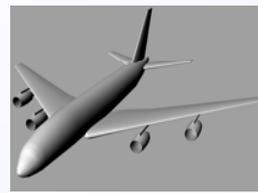
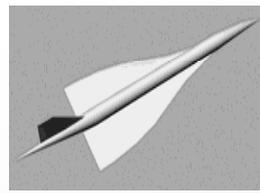
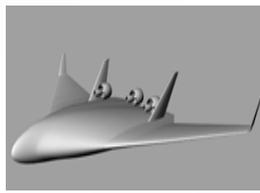
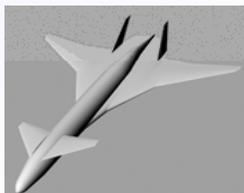
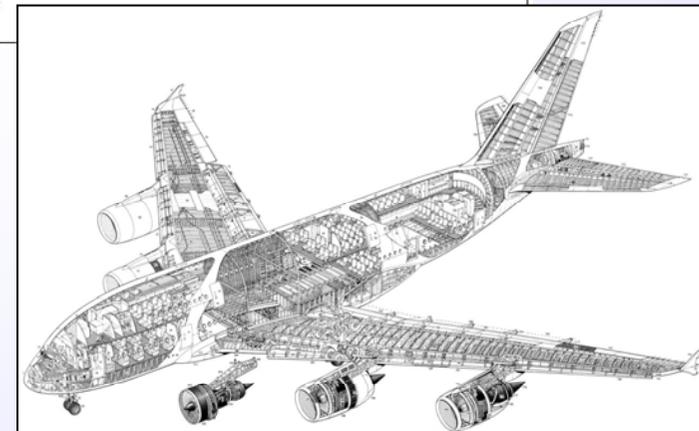
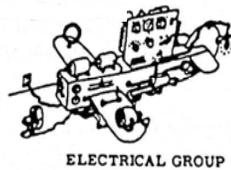
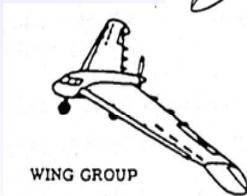
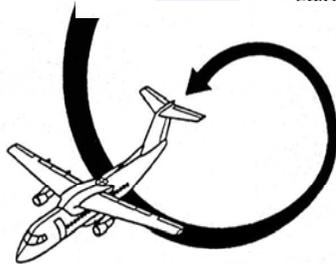
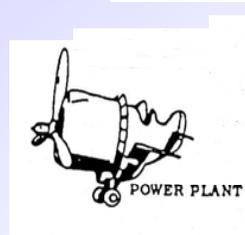
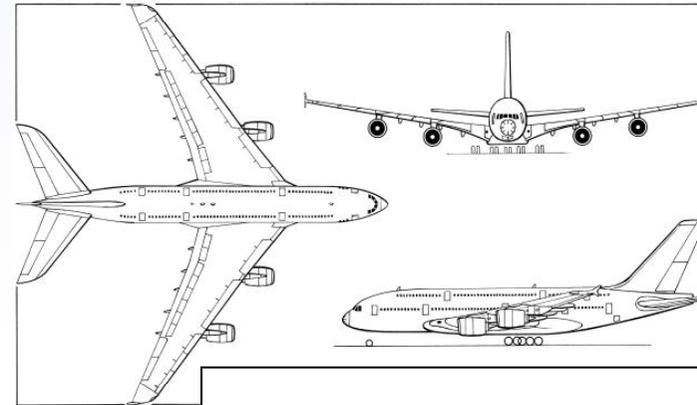
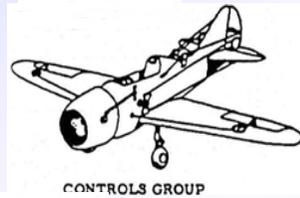
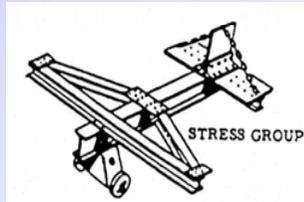


# Corso di PROGETTO GENERALE DEI VELIVOLI

## 1. IL PROCESSO DI DESIGN

F. Nicolosi



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

# Definizione del Design

Il Design (Progettazione) ingegneristico è il processo di sviluppo di un sistema, di un componente o processo per raggiungere determinati obiettivi e necessità.

E' un processo in cui bisogna prendere decisioni (decision-making)

E' spesso un processo iterativo

Le scienze di base, quelle matematiche e quelle ingegneristiche sono applicate per convertire risorse in modo ottimizzato per raggiungere un dato obiettivo.

Design Engineering è una disciplina che crea e trasforma idee e concetti nella definizione del prodotto che meglio soddisfa le specifiche (requirements) del cliente o del mercato.

Il ruolo del progettista (design engineer) è la creazione, sintesi, iterazione e presentazione delle soluzioni progettuali.

*"Scientists discover that which exists, engineers creates that which never was."*

*T. Von Karman*

## Il processo (iterativo) di design

- Valutare (o definire) la specifica (requirements)  
(Customers/regulations, constraints/performance goals)
- Capire gli approcci attuali (cosa è stato già fatto?)
- Pensare a qualche possibile soluzione (creatività)
- Identificare una serie o varietà di possibili soluzioni (concepts generation)
- Valutazione delle soluzioni (concepts evaluation) (analysis)
- Selezionare una soluzione preferenziale (prendere decisioni)
- Effettuare il design di dettaglio e sviluppare un prototipo (analysis)
- Test e valutazioni
- Riaggiustare e continuamente aggiornare il design finchè esso non costituisce un prodotto efficace (viable product)

Con e senza successo

Sketches qualitativi e disegni sono molto importanti (più di 1000 parole !!)

Analisi, ma con i principi fondamentali ben chiari in mente.

Trade off, con uso di PRO/CON charts e MDO trade studies

## Il processo (iterativo) di design

- Valutare (o definire) la specifica (requirements)  
(Customers/regulations, constraints/performance goals)
- Capire gli approcci attuali (cosa è stato già fatto?)
- Pensare
- Identificare soluzioni
- Valutare
- Selezionare decisioni
- 7. Effettuare prototipo (analysis)
- 8. Test e valutazioni
- 9. Riaggiustare e continuamente aggiornare il design finchè esso non costituisce un prodotto efficace (viable product)

Con e senza successo

Sketches qualitativi sono molto più (più di mille !!)

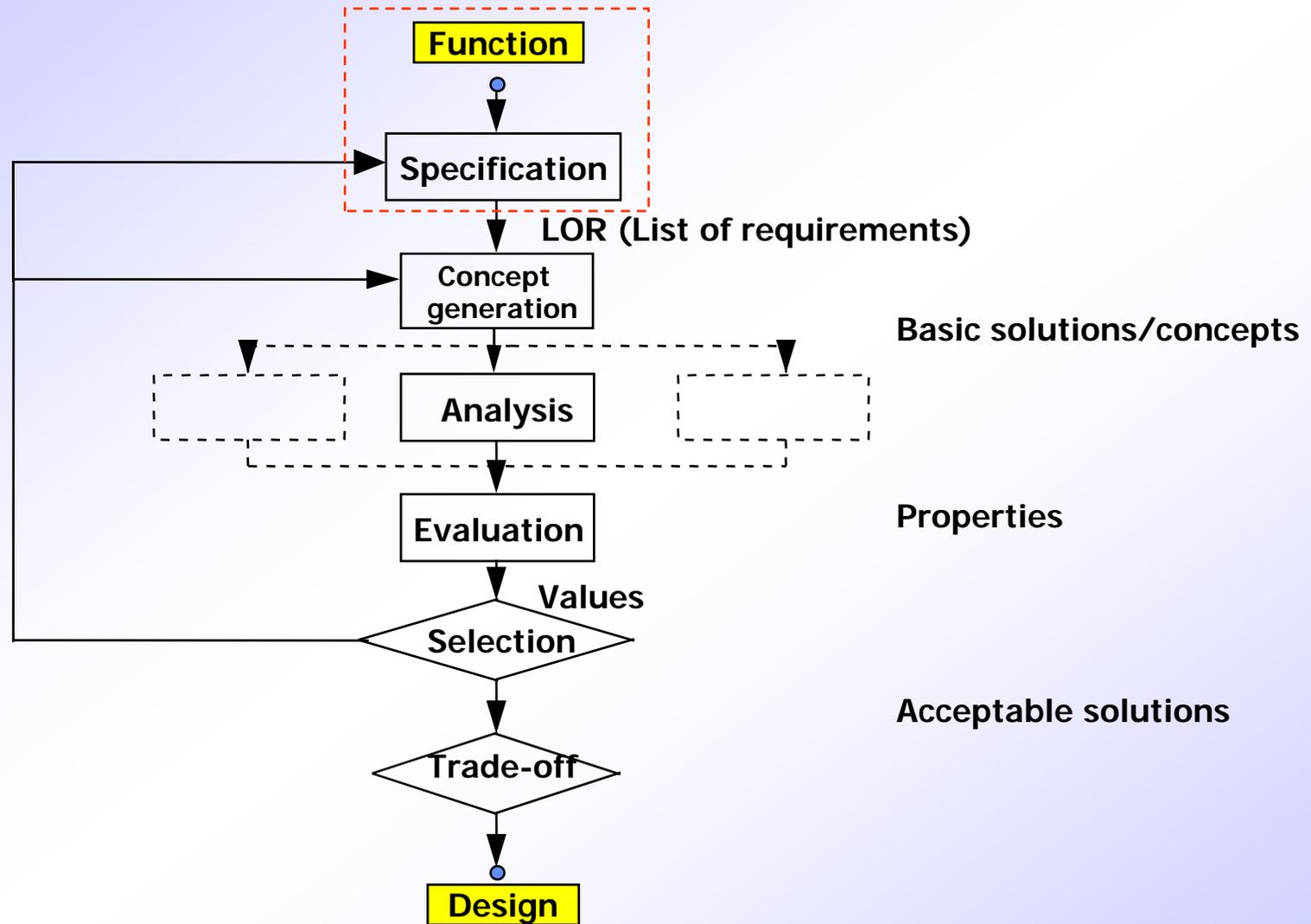
***Nota: Molti di questi step sono ripetuti. Il design è iterativo.***

***Questo approccio è applicato e ripetuto per ogni componente o sistema del velivolo e non solo per l'intero velivolo.***

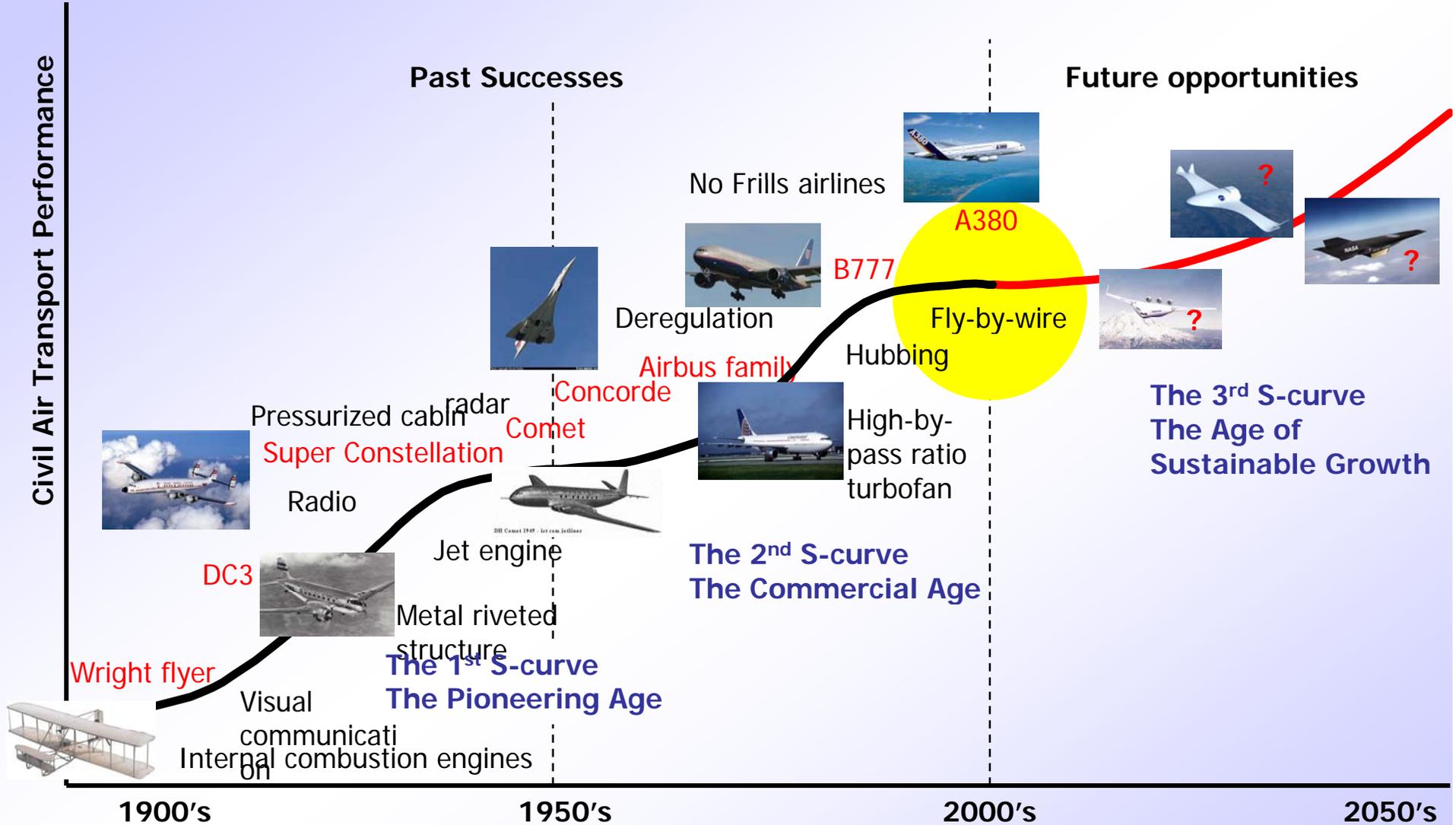
a con i fondamentali in mente.

Trade off, con uso di PRO/CON charts e MDO trade studies

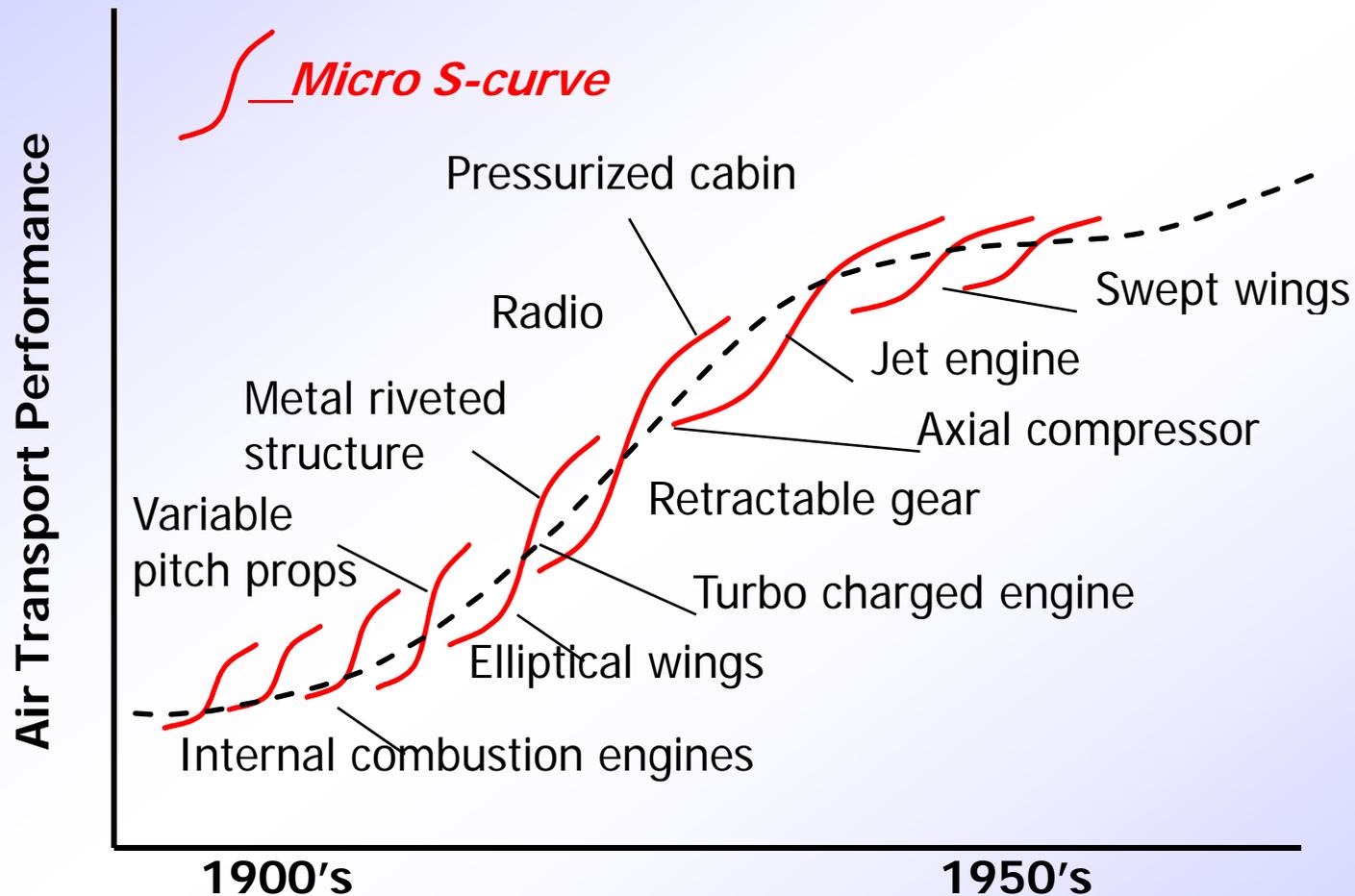
# Il processo iterativo di design



# 100 anni di aviazione. La curva ad S



## Le micro S-curve



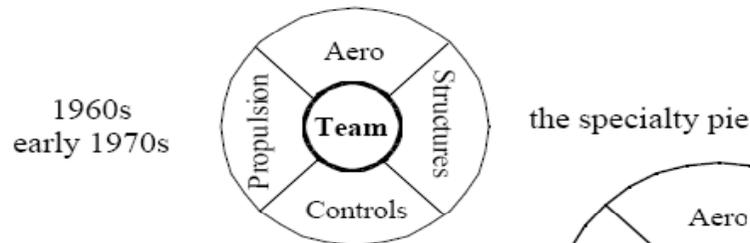
- Tutti i maggiori o minori sviluppi sono collegati a **specifiche tecnologie**
- Nessun reale sviluppo può essere associato a nuove metodologie di progetto !

# Evoluzione del design team e del processo di design

## A little history: What about the *entire* design?

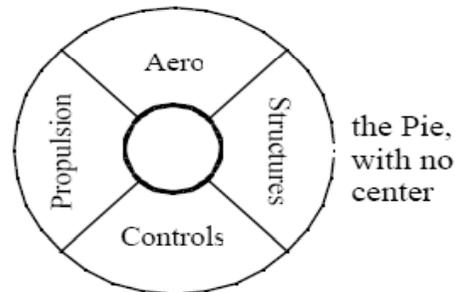
Up until the 1950s: **Team** Pioneers, the Central Designer

Wright Bros  
Breguet  
DeHavilland  
Fokker  
Sikorsky



**Somebody has to understand  
How it all fits together!  
- the Designer**

late 1970s  
1980s



Northrop,  
McDonnell  
Douglas  
Von Brown

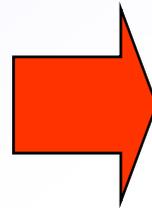
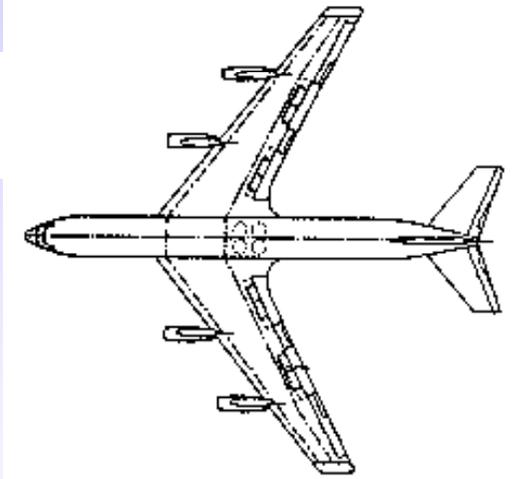
See also *White Paper on Current State of the Art* (1991) by AIAA Technical Committee on Multidisciplinary Design Optimization (MDO)  
[http://endo.sandia.gov/AIAA\\_MDOTC/sponsored/aiaa\\_paper.html](http://endo.sandia.gov/AIAA_MDOTC/sponsored/aiaa_paper.html)

Bouchard,  
Lockheed Corp.;  
(via Mason VT)

- All'inizio (anni 20) c'erano solo piccole SERIE di velivoli. L'intero processo di design avveniva in 6 mesi. Alcune aziende in 20 anni hanno immesso sul mercato decine di velivoli diversi. Oggi ci vogliono circa 10 anni per sviluppare un nuovo velivolo da trasporto!
- Negli anni 70 il ruolo del progettista è stato assunto dagli specialisti delle varie discipline. Le capacità di tali persone erano richieste per espandere i limiti della conoscenza scientifica e raggiungere migliori prestazioni. Gli specialisti divennero gli ispiratori di nuove idee.

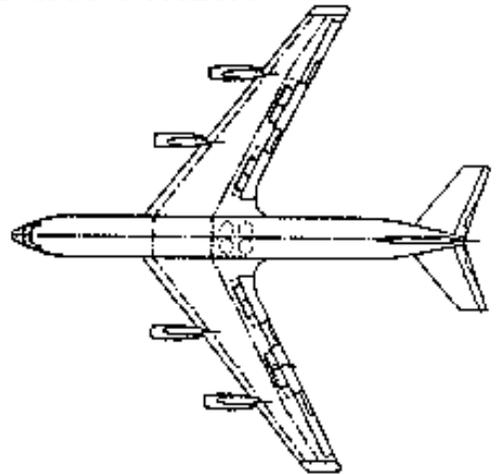
# La seconda S-curve: la grande evoluzione nella configurazione dei velivoli da trasporto....

Boeing 707 (1958)

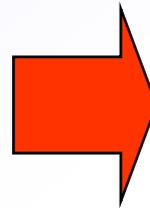
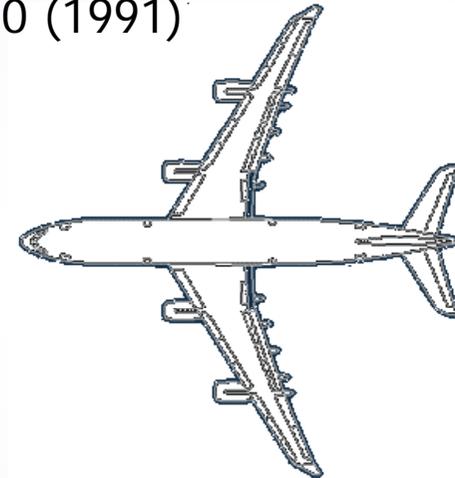


# La seconda S-curve: la grande evoluzione nella configurazione dei velivoli da trasporto....

Boeing 707 (1958)



Airbus A340 (1991)



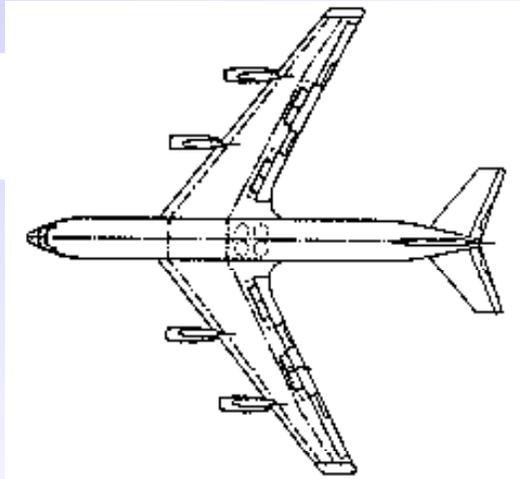
Nuovi materiali, nuovi sistemi, sicurezza migliorata, new aerodynamic design, etc..

From “farther, faster, higher” of the cold war years....

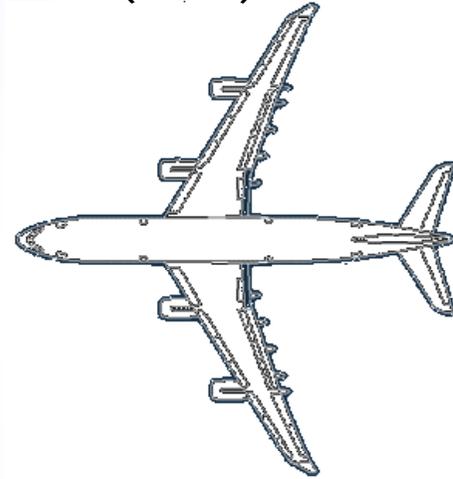
... to the actual “quicker, better, cheaper”

# La seconda S-curve: la grande evoluzione nella configurazione dei velivoli da trasporto....

Boeing 707 (1958)



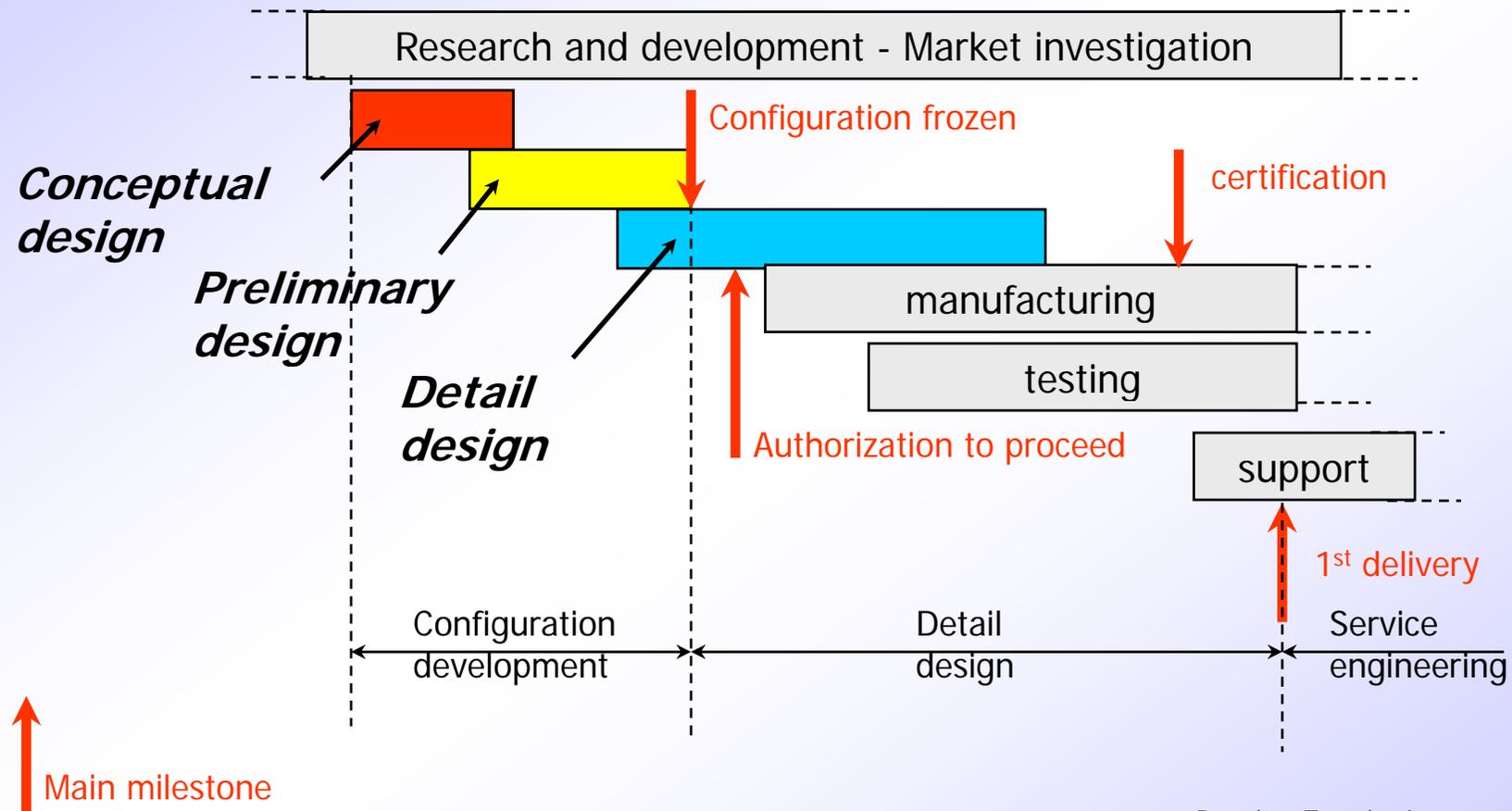
Airbus A340 (1991)



**Anche le metodologie sono cambiate. Dall'epoca dell'approccio "trial and error" all'era dell'analisi e del test (the handbook design method golden age), all'attuale physics-based simulation. Le capacità CAD e la velocità dei calcolatori hanno condotto alla evoluzione delle metodologie.**

# ORGANIZZAZIONE DEL PROCESSO DI DESIGN

Una usuale suddivisione del processo di design consiste in 3 fasi principali:

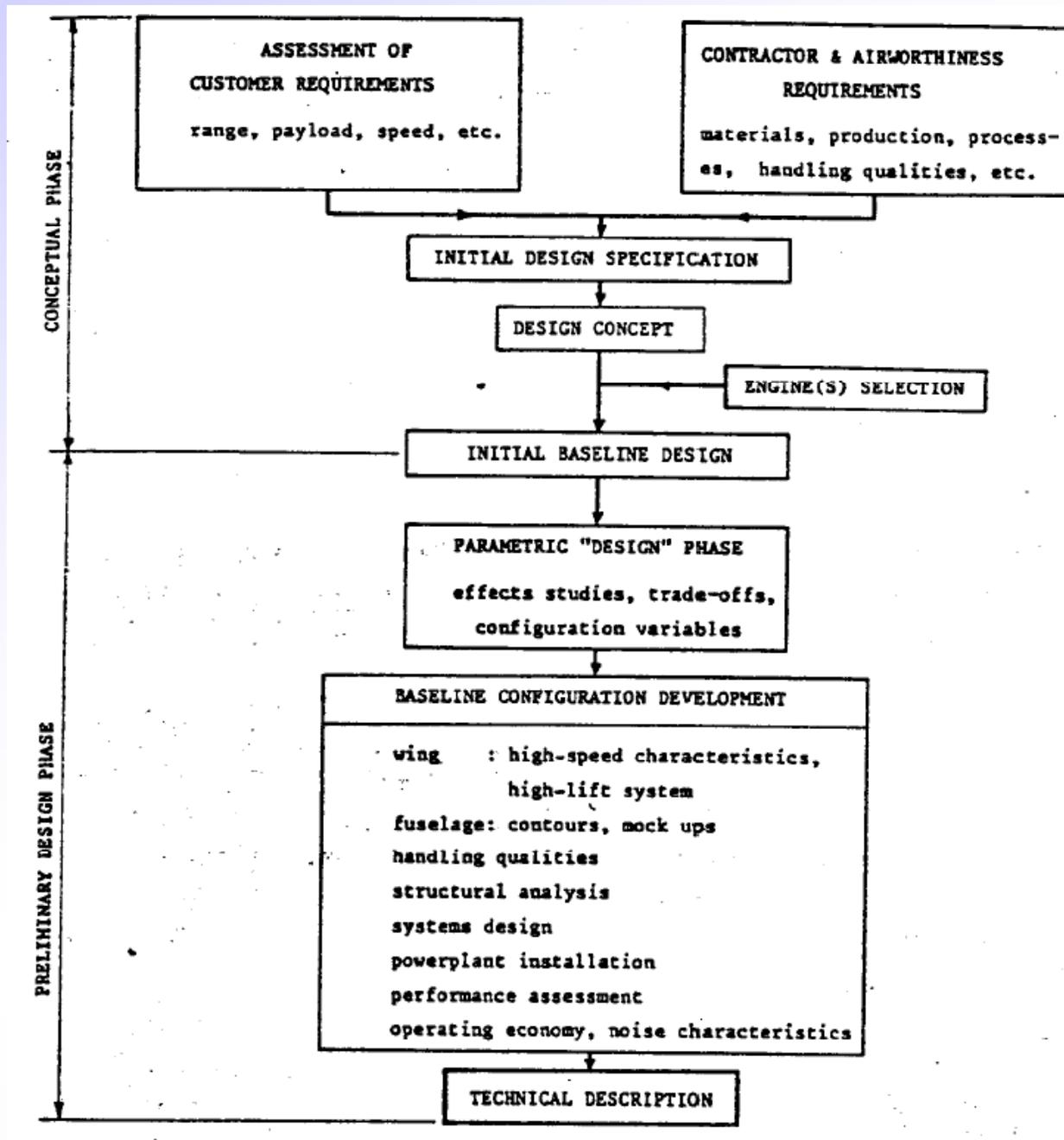


# ORGANIZZAZIONE DEL PROCESSO DI DESIGN

Tale suddivisione del processo di design in differenti fasi non è casuale !

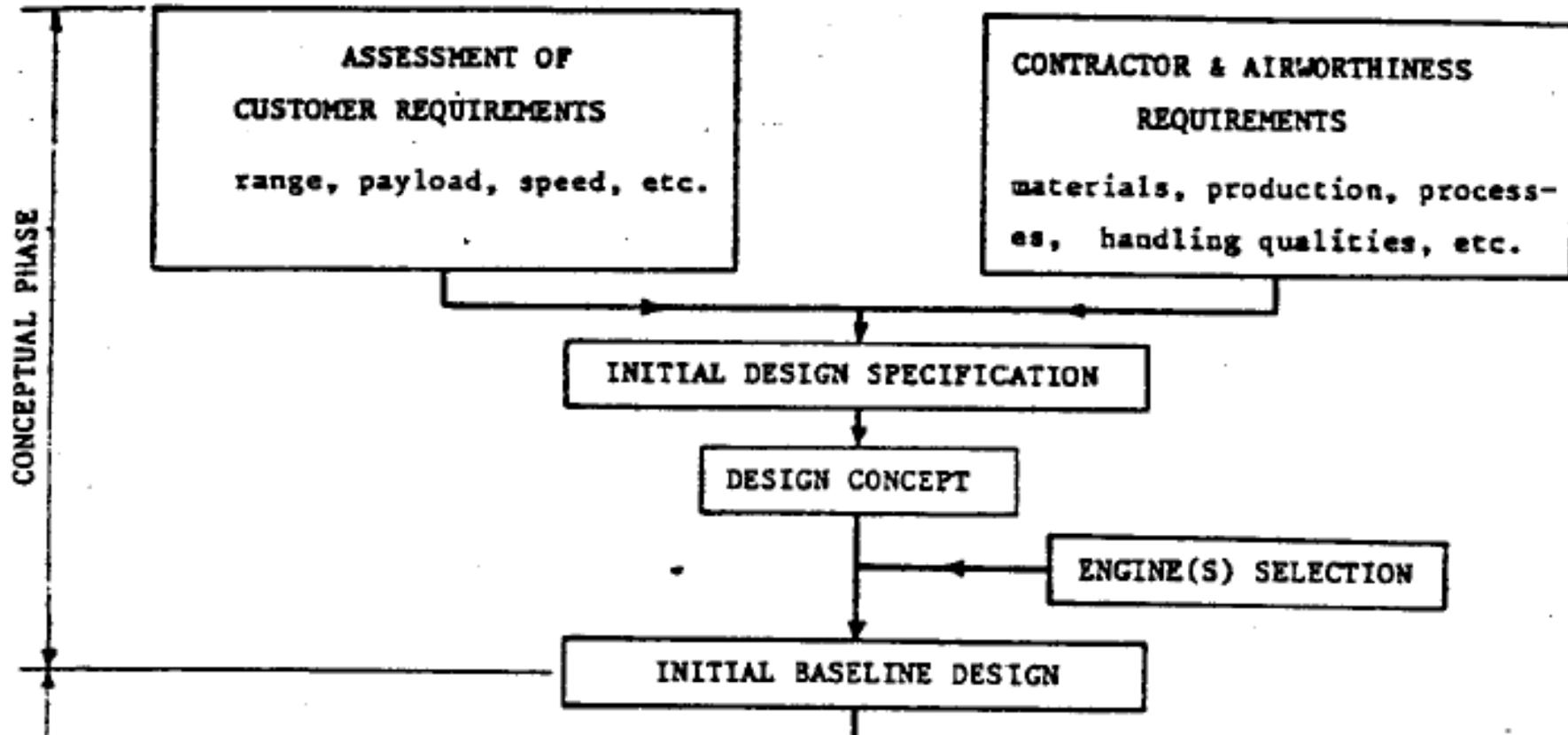
- **Attività** molto diverse
- **Strumenti** molto diversi
- Sono coinvolte diverse **quantità** di persone con diverso **expertise!**
- Diverse **scale temporali**
- Diverse entità di **investimento finanziario**

# ORGANIZZAZIONE DEL PROCESSO DI DESIGN



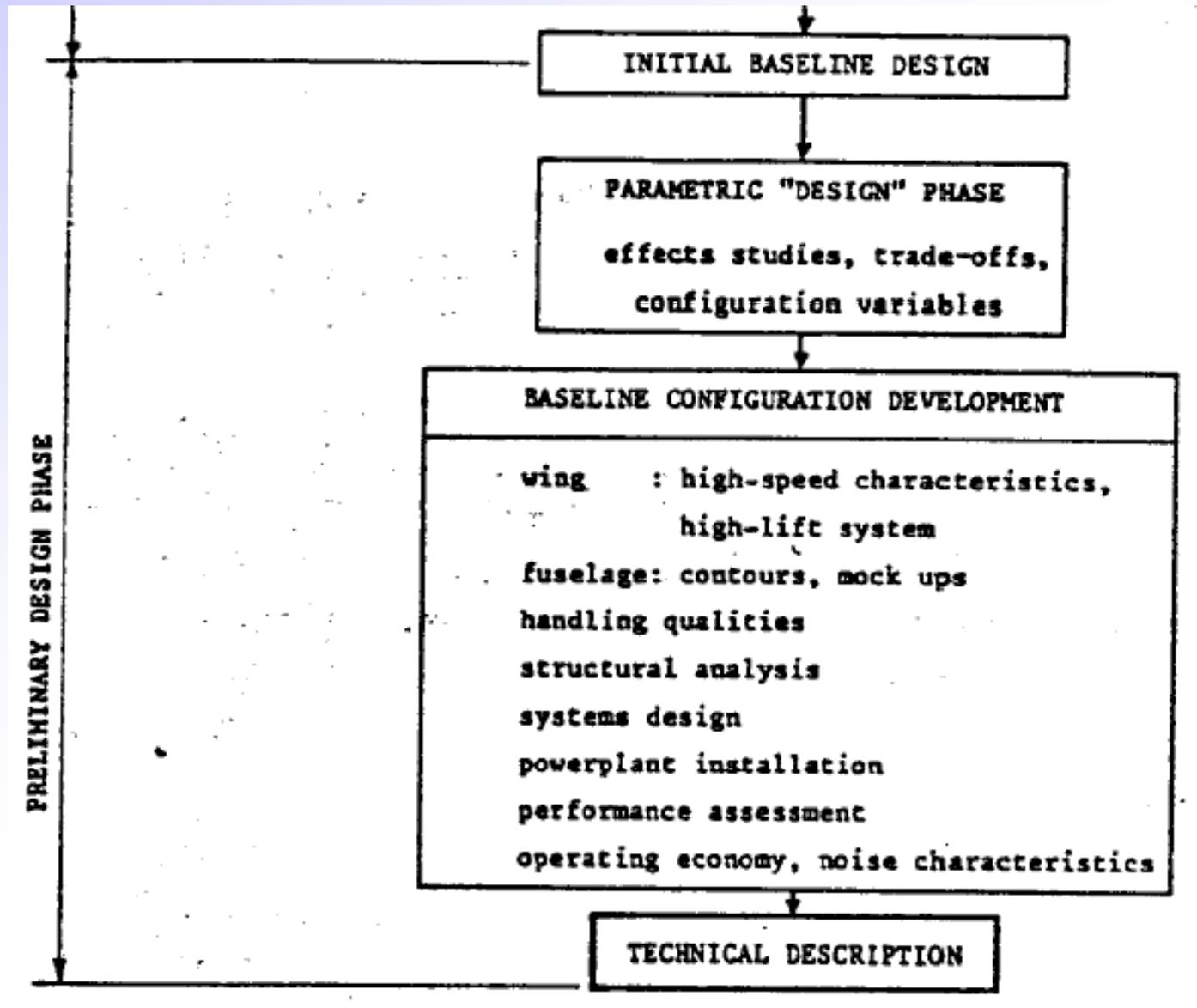
# ORGANIZZAZIONE DEL PROCESSO DI DESIGN

## Fase Concettuale

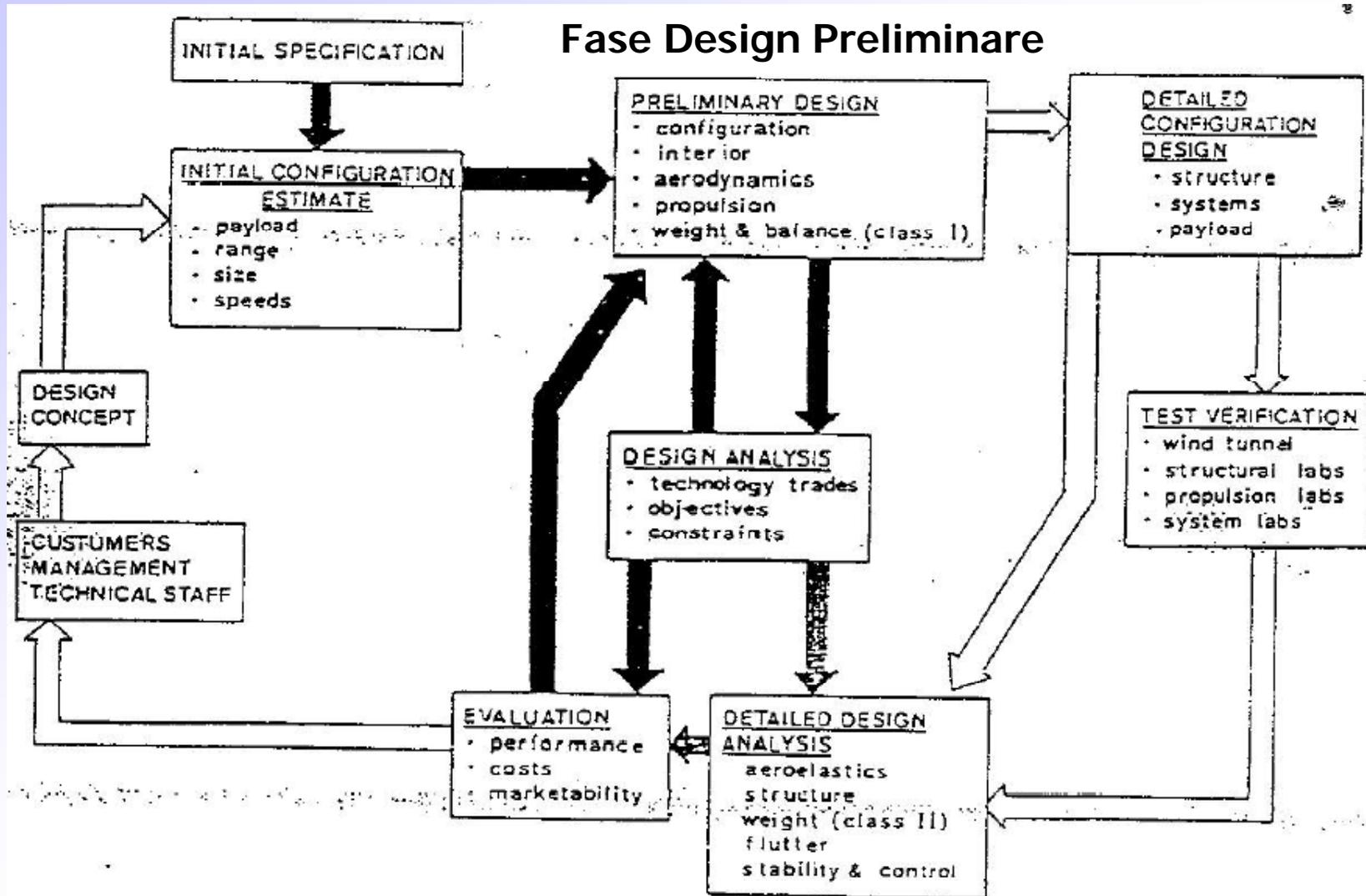


# ORGANIZZAZIONE DEL PROCESSO DI DESIGN

## Fase Design Preliminare



# ORGANIZZAZIONE DEL PROCESSO DI DESIGN



- ← LEVEL I - PRELIMINARY DESIGN
- ← LEVEL II - DESIGN ANALYSIS
- ← PERIPHERAL ACTIVITIES

Source: AIAA paper no. 72-793.  
(flow chart modified)

PRELIMINARY DESIGN FLOW CHART

## LA FASE DI DESIGN CONCETTUALE – CONCEPTUAL DESIGN PHASE

Inizia con l'analisi dei requirements

Risponde le domande base su

- Possible configuration arrangement
- Weight
- Size
- Performance
- Cost

Cosa guida il design?

Rispetterà i requirements?

Come sembra (appare)?

E' caratterizzato dalla generazione di una grande quantità di possibili alternative proposte.



Si riesce a trovare una soluzione **sostenibile** che rispetta I requirements?

Se no, bisogna rilassare I requirements!

Il trading tra requirements/cost è attualmente tipico dell'intero processo di design.

- **Precedenti esperienze, valutazioni pro/con,....intuito**
- **L'analisi delle soluzioni progettuali esistenti(anche dei concorrenti.. è molto importante.**

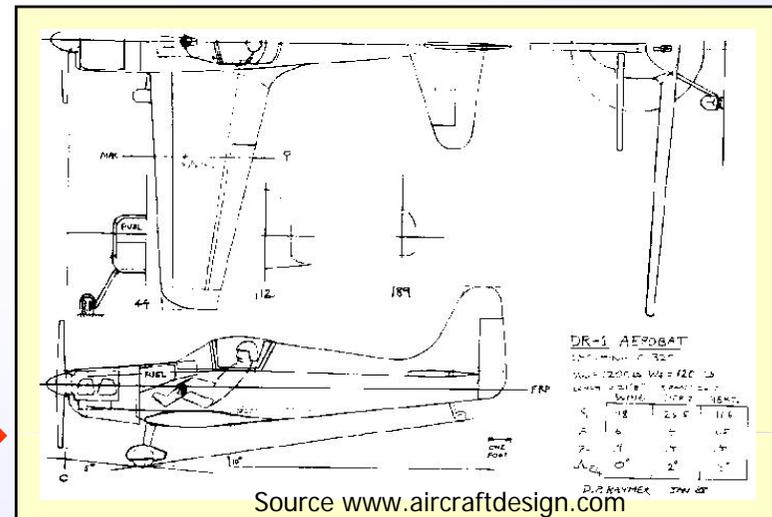
# THE CONCEPTUAL DESIGN PHASE

I requisiti di specifica (the design requirements) sono usati per guidare e valutare lo sviluppo dell'intero progetto, incluso:

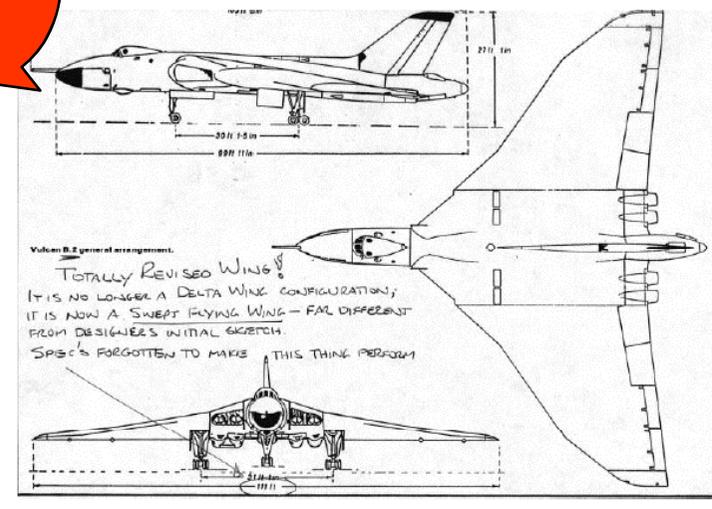
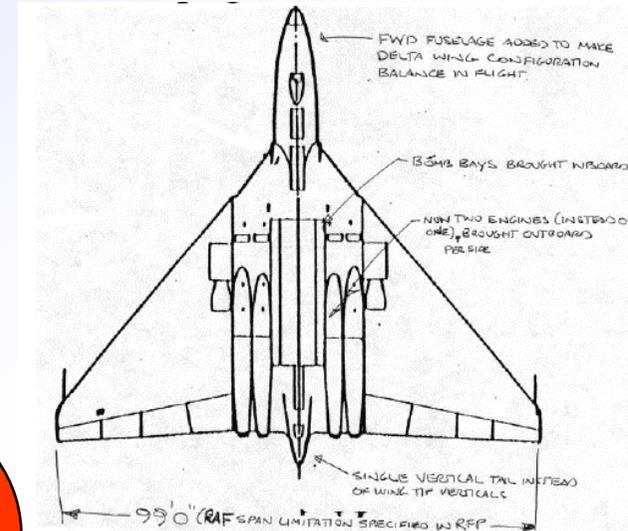
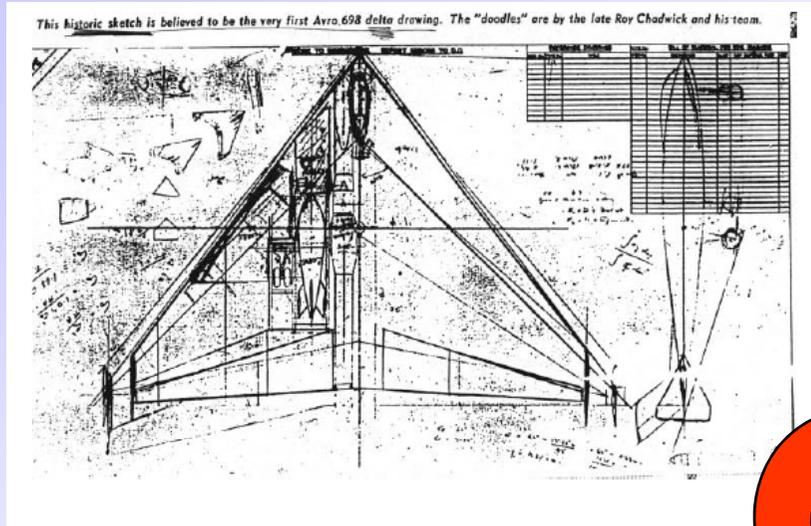
- Geometria dell'ala e dei piani di coda (area, freccia, AR ..)
- Forma della fusoliera e sistemazione di equipaggio, cargo, carico pagante, equipment, carrelli, installazione motori.

Il processo è estremamente fluido!  
Tutto può essere cambiato da una settimana all'altra.  
Questa è una fase di design di tipo speculativo.

Il livello di dettaglio è **basso** e **schematico**, ma sufficiente a rappresentare la posizione relativa e l'interazione dei principali componenti e impianti del velivolo.



# CONCEPTUAL PHASE (Esempio): Avro Vulcan B2 conceptual design



- La fluidità del design è chiara. In tre iterazioni la configurazione del velivolo è ampiamente rivoluzionata, da una configurazione ad ala volante, ad una configurazione ad ala a delta con deriva e bordo d'attacco curvo.

## THE CONCEPTUAL DESIGN PHASE

L'accuratezza assoluta delle metodologie di analisi non è la più alta possibile:  
A questo livello del lavoro è importante **confrontare soluzioni!**

L'uso della statistica e di metodi molto semplici è tipico di questa fase.  
(no a codici di calcolo evoluti: teoria della trave piuttosto che FEM analysis).

La struttura non è ancora definita, è richiesta una stima del peso (accuracy around 90%).  
Bisogna ricordare comunque che se il velivolo finito pesa di più di quanto stimato ci  
possono essere problemi :

- 2% Overweight rispetto all'accordo contrattuale => Penalties !!
- 1% di overweight è FISIOLOGICO

Per velivoli convenzionali da trasporto passeggeri (proprio per quelli per i quali la statistica funziona meglio), la distribuzione dei pesi è la seguente:

12 – 15% payload    35 – 38% fuel    50% structure and systems

L'output finale di questa fase è UNA (?) configurazione selezionata (incluso il motore), più un set di dati.

Questa è chiamata la **baseline design configuration** e rappresenta l'input principale per la fase successiva di *preliminary design*.



## DESIGN PRELIMINARE - THE PRELIMINARY DESIGN PHASE

- La fase di design preliminare inizia quando **la maggior parte delle modifiche** alla soluzione di progetto proposta sono bloccate.

Ad esempio a questo livello sarà già stato deciso se il velivolo sarà un BWB (Blended Wing Body) piuttosto che un design convenzionale !

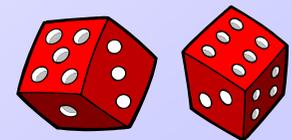
- Questa fase prende input dalla baseline configuration elaborata e selezionata dalla fase di design concettuale.

**Quindi tutti i requisiti di specifica si suppone siano rispettati.**

- L'obiettivo di tale fase è quella di ulteriormente sviluppare e maturare il design di base (baseline design configuration) fino a che una sufficiente comprensione della qualità del design (con una certa fiducia, "confidence") non sia raggiunta.
- Il design può essere quindi **CONGELATO (frozen)**
- A questo punto può partire la fase di design di dettaglio (detailed design)

**Bisogna avere una certa fiducia che il velivolo possa essere costruito in tempo ed al costo stimato.**

**QUI L'AZIENDA AERONAUTICA SCOMMETTE !**



## THE PRELIMINARY DESIGN PHASE

Gli specialisti entrano nell'anello progettuale con i loro sofisticati strumenti di analisi e di design:

- Progettisti strutturali e stress engineers (FEM)
- Aerodinamici (CFD o sperim. in galleria del vento)
- Specialisti di controlli
- Specialisti di carrelli
- ...

I concetti di fatica, aeroelasticità flutter, sono tipici di questa fase.



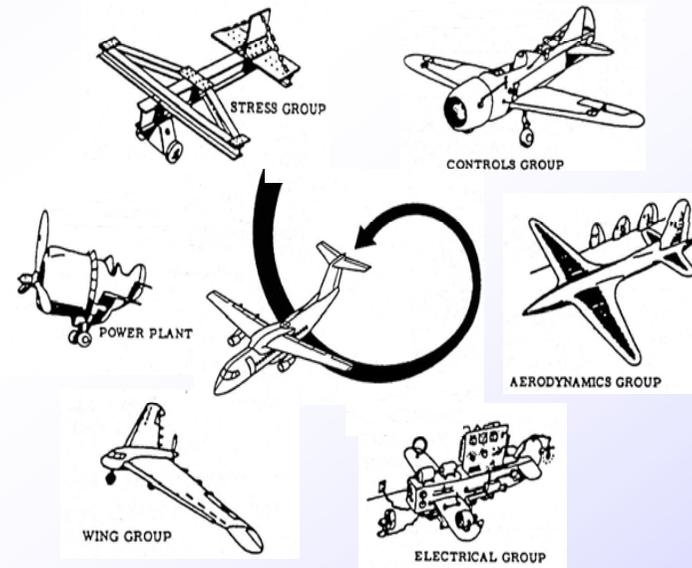
Source <http://windtunnels.arc.nasa.gov>

Migliaia di ore di prove in galleria del vento per supportare, fare da complemento e validare i risultati analitici e numerici. Le interazioni aerodinamiche fra le parti (ala-fusoliera) vengono accuratamente studiate.

**Wind tunnel test:**

**5500 hrs per A380**

**15000 hrs previste per il Boeing 787**



## THE PRELIMINARY DESIGN PHASE

Per ottenere il miglior design possibile **centinaia di variazioni parametriche** del velivolo devono essere analizzate.

Dimensionamento strutturale degli elementi strutturali: calcolo dello spessore delle parti metalliche o sequenza di laminazione dei compositi.

**Lofting** e generazione dei mockups (al giorno d'oggi principalmente digitali). L'uso di strumenti di modellazione in questa fase è molto importante:

- la geometria prodotta deve avere di qualità
- la capacità di collegarsi agli strumenti di analisi è critica (strumenti di analisi commerciali oppure sviluppati in-casa)

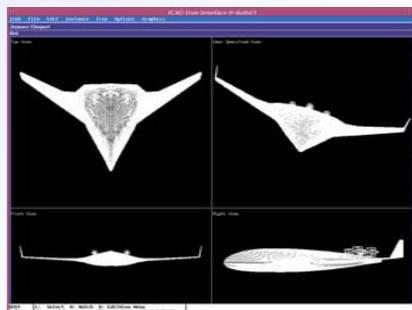
Va notato che a questo livello il design è "dimensionato" ed ottimizzato, ma non ancora **costruibile (buildable)**. I dettagli vengono progettati nella successiva fase.

**UNA VOLTA CHE IL DESIGN E' CONGELATO (FROZEN), LA FASE DI DESIGN DI DETTAGLIO (DETAIL DESIGN PHASE) PUO' INIZIARE**

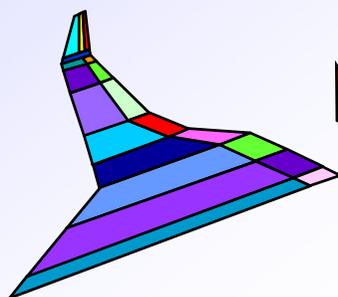
# THE PRELIMINARY DESIGN PHASE

L'uso di strumenti di modellazione per collegare gli strumenti di analisi è un aspetto critico.

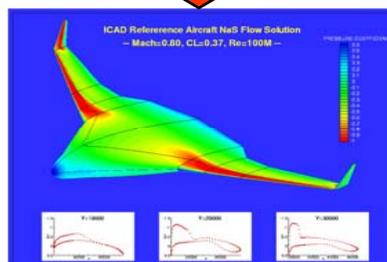
*Modelling tool*



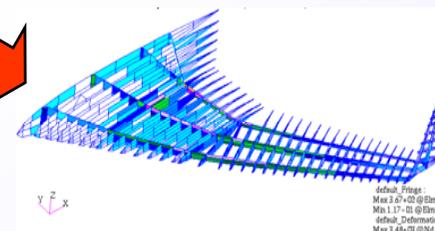
**DESIGN DISTRIBUITO**



*Flutter analysis tool*



*Aerodynamic analysis tool (CFD)*

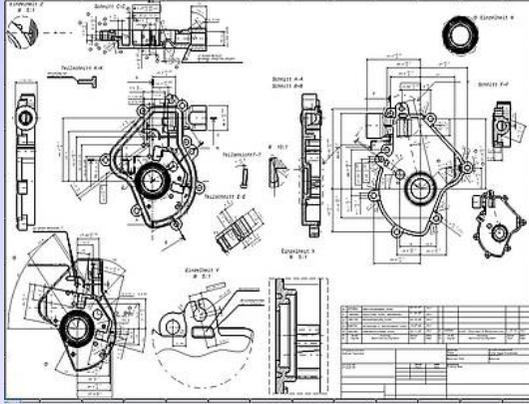


*Structural analysis tool (NASTRAN)*

La quantità di lavoro iterativo e non necessariamente fruttuoso in questa fase è enorme.

Va considerato che molto spesso la forza computazionale e l'esperienza è distribuita e non necessariamente collocata all'interno dell'azienda.

# DESIGN DI DETTAGLIO - THE DETAIL DESIGN PHASE



In questa fase **TUTTO**, fino all'ultimo rivetto deve essere progettato ed analizzato, prima di essere inviato alla produzione.

Design degli strumenti e macchine di produzione (tooling) e scheduling della produzione e dell'assemblaggio delle



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



Source [www.flightpaths.com.au](http://www.flightpaths.com.au)



Maggiori tests su componenti in scala 1:1 e dei sistemi

## DESIGN DI DETTAGLIO - THE DETAIL DESIGN PHASE

- E' solo in tale fase che caratteristiche quali fori, fori di accesso, tagli, vengono presi in considerazione.
- E' in questa fase che la quantità di persone che lavorano al progetto letteralmente esplode!
- Talvolta le macchine usate per costruire il prototipo vengono chiamate **soft tooling**. Sono spesso prototipi delle macchine e strumenti di produzione (**real production tooling**).
- Oggi c'e' la tendenza ad iniziare direttamente con i tools di produzione, per anticipare gli eventuali problemi.

## THE DETAIL DESIGN PHASE

La fase di design si chiude con la produzione del primo velivolo



Airbus A380 First flight - 27 April 2005, Toulouse

# SOMMARIO delle fasi principali del processo di design

## Conceptual design:

- Definizione degli obiettivi di prestazioni
- Valutazione dei possibili **competing concepts**
- Generazione di quante più possibili soluzioni concettuali (concepts)
- Selezione del **baseline design** (3 views + data)

Cosa guida il design?

Come appare?

Rispetterà i requisiti?

## Preliminary design:

- Studi parametrici
- Design rifinito del baseline design concept
- Design globale congelato con la possibilità di cambiare solo piccoli dettagli.

Uso di grandi codici      Mockups

Wind tunnel tests (15000 hrs)

"Accurate" Cost estimation



## Detail design:

- Design di dettaglio dell'intero velivolo fino all'ultimo dettaglio
- Stima accurata delle prestazioni
- Fine Messa a punto del progetto (Fine tuning of the design)
- Release dei disegni

Certificazione

Testing dei componenti/impianti

Manufacturing

Flight control system design

## Le fasi principali del processo di design

Conceptual design:

*Time: Weeks → months*

**1 %**



Preliminary design:

*Time: months → months/years*

**9 %**



Detail design:

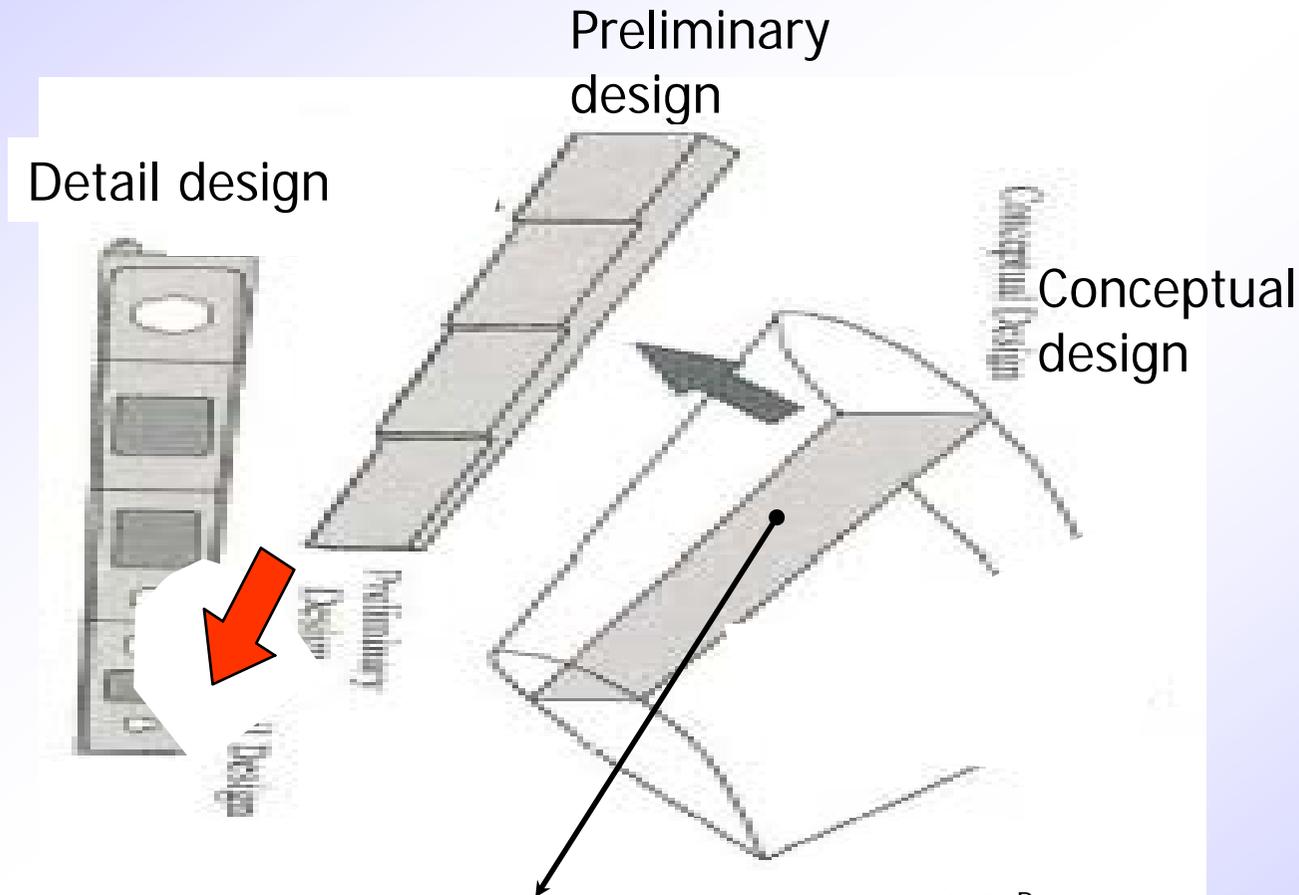
*Time: years*

**90 %**



N.B. La quantità di ore-uomo (man hours) impiegate oggi per la fase di design concettuale è pari al tempo impiegato per avere un aeroplano completo fino alla produzione negli anni '40.

## Esempio dell'evoluzione dei componenti strutturali durante le fasi del processo di design

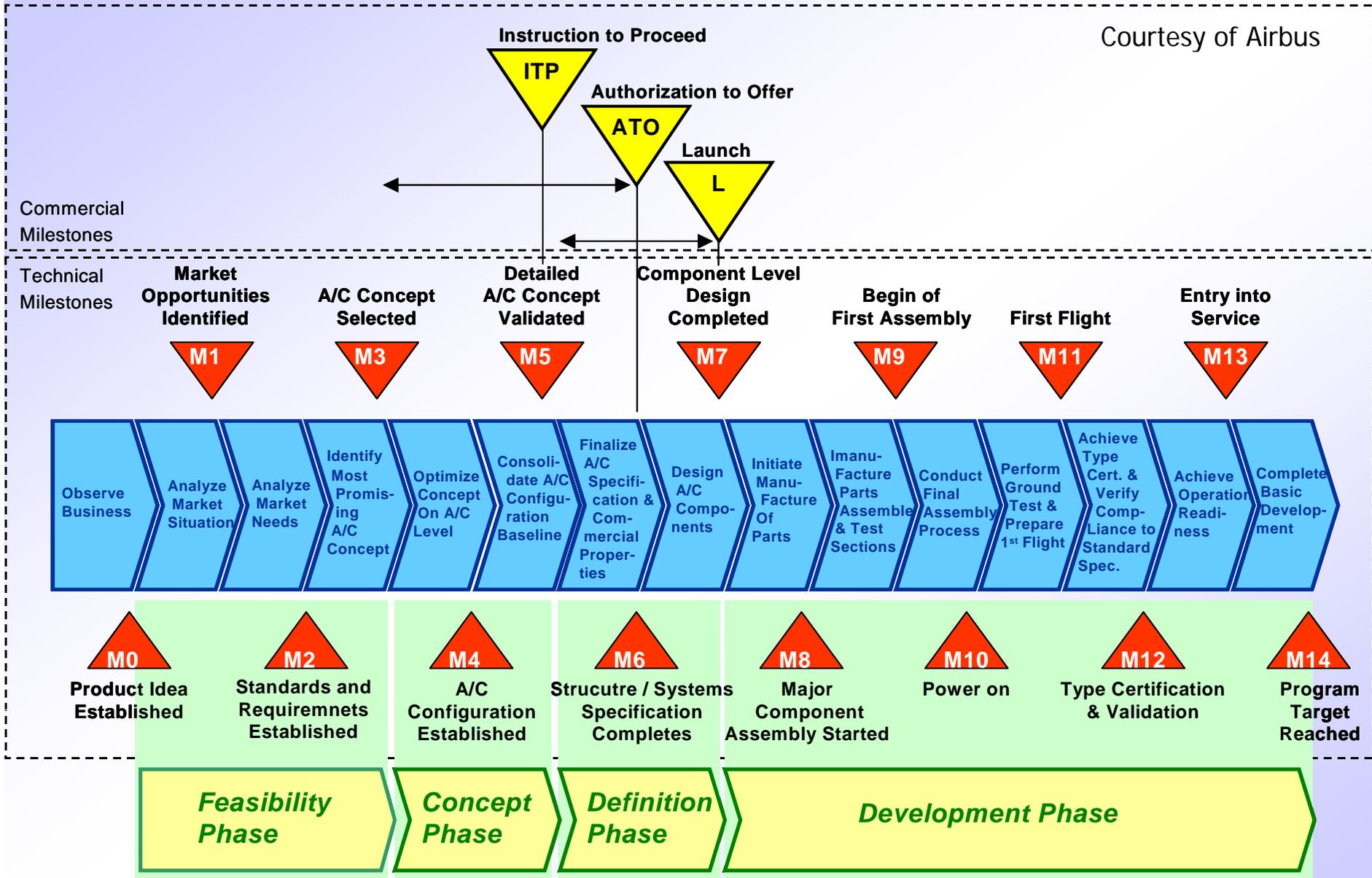


source Raymer

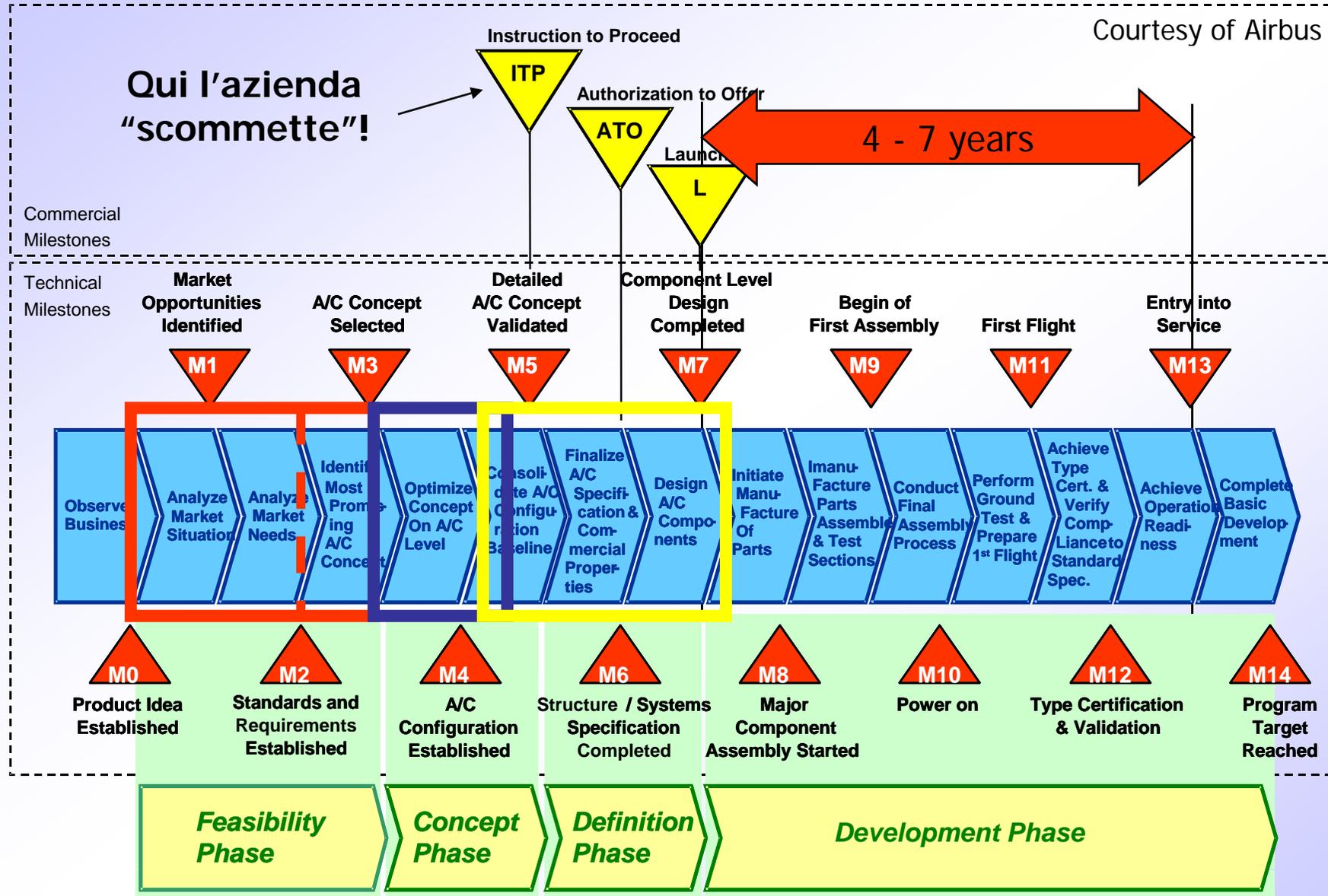
**Longherone anteriore  
(wing front spar)**

# Esempio del programma di sviluppo di un velivolo in AIRBUS

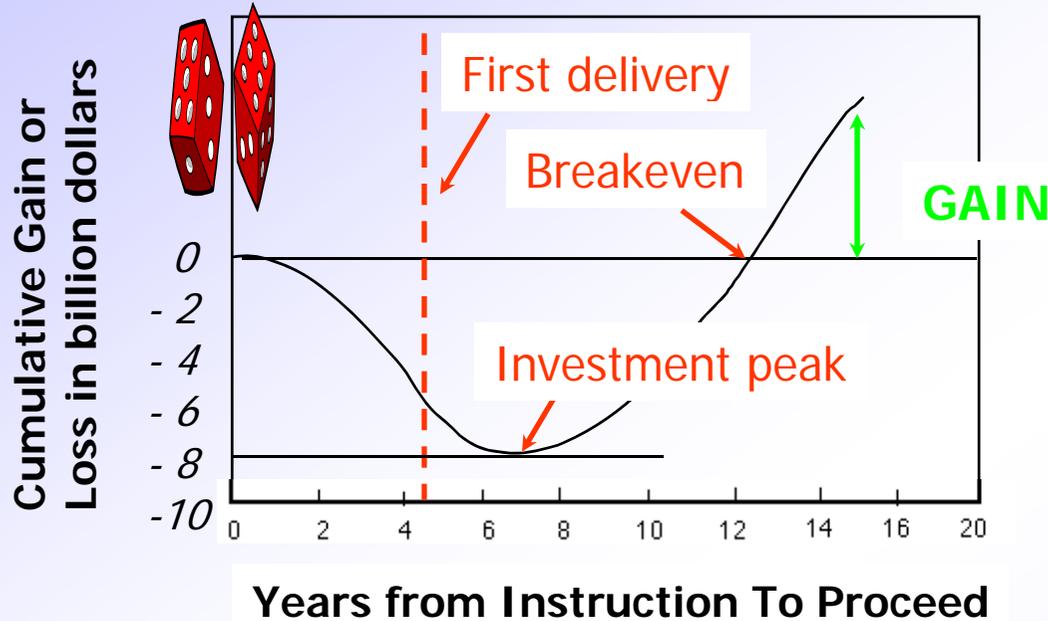
Courtesy of Airbus



# Esempio del programma di sviluppo di un velivolo in AIRBUS



*Qualcuno dice : "Sei vuoi fare una PICCOLA fortuna, prendi una bella cifra ed investila nell'aviazione!"*



⇒ Tipico investimento per lo sviluppo di un nuovo "large" aircraft vicino a 10 miliardi di dollari (**10 billion USD**)  
⇒ Meno di 1 billion per uno small regional jet !  
=> **20–40 billion USD** richiesti per lo sviluppo di un velivolo da combattimento (EFA, JSF)



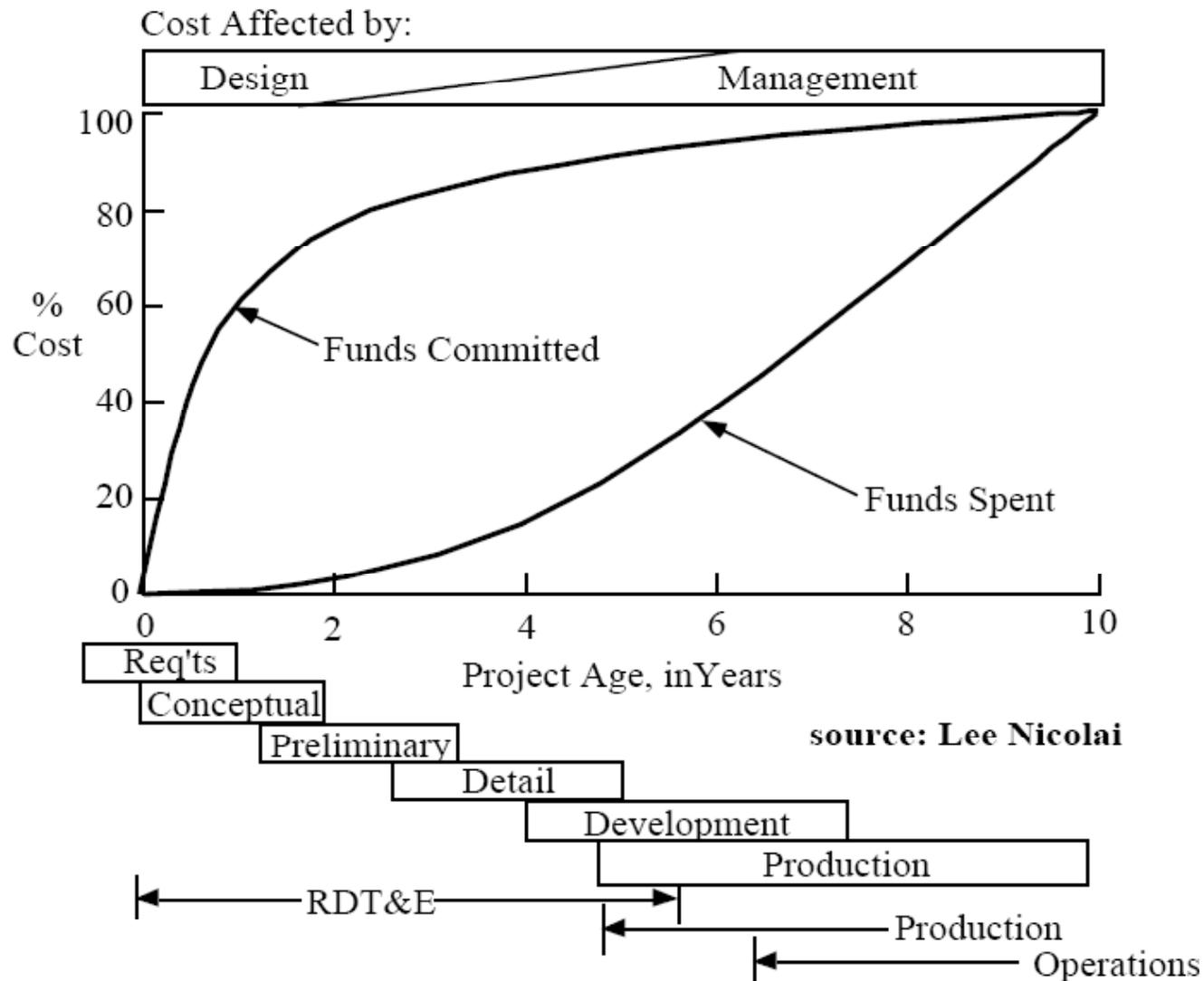
Tipico tempo richiesto dal lancio ufficiale alla prima consegna **4 – 7 anni** (primo volo un anno prima). Il progetto di sviluppo del velivolo A380 ha richiesto circa **12 anni** dal tempo M0 alla prima consegna. 20 anni per l' EFA. **16 years** (first delivery expected in 2011) per il JSF F35.

*Qualcuno dice :“Sei vuoi fare una PICCOLA fortuna, prendi una bella cifra ed investila nell’aviazione!”*

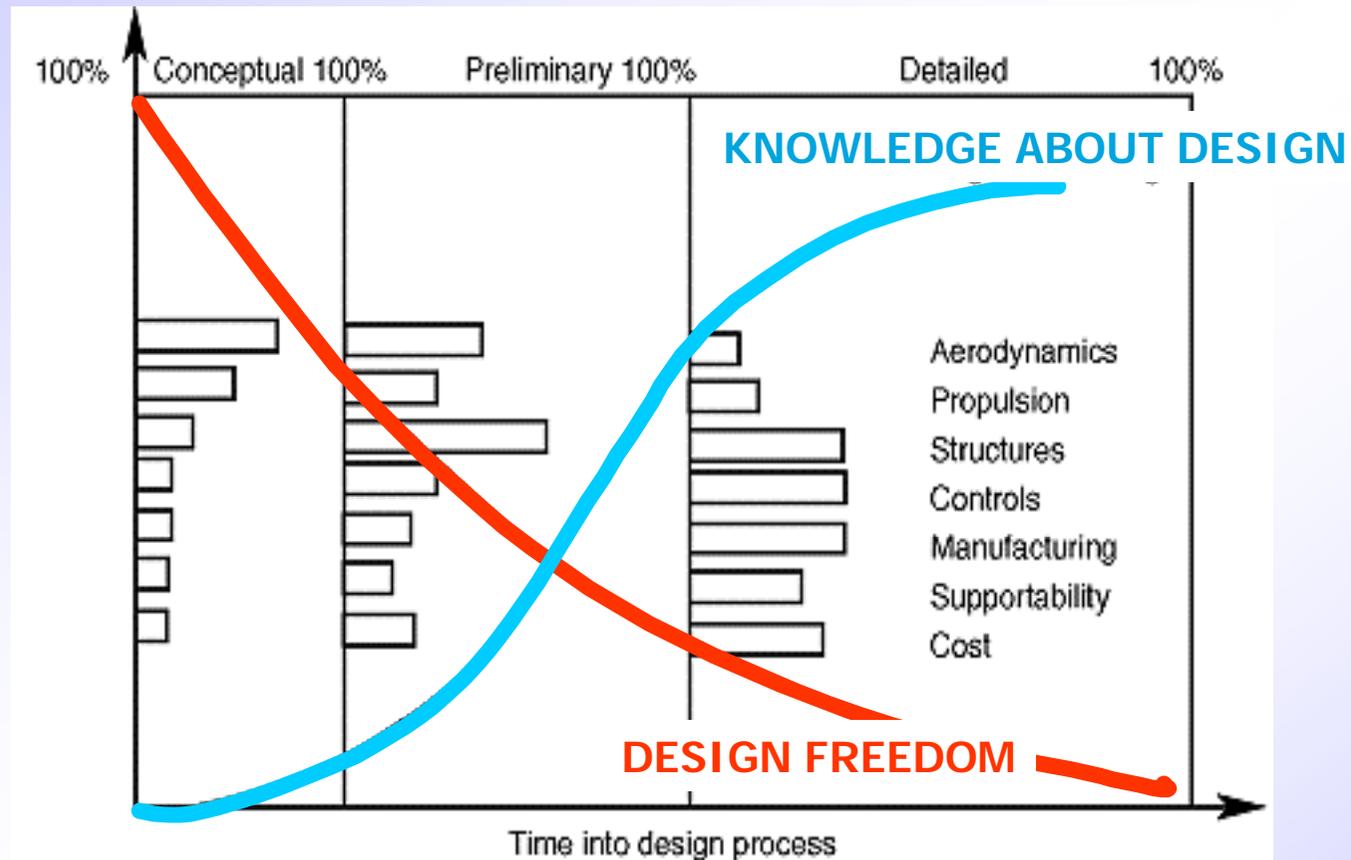
Some data from Janes:

- A380: primi studi inizio anni 90. Go-ahead 1999. Primo volo 2005, unit cost circa 256 milioni \$
- A340: 3 miliardi \$ costo di sviluppo. 160-186 milioni \$ per unità
- New A350: costo di sviluppo 4,5 -7 miliardi \$
- Embraer 170/190 regional jet: costo di sviluppo 850 milioni USD
- 777: 4 miliardi costo di sviluppo, 218-245 milioni USD unit cost
- 787 Più del 40% di risk sharing (anche Alenia partecipa attivamente al progetto) Nei progetti precedenti nono superava il 30%. Primo studio nel 2001. Entrata in servizio nel 2008. Costo stimato di sviluppo 7-10 miliardi di \$. Stimato unit cost 120 milioni \$
- JSF: request for proposal dec. 95. Go-ahead 2001
- Eurofighter 21 miliardi \$ development costs

# L'impatto del processo di design sul total aircraft life cycle cost

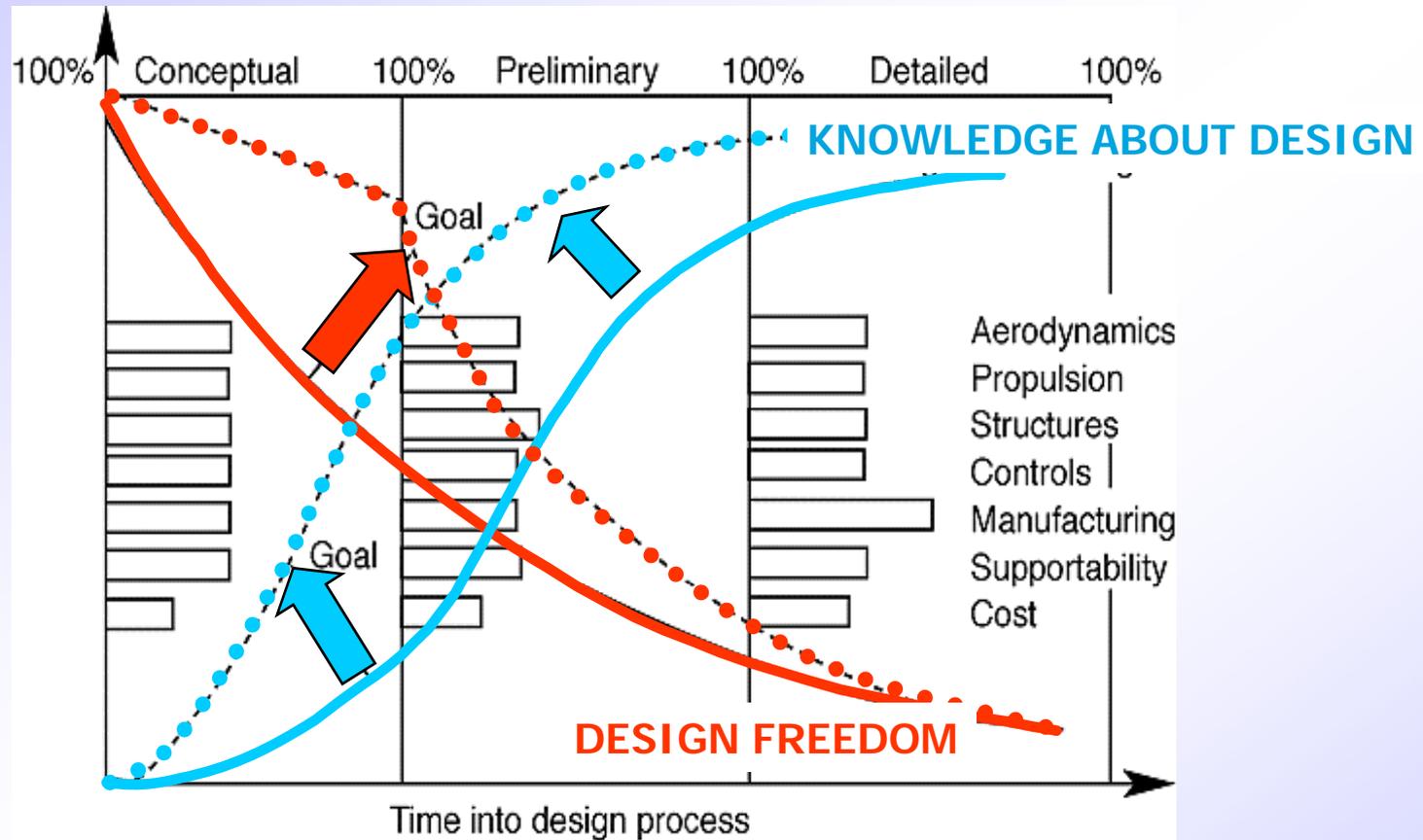


# Livello di conoscenza del progetto vs. libertà nel design



Si noti il peso sbilanciato delle varie discipline nelle varie fasi del processo di design

# Livello di conoscenza del progetto vs. libertà nel design



## L'obiettivo del MDO (Multi Disciplinary Optimization) e dell'approccio Integrated Product Team

**Knowledge Based Engineering (KBE)** è la chiave tecnologica per rendere applicabile l'MDO. Si noti come la differenza tra le varie fasi diventa meno accentuata. Le tecnologie (come la KBE) che rendono possibile lo shift delle curve possono essere considerate le Micro S-curve che permettono la maggiore svolta decisiva nella storia dell'aeronautica. Questa volta una svolta nel processo di design !