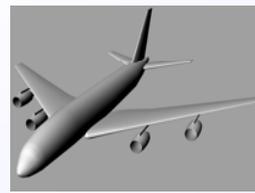
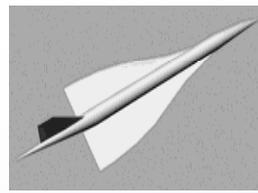
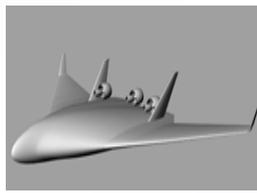
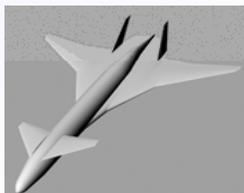
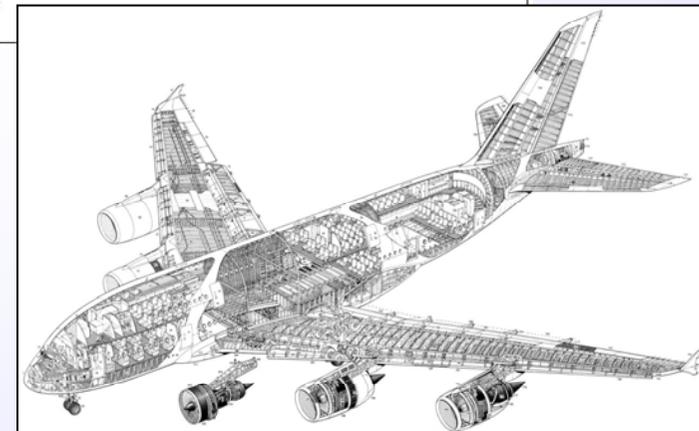
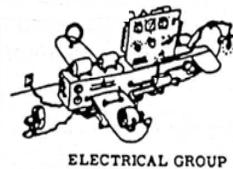
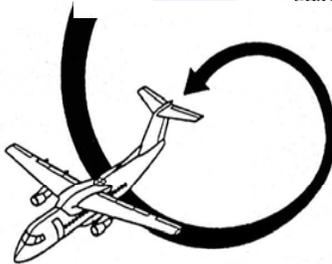
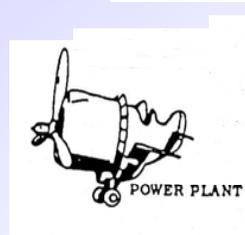
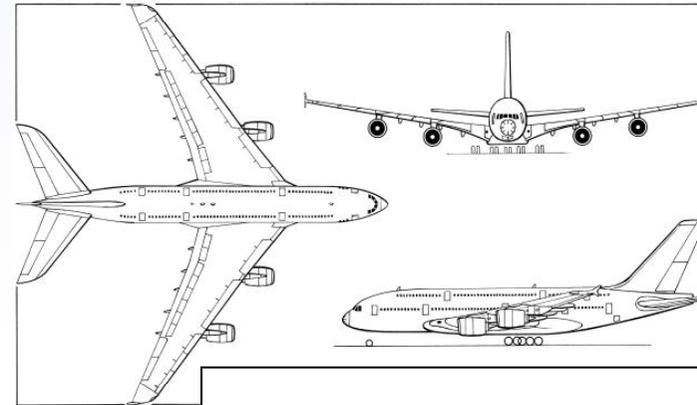
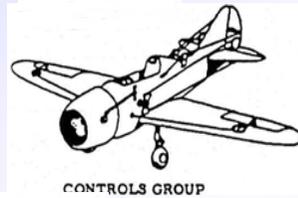
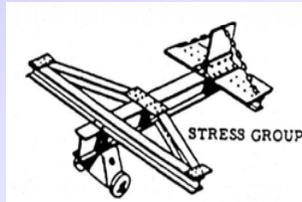


# Corso di PROGETTO GENERALE DEI VELIVOLI

## 2. DALL'ANALISI DI MERCATO ALL'ANALISI DELLA SPECIFICA DI PROGETTO (REQUIREMENTS)

F. Nicolosi



Source [www.janes.com](http://www.janes.com)

# COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO

## Come inizia lo sviluppo di un nuovo velivolo ?

**Nell'aviazione commerciale**, tutto inizia da una appropriata **analisi di mercato (market analysis)**, che va a fare indagini sui bisogni dei clienti ed indicare nuove opportunità.

Tranne casi marginali, un nuovo velivolo viene sviluppato con l'intento di fare profitto!

Qualche tipica opportunità è rappresentata da:

- Incrementare il numero di passeggeri
- Nuove rotte disponibili

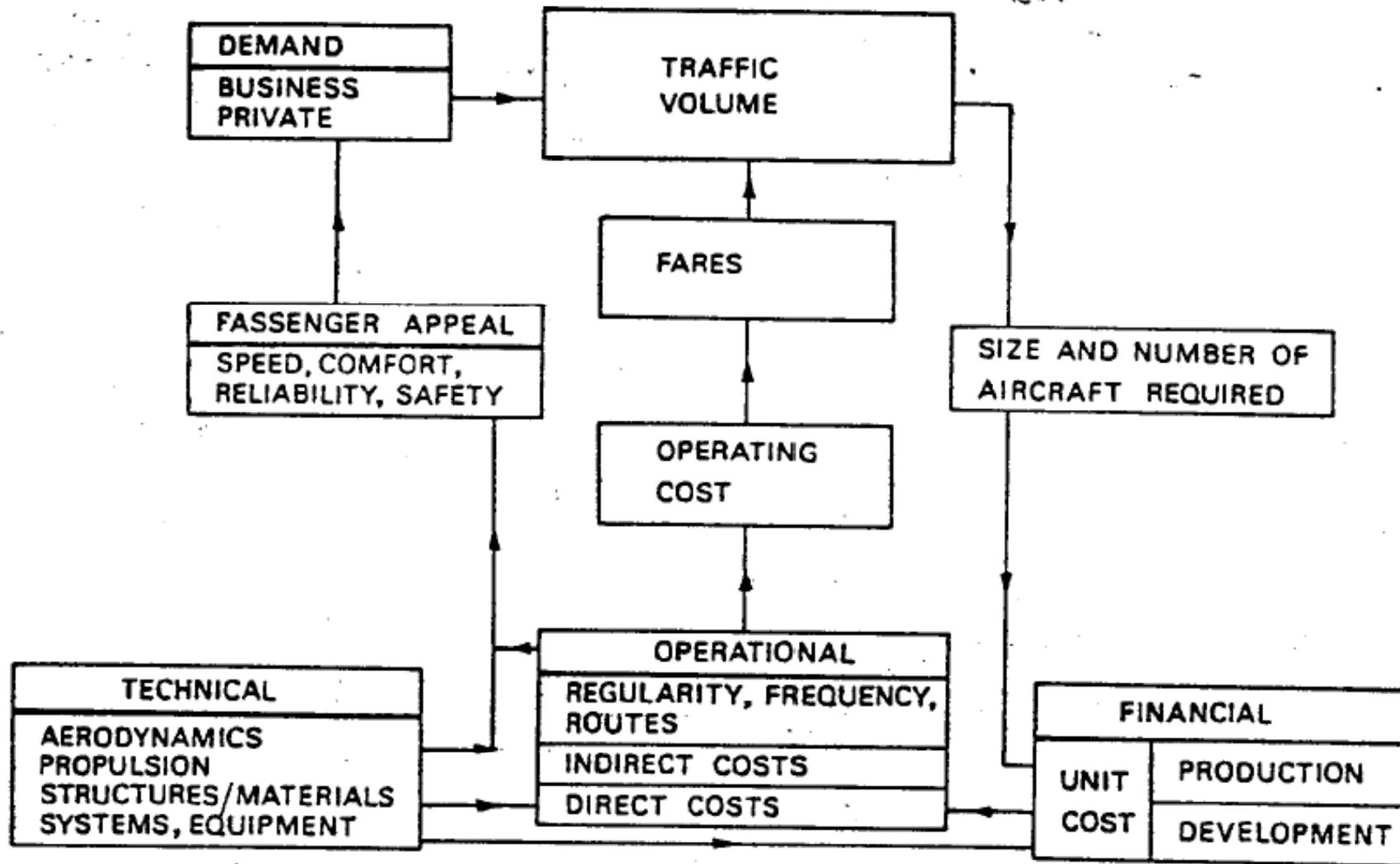


# COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO

## ELEMENTS OF MARKET RESEARCH (TRANSPORTS)

- PREDICTED VOLUME GROWTH OF PASSENGERS AND CARGO
- DISTRIBUTION OF TRAFFIC OVER ROUTES, SEASONS, AND COMFORT LEVELS
- AIRFIELD CHARACTERISTICS
- POSITION OF TYPES TO BE REPLACED AND COMPETITION
- SPECIAL GOVERNMENTAL SCENARIOS (DEREGULATION)
- TECHNICAL REQUIREMENTS
- TIME OF ENTRY INTO SERVICE

# COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO



Fattori che contribuiscono alla crescita del traffico aereo.  
SCHEMA DI MORGAN

# COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO

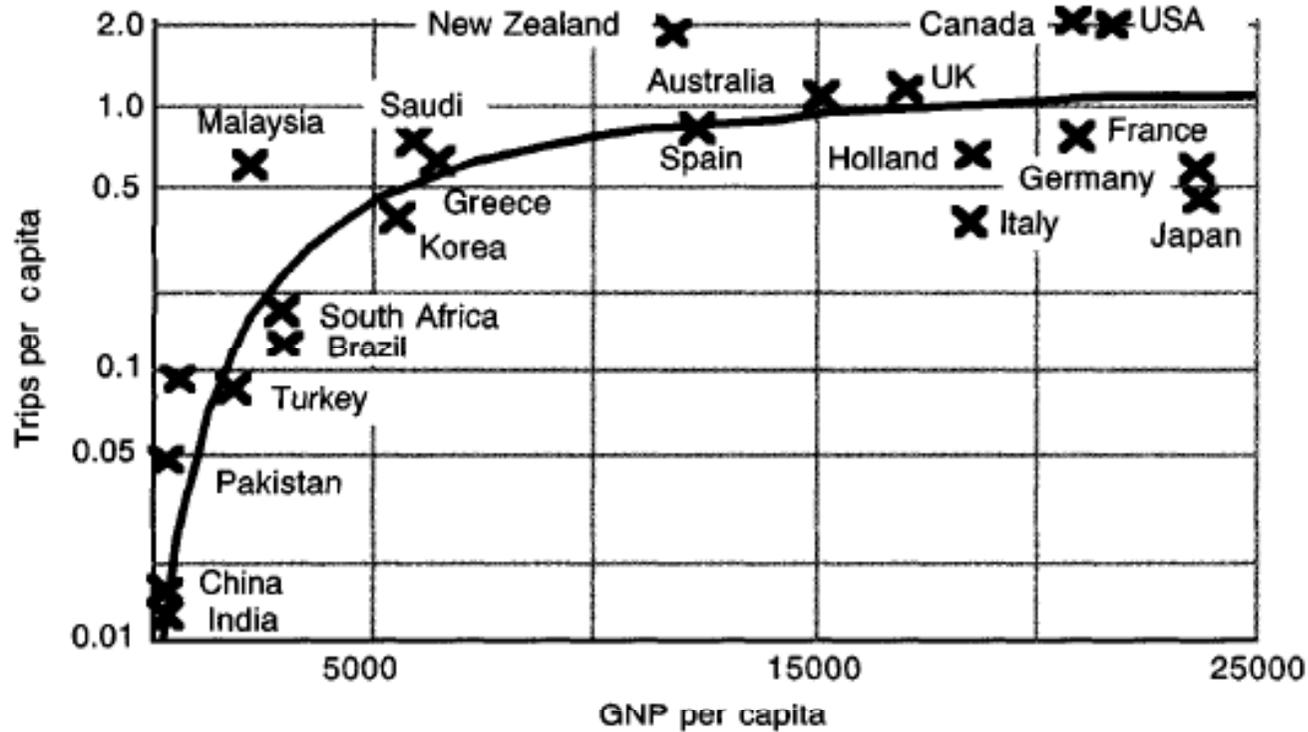


Fig. 1.2 Demand for air travel (source IMF).

- La crescita economica stimola il traffico aereo
- Nei paesi sviluppati c'è una crescita di circa il 3-4% all'anno

## COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO

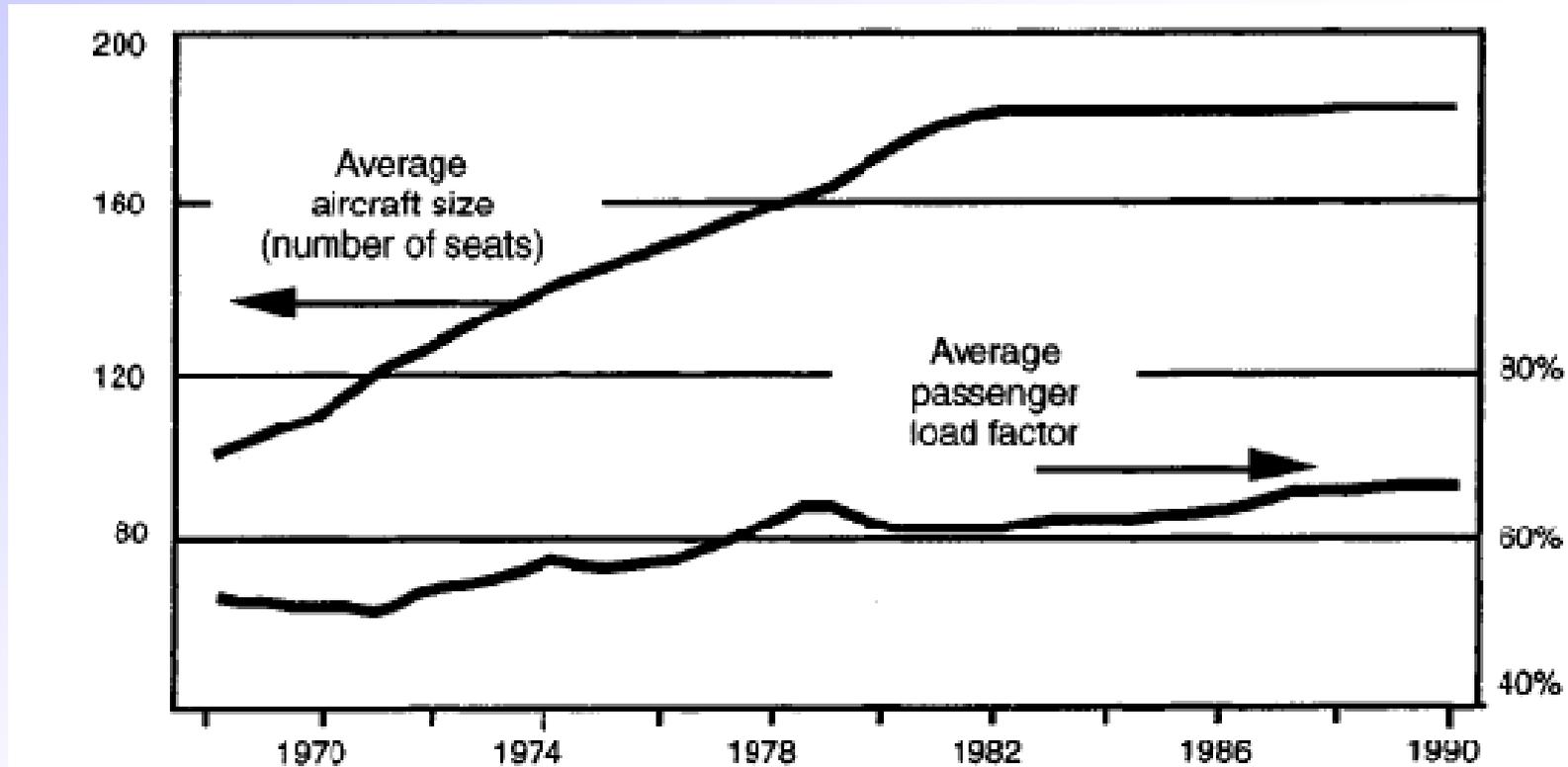
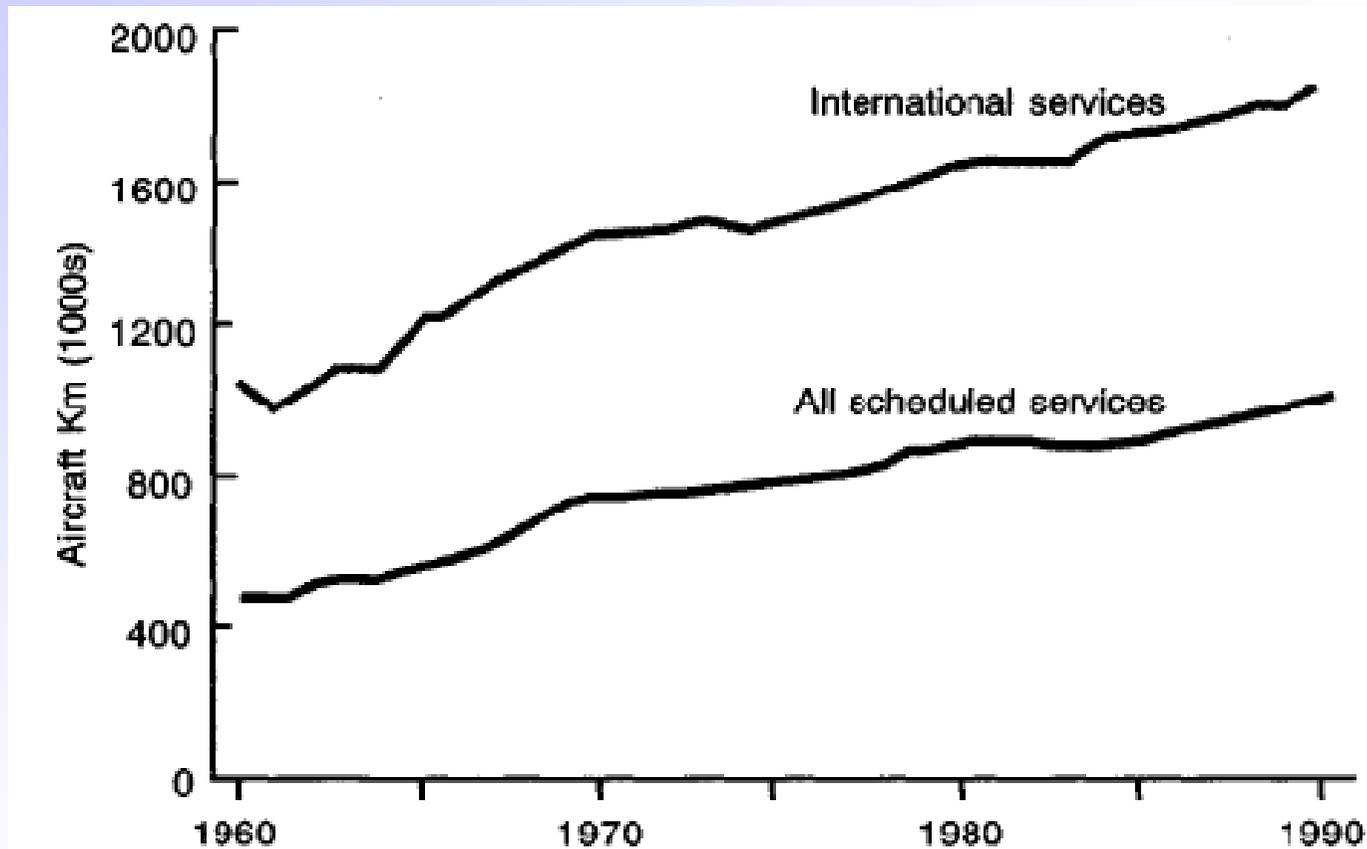


Fig. 1.3 Trend in aircraft size and passenger load factor (source ICAO).

- Passenger LOAD FACTOR (quanto si "riempiono" i veivoli).
- La dimensione ed il LF sono ora assestati (quasi costanti)

## COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO



Historical trend in average aircraft stage length (source ICAO).

- Stage Length (tratta media= $\text{numAC} \cdot \text{Km} / \text{numPartenze}$ )
- Crescita del 1-2% annuo

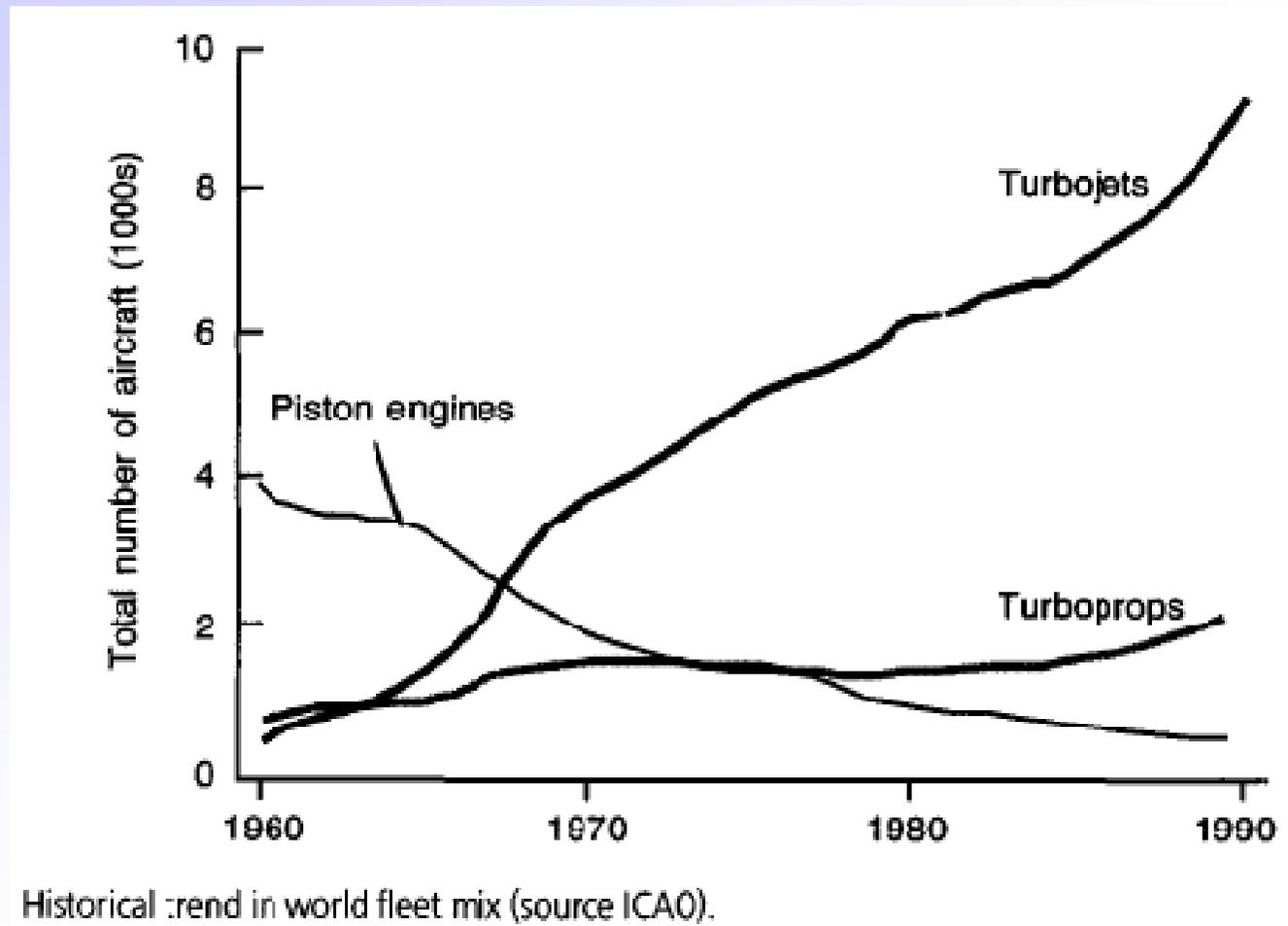
## COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO

**Table 1.1** Historical traffic data (source ICAO)

	1970	1980	1990	2000	Average annual growth rate (%)		
					70-80	80-90	90-00
Passenger-km (billions)	382	929	1654	2830	9.3	5.9	5.0
Passenger load factor (%)	52	61	66	68	1.6	0.8	0.3
Passenger aircraft size (seats)	109	171	183	220	4.6	0.7	1.7
Aircraft stage length (km)	738	875	983	1100	1.7	1.2	1.0
Aircraft-km (millions)	7004	9350	14 307	19 800	2.9	4.3	3.0
Aircraft departures (thousands)	9486	10 691	14 553	18 000	1.2	3.1	2.0

The table above includes all-freight movements but excludes operations of aircraft registered in the Russian Federation.

## COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO

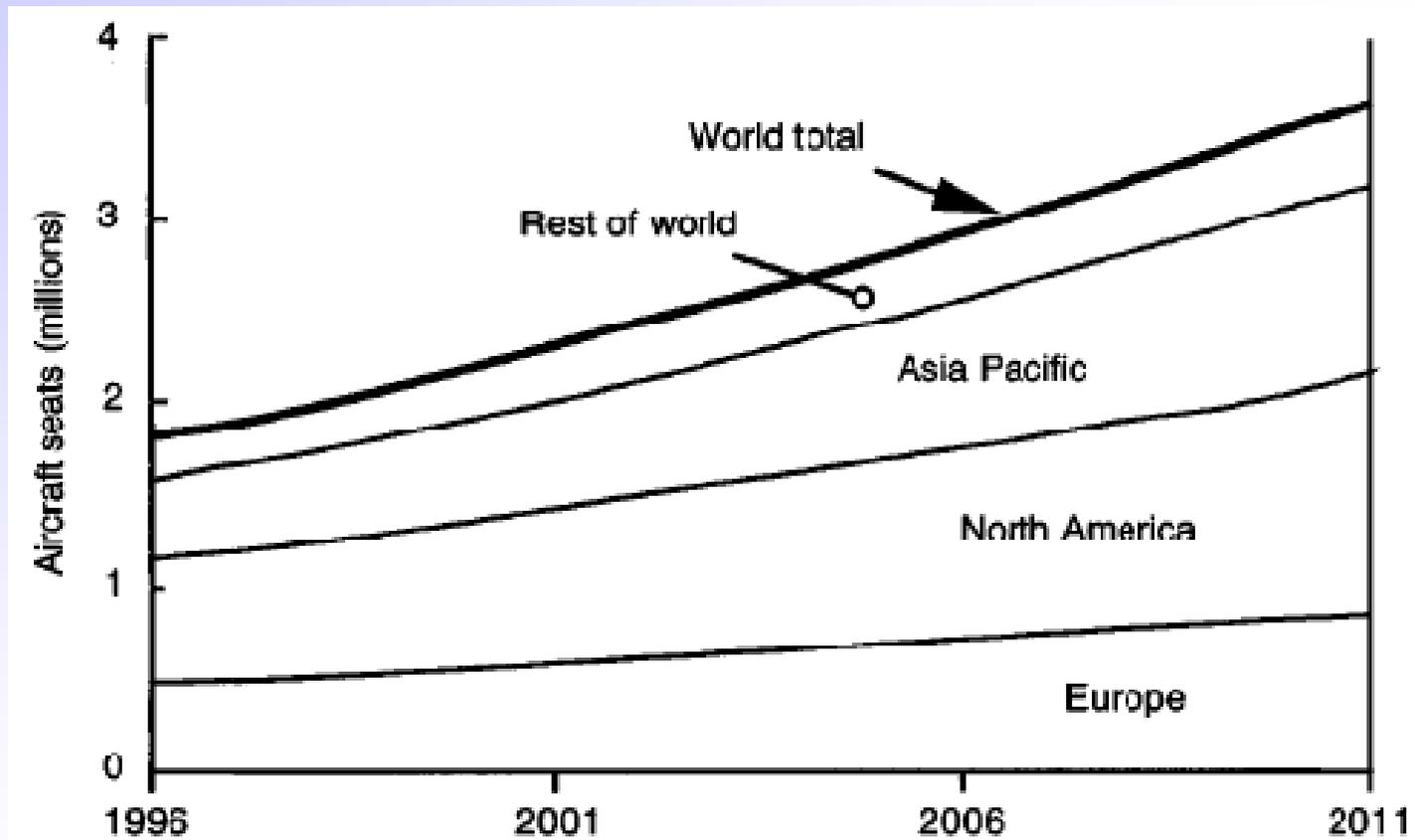


## COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO

**Table 1.2** World fleet mix forecast (source UK Department of Trade)

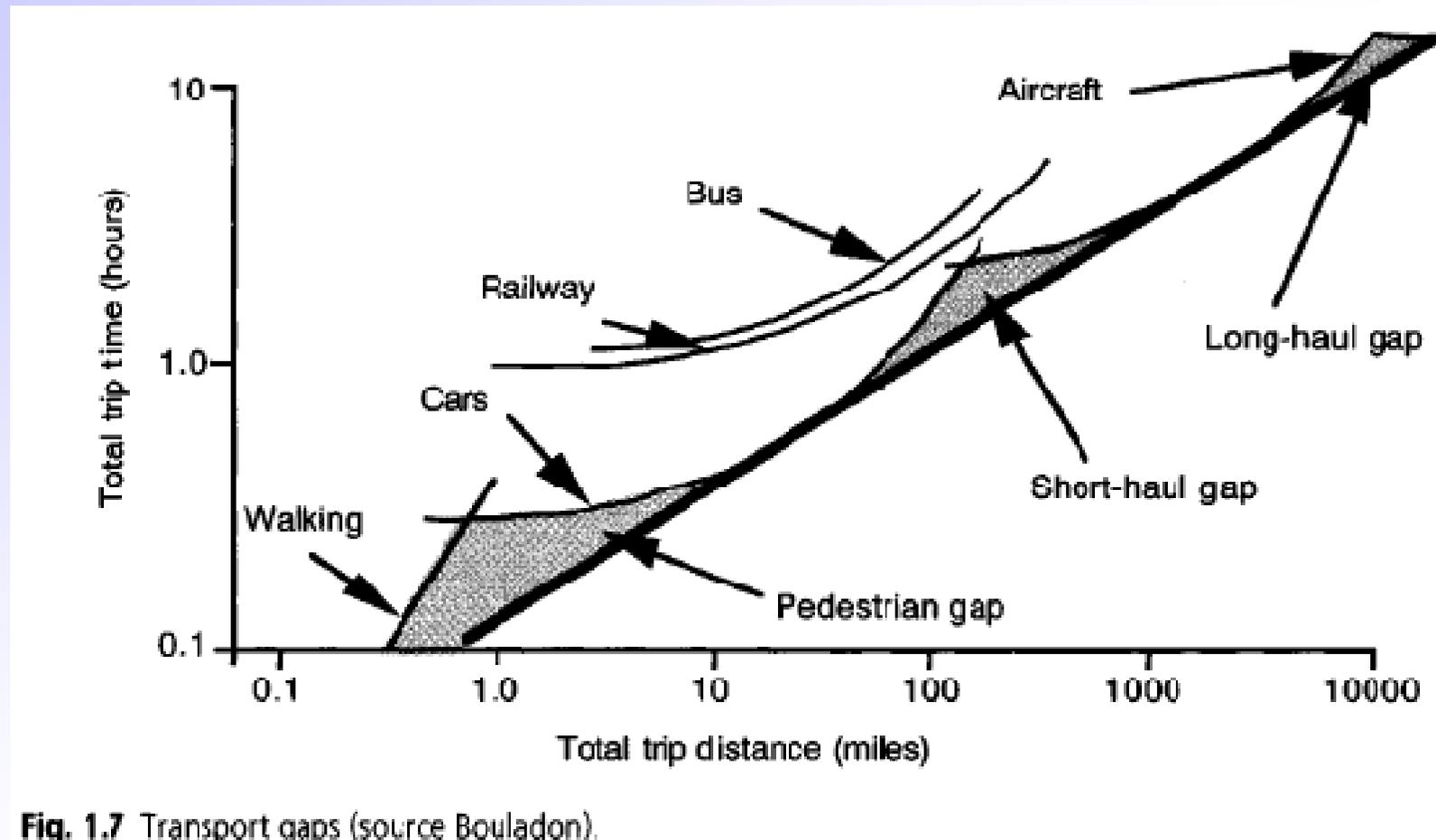
Category	Current fleet	Forecast deliveries	Deliveries value (\$B)	% of total
Turbofan airliners	9680	12 100	725	75
Turboprop airliners	5000	3900	50	5
Business jets	8000	7200	75	8
Business turboprops	9500	6000	30	3
Turbine helicopters	12 000	9000	80	8
Light aircraft	300 000	20 000	3	<1
<b>Civil aircraft (total)</b>	<b>344 180</b>	<b>58 200</b>	<b>963</b>	<b>100%</b>

## COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO



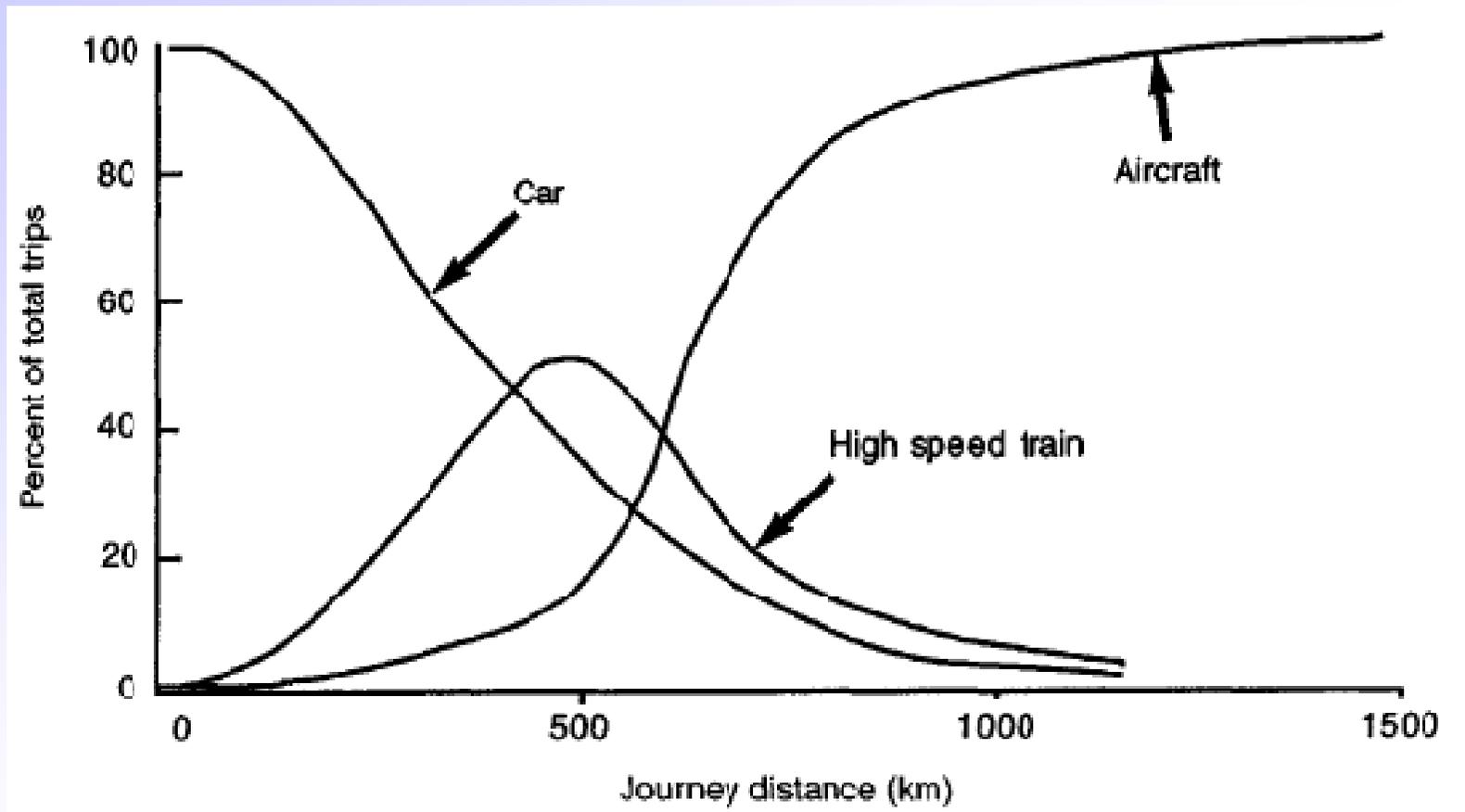
Average annual growth rates (source Airbus).

# COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO



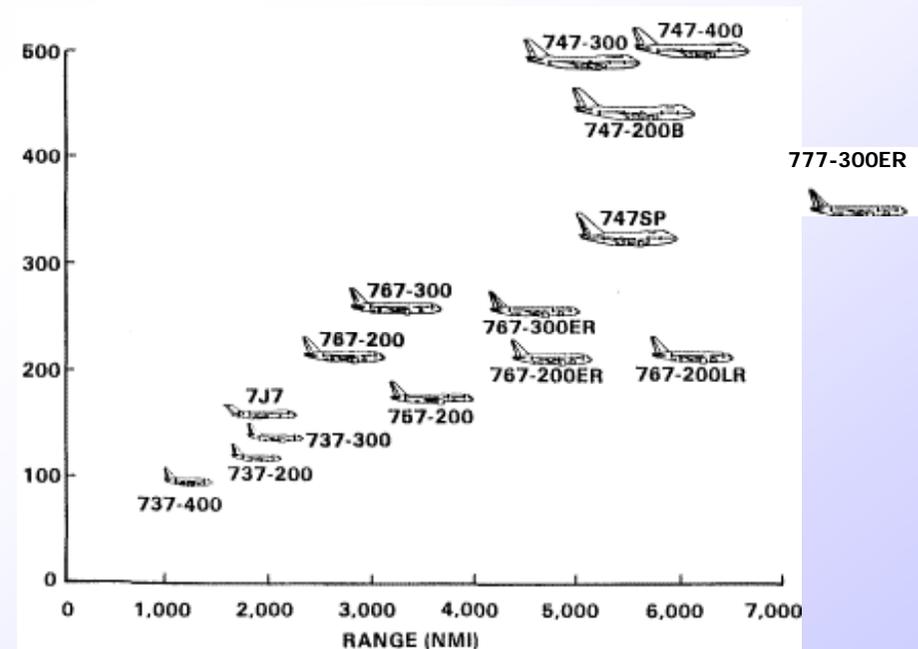
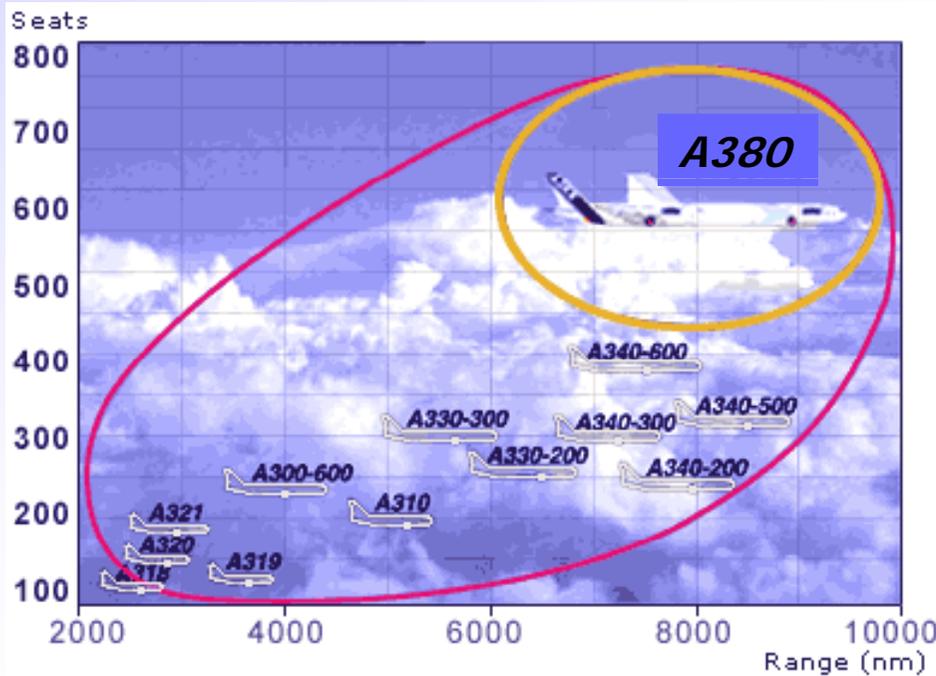
**Fig. 1.7** Transport gaps (source Bouladon).

## COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO

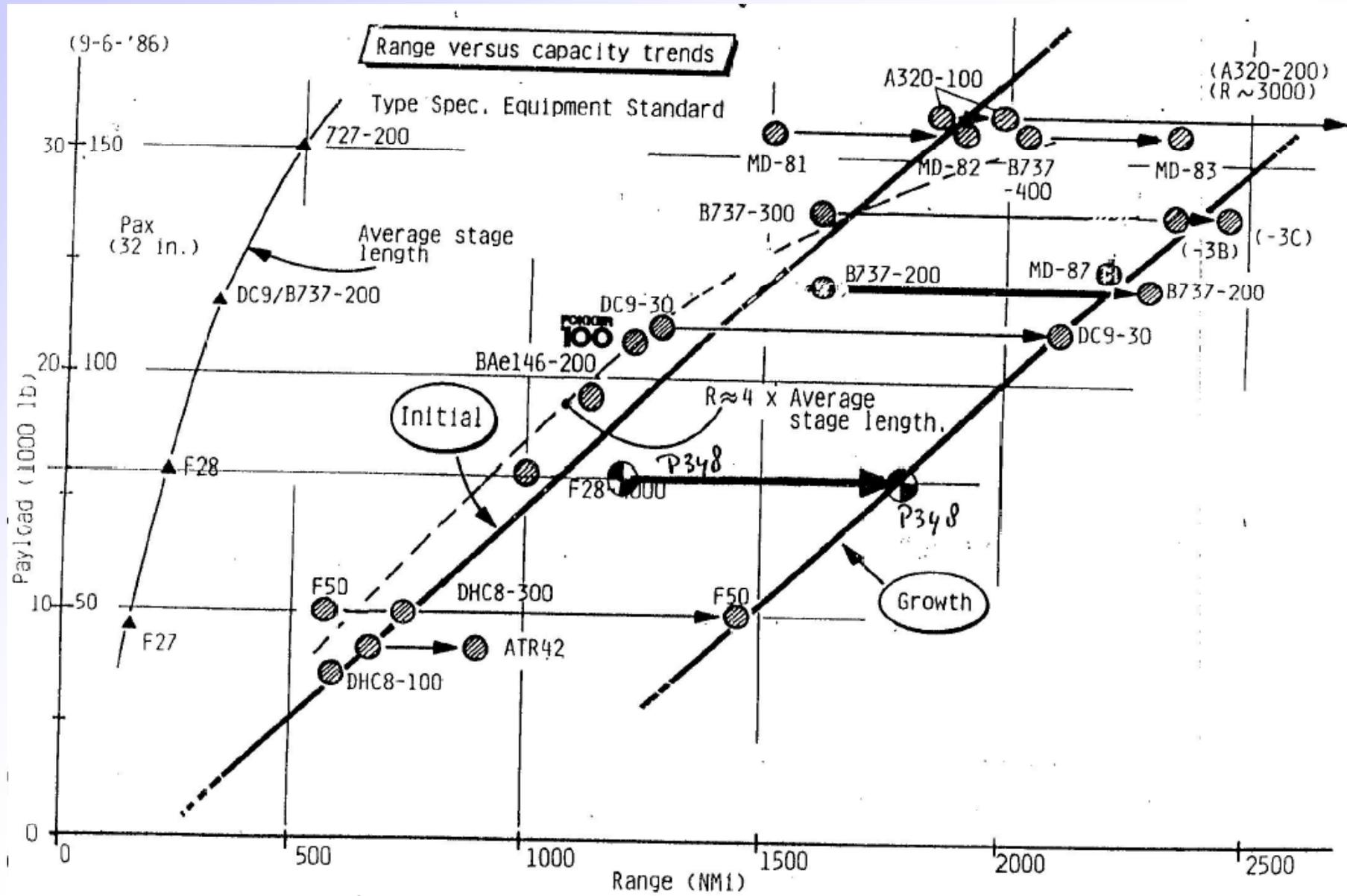


# COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO

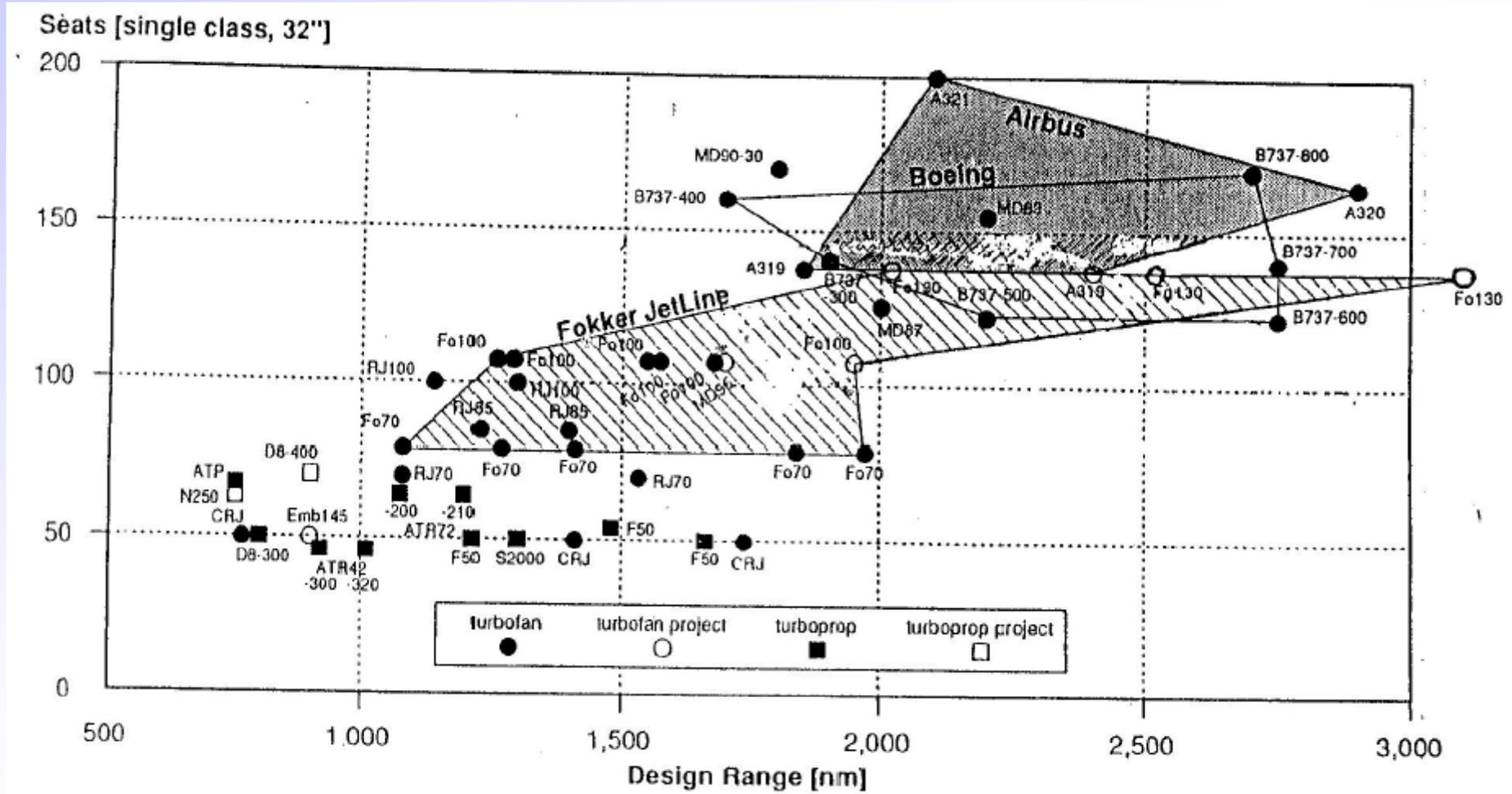
Altre tipiche ragioni per iniziare lo sviluppo di un nuovo programma sono quelle dovute all'invecchiamento dei membri della flotta (fleet members) o l'opportunità di sviluppare una versione allungata o accorciata (**stretched/shortened version**) di una configurazione esistente (concetto di famiglia di velivoli).



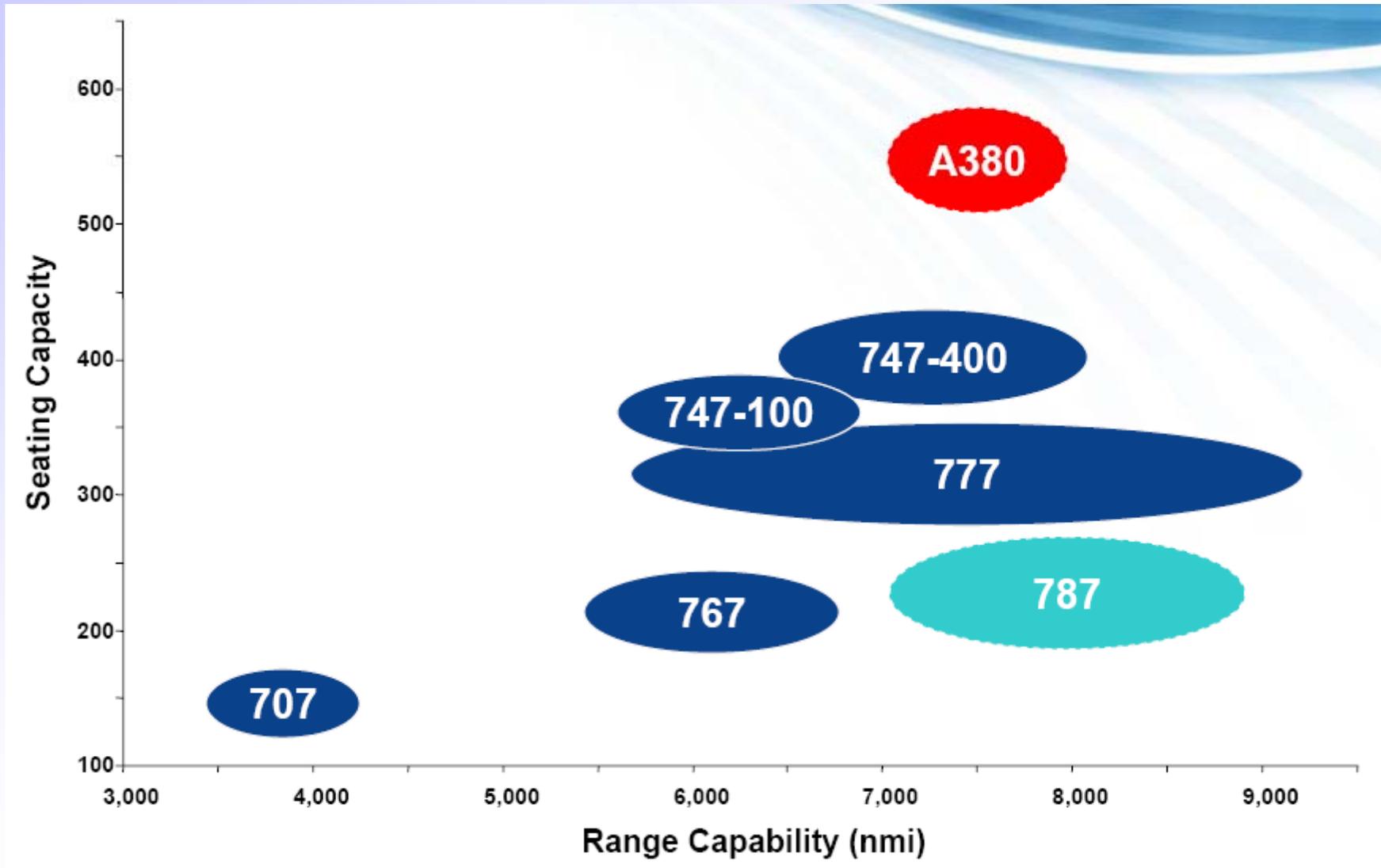
# COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO



# COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO



# COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO



Recenti prospettive del mercato trasporto civile

# COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO

Regional Turboprop



Regional Jet



## Regional infancy

## Turboprop Era

## Jet-mania

## Complementarity

1970-1980

- Small size
- High Frequencies
- Adequate Comfort

1980-1995

- Versatility
- Economics
- Maintainability
  
- ATR as a main contributor to regional transport boom

1995-2003

- Speed
- Longer routes
- Enhanced comfort
- Wealthy economy
- Low fuel price

And now on ...

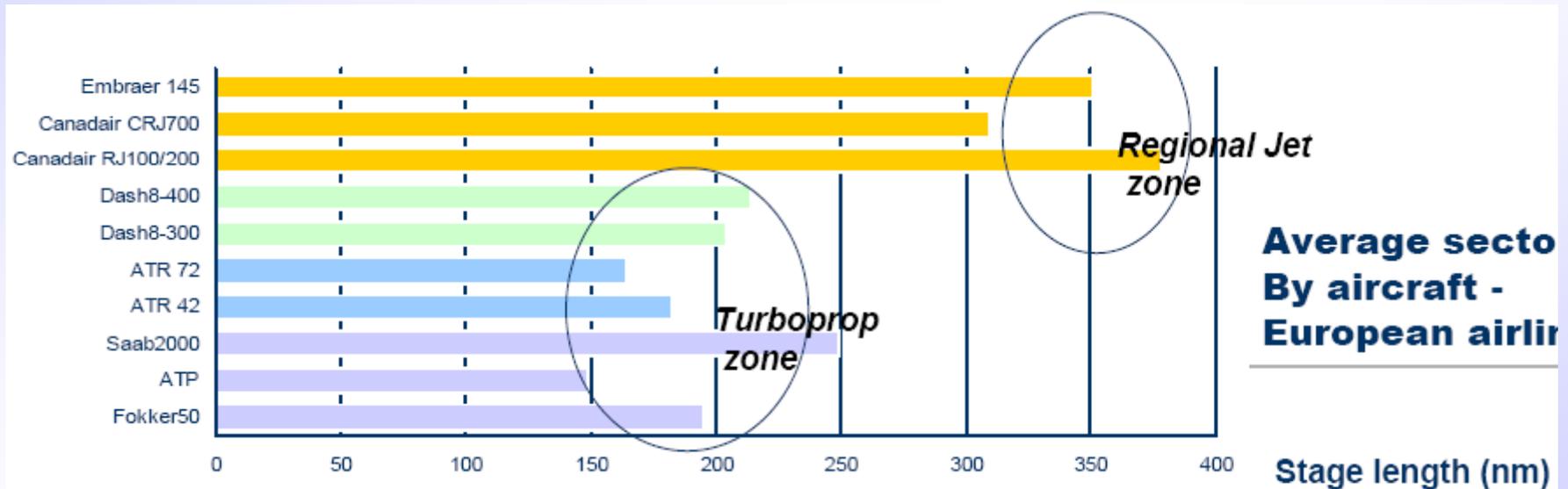
- Returning to the fundamentals
- More and more pressure on costs
- High fuel price, low yields
- Emerging countries
- Environmental pressure

Trasporto regionale

# COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO

Regional Turboprop vs Regional Jet

In effetti possono convivere. Il range è diverso.

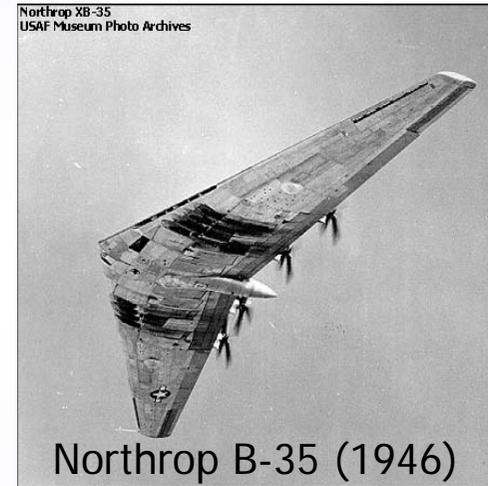


# COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO

Nuovi concetti, idee, tecnologie diventano disponibili (ad es. il caso dell'ala volante (flying wing concept) sviluppata da Northrop )

Mantenere l'azienda impegnata (level workload peaks, prepararsi ad altri progetti futuri). Affrontare e gestire i trend ciclici del mercato.

Nel caso dei subcontractors, la ragione per associarsi allo sviluppo di un nuovo programma può essere rappresentata dalla prospettiva di fare profitto, oppure mettere le basi per contratti di maggiore entità e profitto con l'azienda principale.



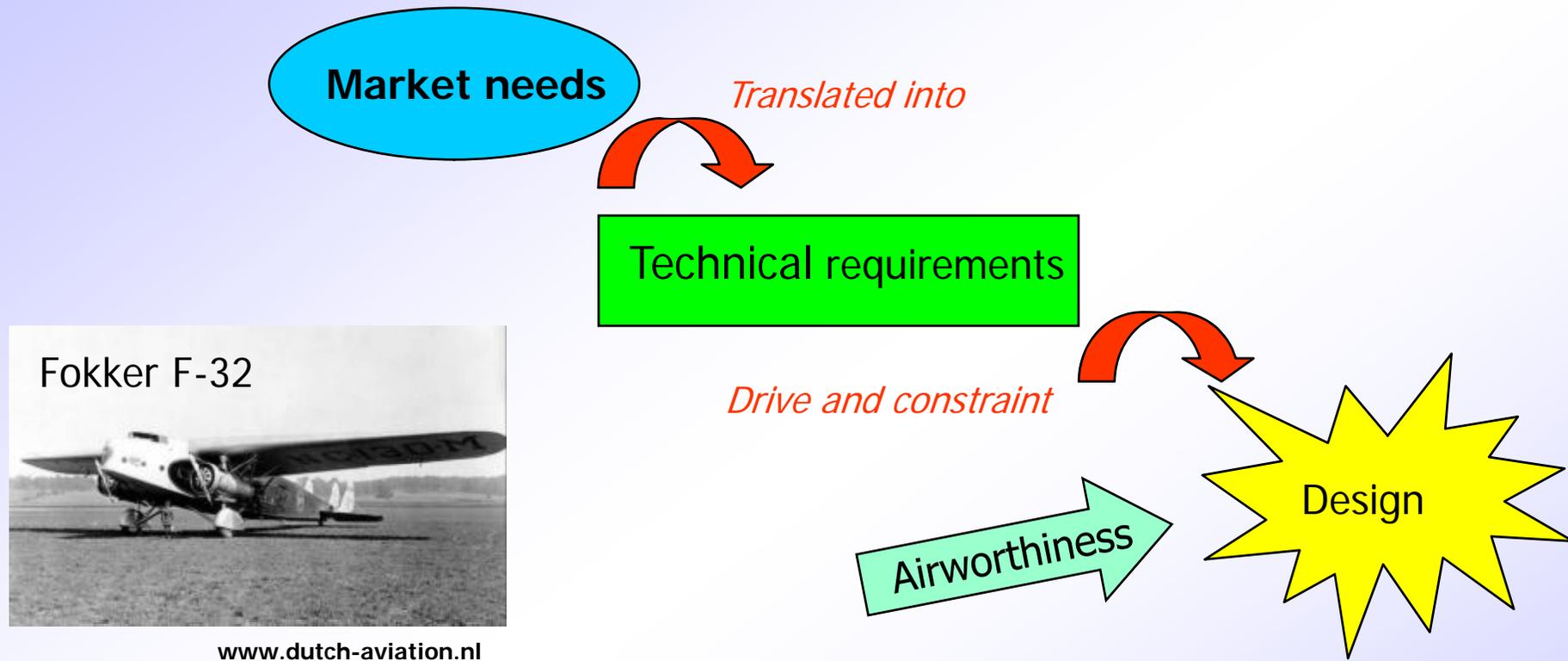
## COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO

Nel mondo militare il dipartimento della difesa emana una *request for proposal* (RFP). Varie aziende iniziano a lavorare su un convincente progetto (design) per aggiudicarsi il contratto.



Lockheed and Boeing JSF demonstrators (artist impression)

# COME E PERCHE' COMINCIA IL PROGETTO DI UN VELIVOLO



Bisogna essere sul mercato **al momento giusto** (non troppo presto e non troppo tardi), con un velivolo che sia "*migliore*" rispetto ai competitors (se ce ne sono) è l'apparentemente facile soluzione per sviluppare un programma che abbia successo commerciale.

# Tipici fattori di successo per lo sviluppo di un velivolo

## Marketing & management aspects:

- Il tempo giusto per entrare nel mercato ed implementare le giuste tecnologie (sia il mercato che le tecnologie implementate devono trovarsi al giusto livello di maturità).
- Capacità di raggiungere la più ampia fascia di mercato (customization vs. standardization). Progettare un velivolo per i bisogni di un singolo cliente NON E' LA STRADA !
- Chiara comprensione dei rischi associati (TUTTO PUO' ESSERE RISOLTO... SE IL TEMPO ED IL DENARO SONO INFINITI)



# Tipici fattori di successo per lo sviluppo di un velivolo

## Aspetti tecnici:

- Velocità
- Comfort (capacità di stivare payload per i militari)
- Range (anche importante per i velivoli militari)
- Costo operativo, Operating Cost (Costi diretti: equipaggio, combustibile, manutenz., etc. Costi indiretti: terminal space, equipaggiamenti di carico, etc.)
- Aspetti di Sustainability (rumore, emissioni di gas)
- Accessibilità operativa aeroportuale (distanze di decollo ed atterraggio, carico sulle ruote, area di parcheggio, raggio di sterzata)
- Endurance
- Quota
- .....
- SICUREZZA – SAFETY (survivability per i militari)



**La sicurezza è l'unico requisito non negoziabile !**

## Funzione → Specifica → Progetto

Diversi bisogni di mercato richiedono prodotti con diverse funzionalità.

Un prodotto è progettato bene quando è capace di soddisfare pienamente le funzionalità richieste, rispettando alcuni requisiti di specifica.

Diverse funzioni e set di requisiti generalmente portano verso differenti progetti.

Può succedere anche che diversi progetti possano soddisfare la stessa funzionalità con gli stessi requisiti.



**Il punto di partenza** per ogni velivolo è la chiara identificazione della sua **funzione**, che non è semplicemente “andare da A a B” !

⇒ COSA DEVE FARE (Missione)

⇒ COME ? (Distanza, velocità, carico da trasportare..)

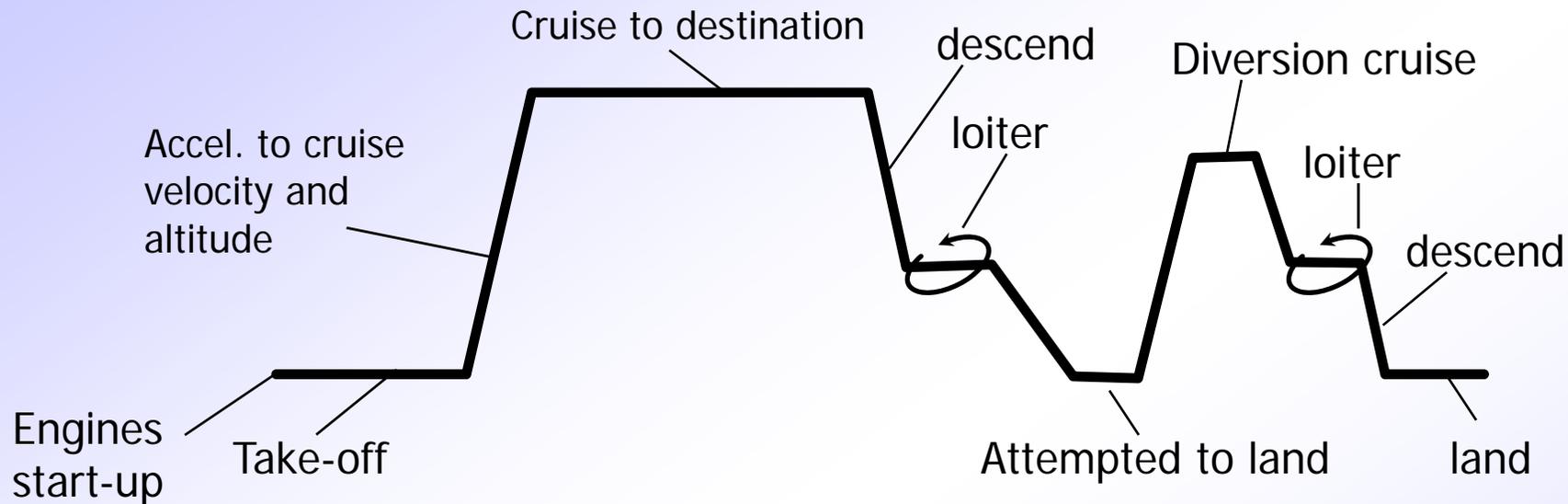
⇒ DA DOVE DEVE DECOLLARE ed ATTERRARE ?

⇒ QUALE NORMATIVA DI CERTIFICAZIONE DEVE SODDISFARE ?

**I requisiti di specifica rappresentano la cornice all'interno della quale il progetto (design) può essere sviluppato.**

***Se la cornice è troppo piccola*** non c'è sufficiente spazio (o non ce n'è) per generare un design fattibile e funzionante!

# PROFILO DI MISSIONE ed ANALISI DEI REQUISITI



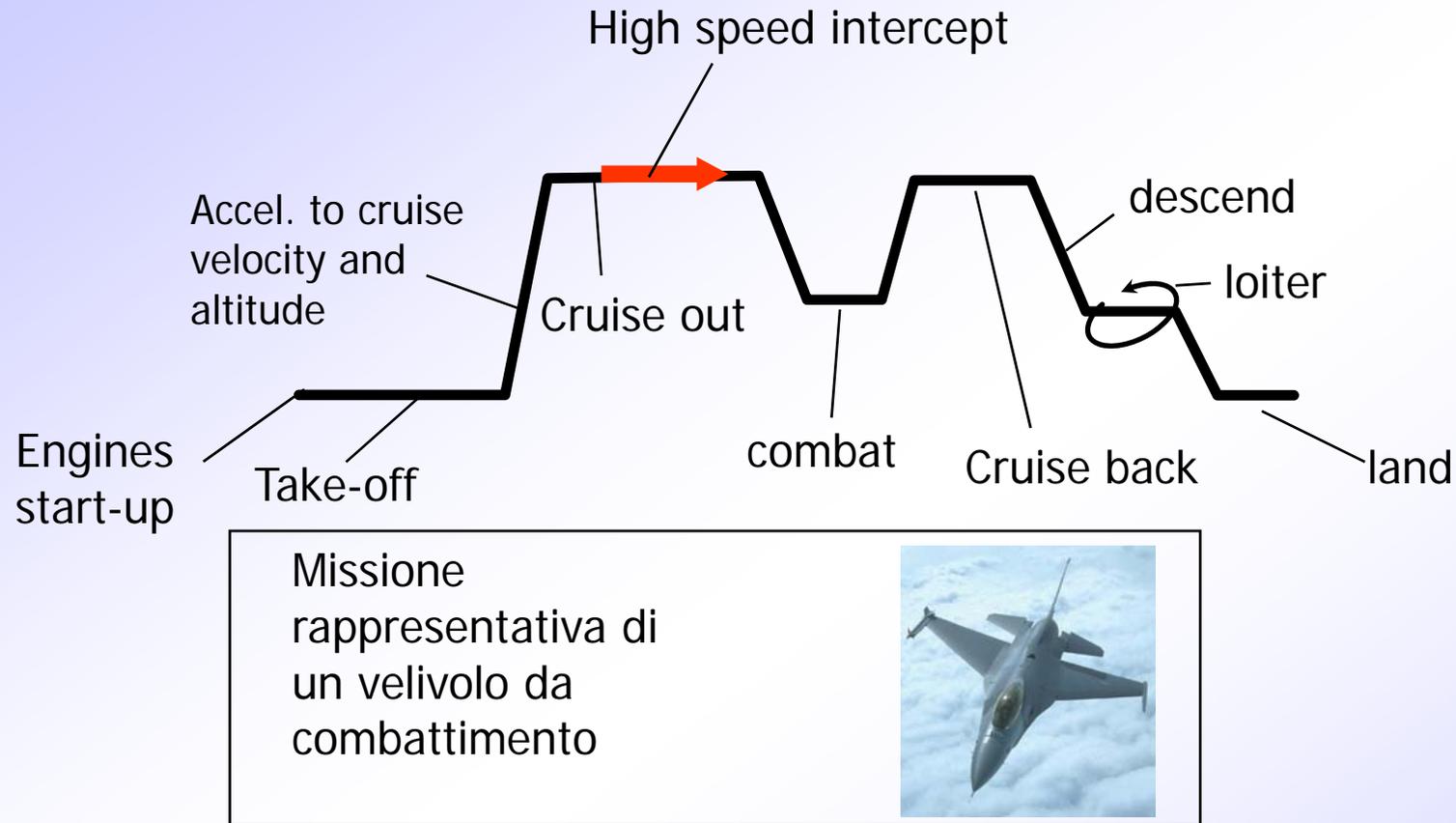
Missione rappresentativa (con segmenti) di un velivolo commerciale



**La definizione di una tipica missione di volo è il primo passo per una stima dei pesi del velivolo. Per ogni segmento va stimata la frazione di combustibile.**

**Il tempo di attesa è tipicamente di 30 min. a 10000 ft. Le normative richiedono 30 min. (in VFR) di crociera extra (diversion) per raggiungere un aeroporto alternativo in caso di problemi (45 min. durante la notte o in IFR).**

# PROFILO DI MISSIONE ed ANALISI DEI REQUISITI



**Volo a bassi livelli di quota può abbassare di molto l'efficienza del motore e l'efficienza aerodinamica del velivolo.**

**Una crociera di intercettazione supersonica può essere richiesta.**

**La quantità di combustibile bruciato in tale fase, anche se la distanza è piccola, può essere più alta o anche maggiore di tutta la crociera di ritorno. Durante il combattimento armi possono essere rilasciate e quindi il carico varia, ma in via conservativa non viene considerato. Ci può essere un rifornimento in volo ("in flight refueling").**

# ANALISI DEI REQUISITI (REQUIREMENTS)

**PAYLOAD:** è tipicamente la ragione principale per far volare un aeroplano!

Passeggeri, bagagli, cargo, strumentazioni, oggetti e beni spendibili (acqua, fertilizzanti, bombe, munizioni, aiuti umanitari...).. o anche parti di altri velivoli !

Solo per piccoli velivoli e per i piccoli velivoli aviazione generale il pilota è considerato parte del payload. Per i business, commuter e commerciali il pilota e l'equipaggio fanno parte del peso operativo.



An 225



Airbus beluga



Airbus A380

**Nota: i velivoli nelle figure sono chiaramente progettati con l'intento di massimizzare il carico pagante !**

## ANALISI DEI REQUISITI (REQUIREMENTS)

**CRUISE AND MAX SPEED:** la **velocità** è l'attributo che fa l'aviazione di oggi. La velocità non è solo quella di **crociera** (taxing, takeoff, climb, descent, approach and landing).

La **velocità commerciale (block speed)** è un parametro di interesse primario.

- **Propeller driven** aircraft: 150 – 300 knots (220 – 550 Km/h)
- **Jetliner** (and military in subsonic flight conditions): Mach 0.85 – 0.9 (about 1000 Km/h) ... **quasi-ottimale massimizzazione di payload + range + speed.**

Concorde 2.02 (range 3700 miles vs 8000 miles of 777, A340)



Lockheed SR-71 (Mach 3.2)



X-43 (Mach 6.3 unmanned )



Concorde (M 2.02)

## ANALISI DEI REQUISITI (REQUIREMENTS)

**RANGE (Autonomia di distanza) :** la massima distanza (**longest distance**) che può essere percorsa in volo senza rifornimento aggiuntivo.

Guardando alla missione di volo, il Range è la distanza percorsa durante la fase di crociera. Tipicamente si può considerare la distanza percorsa in fase di volo su aeroporto alternativo (diversi valori) con un valore di circa 200 nm.

<i>Aircraft type</i>	<i>Range (nm)</i>
Personal/utility	500 - 1000
Regional Turboprop	800 - 1200
Business Jet	1500 -1800
Small jet transport	2500 - 3500
Large jet transport	6500 - 8000

N.B. Il massimo Range ha un effetto esponenziale sul peso massimo al decollo del velivolo.

777-200LR 9100nm (16850 km)

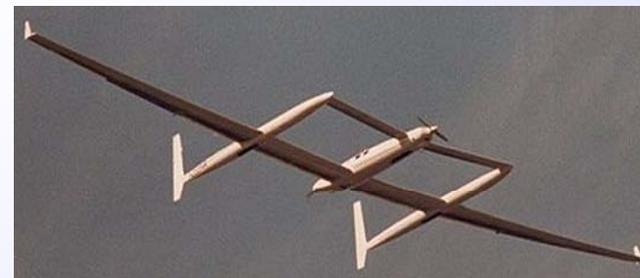
A380 8000nm (14816Km)

787, 217 pax, 8500 nm

Data from Jane's



Airbus A340/500 300pax 8650 nm (16000 Km)



Voyager 19923 nm (36898 km)

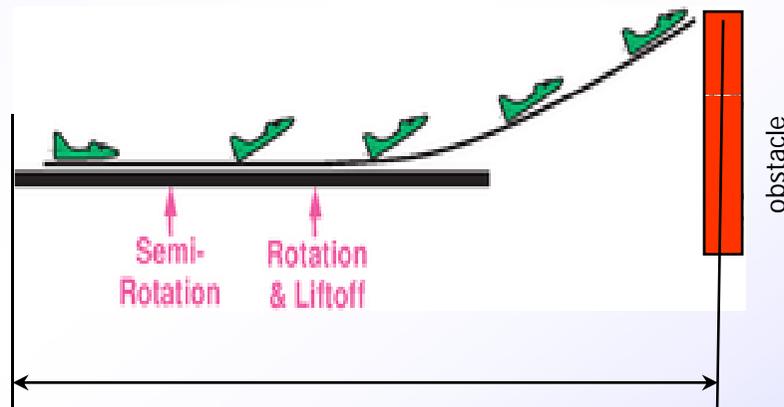
## ANALISI DEI REQUISITI (REQUIREMENTS)

**TAKE-OFF DISTANCE:** la lunghezza di pista necessaria ad accelerare, staccare (lift-off) e salire fino al superamento dell'ostacolo prescritto dalla normativa (military 50 ft; commercial 35 ft).

$$S_G = \frac{W}{2g} \cdot 1.21 \cdot (W/S) \cdot \left(\frac{2}{\rho}\right) \cdot \frac{1}{CL_{MAX\_TO}} \cdot \frac{1}{[T - D - \mu(W - L)]_{0.7V_{LO}}}$$

Dipende (cresce) con:

- riducendo T/W (Thrust-to-weight ratio)
- facendo crescere il carico alare al decollo (W/S):
- quota dell'aeroporto (thinner air)
- attrito della pista (rolling friction)



Category	Take off distance
General aviation propeller aircraft	1200 (365 m) – 2000 ft
Large twin engine propeller commuter aircraft	3000 – 5000 ft
Business and small commercial jets	5000 - 7500 ft
Large commercial transport jet aircraft	8000 – 11000 ft (3,3 km)

# ANALISI DEI REQUISITI (REQUIREMENTS)

## TAKE-OFF DISTANCE

Category	Take off distance
CTOL (conventional take off and landing)	> 1000 ft (340 m)
STOL (short “ “ “ )	<1000 ft
VTOL (vertical “ “ )	No ground roll distance



Douglas YC-15 (750 ft)



AN-72 (1800ft)

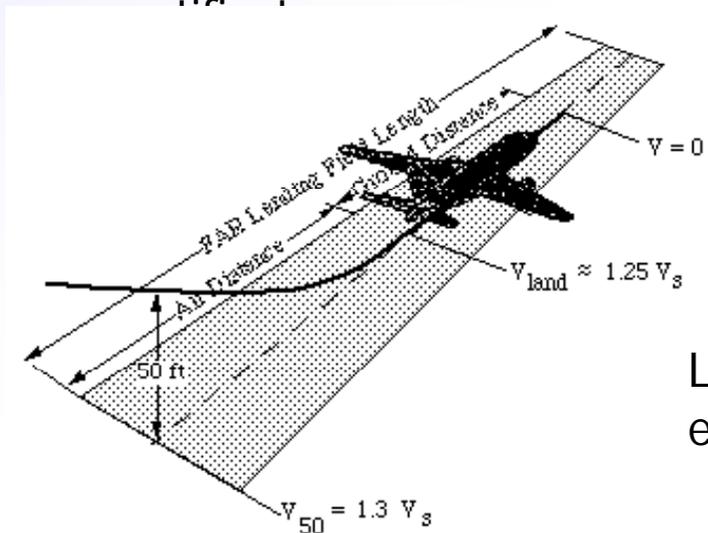
## ANALISI DEI REQUISITI (REQUIREMENTS)

**LANDING DISTANCE:** lunghezza di pista necessaria a scendere da una distanza dal suolo prescritta ( 50 ft ) , touchdown e arresto.

L'approccio viene fatto ad una velocità tipicamente pari a 1.3 volte la velocità di stallo in configurazione di atterraggio.

La distanza dipende da:

- Il carico alare ( $W/S$ ). Più è alto il carico alare maggiore sarà la velocità di stallo, maggiore la velocità di approccio ( $1.3 V_s$ ) e maggiore sarà la corsa.
- L'attrito tra le ruote e la pista.
- Eventuali sistemi di INVERSIONE di SPINTA (anche se per la distanza > considerati)



$$L = W = C_L \frac{1}{2} \rho V^2 S \Rightarrow V_s = \sqrt{\frac{W}{S} \cdot \frac{2}{\rho} \cdot \frac{1}{C_{L_{\max}}}}$$

L'energia cinetica da smaltire cresce con la massa e con il quadrato della velocità.

# ANALISI DEI REQUISITI (REQUIREMENTS)

## LANDING DISTANCE

Per la maggior parte dei velivoli commerciali la distanza di atterraggio è determinata con metà del peso di carburante al decollo nei serbatoi. Altro fattore determinante è che la distanza può variare fino al 50% per effetto della tecnica di pilotaggio.

L'effetto dei sistemi di inversione della spinta (**thrust reversers**) non viene considerato per la valutazione della distanza di atterraggio.



Generalmente: **landing distance < take off distance**

La capacità del pilota è un fattore determinante. 2 secondi di ritardo nell'azionamento dei freni comporta un aumento di 400 ft sulla distanza.

La frenatura delle ruote è il sistema più efficace per rallentare il velivolo. Quindi più presto si tocca il suolo (touch down) più breve sarà la corsa di atterraggio.

Gli spoiler aerodinamici abbattano la portanza e caricano le ruote (meglio per la frenatura). L'apertura automatica degli spoiler con la rotazione delle ruote riduce la distanza di atterraggio.  
– Bisogna aggiungere 15% alla distanza per condizioni di pista bagnata.

## ANALISI DEI REQUISITI (REQUIREMENTS)

**ENDURANCE:** tempo per il quale un velivolo può stare in volo.

E' un requisito di progetto fondamentale per un velivolo da ricognizione (reconnaissance aircraft) , ad esempio un UAV.



Source [www.airforce-technology.com](http://www.airforce-technology.com)

Global Hawk, long range (14000 nm) high altitude (65000 ft), long endurance (42 hrs) unmanned aerial reconnaissance system.

Il piano di volo di un velivolo da trasporto commerciale include una fase di ATTESA (loiter) , tipicamente di 30-45 minuti, in cui la capacità di volo con minimo consumo orario è molto importante. A fase da prevedere in fase di progetto è quella (tra l'altro non molto rara) in cui il velivolo deve attendere per atterrare (landing slot).

## ANALISI DEI REQUISITI (REQUIREMENTS)

**CRUISE ALTITUDE (Quota di crociera)** è generalmente determinata da:

- **Cabin pressurization:** circa 10000 ft (3000 m) è la massima quota senza adottare la pressurizzazione della cabina.
- **Sistema propulsivo:** c'è una quota ottimale alla quale il motore raggiunge la sua massima efficienza:
  - Per **pistons engine** aircraft è 20000 ft (a quote più elevate la potenza erogata si riduce)
  - Per **turboprop aircraft** la quota massima è fino a 40000 ft (tipica quota di crociera per turboprop regionali è di circa 20000 ft: Fokker 50 25000 ft, ATR 42 18000 ft)
  - Per **turbojet engines**, il minimo consumo specifico si ha a Mach=0.80 e quota di 36000 ft (11000 m) (Si guardi la formula di Breguet per velivoli a getto).
- **Velocità di crociera (Cruise speed):** alte velocità di crociera richiedono anche alte quote di crociera. La bassa densità dell'aria riduce la resistenza del velivolo alle alte velocità.

Per velivoli da ricognizione o sorveglianza (reconnaissance or surveillance) (sia manned che UAV) la quota può essere un fattore determinante (driving requirement), piuttosto che un risultato derivante dalle considerazioni di range e velocità.

Sr-71 85000 ft ; Concorde 50000 ft

## ANALISI DEI REQUISITI (REQUIREMENTS)

**Costo (PURCHASE COST):** dipenderà dall'intero costo del ciclo (ricerca, sviluppo, test, valutazioni + **costo di produzione** del velivolo).

- Maggiore è il numero di velivoli prodotti, minore sarà il costo di acquisto del velivolo per l'amortamento dei costi non – ricorrenti (progetto, sviluppo tecnologie speciali, attrezzature, stabilimenti produzione, ecc.)
- Il numero di velivoli da produrre è un parametro fondamentale. Il numero degli ordini previsti non può essere inferiore al numero di pareggio (breakeven point).
- Tanti altri fattori possono intervenire sul costo (ad esempio la competizione con altri velivoli).
- Ci sono dei semplici metodi per stimare il costo di sviluppo di un velivolo, basati su relazioni semplici tra i vari parametri (ad es. peso totale \* velocità di volo) , oppure rateo di produzione, ecc.



Importance of affordability! For an operator the **DOCs** are important, which include the amount of used fuel, hence the efficiency of the aircraft and the specific fuel consumption of the engines. **Direct Operating Costs** in terms of \$/hour, \$/mile, ¢/seat-mile, or for cargo aircraft, ¢/ton-mile. Cost related figures of merit are in general difficult to evaluate. Maximum take off weight is very related to cost and easier to estimate. For this reason MTOW is a figure typically used also to assess the economic performance of the aircraft.

# ANALISI DEI REQUISITI (REQUIREMENTS)

**REGULATIONS/ CERTIFICATION AUTHORITIES:** ogni velivolo deve soddisfare con uno standard di certificazione.

Civil aircraft : CS (Certification Specification)

Military Standard: MIL

## CS applicability

Regulations Covering:	General Aviation	Normal	Transport
Airplane airworthiness standards	Part 23	Part 23	Part 25
Engine airworthiness standards	Part 33	Part 33	Part 33
Propeller airworthiness standards	Part 35	Part 35	Part 35
Noise	Part 36 Appendix F	Part 36 Appendix F	Part 36
General operation and flight rules	Part 91	Part 91	Part 91
Large aircraft / airline operation	--	--	Part 121
Agricultural / Travel clubs / Air taxi	Part 137	Part 135	Part 123

Source Kroo Stanford University

# ANALISI DEI REQUISITI (REQUIREMENTS)

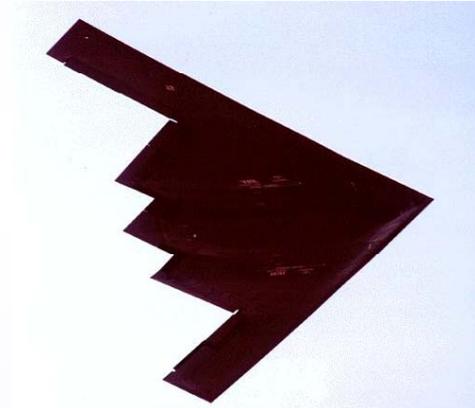
## ALTRI REQUISITI

**Noise (Rumore)** (aural signature): large diameter propeller (with slow tip speed) vs turbojet. Engines *hushkitting*. Positioning of engines and exhausts.

**Radar detectability:** use of Radar Absorbing Material, shape tailoring for Radar Cross Section reduction, flares

**Infrared detectability:** mixing exhaust, cooling nozzle, shielding hot part, flares

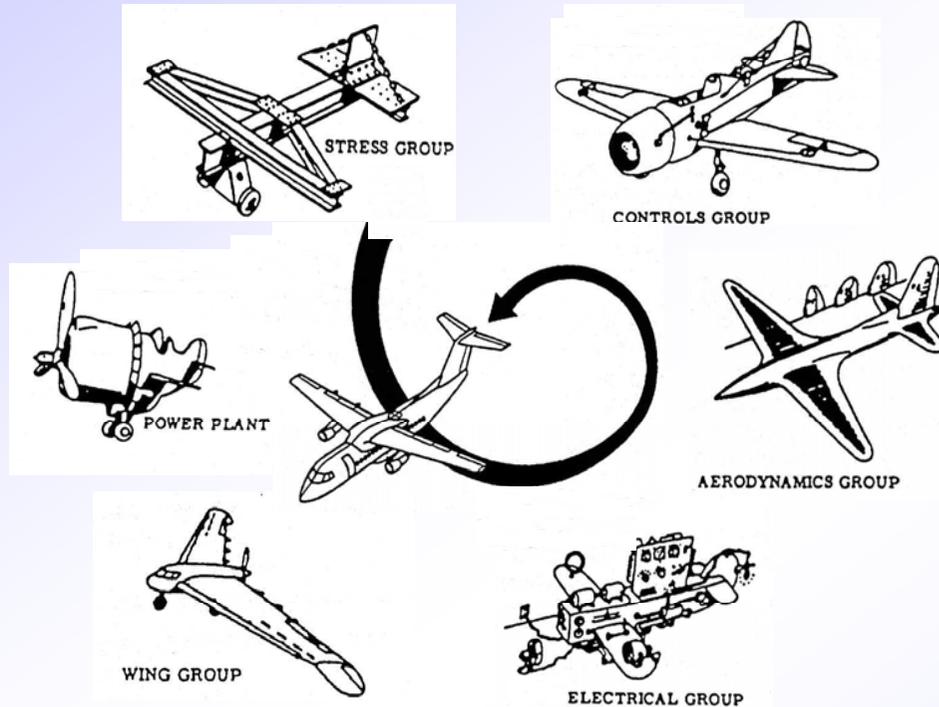
**Vulnerability and crashworthiness**



See Raymer, Chapter 8 - *Special Considerations in Configuration Layout*

# Design: prendere decisioni e fare dei compromessi

Il "miglior" velivolo non esiste !



E' una questione di compromesso, si può avere solo una cosa ottimizzata alla volta!

E' fondamentale avere dei CHIARI OBIETTIVI, cioè i fattori che guidano il progetto del velivolo (DESIGN DRIVERS) e che possono essere individuati (Range, payload, speed, weight, cost, take-off dist, ecc.).

## Obiettivi e requisiti in aviazione civile e militare

Transport Aircraft Design Objectives and Constraints		
Issue	Civil	Military
<p> <b>Criterio di Design dominante</b> </p>	<p>                     Economics and safety                 </p>	<p>                     Mission accomplishment and survivability                 </p>
<p> <b>Performance</b> </p>	<p>                     Maximum economic cruise                      Minimum off-design penalty in wing design                 </p>	<p>                     Adequate range and response                      Overall mission accomplishment                 </p>
<p> <b>Prestazioni al suolo (Airfield environment)</b> </p>	<p>                     Moderate-to-long runways                      Paved runway                      High-level Air Traffic Control and landing aids                      Adequate space for ground maneuver and parking                 </p>	<p>                     Short-to-moderate runways                      All types of runway surfaces                      Often spartan ATC, etc.                      Limited space available                 </p>
<p> <b>Complessità del sistema e design meccanico</b> </p>	<p>                     Low maintenance- economic issue                      Low system cost                      Safety and reliability                      Long service life                 </p>	<p>                     Low maintenance- availability issue                      Acceptable system cost                      Reliability and survivability                      Damage tolerance                 </p>
<p> <b>Regulations e accettazione comune</b> </p>	<p>                     Must be certifiable (FAA, etc.)                      Safety oriented                      Low noise mandatory                 </p>	<p>                     Military standards                      --Performance and safety --Reliability oriented                      Low noise desirable                      --Good neighbor in peace --Detectability in war                 </p>

## Obiettivi e requisiti in aviazione civile e militare

Military transport aircraft



[www.airbusmilitary.com](http://www.airbusmilitary.com)

Civil transport aircraft



[www.airbus.com](http://www.airbus.com)

Un chiaro esempio di come diversi obiettivi e requisiti conducano a differenti soluzioni progettuali... anche quando la *"funzione di trasporto"* è la stessa.

# Design → Requirements

Design INVERSO  
Reverse engineering exercise

## Analisi di un Progetto

-Guardiamo 'i design requirements del velivolo  
**A10 (warthog) Thunderbolt II.**



Source [www.fas.org/man/dod-101/sys/ac/a-10.htm](http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ac/a-10.htm)

Il velivolo A/OA-10 fu sviluppato come un velivolo da supporto (close air support) con **affidabilità e manutenzione (reliability and maintainability)** come principali fattori di progetto. Il documento dell'AIR FORCE che racchiude i requirements enfatizza :

**payload, low altitude flying capability, range and loiter capability, low speed maneuverability and weapons delivery accuracy.**

# VELIVOLI

## VELIVOLI

### SMALL

#### Light Aircraft (Velivoli Leggeri)

Wto < 5670 Kg (12500 lbs) FAR23

- Num. di motori : 1 o più
- Max num di passeggeri : 10
- Max quota operativa : 25000 ft

#### Very Light Aircraft (VLA)

Wto < 750 kg (1655 lbs) JAR-VLA

- Num. di motori : 1
- Max num di passeggeri : 2
- Max quota operativa : 15000 ft

#### Ultra Light Aircraft (VLA) (Ultraleggeri)

Wto < 450 kg (1000 lbs) Non Certificati

- Num. di motori : 1
- Max num di passeggeri : 2
- Max quota operativa : 1000 ft

### LARGE

#### Trasporto FAR25

Wto Illimitato

- Num mot. 2 o più
- Illim.
- Illim.

# VELIVOLI

## PERFORMANCE REQUIREMENTS (Federal Aviation Regulation - FAR)

	FAR 23	SFAR 23	FAR 25
Max Peso Dec Wto	≤ 12500 lbs	≤ 12500 lbs	Nessun limite
Num. di Passeggeri	Fino a 10	Più di 10	Nessun limite
Decollo			
Segmento 1	Va calcolata	V <sub>1</sub> almeno 1.1V <sub>S1</sub> o 1.1 V <sub>MC</sub>	accel a V <sub>1</sub>
Segmento 2	Non applicabile	Mantenersi a V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub> a 400 ft ; gradiente almeno 2.4%
Segmento 3	Gradiente ≥ 1.2%	"	V <sub>2</sub> o > (a 1500 ft) ; gradiente almeno 1.2%
Atterr. mancato (salita)	V > max(1.05V <sub>MC</sub> 1.10 V <sub>S1</sub> grad. >3.3 %	V > max(1.05V <sub>MC</sub> 1.10 V <sub>S1</sub> grad. >3.3 %	grad. >3.2 %

VEL. STALLO V<sub>so</sub> ( Mot. minimo, Eliche pos. decollo, Ipersost. atterraggio, baric. pos più sfav.)

$$V_{so} = \sqrt{\frac{2}{\rho_{sl}}} \sqrt{\frac{W}{S}} \sqrt{\frac{1}{CL_{max}}}$$

		V <sub>so</sub>	
FAR 23	Monomotori e Bimotori con Wto < 2700 kg (6000 lbs)	61 Kts	(113 Km/h)
JAR - VLA	Monomotori , 2 posti, max Wto 750 Kg	45 Kts	(83.5 Km/h)
Ultra Light Regul.	Monomot 2 posti max Wto 450 Kg	35 Kts	(65 Km/h)

# TIPI DI VELIVOLI

- **Velivoli ad Elica da amatore (homebuilt)**
- **Velivoli Ultraleggeri (fino a 450 Kg)**
- **Velivoli Leggeri (fino a 750 Kg) - JAR VLA**
- **Velivoli monomotore ad elica (FAR 23)**
  - Cessna Skywagon 207, Piper Cherokee, Piper Saratoga, Piper Bellanca
- **Velivoli bimotori ad elica (FAR 23)**
  - Cessna 310R, Beechcraft King Air, Cessna T303 Crusader, Cessna Conquest I, Cessna Citation, Piper PA-31T2 Cheyenne, Piper Seneca, Partenavia P68
- **Velivoli agricoli**
- **Business Jets (Velivoli a getto "executive") (FAR 25)**
  - Dassault Falcon.10, Cessna Citation I 500, BAe 125
- **Velivoli Turboelica da trasporto regionale (FAR 25)**
  - Fokker F27-200, Fokker 50, ATR 42/72, EMB 120 , SAAB SF-340
- **Velivoli da Trasporto a getto**
  - Short/Medium Range
    - MD80, B737-200-300, Fokker 100, BAe 146, A320 (Wide body)
  - Long Range
    - A330, A310, B707, B747-300, B757, B767, MD11
- **Velivoli Supersonici (Concorde)**
- **Velivoli Idrovolanti**
- **VELIVOLI MILITARI**
  - Caccia
  - Addestratori
  - Bombardieri / Trasporto (G222)
- **UNMANNED (RPV) - Telecomandati (per il sorveglianza)**

# VELIVOLI

## VELIVOLI DA TRASPORTO A GETTO

	Wto (tonn)	Pass.	Autonomia (nm)	S (m <sup>2</sup> )	b (m)	AR	$\Lambda_{c/4}$
<b>Long Range</b>							
A330	204	330	5000	325	58	10.3	30°
A340	246	380	7200	325	58	10.3	30°
B747-300	363	620	5650 (11000 Km)	511	59.6	7	37°
MD11	273	405	5000	341	51.7	7.8	35°
A300	170	370	4380	260	44.8	7.7	28°
A310	150	280	3730	219	43.9	8.8	28°
B767	128	255	6210	283	47	7.8	31°
<b>Short/Medium</b>							
A320	66	150	2640	122	33.9	9.5	25°
B707	151	189	5000	283	44.4	7	35°
B727	86	189	2400	158	32.9	6.9	32°
B737-300	61	150	2350	102	28.3	7.8	25°
MD80	63	170	1563	118	32.9	9.2	24.5°
BAe 146	42	96	1176	77.3	26	8.7	15°
Fokker 100	41.5	119	1200	94.3	28	8.3	17°

Company	Aircraft	First Launch	# passengers 3 class	max# of passengers	Cruise Mach #	Range (nm)	Max TOGW (lb)	Total Thrust (lb)
Boeing	747 - 400	1969	416	524	0.85	7,320	875,000	253,200
Airbus	A340 - 200	1992	261	300	0.82	8,000	606,300	136,000
Boeing	777 - 200	1994	320	440	0.84	5,150	545,000	154,400
Boeing	777 - 300	1997	386	550	0.84	5,960	660,000	196,000
Airbus	A340 - 600	2001	380	419	0.83	7,500	804,700	224,000
Boeing	747 - 400 ER	2001	416	568	0.855	7,690	910,000	253,200
Airbus	A380	2004	555	No Data	0.85	8,150	1,235,000	280,000
Boeing	747X	2004	430	No Data	0.86	8,975	1,043,000	272,000
Boeing	747X Stretch	2004	504	No Data	0.86	7,800	1,043,000	272,000

Company	Aircraft	Wing Area (ft <sup>2</sup> )	AR	Span (ft)	LE Sweep, $\Lambda$	Taper Ratio, $\lambda$	t/c	T/W	W/S	W/b
Airbus	A340 - 200	3892	10.06	197.9	59	0.29	0.11	0.22	155.8	3064.1
Airbus	A340 - 600	4729	9.16	208.1	59	0.29	0.11	0.28	170.2	3866.4
Airbus	A380	9100	7.53	261.8	54	0.26	0.08	0.23	135.7	4717.9
Boeing	747 - 400	5825	7.7	211.8	47	0.24	0.08	0.29	150.2	4131.6
Boeing	747 - 400 ER	5825	7.7	211.8	47	0.24	0.08	0.28	156.2	4296.8
Boeing	747X	6815	7.68	228.8	47	0.22	0.08	0.26	153.0	4559.0
Boeing	747X Stretch	6815	7.68	228.8	47	0.22	0.08	0.26	153.0	4559.0
Boeing	777 - 200	4605	8.7	200.2	55	0.16	0.08	0.28	118.3	2722.8
Boeing	777 - 300	4605	8.7	200.2	55	0.16	0.08	0.30	143.3	3297.4

# VELIVOLI

## DIMENSIONI E PRESTAZIONI A CONFRONTO

Velivolo	Posti	Wto (Kg)	S (mq)	b (m)	AR	Wto/S (Kg/mq)	Vcr (kts)	RCo (m/min)	Vstall Flap UP (Kts)	Vstall Flap Down	TO Run (m)	Range (nm)
VLA P92J	2	520	13.2	9.6	7	40	100	270	41	35	120	400
CESSNA Skyline	4	1406	16.2	11	7.4	87	142	264	54	49	462	820
CESSNA Centurion	6	1746	17.2	12.4	8.1	101	169	328	63	53	625	1010
Beechcraft Kingair	2+8	5000	26	14	7.5	191	270	450	94	79	1196	1187
Piper Cheyenne	2+6	3946	21.3	12.4	7.4	185	250	533	84	72	745	955
ATR42	42	15750	54.5	24.6	11	290	268	640	100	82	1090	645
MD80	170	63500	118	32.9	9.2	538	500				2200	2800
A310	250	150000	219	44	8.8	685	459 (M=0.8)				2310	3750
B747-300	620	363000	511	59.6	7	710	520				3000	5650

# VELIVOLI

## SPINTE/POTENZE INSTALLATE E PRESTAZIONI A CONFRONTO

Velivolo	Posti	Wto (Kg) e lb	P (hp)	AR	Wto/S (Kg/mq) e lb/sqft	Wto/P (Kg/hp) e lb/hp	Vcr (Kts) e Km/h	Range (nm)
VLA P92J	2	520 (1144)	82	7	40 (8.2)	6.3 (13.9)	100 (185)	400
CESSNA Skyline	4	1406 (3093)	235	7.4	87 (17.8)	5.98 (13.16)	142	820
CESSNA Caravan I	1+9	3311 (7284)	600	8.1	127 (26.1)	5.51 (12.1)	184	1010
Beechcraft Kingair	2+8	4377 (9649)	1100 (2x550)	7.5	160 (353)	3.98 (8.77)	242	1315
Piper Cheyenne	2+6	3946 (8700)	1000 (2x500)	7.4	185 (38)	3.95 (8.7)	250	955
P68 Partenavia	1+6	1990 (4387)	400 (2x200)	7.74	107 (21.9)	4.97 (10.96)	166	700
ATR42	42	15750 (34650)	3600 (2x1800)	11	289 (59)	4.37 (9.6)	268	645-2490
Fokker 50	50	18990 (41778)	4300 (2x2150)	12	271 (55.5)	4.41 (9.7)	278	750-1600

## VELIVOLI A GETTO

Velivolo	Posti	Wto	T (Kp)	AR	Wto/S	T/Wto	Vcr(Kts)	Range (nm)
MD80	172	63500 (139700)	16782 (2x8391)	9.2	538 (107)	0.26	500	1563
B737-300	141	56473 (124240)	18144 (2x9072)	7.9	538 (110)	0.32	491	1390-2300
A310	236	153000 (336000)	45360 (2x22680)	8.8	698 (139)	0.30	484	3752
B747-300	620	363000 (798600)	99340 (4x24835)	7	710 (142)	0.27	507	5650

# Esempi di Specifiche (semplificate)

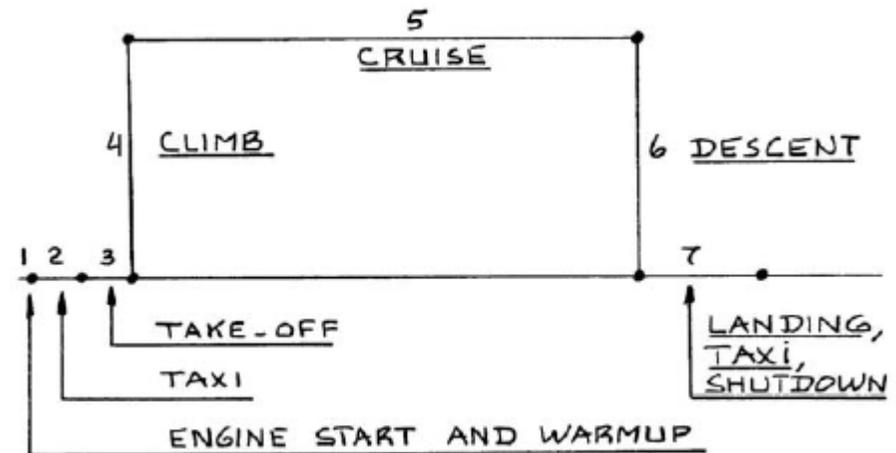
## Bimotore ad elica



### Mission Specification For A Twin Engine

#### Propeller Driven Airplane

- Payload:** Six passengers at 175 lbs each (this includes the pilot) and 200 lbs total baggage.
- Range:** 1,000 sm with max. payload. Reserves equal to 25% of required mission fuel.
- Altitude:** 10,000 ft (for the design range).
- Cruise Speed:** 250 kts at 75% power at 10,000 ft.
- Climb:** 10 minutes to 10,000 feet at max.  $W_{TO}$ .
- Take-off and Landing:** 1,500 ft groundrun at sealevel, std. day. Landing performance at  $W_L = 0.95W_{TO}$ .
- Powerplants:** Piston/Propeller
- Pressurization:** None
- Certification Base:** FAR 23
- Mission Profile:**



# Esempi di Specifiche (semplificate)

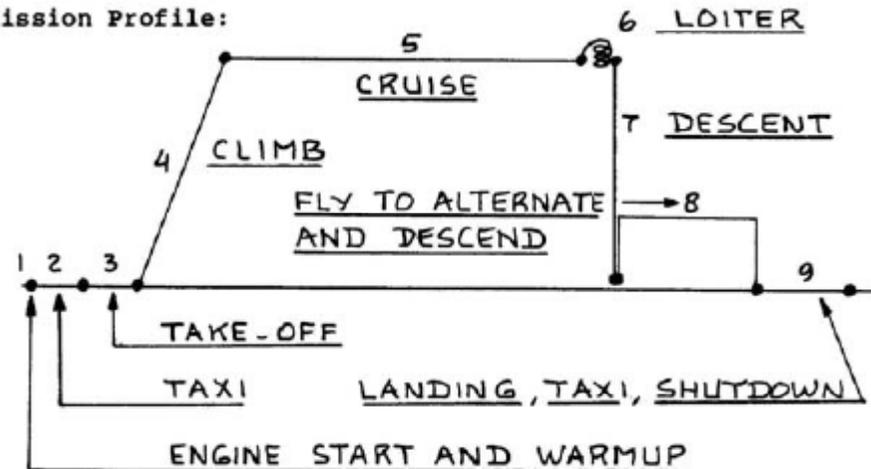
## Trasp jet bimotore Medium Range (A320)



### Mission Specification For A Jet Transport

- 
- Payload:** 150 Passengers at 175 lbs each and 30 lbs of baggage each.
- Crew:** Two pilots and three cabin attendants at 175 lbs each and 30 lbs baggage each.
- Range:** 1,500 nm, followed by 1 hour loiter, followed by a 100 nm flight to alternate.
- Altitude:** 35,000 ft (for the design range).
- Cruise Speed:**  $M = 0.82$  at 35,000 ft.
- Climb:** Direct climb to 35,000 ft. at max.  $W_{TO}$  is desired.
- Take-off and Landing:** Take-off fieldlength, 7,500 ft. at S.L.  
Landing fieldlength, 5,000 ft. at S.L.  
Landing performance at  $W_L = 0.85W_{TO}$ .
- Powerplants:** Two turbofans.
- Pressurization:** 5,000 ft. cabin at 35,000 ft.
- Certification Base:** FAR 25

#### Mission Profile:



# Esempi di Specifiche (semplificate)

## Regional Turboprop ATR42-500



### ATR42-500

#### Specifica di missione

<i>Tipo velivolo</i>	Velivolo da trasporto regionale bimotore turboelica (eliche esapale)
<i>Carico pagante</i>	50 passeggeri (+ 2 pilota)
<i>Normativa</i>	FAR 25
<i>Autonomia di percorso (fase5)</i>	al 75% della potenza 1000 nm (1850 km) Assumere : E=16 Cp=0.55 lb/(hp h) $\eta_p=0.80$
<i>Riserva (attesa) (fase 6)</i>	45 min
<i>Velocità di crociera massima</i>	556 km/h (300 kts) alla quota di crociera di 17000 fted al 75% della potenza massima
<i>Quota di tangenza pratica</i>	7620m (25000 ft)
<i>Lunghezza di decollo at S/L</i>	Totale(fino a 15 m (50 ft)): 1165 m (3822 ft)
<i>Lunghezza di atterraggio at S/L</i>	Totale (da 15 m (50 ft)): 1126 m (3412 ft)
<i>Rateo di salita medio fino a 17000 ft</i>	1450 ft/min
<i>Riserva di carburante</i>	5% del peso totale del carburante di missione
<i>Velivoli simili</i>	

