie 728/928/528	345
19	Fokker	348
	F 28	351
	F 100	355
	F 70	358
20	Grob Aerospace	360
	SPn Utility Jet (G180)	361
21	Gulfstream Aerospace Corporation	364
	Serie G II/III/IV/V	366
22	Hawker Siddeley Aircraft	371
	Trident	373

	HS 125-1/2/3/400/600	379
	HS 125-700/800 XP Private	381
23	Honda	383
	HA 420	384
24	Ilyushin	386
	Il 62	389
	Il 76	393
	Il 86	401
	Il 96	405
25	Israel Astra/Gulfstream	410
	IAI Westwind	412
	IAI 1125 Astra	414
	IAI 1126 Galaxy (G200)	417
26	Learjet/Bombardier	419
	serie Learjet/Bombardier	421
	C 21	427
27	Lockheed Aircraft Corporation	429
	serie L 1011	432
	L 1011-500 Tristar	438
	C 5 Galaxy	441
	L 1329 JetStar	444
28	McDonnell Douglas Corporation	446
	DC 8	449
	DC 9	460
	MD 80	465
	MD 90	470
	DC 10	473
	MD 11	480
29	Raytheon Aircraft Company	484
	BeechJet 400	486
	Hawker 1000	488
	Premier I	490
	Hawker Horizon	492

	Hawker 450	494
30	Sud Aviation	495
	Caravelle	497
31	Tupolev	504
	Tu 104	508
	Tu 124	510
	Tu 134	512
	Tu 144	515
	Tu 154	520
	Tu 204	524
	Tu 334	529
32	Vickers Aircraft	531
	VC 10	533
33	Yakovlev	541
	Yak 40	544
	Yak 42	546

PARTE 3 - Classificare i Jet

1	Le basi della classifica	550
2	Classifica in funzione dell'uso	553
3	Le dimensioni	555
4	La turbolenza di scia	565
5	New Large Aircraft (NLA)	580
6	Il coefficiente AR	597
7	Classifica in funzione dell'ACN	604
8	Numero passeggeri e larghezza della cabina	621
9	La posizione dell'ala	630
10	Classifica in funzione del peso	635
	10.1 Massa della struttura	639
	10.2 Massa della fusoliera	639
	10.3 Massa dell'ala	640
	10.4 Massa degli impennaggi	641
	10.5 Massa del treno d'atterraggio	641
	10.6 Massa gondole e propulsori	642
	10.7 Massa APU	643

10.8	Massa strumentazione di bordo	644
10.9	Massa degli impianti	644
10.10	Massa dell'arredamento	645
10.11	Massa del combustibile	645
10.12	Massa del carico pagante	646
11	Il treno d'atterraggio	654
12	La pressione dei pneumatici	672
13	La spinta dei motori	679
14	I raggi di sterzata	694
15	L'inversione di marcia	703
16	La visibilità dalla cabina di pilotaggio	707
17	Le prestazioni in volo: l'autonomia	710
18	Le prestazioni in volo: le velocità	721
18.1	La velocità max	724
18.2	La velocità d'avvicinamento	727
18.3	La velocità di stallo	728
19	Le prestazioni in volo: la tangenza pratica	729
20	L'emissioni inquinanti	739
21	L'inquinamento acustico	751
21.1	Natura dell'inquinamento acustico	753
21.2	Misura del rumore	755
21.3	Caratterizzazione del rumore aeronautico	757
22	Il consumo di combustibile	769
	Bibliografia	778

Introduzione

Questo libro, nato dalla comune passione per l'Aviazione Civile, sviluppa alcuni argomenti trattati nel Corso di Infrastrutture Aeroportuali del Politecnico di Bari e raccoglie le richieste dei giovani Allievi che, sempre più numerosi, si avvicinano a questa straordinaria disciplina.

Durante la stesura delle prime bozze ci si è accorti dei contenuti troppo matematici che avrebbero soddisfatto le esigenze della didattica e, probabilmente, annoiato sia il comune lettore, privo di particolari conoscenze nel settore, sia l'appassionato del volo. Si è cercato di equilibrare, per quanto possibile, la parte didattica e quella narrativa; il risultato è nelle pagine del libro.

L'opera inizia con la descrizione del primo jet di linea, il De Havilland Comet (1949), dell'ultimo, l'Airbus 380 (2005), passando attraverso il Boeing 747, il Concorde, il DC10 ed altre meravigliose macchine volanti; affronta gli aspetti legati all'interazione dei jet sull'ambiente e sulle infrastrutture aeroportuali, nonché gli sforzi che Costruttori e Progettisti hanno profuso per rendere il trasporto aereo sempre più sicuro e veloce.

Naturalmente il lettore che lo desidera potrà approfondire le sue conoscenze attraverso la consultazione di opere specializzate.

Umberto Bonvino si è interessato della ricerca bibliografica, del reperimento in rete (internet) di tutto il materiale riguardante i velivoli (immagini, dati, caratteristiche, ecc.), delle elaborazioni grafiche e del loro assemblaggio, della composizione del testo, ecc. Con i dati numerici ha costruito un'ampia matrice dalla quale Enzo Bonvino ha estrapolato le correlazioni grafiche tra le variabili attraverso analisi di regressione tra numero passeggeri, masse, geometrie, ecc.

Il libro è diviso in tre parti, ciascuna delle quali può essere letta in qualsiasi ordine. Nella prima, s'introduce il Comet e si forniscono alcune definizioni; si riporta la cronologia degli avvenimenti che hanno interessato la storia dei jet commerciali fino al decollo dell'Airbus 380-800.

Nella seconda, trovano sistemazione numerose schede tecniche dei velivoli, la loro storia e quella dei rispettivi Costruttori; sono indicati quasi 700 aerei, molti dei quali minuziosamente descritti.

Nella terza parte, infine, si approfondiscono le caratteristiche tecniche dei jet, dando ampio spazio anche ai New Large Aircraft e ai Light Aircraft, alla loro evoluzione e all'interazione con la pista di volo che tra le infrastrutture aeroportuali è certamente la più affascinante. In particolare,

si sono scelte ed analizzate numerose variabili legate alle caratteristiche geometriche, meccaniche, di capacità dei velivoli, alle loro performance, alle tipologie del treno d'atterraggio e dei gruppi propulsori, ai livelli di visibilità e d'inquinamento, ai fenomeni della turbolenza di scia, ecc. In questa fase le difficoltà incontrate sono state notevoli in quanto le informazioni erano insufficienti per alcuni velivoli, per altri poco attendibili o mancanti.

Una quarta parte sul calcolo degli spazi di decollo e d'atterraggio, molto corposa e matematica, è stata volutamente eliminata e costituirà un volume a parte.

Molti anni sono stati impiegati per raccogliere il materiale fotografico inserito nel volume e che proviene da diverse fonti, alcune delle quali non sono state individuate con chiarezza. Non dubitiamo che, nonostante il notevole ed incessante lavoro, rimangano errori ed omissioni; del resto un libro perfetto non esiste. Gli Autori saranno perciò grati a quanti forniranno indicazioni sulle correzioni da apportare.

Per il rapido evolversi delle conoscenze sugli argomenti trattati, ci auguriamo che il testo sia periodicamente aggiornato e ogni suggerimento, volto a migliorarlo, sarà il benvenuto.

Si desidera, infine, ringraziare l'Editore e il personale della Società Aracne Editrice per la squisita e continua disponibilità nel venire incontro ai molteplici tentativi dei due Autori di avvicinarsi alla perfezione.

Bari, gennaio 2006

Gli Autori
Enzo e Umberto Bonvino

Il compenso spettante agli Autori dalla vendita del libro sarà devoluto dall'Editore alla Casa Sollievo della Sofferenza, reparto pediatrico, di San Giovanni Rotondo (Foggia).



I Jet di linea

1 LA NASCITA DEL JET DI LINEA

Il 27 luglio 1949 il pilota collaudatore *John Cunningham* entrò per la seconda volta¹ nella storia dell'aviazione pilotando il prototipo del *D.H.106 Comet*, codice G-ALVG, costruito dal geniale progettista inglese De Havilland. Il Comet fu il primo jet civile di linea ad aver solcato i cieli e rimase l'unico per alcuni anni, fino al 15 luglio 1954, quando un Boeing 707, nome in codice Dash 80, diede inizio a quella gara che, ancor oggi, vede impegnati i Costruttori Aeronautici di tutto il mondo.

Il 2 maggio 1952 il Comet 1, della compagnia aerea British Overseas Airways Corporation (*BOAC*), decollò da Londra alla volta di Johannesburg, trasportando i primi passeggeri paganti di un jet. All'epoca, occorre normalmente 40^h; il Comet, invece, volando a 725 km/h, poteva ridurre il tempo di volo a sole 23^h, anche se la limitata autonomia lo costringeva a fare scalo a Roma, Beirut e Khartum. Il Comet non aveva concorrenti, né potevano essere considerati tali i rumorosi aerei ad elica come il veloce Lockheed Constellation (Vcrociera di 400 km/h), il Douglas DC6 o il Boeing Stratocruiser (Fig.1.1).



Figura 1.1 – Aerei di linea ad elica. (Assemblaggio da [1])

L'aspetto che più d'ogni altro incontrò il favore del pubblico era la cabina pressurizzata; all'inizio degli anni Cinquanta gli aerei di linea non possedevano questa caratteristica e, quindi, volavano a bassa quota incontrando le turbolenze atmosferiche. Il Comet rappresentò una vera e propria rivoluzione anche in questo; i suoi quattro motori Ghost 50, affogati all'interno delle radici semialari, gli permettevano di spingersi fino a 12.800 m di altitudine, impossibile per i velivoli di linea dell'epoca. L'aria condizionata all'interno della cabina pressurizzata metteva a di-

¹ Il 23 marzo 1948 a bordo del caccia turbogetto De Havilland Vampire 1, John Cunningham decollò dall'Aeroporto di Hartfield (Hertfordshire) e stabilì il nuovo record mondiale d'altitudine con 18.119 metri.

sposizione dei passeggeri comodità mai provate prima d'allora. Ebbe gran risalto il fatto che la Regina Madre e la Principessa Margaret avessero scelto proprio il Comet per la loro visita ufficiale nella Rhodesia. I Comet volavano spesso a pieno carico (non meno del 90% era la percentuale dei posti occupati), tanto che solo dopo il primo anno di servizio furono quasi 30.000 i passeggeri trasportati. Poiché l'autonomia dei primi esemplari non consentiva rotte transatlantiche, il Comet fu inizialmente impiegato su quelle asiatiche e africane del Regno Unito. Dal volo del prototipo del Comet (Fig.1.2) ad oggi, l'Aviazione Civile ha prodotto aerei tecnologicamente sofisticati e dalle dimensioni sempre più grandi; nel mese di aprile 2005 è iniziata la fase di collaudo in volo sul prototipo dell'Airbus 380, il più grande aereo da trasporto passeggeri mai costruito.



Figura 1.2 – Il prototipo del Comet 1 (1949). [1]

Tecnicamente l'aereo ² è una macchina in grado di trasportare per aria persone e cose; propulso da motori, è sostenuto dall'azione dinamica esercitata dal flusso d'aria sulla superficie dell'ala fissa. Giuridicamente è, invece, un bene mobile registrato. La legge vigente a bordo degli a/m è quella dello stato di immatricolazione durante il sorvolo delle acque internazionali, altrimenti vale quella del paese sorvolato. L'aereo non è

² Aereo, a/m in forma abbreviata, è definito dall'ICAO: Aeroplane = a power-driven heavier than air Aircraft, deriving its lift chiefly from aerodynamic reactions on surface which remain fixed under given conditions of flight.

l'unico meccanismo volante; più pesanti dell'aria sono anche l'aliante, la macchina ad ala rotante (autogiro ed elicottero), l'ortottero (sostenuto e propulso da ali battenti ad imitazione del volo degli uccelli).

Il termine aeroplano generalmente designa macchine volanti che operano da basi terrestri, ma è utilizzato anche per altre categorie di a/m che comprendono gli aerei collocati sulle navi, gli idrovolanti e gli anfibi. La principale differenza tra questi mezzi è data dalla configurazione del dispositivo d'atterraggio; l'aereo imbarcato è progettato per decollare e atterrare a bordo di portaerei e, per favorirne l'atterraggio, è dotato di un gancio caudale che si appiglia ad un cavo, steso da un capo all'altro del ponte di volo. L'idrovolante, invece, è dotato di galleggianti; il modello a scafo centrale ha la fusoliera come la carena di un'imbarcazione per consentire il galleggiamento. L'aereo anfibo è equipaggiato con entrambi i sistemi: carrello d'atterraggio e scafo o galleggianti (Beriev 200) per operare sulla terra e sull'acqua. In generale, una suddivisione di base degli aeromobili deve per forza riferirsi al tipo di sostentazione, in pratica alle modalità con le quali si sollevano da terra e si mantengono in aria; in tal caso si parla d'aerostati (sostentazione statica) e aerodine (sostentazione dinamica).

I primi, più leggeri dell'aria, sfruttano soprattutto la spinta aerostatica, mentre le aerodine, più pesanti, utilizzano solo o prevalentemente la portanza derivante dal movimento relativo fra l'aria e la propria superficie esterna. Le aerodine si dividono a loro volta in velivoli (aeroplano, aliante, idrovolante) e rotodine; tra queste ultime l'elicottero è il solo significativo, poiché l'autogiro e l'ortottero non hanno dimostrato di possedere qualità tali da renderne vantaggioso l'impiego. Nel seguito si useranno indifferentemente i termini: aereo, velivolo, aeromobile, a/m, quali sinonimi di aeroplano.

Da un punto di vista strutturale l'aereo da trasporto civile è progettato in base alle specifiche necessità operative ed è in grado di resistere durante il volo a sollecitazioni superiori a quelle indotte dai violenti fenomeni atmosferici. Le forze agenti su di esso sono ormai ben note ai Costruttori e da un punto di vista qualitativo sono le stesse qualunque sia la sua geometria; così, ad esempio, durante il decollo (*take-off*) la struttura è sollecitata essenzialmente dal peso proprio, mentre nell'atterraggio sono molto elevati gli sforzi nelle gambe di forza. Se si è costretti ad un rientro improvviso in aeroporto, il pilota scaricherà in volo una quantità di carburante pari al peso in eccesso rispetto a quello massimo consentito per l'atterraggio. In genere, scaricare carburante in emergenza è una necessità solo dei grandi aerei di linea che sono progettati per volare molte ore in

proporzione al numero di cicli ³. I moderni aerei di linea, a medio e lungo raggio, hanno una struttura progettata per volare molte ore tra un ciclo e l'altro; quindi, sono in grado di resistere a sollecitazioni poco frequenti, così da poter dedicare tutto il peso risparmiato al carico pagante ed al maggior quantitativo di combustibile. Le strutture dei *commuter* ⁴, invece, solide e durevoli, sono dimensionate per una vita utile dove i cicli superano il numero delle ore di volo. Per aerei come i Dornier, Dash, ATR, Jetstream, ecc., non è sempre necessario scaricare carburante in caso di emergenza perchè è minima la differenza tra il peso massimo consentito per il decollo e quello per l'atterraggio; in pratica, è sufficiente lungo le tratte brevi caricare meno quantità di carburante per annullarla.

La regola fondamentale adottata dalle Compagnie Aeree consiste nel valutare su che rotta deve essere impiegato. Nulla vieta di utilizzare un B767 ⁵ per volare da Milano a Roma (meno di un'ora di volo); se s'imbarca poco carburante non si avranno problemi di peso e si potrà accogliere il massimo carico pagante, ma con una piccola differenza: un B767 è progettato per affrontare una media di 10^h di volo/ciclo, per circa 100.000 cicli distribuiti su una vita utile variabile tra 18÷23 anni. Al contrario, se compisse un ciclo ogni ora, gli si ridurrebbe in proporzione la vita media operativa di circa 10÷13 anni. Si può, in ogni caso, revisionarlo a fondo e mantenerlo in condizioni sicure di volo, ma questo non è più economicamente proponibile, perché il numero degli interventi tecnici si raddoppierebbe con conseguenti fermi macchina più frequenti.

Queste specifiche, capisaldi della progettazione, comportano anche una verifica dimensionale delle aree di manovra, influenzate proprio dalle caratteristiche degli aerei. In particolare, i moderni jet da trasporto civile sono *monoplani* (Fig.1.3) dotati di:

- un piano principale di sostegno (*ala*), diviso in semiali, attrezzate con superfici mobili,
- due o più motori di grandi dimensioni (*plurimotore*),
- una struttura longitudinale (*fusoliera*) abbastanza larga da ricevere persone e cose,
- *impennaggi* verticale ed orizzontale,
- *gambe di forza* retrattili.

³ Un ciclo è rappresentato da un atterraggio ed un decollo.

⁴ Il commuter, a/m di massa <70.000 lb, è in genere destinato a voli su rotte brevi.

⁵ Il Boeing 767 (26/09/1981) ha una massa al decollo di 204,2 ton (versione 400ER).



Figura – 1.3 – Il più grande bireattore mai costruito: il B777-300SR.

Durante il volo, il velivolo deve possedere un assetto stabile e ciò indipendentemente dalle sue dimensioni e dal servizio al quale è destinato; ecco perchè dal Flyer dei fratelli Wright (1903) al gigantesco Airbus 380 (2005), le parti fondamentali dei velivoli sono rimaste essenzialmente le stesse, anche se prodotte con tecnologie e materiali diversi. La fusoliera di un moderno jet di linea ha sezione tubolare (Fig.1.4) ed è realizzata longitudinalmente con pannelli componibili che svolgono la doppia funzione di rinforzo e di allungamento per eventuali successivi modelli.



Figura 1.4 - Struttura interna del Dornier 328-100 (sx) e del Fokker 60
(Assemblaggio da fonti Airliners.net)

Alla fusoliera, d'aspetto fusiforme (da cui il nome), sono collegate tutte le altre parti strutturali e non. Agli inizi dell'aviazione, la fusoliera era a struttura aperta e il fondo serviva da sostegno per il treno d'atterraggio.

L'incremento del carico pagante e delle dimensioni geometriche richiesero maggiore robustezza consentita solo da fusoliere chiuse che, tra l'altro, riducevano la resistenza aerodinamica, davano protezione al pilota e ai passeggeri, fornivano volume da riempire con merci o bagagli in genere.

Le prime strutture a travatura furono sostituite dalla fusoliera monoscocca, quasi cilindrica, detta anche a guscio singolo che, tra l'altro, offre la possibilità di pressurizzare il volume interno e consentire i voli ad alta quota. La forma cilindrica della fusoliera permette la costruzione di velivoli allungati (*stretched*) mediante il semplice inserimento di moduli aggiuntivi (*frames*).

Nel corso degli ultimi anni numerosi sono i velivoli ottenuti dall'allungamento di modelli iniziali; tra gli esempi più evidenti: le serie MD80 e MD90, derivate dal Mc Donnell Douglas DC9, e il sofisticato MD11 basato, invece, sulla serie DC10 (Fig.1.5).



Figura 1.5 – Esempi di velivoli allungati: MD11 (1990) e DC10 (1972), DC9 (1965), MD80 (1979), MD 90 (1993). (Assemblaggio da [1])

La sezione verticale della fusoliera è divisa in piani o ponti che nel caso degli a/m più grandi, come il gigantesco A380, possono essere addirittura tre: quelli superiore e centrale, pressurizzati, ospitano centinaia di passeggeri, quello inferiore è adibito a deposito bagagli e container, sistema-

zione dei carrelli d'atterraggio e, talvolta, anche dei serbatoi del combustibile (Fig.1.6sx). Nella versione cargo, invece, tutti i ponti sono idonei al trasporto di container (Fig.1.6dx).

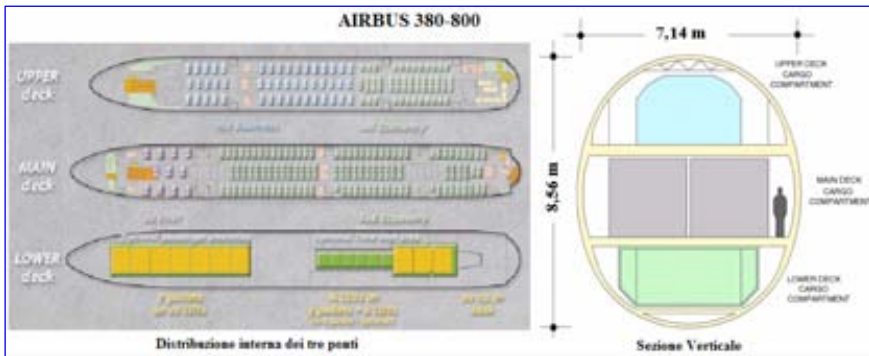


Fig.1.6 – I tre ponti dell'A380. (Assemblaggio da [2])

Le dimensioni in pianta degli a/m, unitamente allo scartamento delle gambe di forza principali, alla lunghezza di decollo, ecc., rappresentano parametri così importanti da essere utilizzati per la progettazione delle superfici di atterraggio e di manovra degli aeroporti; tra l'altro queste grandezze consentono anche la determinazione del codice aeroportuale.

Per avere un'idea delle dimensioni del Super Jumbo (Fig.1.7) basti pensare che un campo di calcio non riesce a contenerlo per intero, mentre la sua altezza è pari a quella di un edificio di sette piani; un hangar dovrebbe avere una cubatura di quasi 300.0000 mc per accoglierlo in assoluta sicurezza!

Nella versione passeggeri può ospitare diverse centinaia di persone inserite in un allestimento interno progettato con gusto e raffinatezza. I singoli componenti sono stati trasportati su terra e su acqua dai luoghi di produzione, sparsi in Europa, ed assemblati a Tolosa. Il suo massimo peso al decollo (*Maximum Take Off Weight*) può raggiungere le 700 tonnellate, superando abbondantemente qualunque precedente Jumbo (B747)! Per tutti questi motivi l'aereo è stato soprannominato *Super Jumbo*.

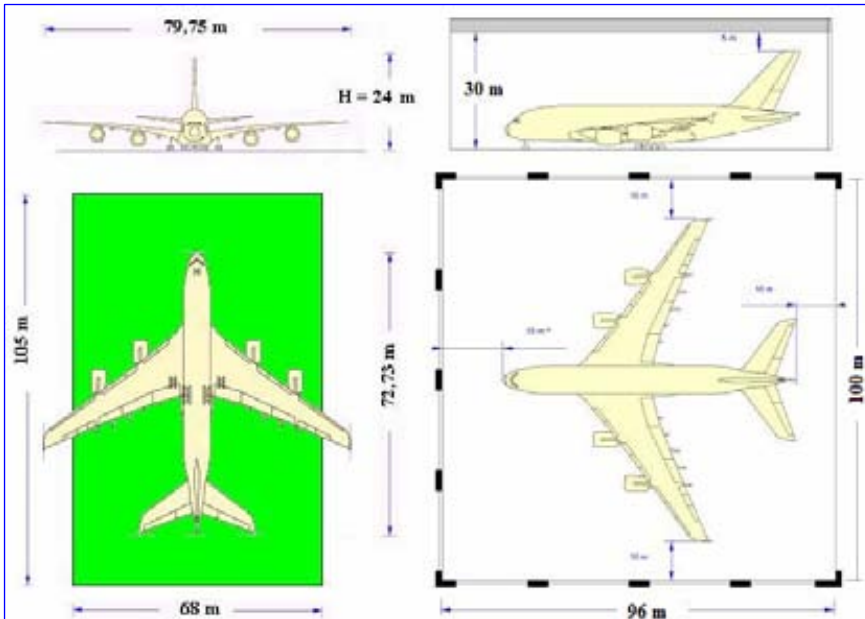


Figura 1.7 – Da sx: le dimensioni di un campo di calcio [3] e di un hangar [2] a confronto con quelle del Super Jumbo.

Tuttavia, mentre le differenze geometriche sono una caratteristica legata soprattutto all'uso per il quale il velivolo è stato progettato ⁶, quelle tecnologiche, come la cabina di pilotaggio e relativa strumentazione (Fig.1.8), o quelle strutturali, caratterizzate da sempre maggiori quantità di materiali compositi (Fig.1.9), non sono legate alle dimensioni, ma all'epoca della costruzione.

Sul piano degli allestimenti interni e della loro funzionalità si osserverà quanto modesta, invece, sia stata l'influenza del tempo.

⁶ Un velivolo a lungo raggio trasporta per molte ore centinaia di passeggeri; ne consegue che le dimensioni della fusoliera e, quindi, dell'intero velivolo, devono essere adeguate a questa particolare esigenza.