

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale
«Marte e la missione Mars Sample Return»***

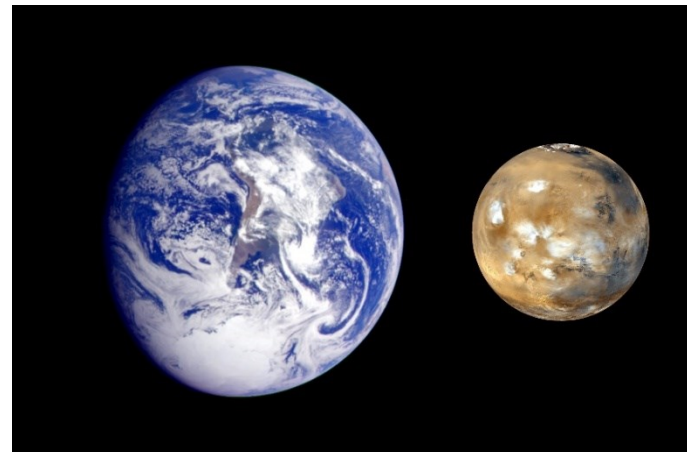
Tutor universitario: Prof. Bettanini

Laureando: *Giulio Galletti*

Padova, 13/03/2024

Descrivere in generale il pianeta Marte e analizzare un importante programma spaziale presente e futuro: il Mars Sample Return

	Terra	Marte
Distanza media dal Sole (~)	149 milioni di km	239 milioni di km
Velocità orbita attorno al Sole (~)	29,77 km/h	23,33 km/h
Diametro medio (~)	12753 km	6790 km
Inclinazione asse	23.5 gradi	25 gradi
Anno solare	365.25 giorni	669 sols o 687 giorni terrestri
Giorno	23 ore 56 minuti	24 ore 37 minuti (1 sol)
Gravità	1 G	0.375 di quella terrestre
Temperatura media (~)	13,89 °C	-62,78 °C
Atmosfera	Azoto, Ossigeno, Argon, Altri	Principalmente CO ₂ , poco vapore acqueo
Lune	1 : Luna	2: Phobos, Deimos



3.A



3.C

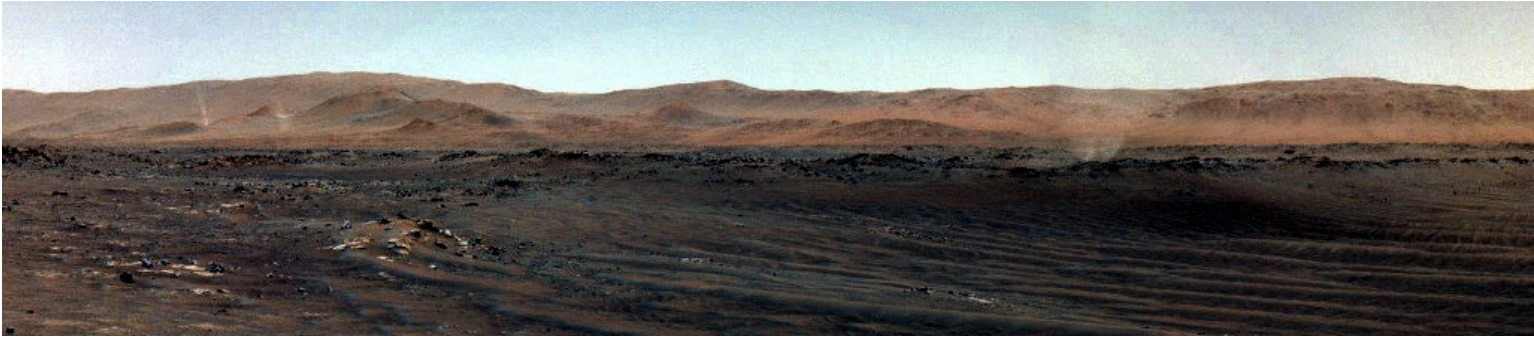


3.D



3.B

4.A



4.B



Atmosfera attuale

Composizione

96% CO₂, 4% altri gas, tra cui vapore acqueo

Pressione

606 Pa (0,6% di quella terrestre: 101000 Pa)

Nessun Campo Magnetico

Presenza di acqua attuale

Presente sotto forma di ghiaccio in diverse regioni

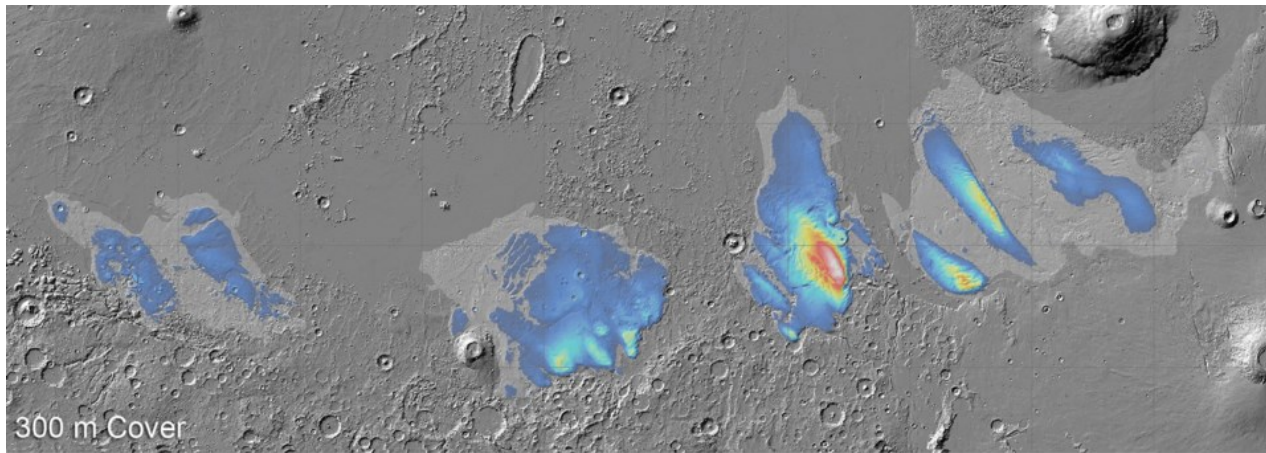
Stagionalmente scorre lungo i pendii (se particolarmente salata)

In passato

- Antico campo magnetico rilevato ai poli (scoperto da NASA MAVEN)
- Atmosfera più ricca e densa
- Strutture naturali indicano presenza di acqua liquida in abbondanza

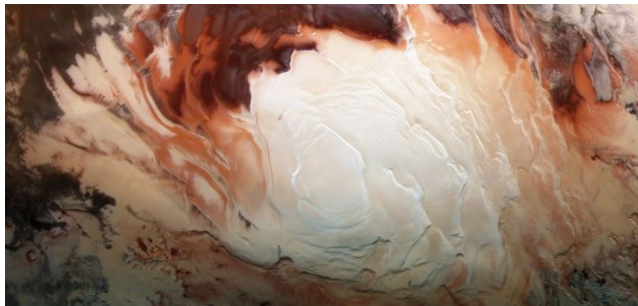
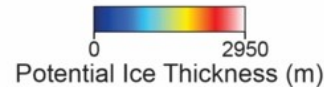


Possibile presenza di vita antica

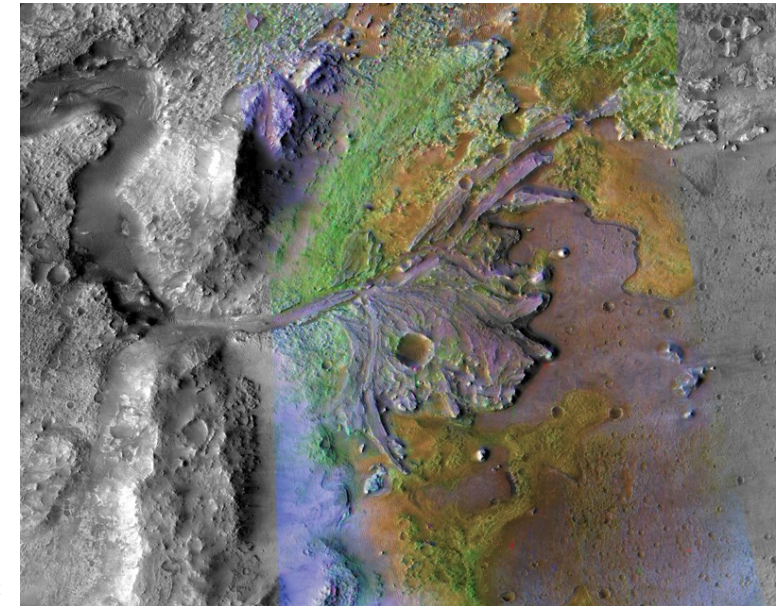


5.A

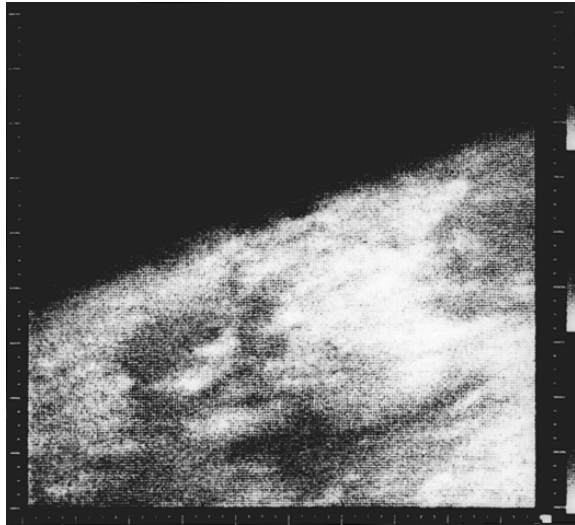
Medusae Fossae Formation (MFF)



5.B

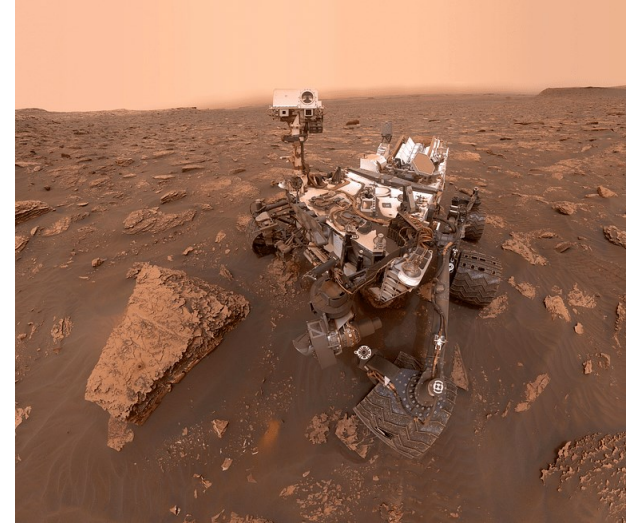


5.C



Mariner 4

8.A



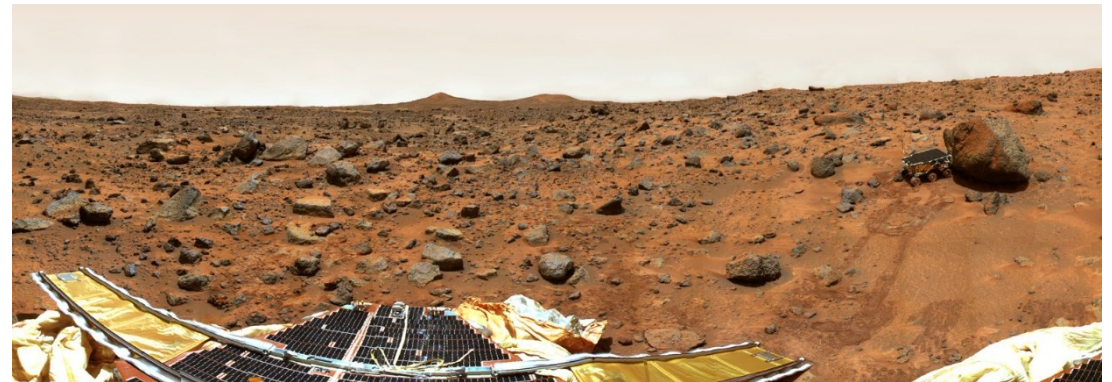
Curiosity

8.D



Viking 1

8.B



Mars Pathfinder

8.E

Problema estremamente complesso!

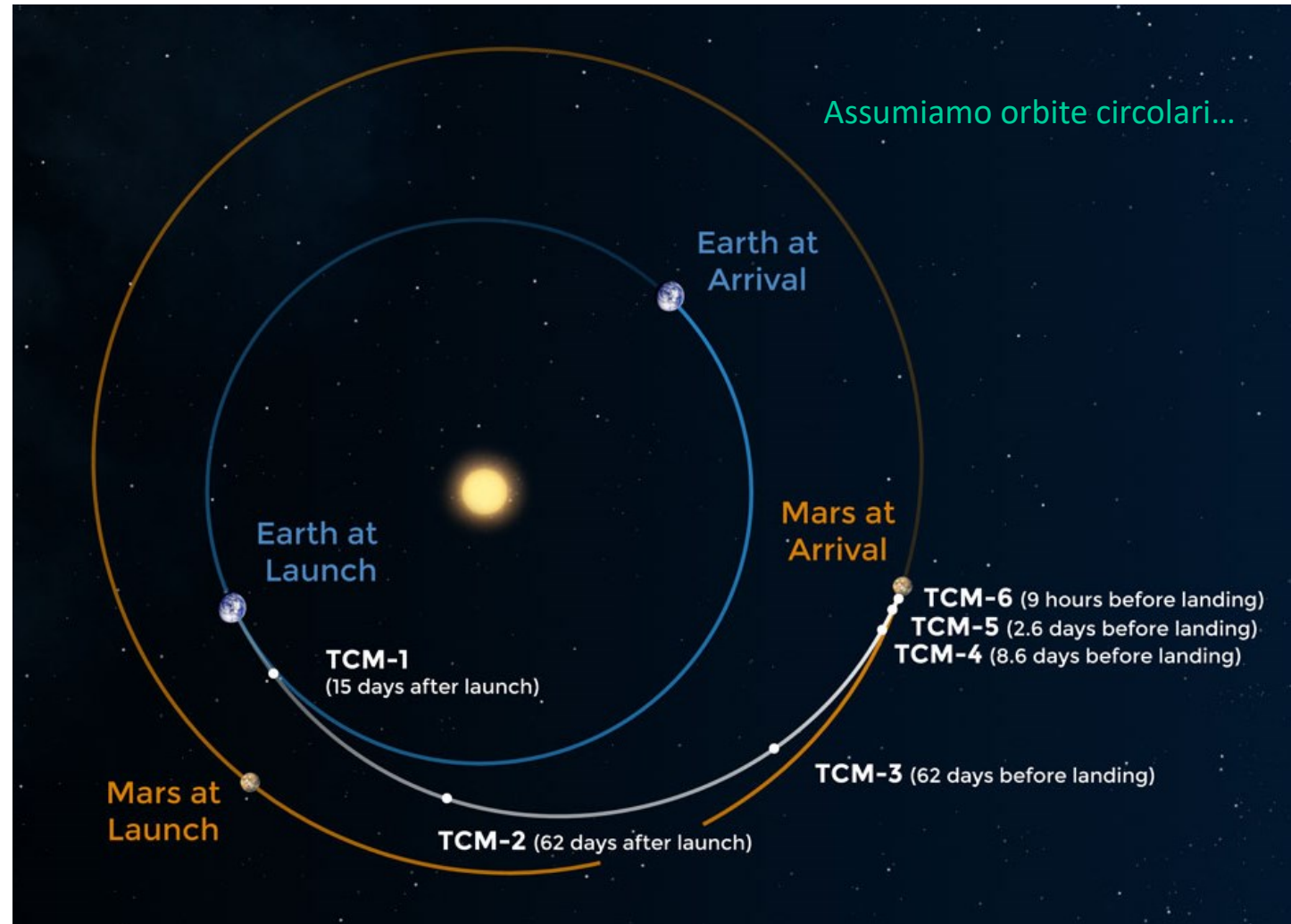
Esempio: Viaggio di **Perseverance**

Problemi di queste fasi:

- Ambiente di lancio
- Deep Space

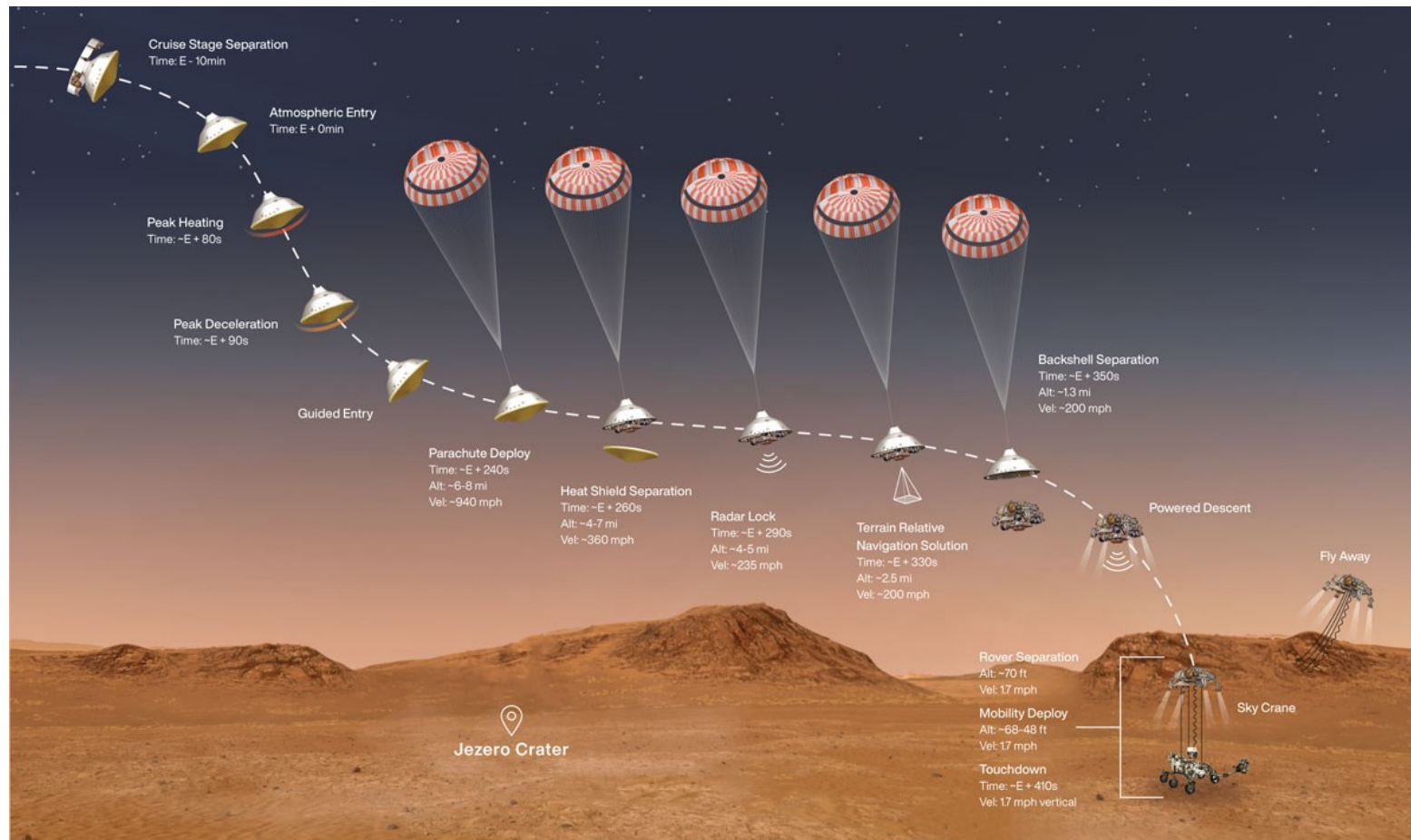
Manovra di Hohmann in grigio sulla foto

**Condizione adatta al lancio si verifica ogni
26 mesi**



Sito Nasa che calcola traiettorie con vari requisiti: <https://trajbrowser.arc.nasa.gov/index.php>

6.A



7.A

Problemi di questa fase:

- Atmosfera poco densa
- Grande distanza dalla terra -> grande latenza di comunicazione

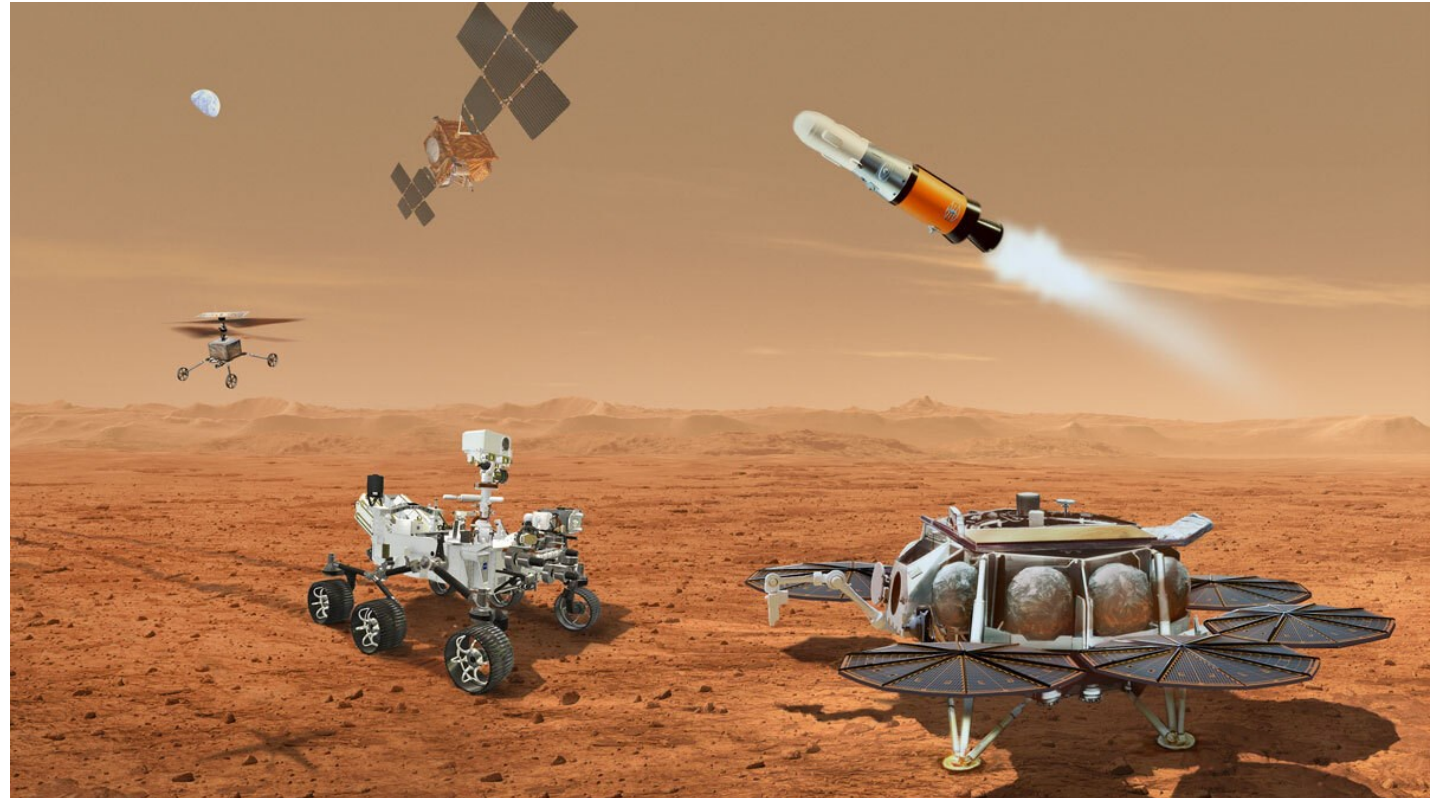
Missione inter-agenzia, in parte ancora in fase concettuale

Composta da varie missioni

Obiettivo:

Riportare sulla terra i primi campioni di terreno marziano, come prima dimostrazione di viaggio di ritorno interplanetario, in preparazione a missioni umane.

Atterraggio previsto dei campioni : 2033



Perseverance

- Primo elemento del programma, già operativo con lo scopo di raccogliere dei campioni
- Piattaforma derivata da Curiosity con miglioramenti (es ruote, navigazione autonoma)

Ingenuity

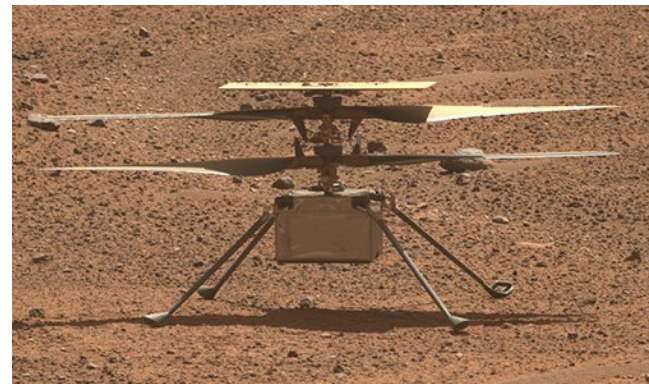
- Elicottero
- Arrivato nella «pancia» del rover
- Primo volo atmosferico su un altro corpo celeste (19/4/21)
- Flight log completo al link
<https://mars.nasa.gov/technology/helicopter/#Flight-Log>

Campioni

- Raccolti mediante il trapano in dotazione
- Sigillati ermeticamente
- Vengono o rilasciati sul terreno o custoditi internamente
- Campioni «*witness*»: contengono materiali in grado di catturare contaminanti presenti nell'ambiente
- Elenco completo con analisi chimica al link
<https://mars.nasa.gov/mars-rock-samples/#23>



10.B



10.E



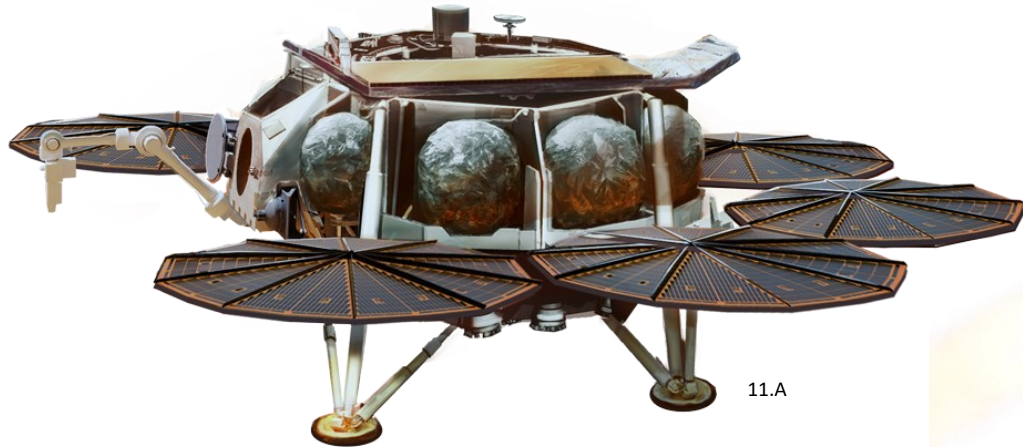
10.A



10.C

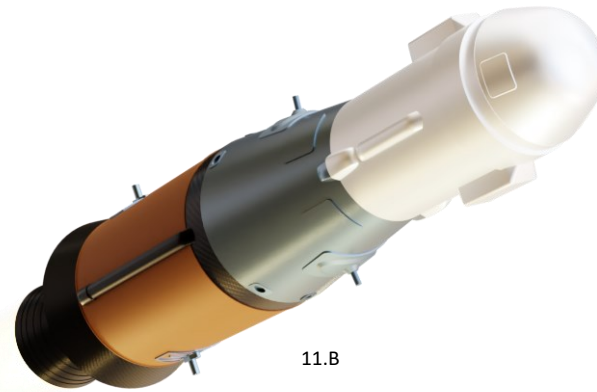


10.D



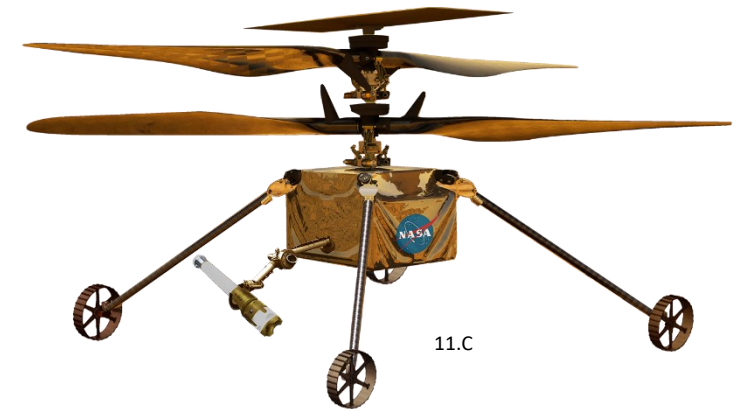
Lander

Il più grande veicolo mai inviato su Marte
Braccio robotico fornito dall'ESA
Il più preciso atterraggio: max 60 metri dal target



Mars Ascendant Vehicle

Primo veicolo a lasciare il suolo marziano
Lanciato (letteralmente) a 4,5 metri dal suolo dal lander
2 stadi, secondo è «spin stabilized»



Sample Return Helicopters

Derivati da Ingenuity
Elemento di backup (primario Perseverance)

Tutti questi elementi dovranno interfacciarsi tra di loro alla perfezione

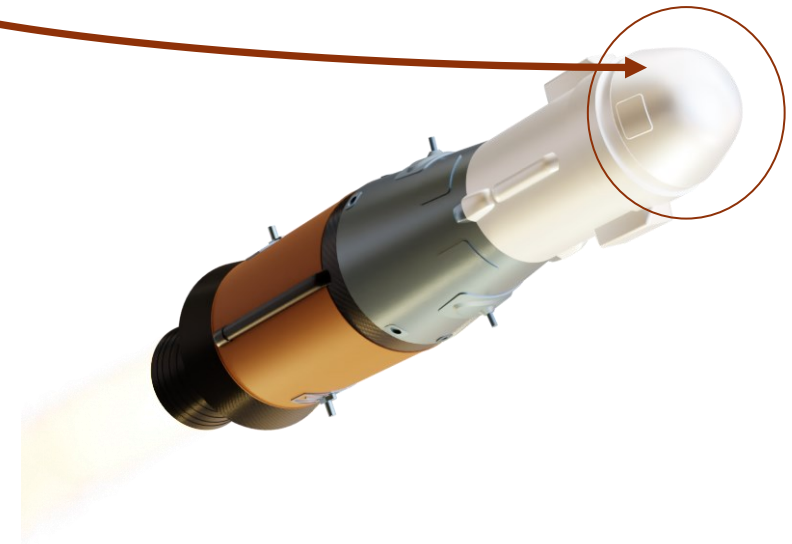
Partenza prevista per la fine del decennio



Conterrà fino a 30 campioni (peso totale circa 11 kg)

12.A

Si separerà dal secondo stadio rimanendo in orbita, entrambi dovranno «pingare» la loro posizione all'orbiter

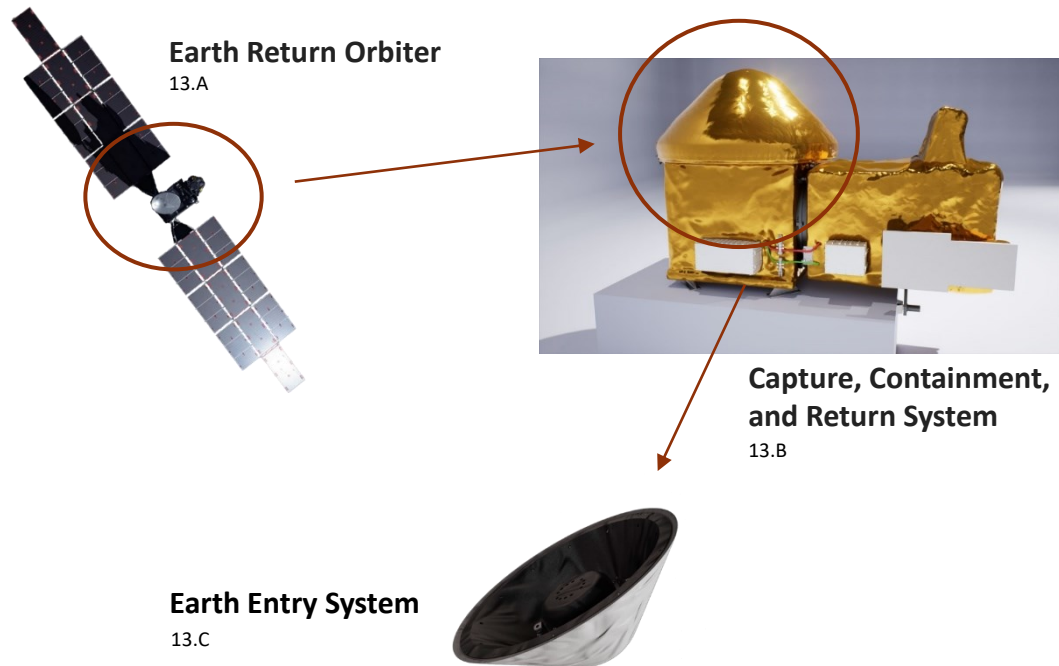


Caratteristiche:

Primo orbiter del suo tipo

Più ampia superficie di pannelli solari usata: 144 m²

Propulsione ibrida: elettrica per le fasi di crociera, chimica per entrare in orbita marziana -> viaggio lungo 3 anni circa



Azioni dell'orbiter:

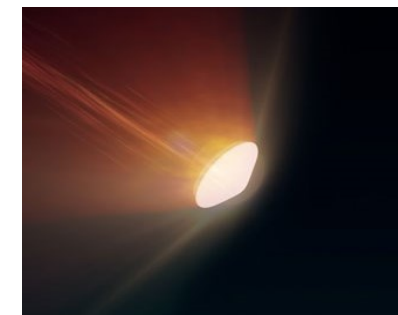
- 1) Una serie di telecamere e sistemi lidar permetteranno il rendezvous con l'OS
- 2) Il CCRS si accenderà e ingloberà l'OS dopo averlo sterilizzato
- 3) L'orbiter si alleggerirà il più possibile prima di ripartire per la terra
- 4) In prossimità della terra l'EES verrà rilasciato in «*diretta collisione*», scenderà in caduta libera fino a 145 km/h senza paracadute



13.D



13.E



13.F

OS:

Considerando il sito di lancio (Jezero crater) e verso est:

$i = 15^\circ$, $a = 3647 \text{ km}$, $\omega = \Omega = 0^\circ$, $e = 0$.

Altitudine quindi di 500 km, per avere margine di sicurezza. (viola)

Sarà sicuramente elemento passivo

ORBITER:

Per ragioni scientifiche eliosincrona:

$i = 94.0715$, $e = 0.1362$, $\omega = 90^\circ$, $\Omega = 0^\circ$ (verde)

Sarà poi necessario effettuare il rendezvous tra le due sonde in 2 manovre:

- Manovra cambio piano
- Phasing (allineamento)

Vincolo fondamentale: devono avvenire automaticamente.

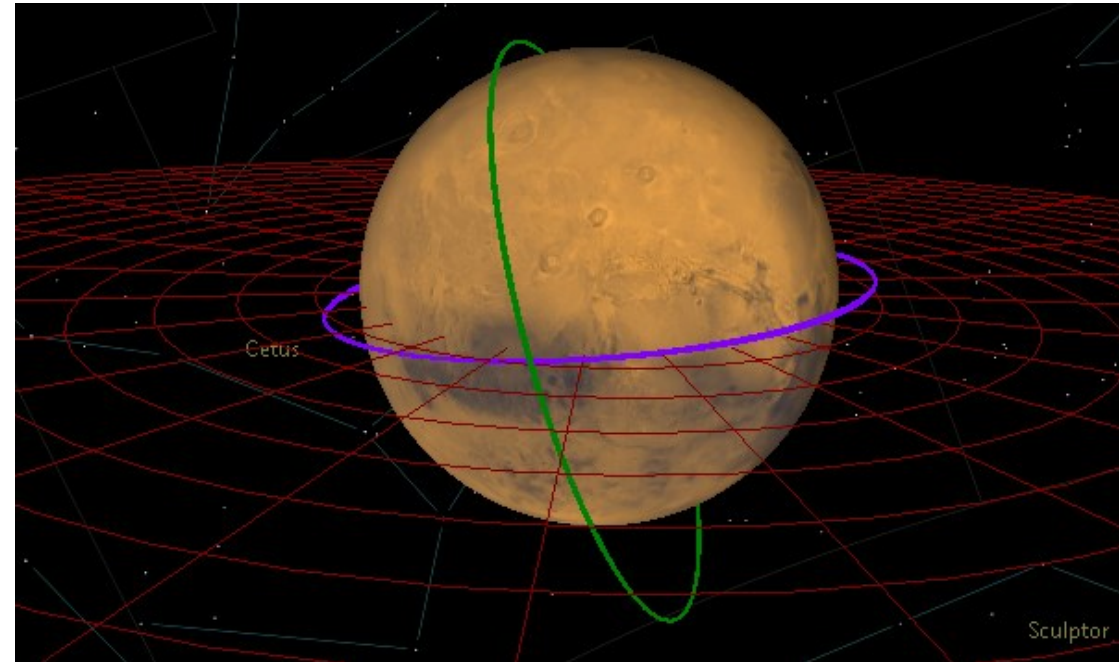
Al link : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576523002163>

Possibile approccio tramite controllo numerico basato sul feedback

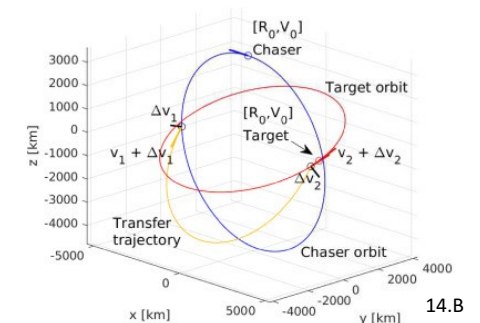
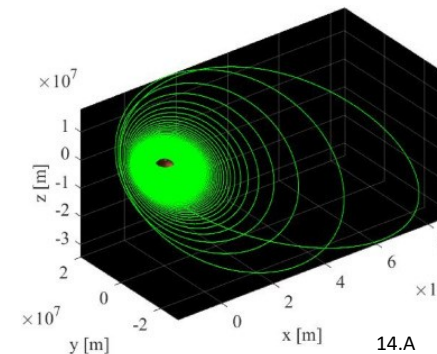
Sostanziale differenza di orbita di partenza: 4-sol orbit.

Al link: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576520301193>

Studio di ottimizzazione delle manovre di rendezvous



Rappresentazione delle orbite in GMAT R22A
In Rosso il piano dell'eclittica
Sistema di riferimento MJ200



Independent Review Board pubblicata il 1° settembre 2023, da 12 membri esperti in campi rilevanti come robotica, sistemi spaziali ecc.
Per analizzare il programma nei costi, tempi e sviluppi

Risultato:

- Si è confermata l'importanza della missione.
- Si è raccomandato che la NASA istituisca un ufficio dedicato al programma MSR al fine di migliorare la comunicazione tra tutte le parti.
- Si è chiesto di rivedere i tempi di sviluppo previsti, in quanto giudicati troppo ristretti.
- Si è richiesto un miglioramento dei processi di gestione dei rischi (derivanti dalla schedule).
- Si è raccomandato che la NASA consideri la possibilità di ridurre i costi modificando il design e la complessità della missione, ad esempio tenendo un solo SRH.
- Ad oggi sono stati compiuti progressi significativi per raggiungere la convergenza sul design dell'OS, ma sono necessari ulteriori approfondimenti (es: se si rompesse?).
- È stata osservata la mancanza di un sistema di sicurezza planetaria inversa (ad ora integrata)

Le agenzie hanno preso molto seriamente tale resoconto e si è al lavoro per migliorare il programma, verso metà 2024 si farà un ulteriore controllo

Il report completo al link <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/09/msr-irb-report-final-copy-v3.pdf>

Immagini

- 3.A <https://science.nasa.gov/image-detail/amf-pia02570/>
- 3.B <https://science.nasa.gov/image-detail/amf-pia02653/>
- 3.C <https://science.nasa.gov/mars/moons/phobos/>
- 3.D <https://www.nasa.gov/image-article/mars-moon-deimos/>
- 4.A <https://mars.nasa.gov/resources/26783/perseverance-views-dust-devils-swirling-across-jezero-crater/>
- 4.B <https://mars.nasa.gov/resources/27696/curiosity-views-gediz-vallis-ridge/>
- 5.B https://www.esa.int/var/esa/storage/images/esa_multimedia/images/2024/01/map_of_suspected_ice_at_mars_s_equator2/2543856_9-1-eng-GB/Map_of_suspected_ice_at_Mars_s_equator_article.png
- 5.B <https://mars.nasa.gov/resources/25996/mars-express-views-red-planets-south-pole/>
- 5.C <https://mars.nasa.gov/resources/22474/jezero-crater-mars-2020s-landing-site/>
- 6.A https://mars.nasa.gov/system/resources/detail_files/25156_Mars_Perseverance_Trajectory_0817.jpg
- 7.A https://mars.nasa.gov/system/resources/detail_files/25489_1a-EDL-Graphic_Horizontal-Imperial-01-web.jpg
- 8.A https://nssdc.gsfc.nasa.gov/imgcat/html/object_page/m04_01d.html
- 8.B https://pds-geosciences.wustl.edu/viking/vl1_vl2-m-lcs-2-edr-v1/vl_0001/browse/html/a0xx/12a001b1.htm
- 8.D <https://www.nasa.gov/image-article/curiositys-dusty-selfie/>
- 8.E https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/image/marspath_presidential_med.jpg
- 9.A <https://mars.nasa.gov/layout/msr/images/home/3-returns-samples-to-lander-updated.jpg>
- 10.A https://mars.nasa.gov/system/resources/detail_files/25045_Perseverance_Mars_Rover_Instrument_Labels-web.jpg
- 10.B https://mars.nasa.gov/images/mepjpl/PIA24542-Close-Up-Figure-4_web.jpg
- 10.C https://mars.nasa.gov/mars2020/multimedia/raw-images/ZLO_0639_0723682063_447EBY_N0310000ZCAM05134_0340LMJ
- 10.D https://mars.nasa.gov/mars2020/multimedia/raw-images/ZRO_0669_0726335111_706EBY_N0320580ZCAM08665_1100LMJ
- 10.E https://mars.nasa.gov/system/news_items/main_images/9540_PIA25968.jpg
- 11.A <https://mars.nasa.gov/imgs/msr/mission/msrlander.png>
- 11.B <https://mars.nasa.gov/imgs/msr/mission/mav-cutout.png>
- 11.C <https://mars.nasa.gov/imgs/msr/mission/helicopter-cutout.png>
- 12.A <https://mars.nasa.gov/imgs/msr/mission/PIA23712-web.jpg>
- 13.A <https://mars.nasa.gov/imgs/msr/mission/ero-cutout.png>
- 13.B <https://mars.nasa.gov/imgs/msr/mission/CCRS-web.jpg>
- 13.C <https://mars.nasa.gov/imgs/msr/mission/cutouts/ees-cutout-updated.png>
- 13.D <https://mars.nasa.gov/layout/msr/images/home/5-capture-containment-return-system.jpg>
- 13.E <https://mars.nasa.gov/layout/msr/images/home/6-earth-return-orbiter.jpg>
- 13.F <https://mars.nasa.gov/layout/msr/images/home/7-earth-entry-system.jpg>
- 14.A <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576523002163#fig6>
- 14.B <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576520301193#fig5>

Tutte le fonti

- <https://science.nasa.gov/mars/facts/>
<https://mars.nasa.gov/all-about-mars/facts/>
https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Buried_water_ice_at_Mars_s_equator#:~:text=ESA's%20Mars%20Express%20has%20revisited,this%20part%20of%20the%20planet.
<https://mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/historical-log/>
<https://science.nasa.gov/learn/basics-of-space-flight/chapter4-1/>
<https://mars.nasa.gov/msr/#Overview>
<https://mars.nasa.gov/msr/spacecraft/sample-recovery-helicopters/>
<https://mars.nasa.gov/msr/spacecraft/mars-ascent-vehicle/>
<https://mars.nasa.gov/msr/spacecraft/earth-return-orbiter/#EES>
https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Earth_Return_Orbiter_the_first_round-trip_to_Mars
<https://mars.nasa.gov/msr/spacecraft/earth-return-orbiter/#ERO>
<https://mars.nasa.gov/mars-rock-samples/#18>
<https://mars.nasa.gov/mars2020/timeline/landing/entry-descent-landing/>
<https://mars.nasa.gov/mars2020/spacecraft/rover/>
<https://mars.nasa.gov/mars2020/spacecraft/rover/sample-handling/#Witness-Tubes>
<https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/09/msr-irb-report-final-copy-v3.pdf>
<https://mars.nasa.gov/news/9540/after-three-years-on-mars-nasas-ingenuity-helicopter-mission-ends/>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576523002163>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576520301193>
<https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/09/msr-irb-report-final-copy-v3.pdf>