

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

Relazione per la prova finale

***«Analisi della stabilità statica nei velivoli con ala a delta:
applicazione al
caso dello Space Shuttle nelle fasi di rientro e atterraggio»***

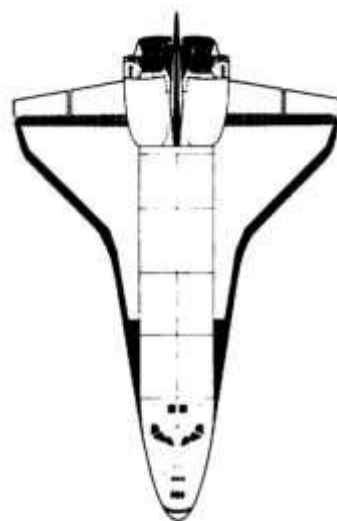
Tutor universitario: Dott. Ing. Federico Toson

Laureando: *Samuele Coraiola*

2067903

Padova, 24/07/2026

Introduzione: grazie alla sua ala delta, lo Space Shuttle Orbiter rappresenta un caso estremo di stabilità statica, operando da Mach 25 fino all'atterraggio subsonico senza spinta propulsiva.



TOP VIEW



FRONT VIEW

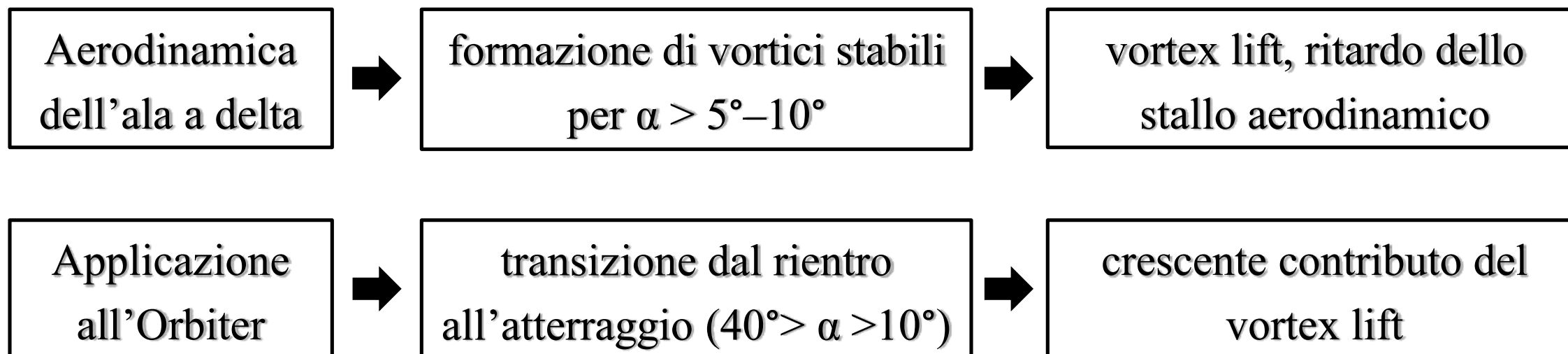


REAR VIEW

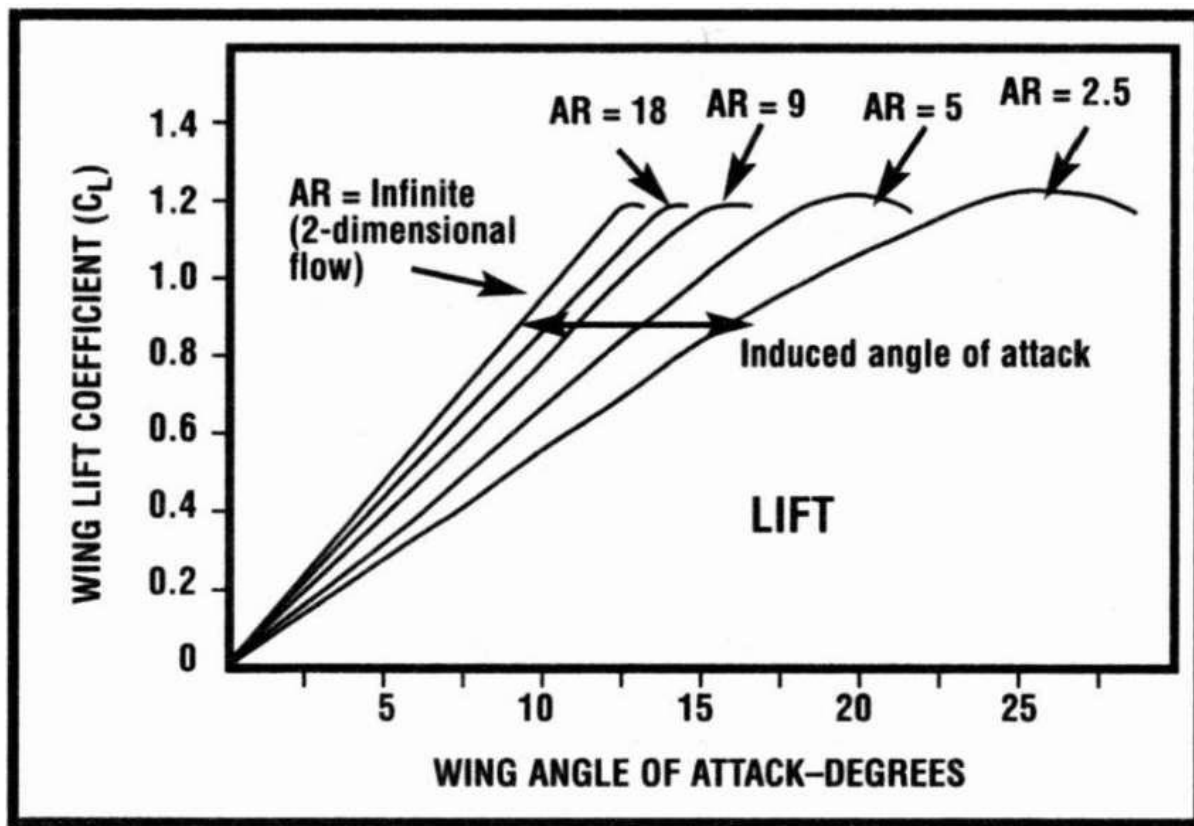


BOTTOM VIEW

Obiettivi: analizzare il comportamento in termini di stabilità statica dello Space Shuttle Orbiter durante le fasi di rientro e atterraggio, dopo aver approfondito le peculiarità aerodinamiche dell'ala a delta.

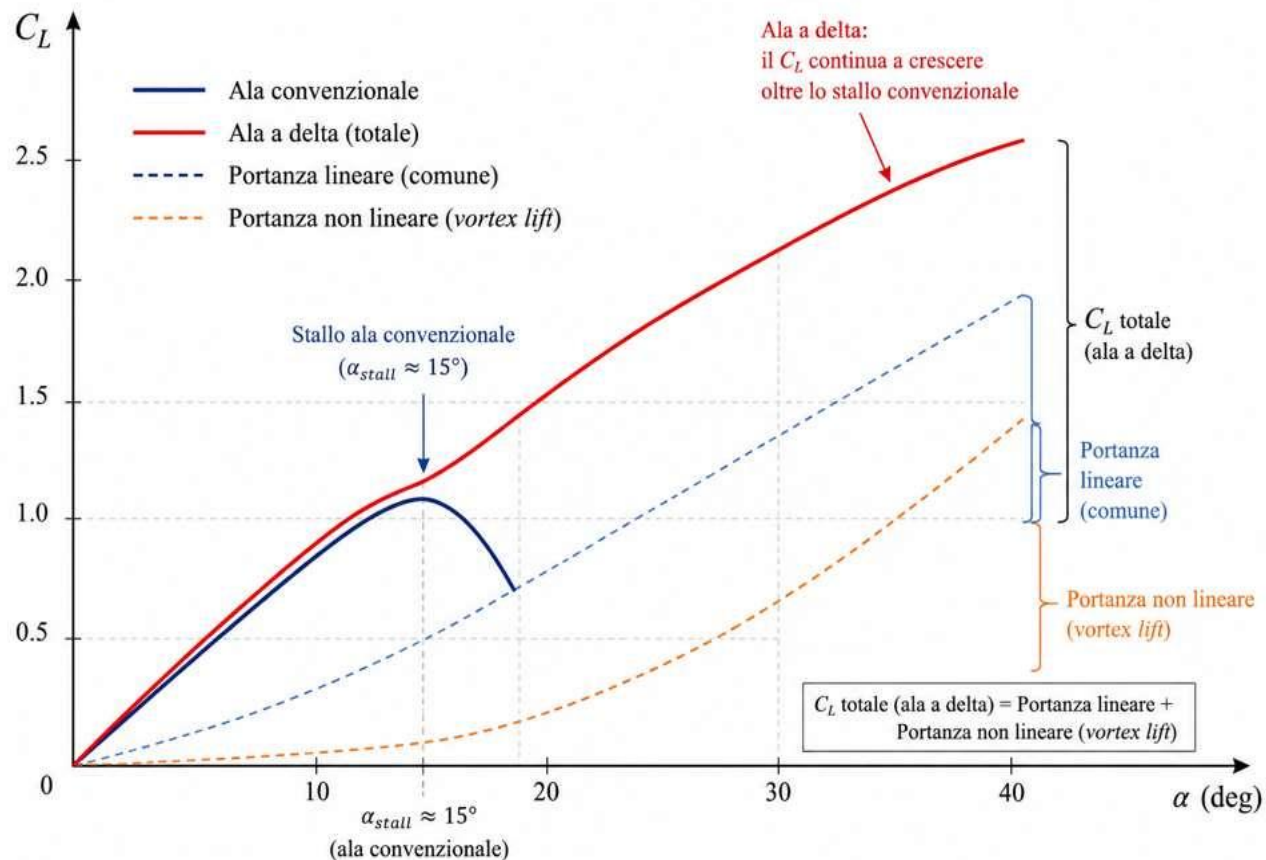


I parametri geometrici caratteristici che definiscono questa configurazione sono:



- Basso aspect ratio (AR)
- Ampia superficie alare
- Elevato angolo di freccia
- Bordo d'attacco affilato
- Grande corda alare
- Assenza o riduzione del piano di coda orizzontale

Vortex Lift: portanza aggiuntiva generata dalla depressione della coppia di vortici sul dorso alare, che si somma al contributo del flusso aderente e ritarda lo stallo ad α elevati.



- incremento di C_L per valori di α elevati

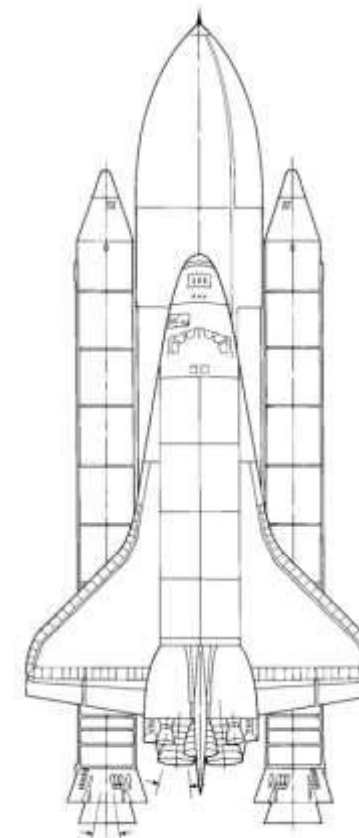
- all'incremento di portanza è associato un aumento della resistenza indotta

Configurazione Tailless – delta:

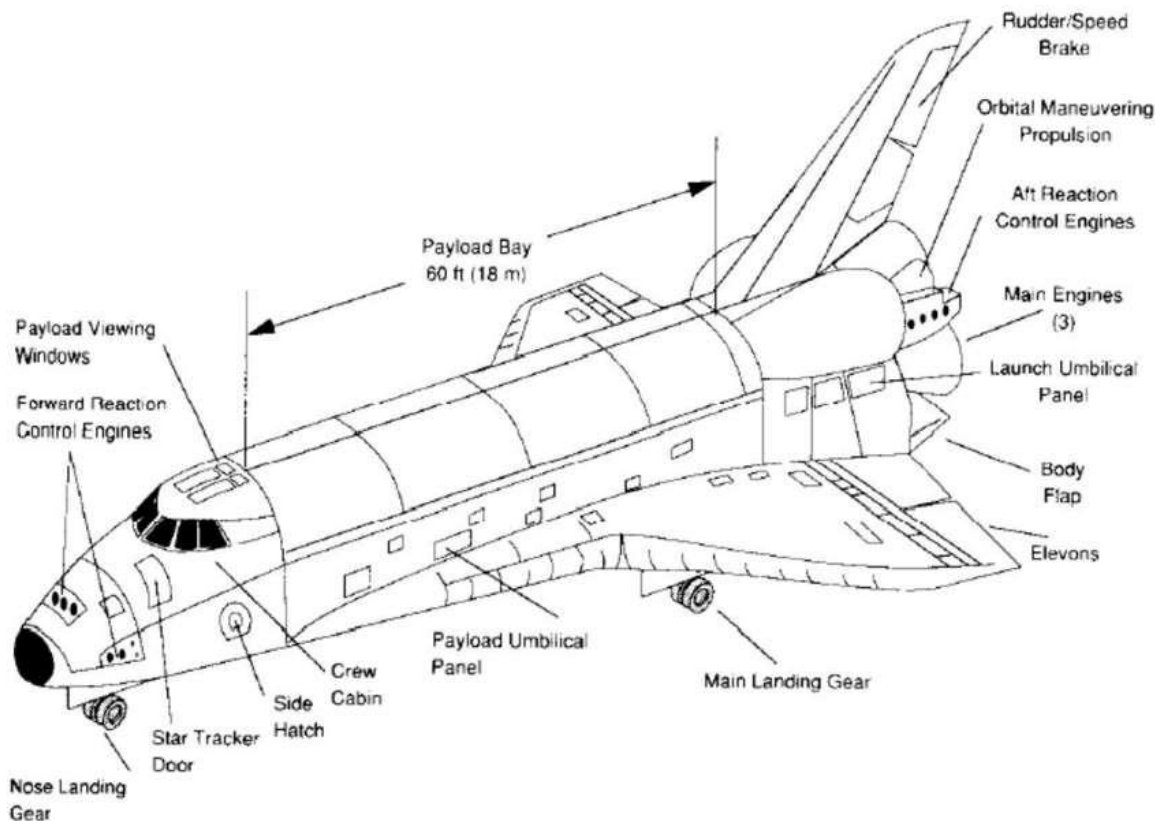
- risparmio in termini di peso
- minore resistenza aerodinamica parassita
- stabilità garantita unicamente dall'ala principale

Ala a doppia delta ogivale:

- doppia freccia alare: 81° (sezione interna) e 45° (sezione esterna)



Superfici di controllo: il controllo dell'Orbiter durante il rientro e l'avvicinamento è affidato a tre superfici di controllo integrate nella struttura alare e nella fusoliera.

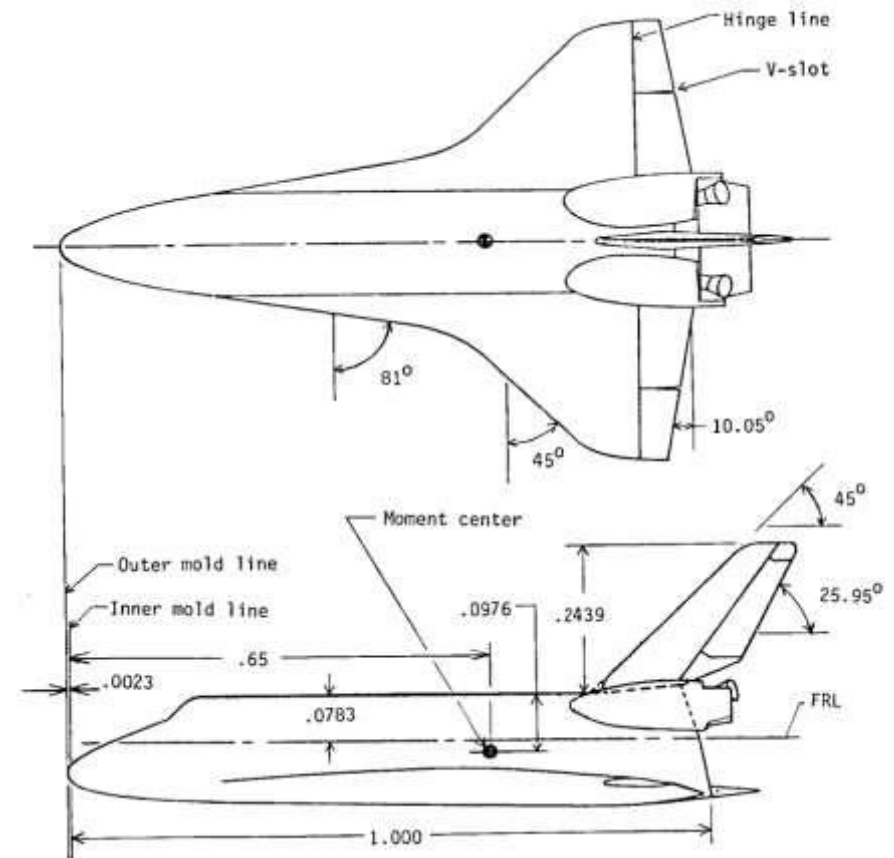


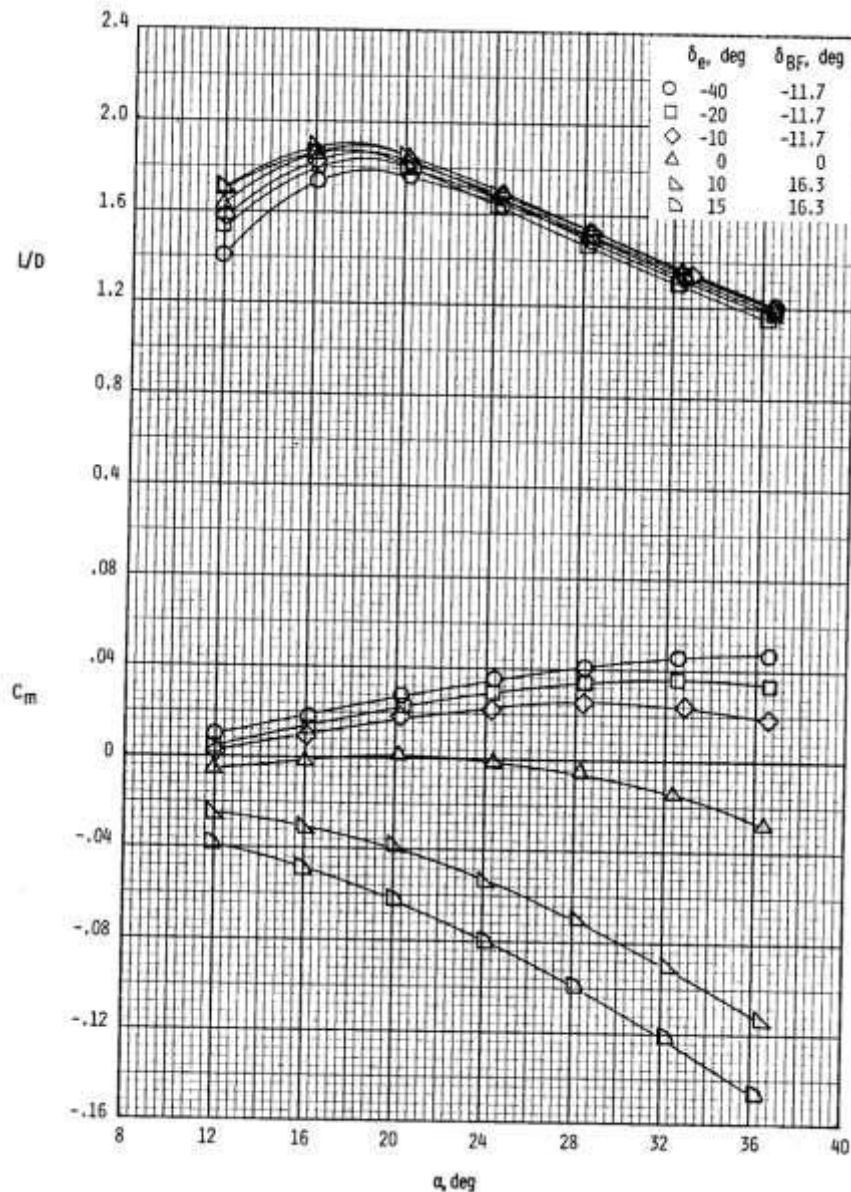
- il body flap
- lo split rudder/speed brake
- gli elevoni

Test sperimentali (NASA, 1979):

- modello in scala 1:100 (configurazione 140A/B Space Shuttle Orbiter)
- galleria del vento a flusso indisturbato a Mach 10.3

Modello 140A/B Space Shuttle Orbiter:
configurazione di design aerodinamico che
include le tre superfici di controllo dell'Orbiter



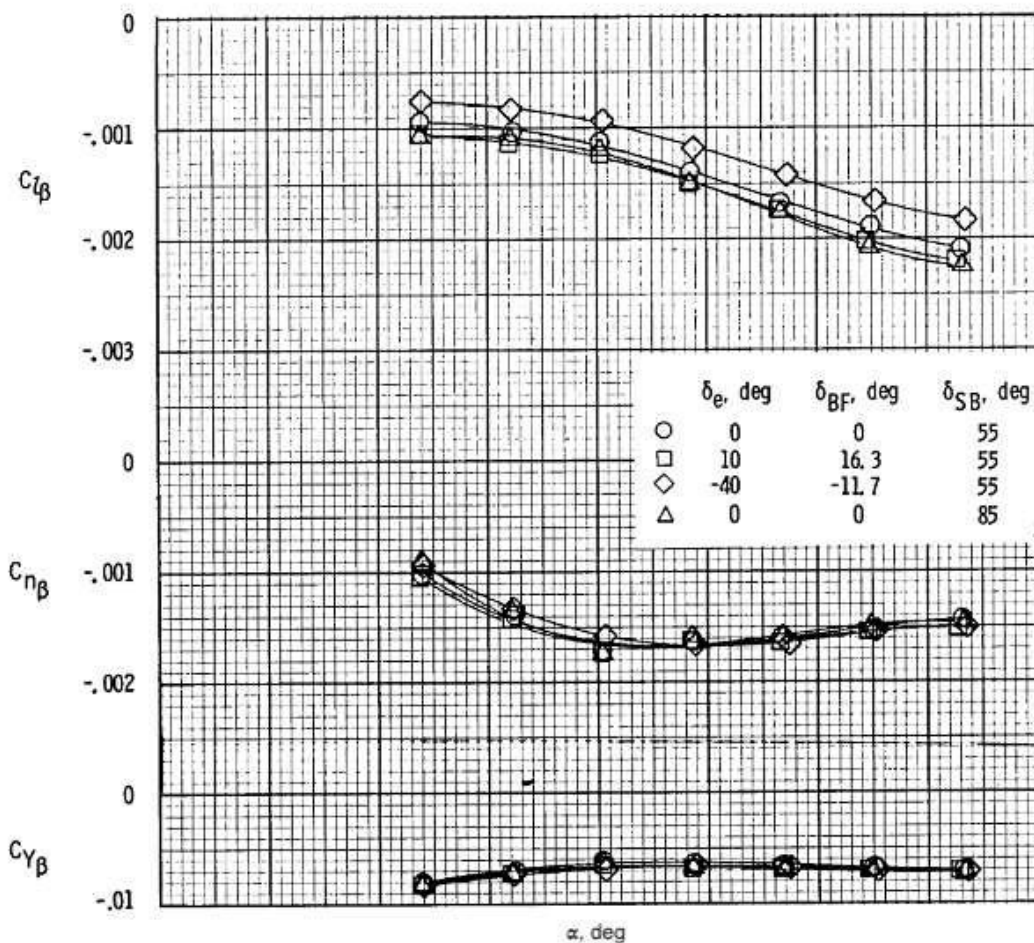


Risultati:

- baricentro al 65% $\rightarrow$ stabilità neutra per $\alpha \approx 20^\circ$ (comandi a 0°)
- valori massimi di L/D tra 1,90 e 1,78 (per $\alpha = 16^\circ$ – 20°)
- deflessione elevoni negativa $\rightarrow$ trim stabile ($L/D \approx 1,40$)
- il body flap aumenta il controllo sul C_m senza penalizzare L/D

Risultati:

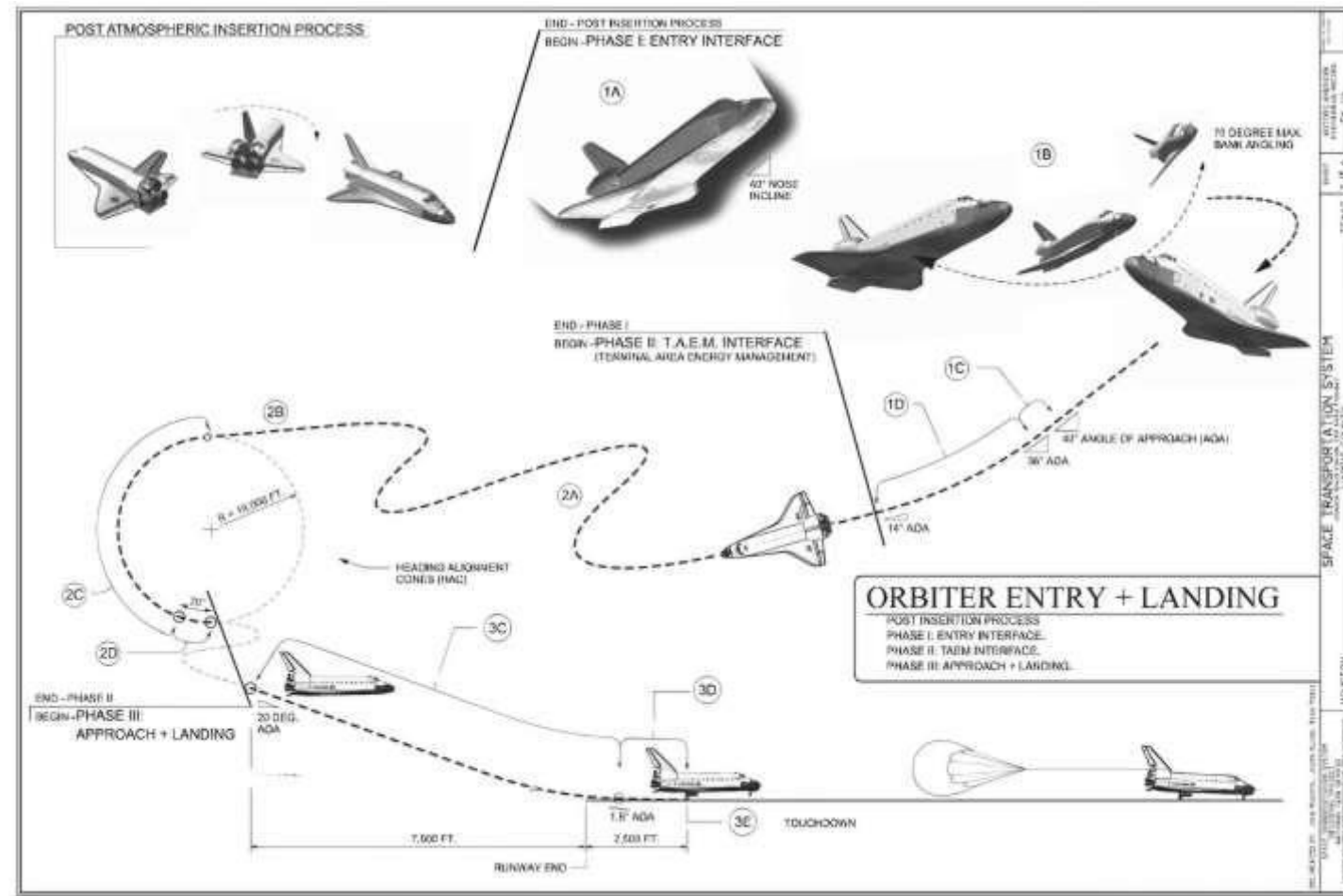
- andamento lineare dei coefficienti C_l , C_n , C_Y per β fino a -5°
- intrinseca instabilità statica direzionale ($C_{n\beta} < 0$)
- effetto diedro positivo ($-C_{l\beta} > 0$), stabile su tutto il range di α



Fase di lancio: decollo verticale → distacco booster e serbatoio esterno

Fasi di rientro:

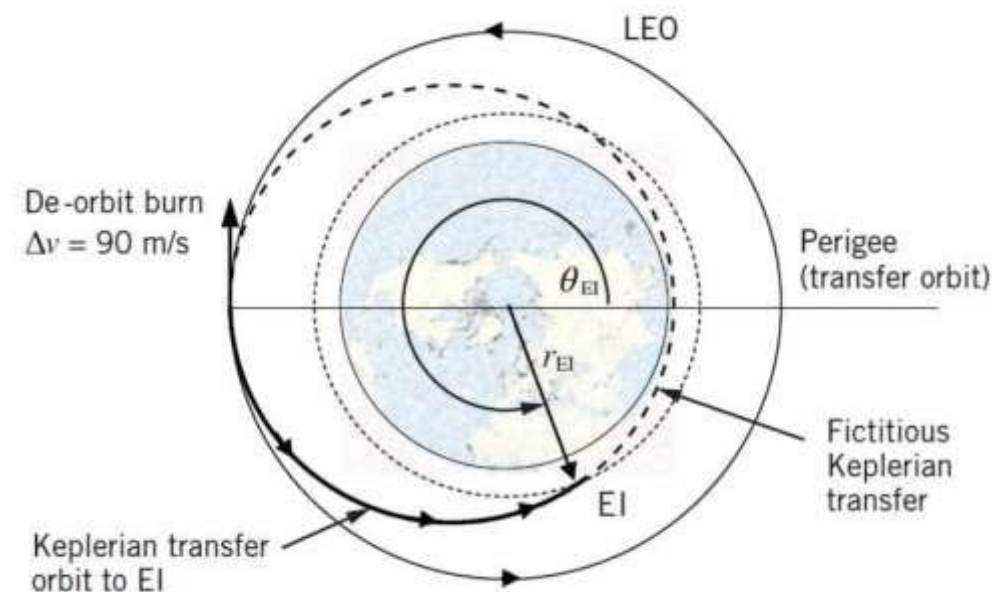
1. De-orbit burn
2. Entry Interface
3. Roll Reversal
4. TAEM



- **De-orbit burn:** accensione OMS, $\Delta v \approx 90$ m/s, durata ~ 3 min
- Riduzione del perigeo e rotazione con prua verso l'alto

- **Entry Interface (EI):** quota ~ 120 km e velocità $\approx$ Mach 25

- Configurazione: $\alpha = 40^\circ$, bank angle = 0° (fino a ~ 80 km) $\rightarrow$ freno aerodinamico + protezione termica



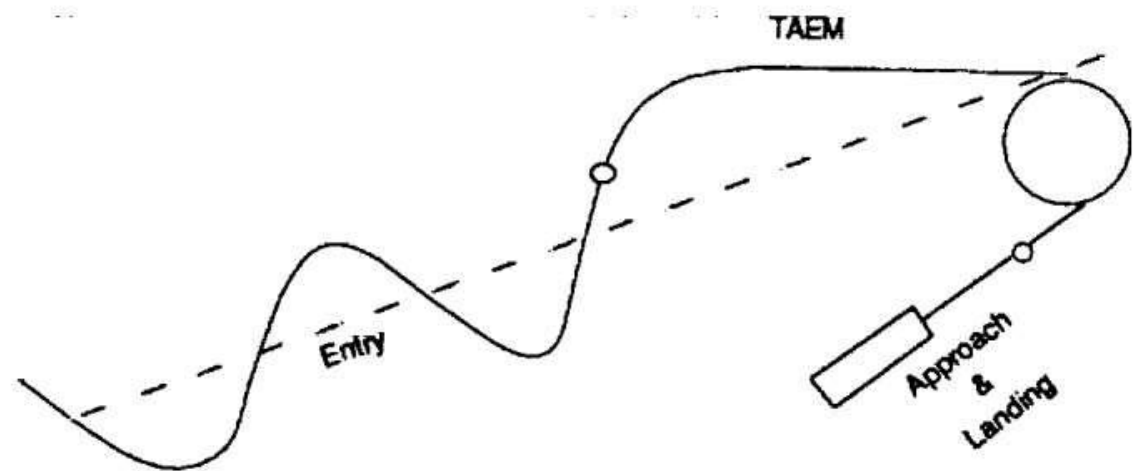
Roll Reversals: virate a "S" (bank angle fino a 70°)

- Dissipazione energia extra e correzione della rotta laterale

TAEM: Mach 2.5 (quota ~ 82.000 ft, distanza ~ 111 km dalla pista)

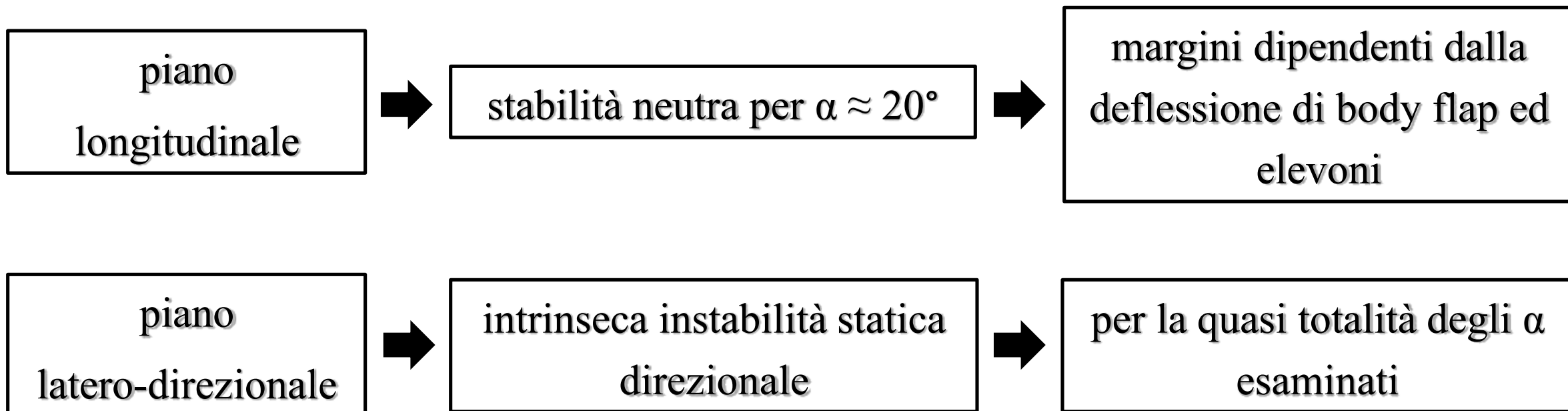
Avvicinamento in due tratti:

- Outer Glide Slope (20°)
- Inner Glide Slope (1.5°)
- Flare finale e touchdown sulla pista



Il presente elaborato ha permesso di analizzare e individuare le caratteristiche di stabilità statica dovute all'impiego dell'ala a delta al caso dello Space Shuttle Orbiter.

Attraverso l'analisi dei dati sperimentali, è emerso che:



- B. Etkin, Dynamics of Flight: Stability and Control, John Wiley & Sons, New York, 1959.
- NASA, Aerodynamic Characteristics of the 140A/B Space Shuttle Orbiter at Mach 10.3, Technical Memorandum 80086, P. T. Bernot, Langley Research Center, 1979.
- D. P. Raymer, Aircraft Design: A Conceptual Approach, 2^a edizione, AIAA Education Series, Washington D.C., 1992.
- T. E. Moore, Space Shuttle Entry Terminal Area Energy Management, NASA Technical Memorandum 104744, Lyndon B. Johnson Space Center, 1991.
- NASA, Space Shuttle News Reference, National Aeronautics and Space Administration, 1981.
- United Space Alliance/NASA Johnson Space Center, Entry, TAEM and Approach, documento USA005512, rev. 21002 Basic, 2006.