

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale
«Tecniche e Sistemi di Perforazione
Spaziale: Analisi, Caratteristiche e
Applicazioni alla Superficie Lunare»***

Tutor universitario: Prof. Mirco Zaccariotto

Laureando: Pavanello Tommaso

Padova, 17/09/2026

Il Ruolo della perforazione spaziale:

- Ricerca scientifica
- ISRU: In-Situ Resource Utilization

Obiettivo della tesi:

- Analisi sulle tecniche e sulle criticità nella perforazione
- Descrizione delle missioni sulla superficie lunare
- Descrizione delle missioni su altri corpi spaziali



Tipi:

- Rotativa
- Percussiva
- Roto-Percussiva

Criticità nella Perforazione a Terra:

- Asportazione del materiale in eccesso
- Stabilizzazione della parete del foro
- Effetti dell'attrito

Criticità nella Perforazione Spaziale:

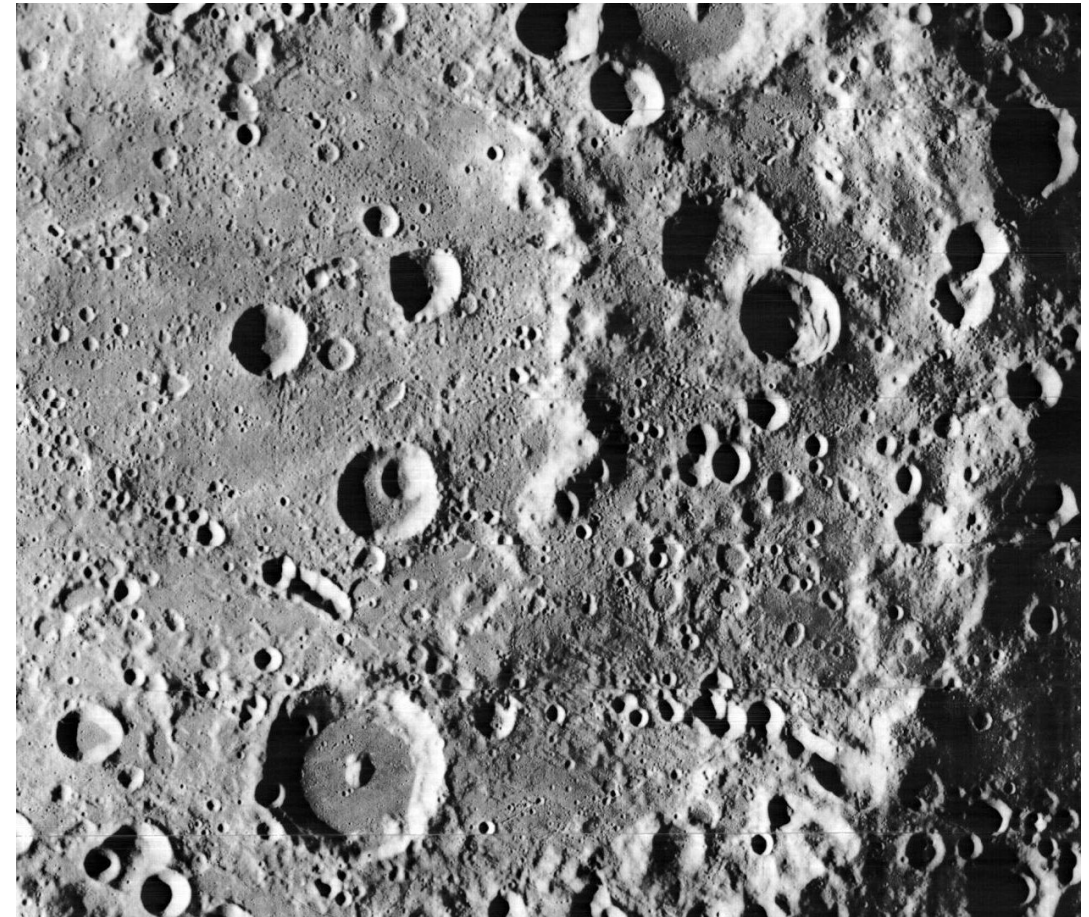
- Assenza di atmosfera
- Ridotta o assente gravità
- Differenze di temperatura estreme
- Radiazioni
- Polveri
- Altre criticità

Ambientali

- $g_{\text{luna}} = 1,62 \text{ m/s}^2$
- Concentrazione di molecole: $10^{10} \text{ molecole/m}^3$ di giorno e $2 \times 10^{11} \text{ molecole/m}^3$ di notte
- Pressione: $1,33 \times 10^{-8} \text{ Pa}$ di giorno e $2,666 \times 10^{-10} \text{ Pa}$ di notte
- Differenza di temperatura: 310°C
- Radiazioni
- Polveri lunari

Superficiali

- Densità e coesione crescenti con la profondità
- Regolite formata da particelle di forma spigolosa e irregolare



ALSD (Apollo Lunar Surface Drill)

- Utilizzato nelle missioni 15, 16 e 17
- Trapano roto-percussivo
- Profondità prevista: 3 m
- Diametro del foro: 2,5 cm
- Potenza di funzionamento: 430 W

Problematiche riscontrate nell'utilizzo dell'ALSD nella missione Apollo 15:

- Difficoltà nel rilascio delle aste di perforazione dall'adattatore del trapano
- Danno all'asta di perforazione vicino al primo giunto
- Difficoltà nella rimozione dell'asta di carotaggio dal foro praticato nella superficie lunare
- Problemi nella separazione delle sezioni delle aste di carotaggio



ALSD

Core Tube

- Utilizzati nelle missioni Apollo 11, 12 e 14
- In alluminio
- Profondità: 40 cm
- Diametro esterno: 2,8 cm

Drive Tube

- Utilizzati nelle missioni Apollo 15, 16 e 17
- In alluminio
- Profondità: 42 cm
- Diametro esterno: 4,4 cm



Core Tubes



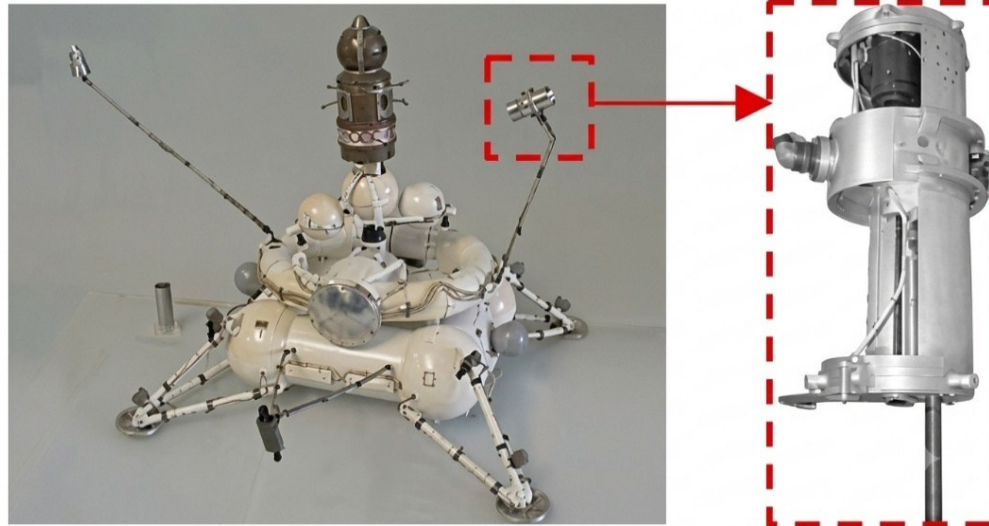
Drive Tube

Missioni Luna 16 e Luna 20:

- Sistema rotativo
- Profondità foro: 35 cm
- Diametro foro: 8 mm

Missione Luna 24:

- Sistema LB-09
- Sia rotativo che roto-percussivo
- Profondità prevista: 3 m
- Diametro del foro: 1 cm
- Potenza di lavoro: 550 W



Sistema delle missioni Luna 16 e Luna 20



LB-09

Missioni Chang'e-5 Chang'e-6:

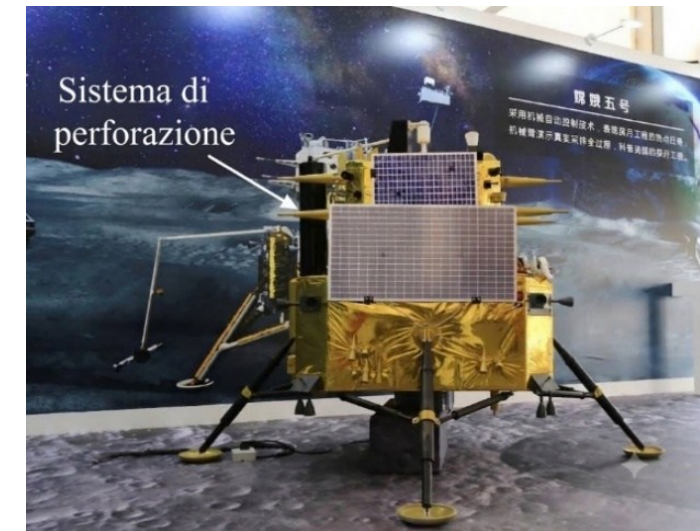
- Sistema roto-percussivo
- Profondità prevista: 2 m
- Diametro esterno del foro: 3,8 cm
- Potenza massima di lavoro: 800 W

Punta formata da:

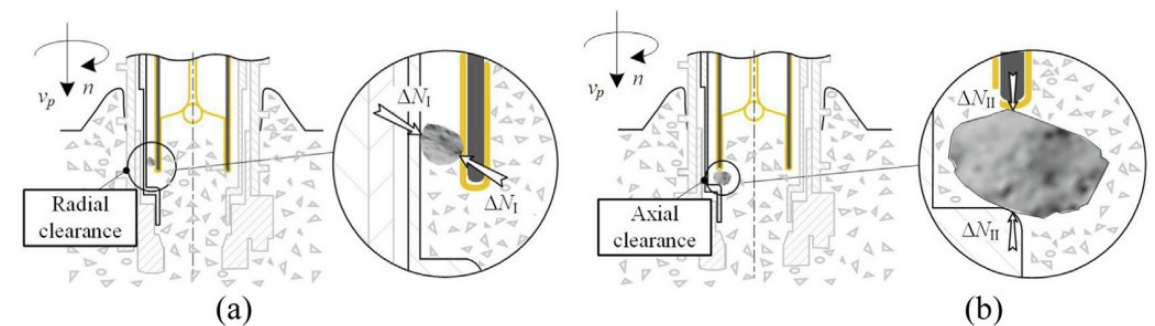
- Tubo esterno
- Tubo interno
- Soft Tube

Problemi nella Missione Chang'e-5:

- Ostruzione del gioco tra Soft Tube e tubo interno



Lander utilizzato nelle due missioni



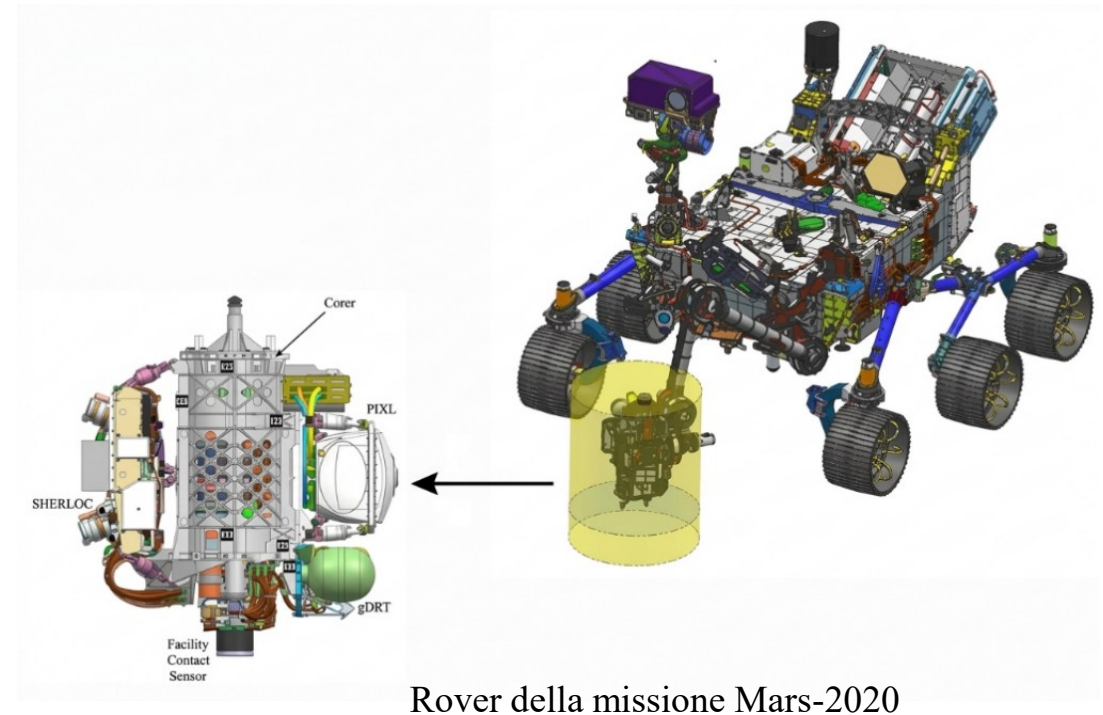
Ostruzione di tipo radiale (a) e di tipo assiale (b)

Missione Mars-2020:

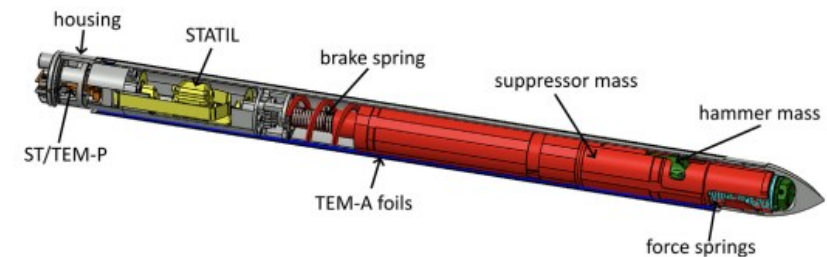
- Sistema roto-percussivo
- Profondità del foro: 7,6 cm
- Diametro: 1,3 cm

Missione Insight:

- Utilizzo della «Talpa»
- Lunghezza della Talpa: 40 cm
- Diametro della Talpa: 2,7 cm
- Profondità prevista: 5 m
- Profondità raggiunta: 40 cm



Rover della missione Mars-2020



Talpa

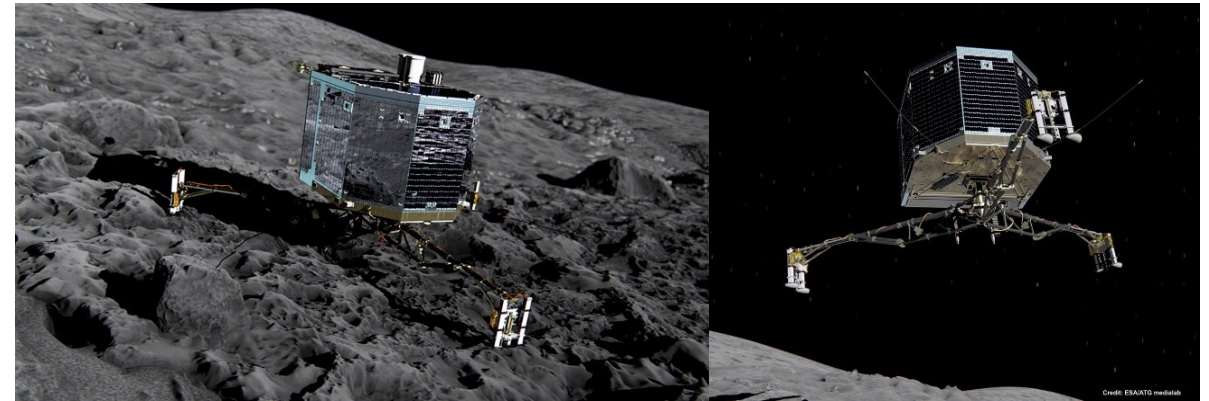
Missione Rosetta:

- Sistema puramente rotatorio
- Profondità foro: 23 cm
- Diametro foro: 1,2 cm

Il sistema di ancoraggio era formato da:

- Un piccolo propulsore
- Tre viti
- Due arpioni

Il propulsore e i due arpioni non funzionarono correttamente, compromettendo la riuscita della missione.



Missione Rosetta

Missioni Hayabusa:

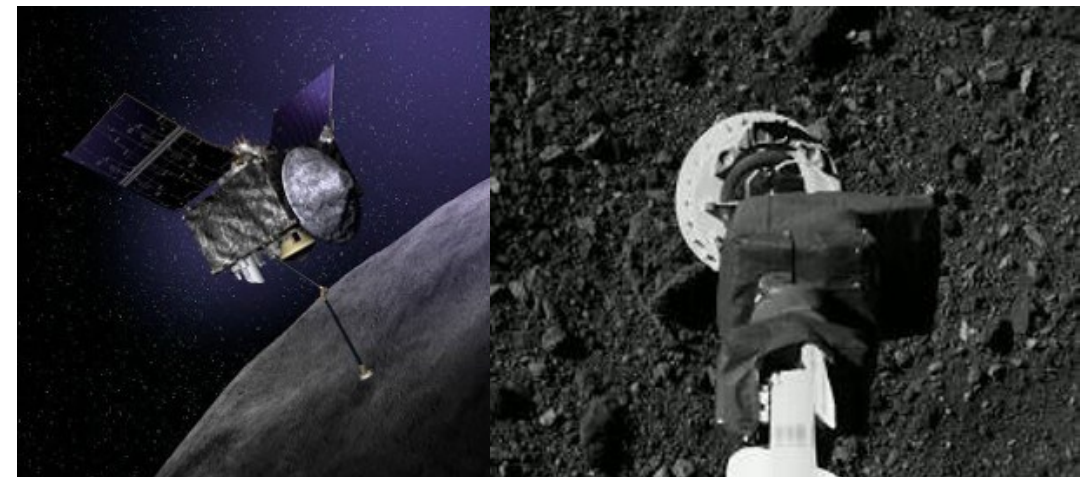
- Campionamento tramite proiettile
- Raccolta dei frammenti tramite corno di campionamento

Missione OSIRIS-Rex:

- Campionamento pneumatico tramite una testa di campionamento montata su un braccio robotico
- Utilizzato anche azoto gassoso per permettere il campionamento
- Profondità raggiunta: 50 cm



Sonda della missione Hayabusa



Missione OSIRIS-Rex

Differenze di priorità in fase di progettazione:

- Corpi di piccole dimensioni → Priorità data al sistema di ancoraggio
- Corpi di dimensioni maggiori → Priorità al sistema di perforazione

Evoluzione nelle tecniche di campionamento:

- Sistemi di perforazione «classici» rotativi e roto-percussivi,
- Talpa
- Campionamento tramite proiettile nella missione Hayabusa
- Sistema pneumatico utilizzato nella missione OSIRIS-Rex