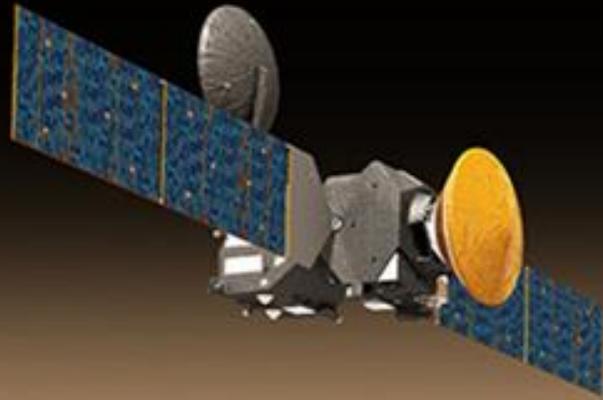
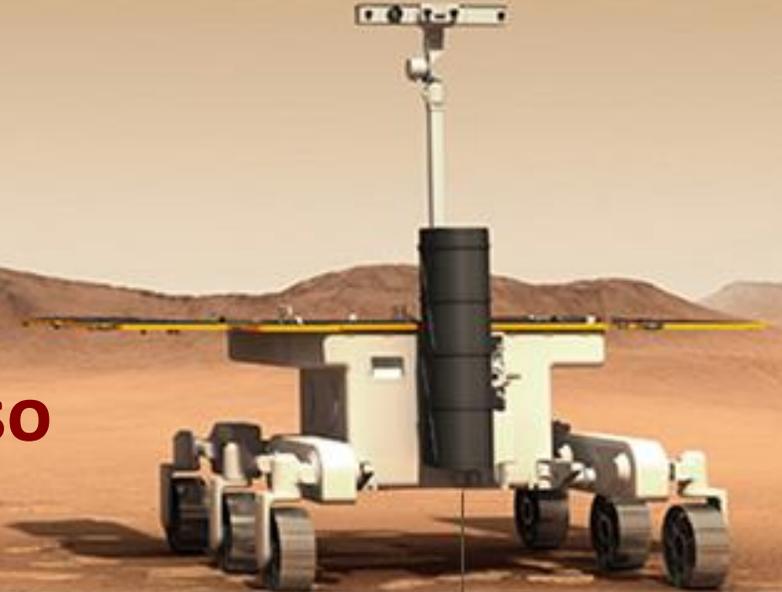


From orbiter to surface/subsurface and back to Earth



MARTE

Il Programma di Esplorazione del Pianeta Rosso
dell'INAF



28 Maggio 2021 – Audizione RSN3 Schede PTA INAF

Introduzione

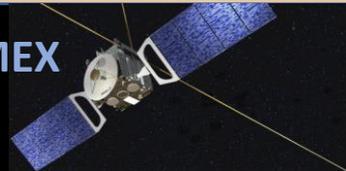
- INAF è da sempre fortemente impegnata nello studio di Marte, indicato da tutte le Agenzie Spaziali come prossima frontiera dopo la Luna.
- L'Italia partecipa al programma con notevoli investimenti industriali ed un forte coinvolgimento della comunità scientifica INAF, con ruoli di leadership.
- Obiettivi: capire se ci sia stata o ci sia tuttora vita, comprendere la sua storia passata e investigare i processi attualmente più rilevanti.
- Il ruolo di punta dell'INAF è stato consolidato nel tempo grazie ad un team consortile con la capacità di mettere a frutto l'esperienza maturata negli anni, sia a livello scientifico che tecnologico.

MARS 96



1996

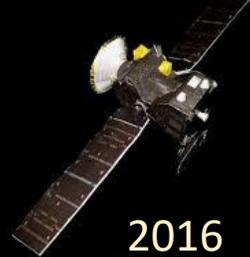
MEX



2003

2005

TGO- ExoMars2016



2016

2020

ExoMars2022



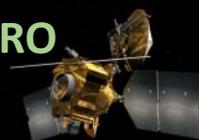
2022

MSR



2030

MRO



MARS2020



Human
Exploration

Analogues Study:
Lab & Field Trip

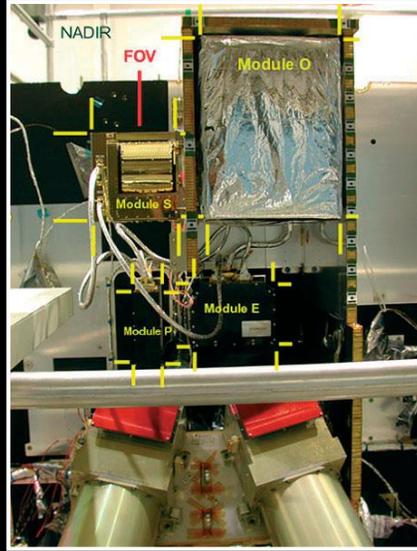
...Data Analysis, Modelling, Archiving...

ESA Missions, NASA Missions, NASA/ESA

Coinvolgimento e Leadership INAF

MEX (lanciata nel 2003, operativa)

PFS

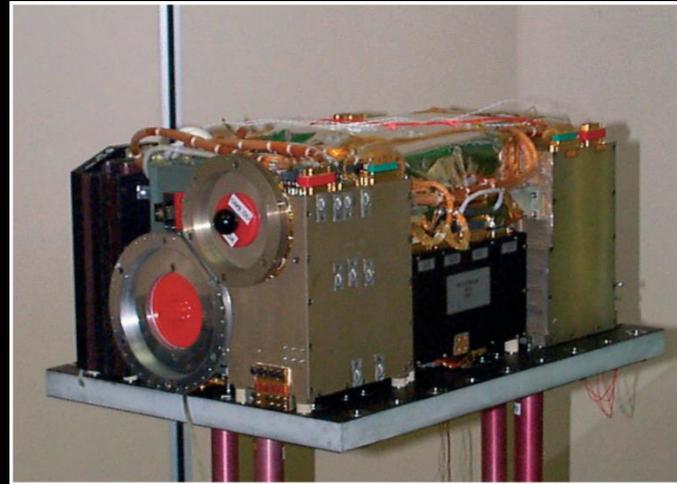


Plship: INAF IAPS

Spettrometro di Fourier ottimizzato per studi atmosferici, intervallo spettrale $1,2-50 \text{ cm}^{-1}$, sampling $\sim 1 \text{ cm}^{-1}$. Ha prodotto il dataset più completo e longevo di parametri atmosferici di Marte ed è stato il primo strumento a rilevare la presenza di metano su Marte. È stato in buona parte realizzato e interamente assemblato nei laboratori ex-IFSI (ora IAPS).

Scheda Marte-1

OMEGA



Co-Plship: INAF IAPS

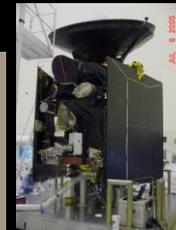
Spettrometro ad immagine, intervallo spettrale $0.4-5.1 \mu\text{m}$, sampling $\sim 15 \text{ nm}$. I suoi dati hanno rivoluzionato la nostra comprensione dell'evoluzione di Marte. Ha prodotto mappe composizionali globali di Marte per studiare minerali, ghiacci e fenomeni atmosferici. Il canale VNIR è stato interamente realizzati nei laboratori ex-IFSI (ora IAPS).

Scheda Marte-2

MARSIS

Plship: INAF IRA

MARSIS è un radar dotato di una antenna lunga 40 m che invia onde radio di bassa frequenza verso Marte per sondarne il sottosuolo fino a profondità di alcuni km. I suoi obiettivi scientifici primari sono l'analisi della superficie, del sottosuolo e della ionosfera di Marte. Il radar MARSIS ha cominciato ad operare nel giugno 2005. **Scheda Marte-3**

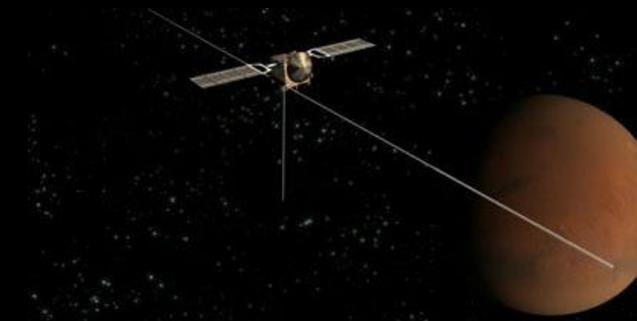


MRO SHARAD

(lanciata nel 2005, operativa)

Respons. Scientifica: INAF IAPS - IRA

SHARAD è un facility instrument dell'ASI per la missione MRO. È un radar altimetro ad apertura sintetica a bassa frequenza in grado di penetrare nel sottosuolo ($< 2 \text{ km}$), che complementa gli obiettivi scientifici di MARSIS, avendo una maggiore risoluzione spaziale per studiare degli strati più prossimi alla superficie. **Scheda Marte-13**



Coinvolgimento e Leadership INAF

TGO-ExoMars2016

(lanciata nel 2016, operativa dal 2018)

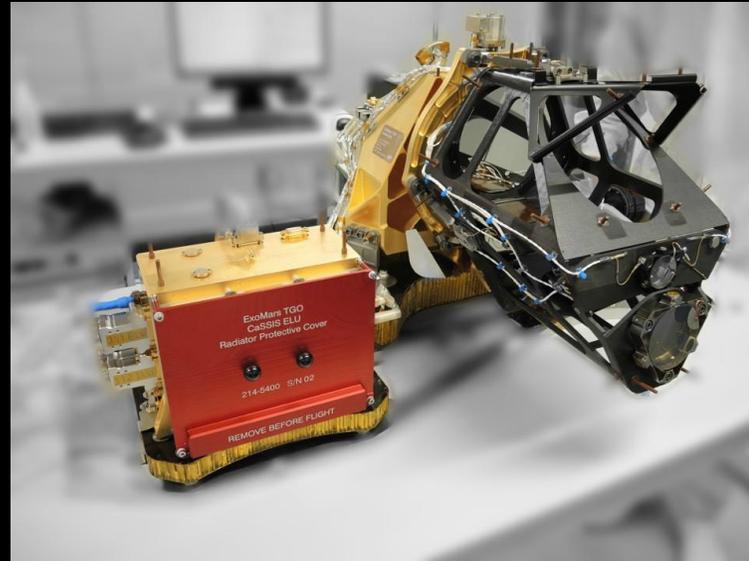
CaSSIS

Co-PIship: INAF OAPD

CaSSIS la stereo camera a bordo della missione Exomars TGO in orbita operativa intorno a Marte dall'April 2018.

Il detector è uno spare model delle camere di SIMBIO-SYS/ BepiColombo per Mercurio.

Finora CaSSIS ha acquisito più di 20.000 immagini e 2.000 coppie stereo, con dettaglio spaziale di 4.6 m/px. Un'immagine tipica full color ha una dimensione di 9.5x45 km. **Scheda Marte-4**



NOMAD

Co-PIship: INAF IAPS

NOMAD è una suite di spettrometri a bordo della missione congiunta ESA-Roscosmos ExoMars Trace Gas Orbiter (TGO) che sta studiando la composizione e la distribuzione delle specie minori nell'atmosfera di Marte (tracce gases) con un dettaglio senza precedenti. Lo strumento è compost da tre canali che coprono l'intervallo spettrale dall'UV all'IR in configurazione "solar occultation", "nadir" e "limb". NOMAD è stato progettato per studiare le concentrazione dei gas meno abbondanti nell'atmosfera di Marte ma che hanno forti implicazioni per ricostruire la sua storia passata (H₂O/DHO) e il suo potenziale astrobiologico (metano). **Scheda Marte-5**

Coinvolgimento e Leadership INAF – ExoMars2022

Piattaforma di Superficie (PS)

Rover (R)



Coinvolgimento e Leadership INAF – ExoMars2022

Rover (R)

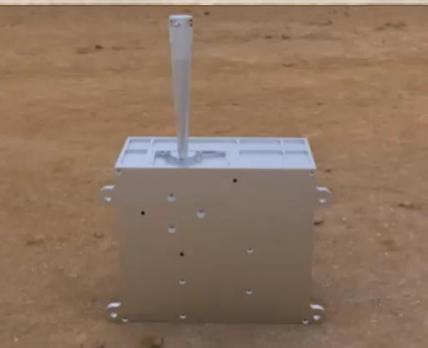
Piattaforma di Superficie (PS)

MICROMED 

PIship: INAF OACN

Sensore per la misura di dimensione e abbondanza delle particelle di polvere nell'atmosfera marziana → feedback su clima, processi eolici, tempeste di polvere, dust devils. E' uno dei sensori della suite russa *Dust Complex* (**CoPI-ship: INAF OACN**) integrata sulla PS.

Scheda Marte-7



MOMA

**Responsabilità Scientifica:
INAF OAA**

Analizzerà molecole organiche complesse presenti suolo/sottosuolo marziano ed è quindi lo strumento che più direttamente risponde agli obiettivi scientifici della missione ExoMars 2022.

Scheda Marte-8

Ma_MISS

PIship: INAF IAPS

Spettrometro VIS-IR modulare e miniaturizzato, integrato nel trapano (DRILL TOLL) del Rover per:

- Ricavare la composizione della stratigrafia nel sottosuolo (fino a 2 m)
- Caratterizzare l'ambiente da cui vengono prelevati i campioni di interesse astrobiologico e ridefinire i criteri per la loro selezione.

Scheda Marte-6

INAF ha inoltre Co-Iships in: CLUPI (R), PANCAM (R), WISDOM (R)

Mars2020 & MSR

Mars2020

Responsabilità Scientifica: INAF OAA

Il progetto supporta l'analisi e interpretazione delle osservazioni spettroscopiche del rover Perseverance/Mars 2020 (NASA) per identificare molecole organiche e potenziali biosignature molecolari nel suolo marziano, sia attraverso un contributo alle operazioni scientifiche del rover che attraverso simulazioni di laboratorio dell'ambiente marziano per valutare lo stato di preservazione di eventuali organici e distinguere la loro possibile origine abiotica o biotica. Questa attività aiuterà inoltre a selezionare i migliori campioni marziani da riportare sulla Terra in una possibile futura missione di SR. **Scheda Marte-9**

Mars Sample Return (MSR)

Responsabilità Scientifica: INAF IAPS

Mars 2020 raccoglierà per la prima volta campioni che dovranno essere riportati a Terra entro il 2031 con una campagna di missioni NASA/ESA di MSR. I campioni saranno analizzati in laboratori specializzati per identificare la presenza di vita. Obiettivo di questo progetto è costruire delle solide collaborazioni fra le comunità scientifiche/tecnologiche italiane interessate al MSR per essere il più competitivi possibile nella prossima frontiera dell'esplorazione di Marte.

Scheda Marte-10

In situ observations

Laboratory analogs

VERTEX 70V

Coinvolgimento e Leadership INAF – Eolico & FP

EOLICO

Responsabilità Scientifica: INAF OACN

Obiettivo di questo progetto e' lo studio dei processi eolici sulla superficie di Marte, in particolare:

- Strutture eoliche attive e relitte forniscono preziose informazioni sull'interazione tra atmosfera e superficie al giorno d'oggi e nel passato (es. Oxia Planum, sito di atterraggio ExoMars 2022) e sono studiate attraverso immagini telerilevate
- Valutazione del «rischio eolico» in aree chiave (siti di atterraggio) & feedback con studi di ambienti desertici terrestri
- Studio dei meccanismi di sollevamento della polvere (tempeste e dust devils) tramite immagini e sul campo. **Scheda Marte-11**

Tempeste
Scala Regionale



Terra ,Marocco
Studio di Analoghi



Dust devils
Scala Locale



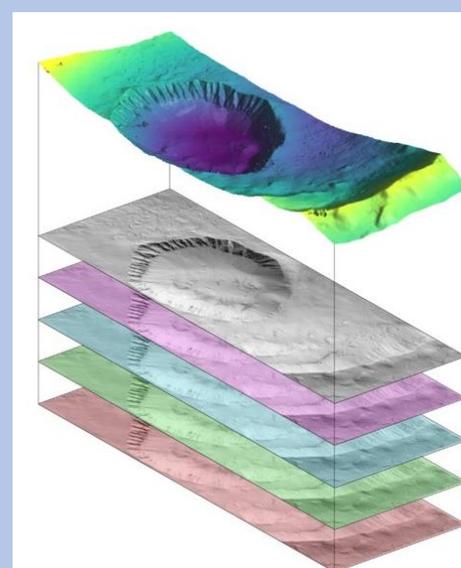
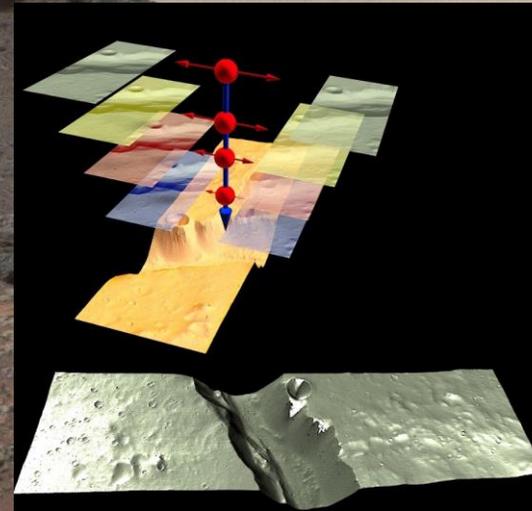
Fotogrammetria Planetaria (FP)

Responsabilità Scientifica: INAF OAPD

Dall'acquisizione di immagini satellitari è possibile generare mappe tridimensionali (DTM) utili per numerose analisi scientifiche.

Il progetto si propone di fornire un contributo sostanziale nell'approfondimento degli aspetti connessi alle tecniche di "matching" e allo sviluppo di nuovi approcci e strategie che portino a considerevoli miglioramenti rispetto ai metodi preliminari già implementati con le immagini di Marte fornite da CaSSIS.

Scheda Marte-12



Esempio di dato 4D: DTM iperspettrali

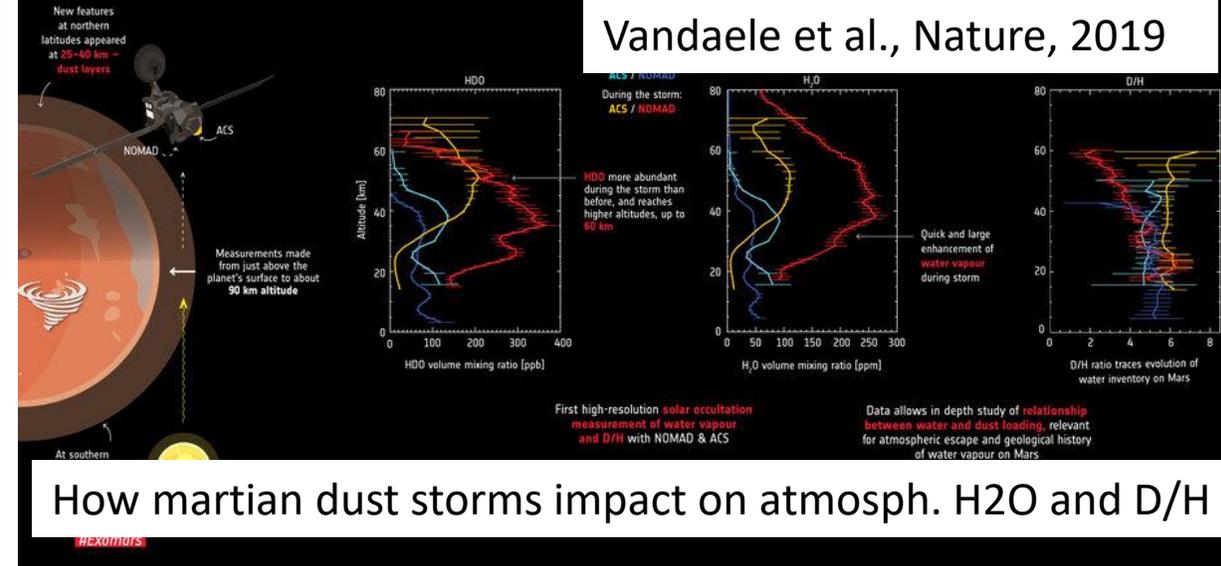
Risultati – Dati da missioni spaziali

NOMAD/TGO



→ **FIRST RESULTS FROM THE EXOMARS TRACE GAS ORBITER**
Vertical distribution of dust and water vapour

Vandaele et al., Nature, 2019



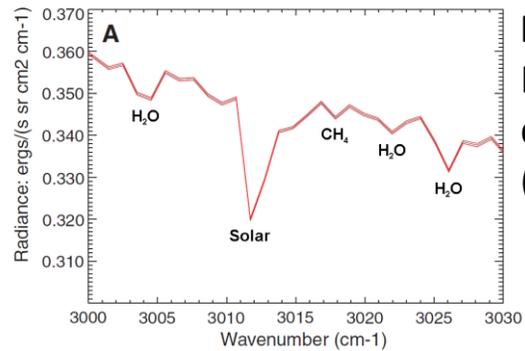
How martian dust storms impact on atmosph. H2O and D/H

First Global Map of Hydrated Minerals (Bibring et al., Nature, 2005)

OMEGA/MEX

Implications for

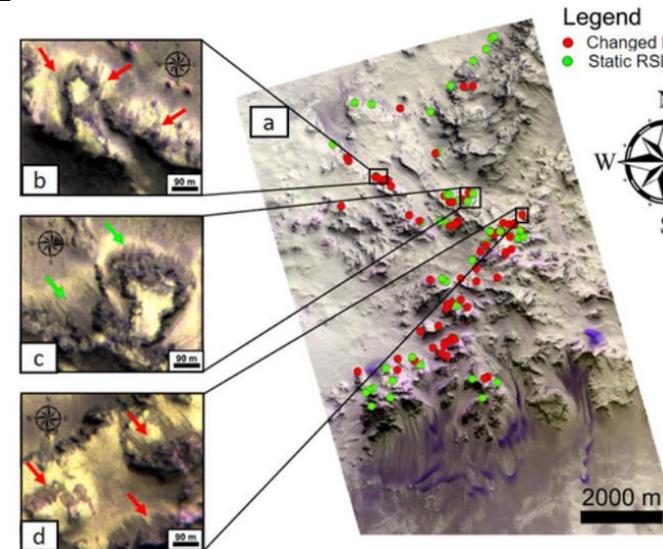
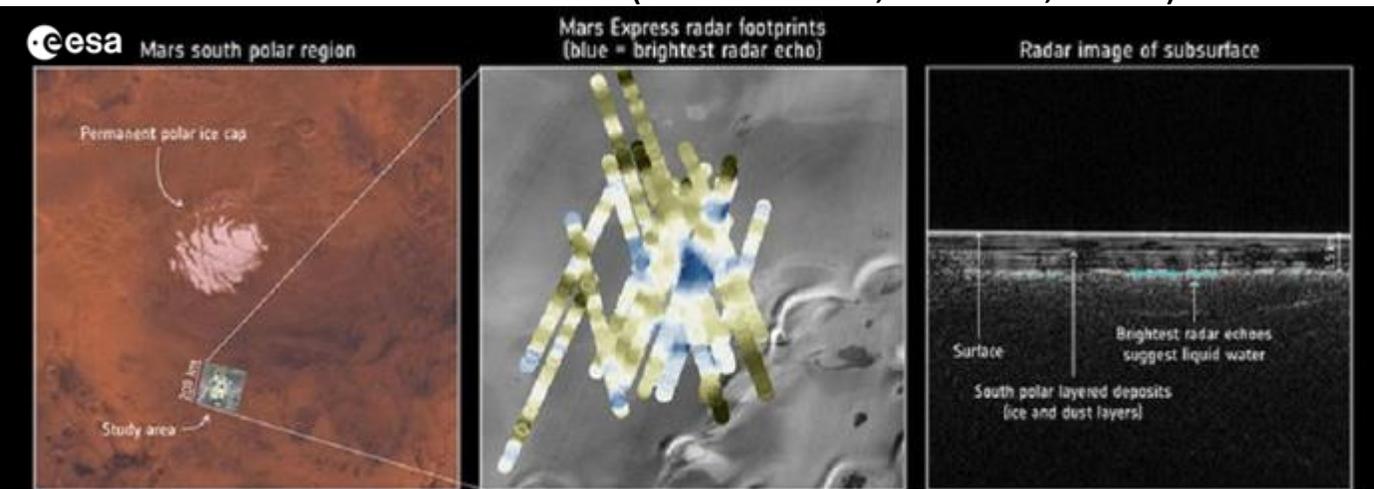
- understanding past history of Mars
- landing site criteria selections



PFS/MEX

Prima rilevazione in remote-sensing della presenza di metano (CH₄) su Marte (Formisano et al., Science, 2004)

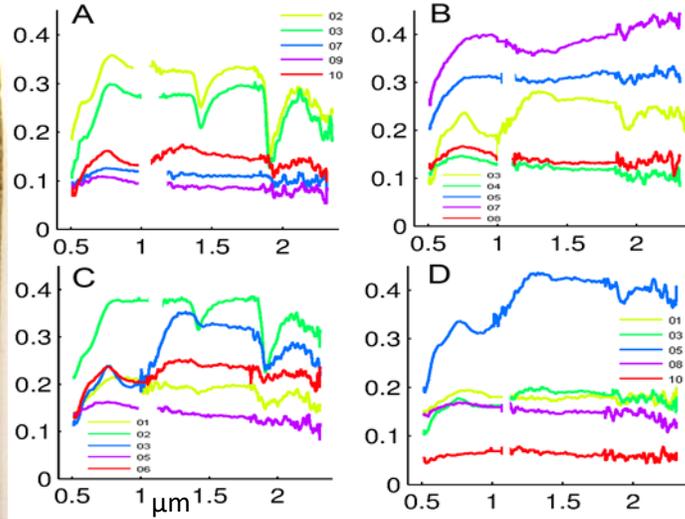
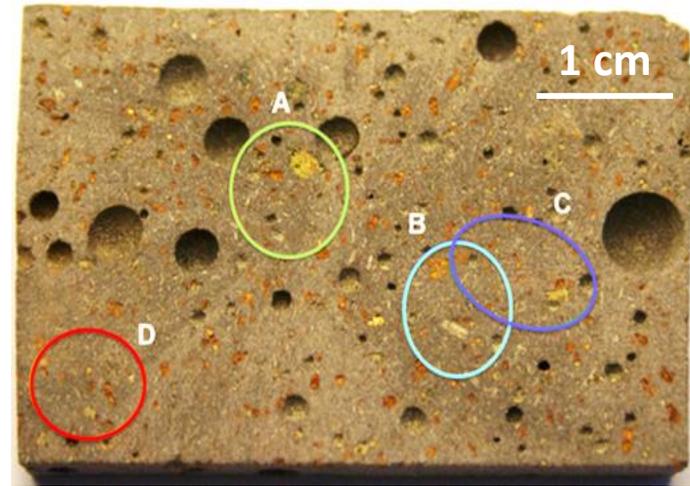
MARSIS/MEX, Lago subglaciale (Orosei et al., Science, 2018)



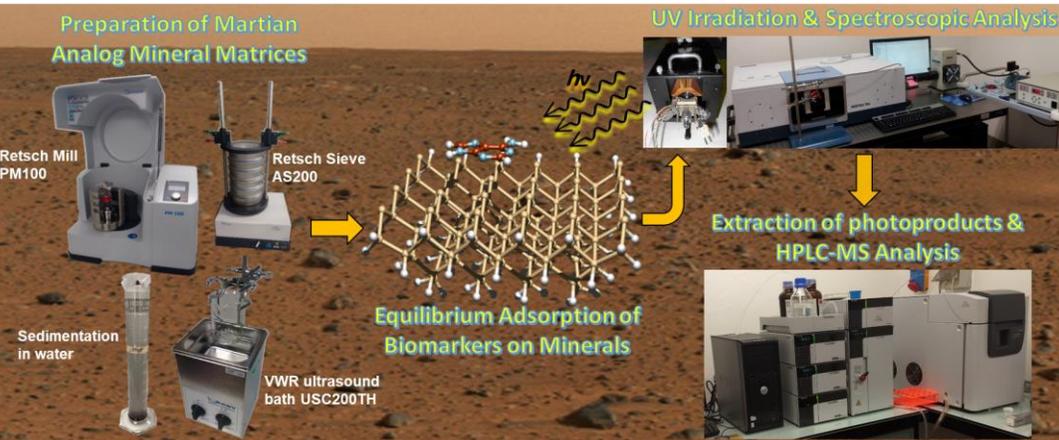
CaSSIS/TGO ha studiato le Recurring Slope Lineae (RSL), uno dei fenomeni più controversi attualmente attivi sulla superficie di Marte (Munaretto et al. 2020).

Risultati – Analoghi e modelli

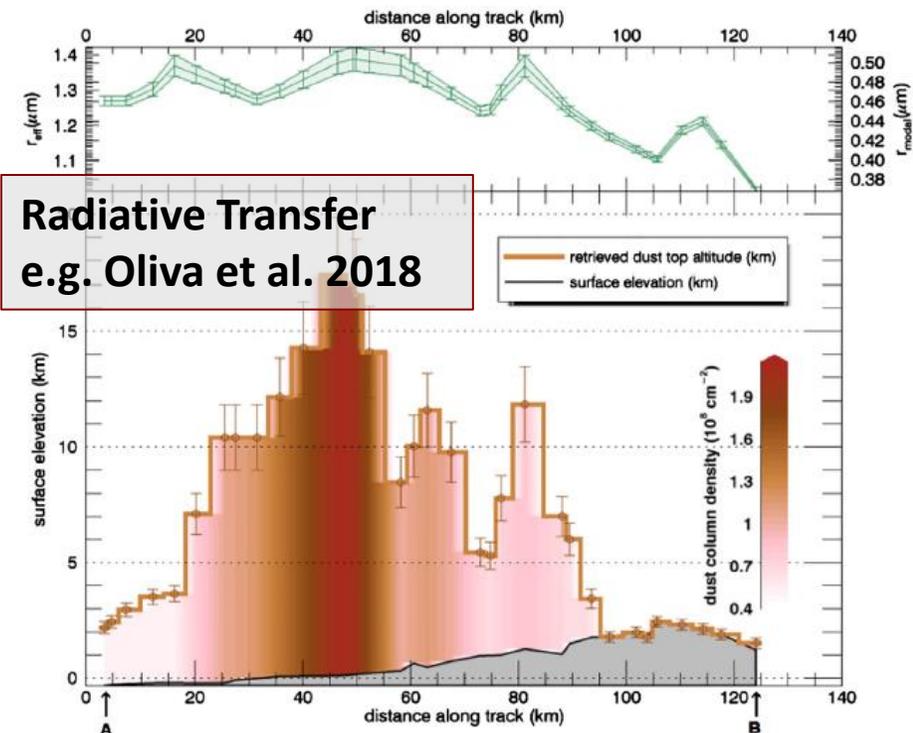
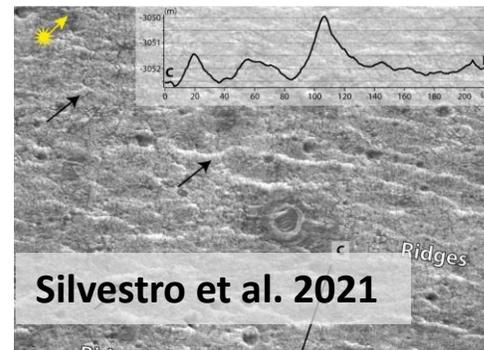
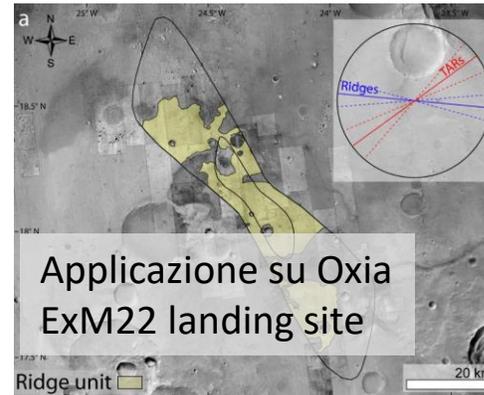
CaSSIS DTM
example:
Olympus
slopes
(Simioni et al.,
2021)



Ma_MISS LAB Breadbord @ IAPS
e.g. De Angelis et al., 2017



Martian Analog Studies @Arcetri
Fornaro et al., 2013, 2018, 2020



Aspetti Scientifici

- ✓ Lo studio di Marte raccoglie competenze e conoscenze complementari che vanno dallo studio dell'atmosfera a quello della superficie, del sottosuolo e dell'astrobiologia.
- ✓ Con lo studio di Marte, la comunità scientifica INAF coinvolta apporta inoltre un notevole contributo alle seguenti domande fondamentali nell'ambito delle Scienze Planetarie ([ESA BR-247: Cosmic Vision - Space Science for Europe 2015-2025](#)):
 - Quali sono stati i processi che hanno determinato la formazione, l'evoluzione e le proprietà dei corpi del Sistema Solare?
 - Quali sono stati i processi evolutivi che hanno permesso l'emergere della vita?

Aspetti Tecnologici

Sviluppo di strumentazione (da volo e di laboratorio) e software scientifici, all'interno di INAF e in collaborazione con le maggiori industrie aerospaziali italiane, che rappresentano un importante patrimonio dell'INAF per l'esplorazione del Sistema Solare in generale.

Marte negli anni ha polarizzato l'interesse scientifico e tecnologico, raccogliendo una sempre più crescente partecipazione dei ricercatori e tecnologi dell'INAF e degli istituti ad esso associati

TEAM

Strutture INAF coinvolte e responsabili Schede che afferiscono alla Scheda Marte-0

Numero di Persone Coinvolte	INAF	ASSOCIATI
TOT (TI/Non-TI)	50	25

FTE 2021-2023	INAF	ASSOCIATI
TI	34.6	7.2
Non-TI	32.0	7.3
TOT	66.6	14.5

IAPS

Altieri, F.
Bellucci, G.
Cartacci, M.
De Sanctis, M.C.
Giuranna, M.

IRA

Orosei, R.

OAA

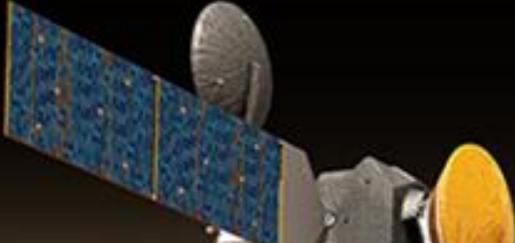
Brucato, J.R.
Fornaro, T.

OACN

Esposito, F.
Silvestro, S.

OAPD

Cremonese, G.
Re, C.



FONDI

✓ Fondi provenienti da:

- **ASI**
- **ESA**
- **INAF (PRIN, PRIN MAIN STREAM)**
- **FP7, H2020**
- **Regione Campania**
- **NASA**

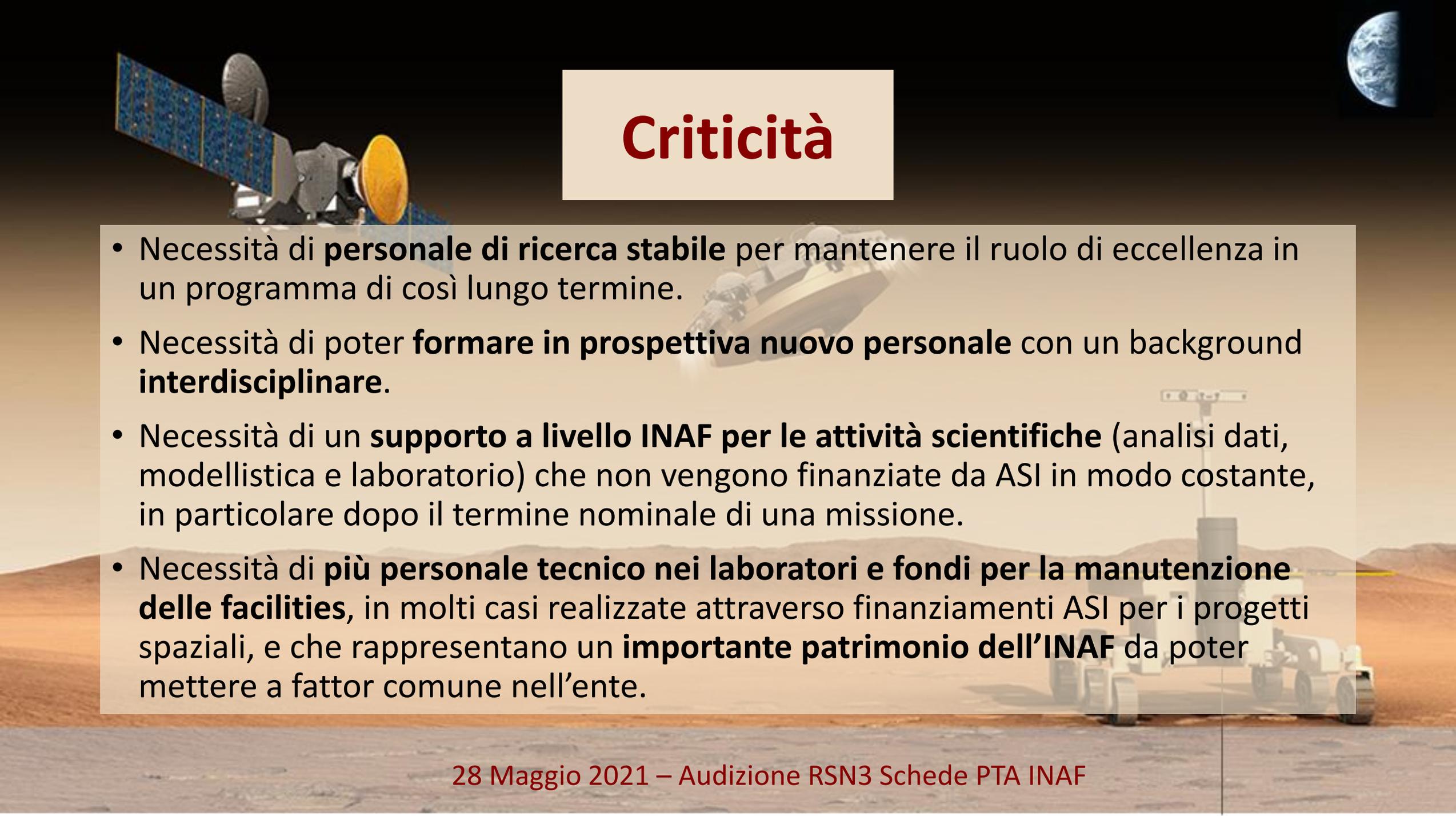
La comunità INAF è riuscita a mantenere negli anni un ruolo chiave ed un coinvolgimento tecnologico e scientifico di alto profilo a livello internazionale in questo tema così strategico, nonostante le difficoltà incontrate e sopperendo alla carenza di fondi necessari per le attività scientifiche reperendo risorse anche da diverse fonti di finanziamento.

- 
- ✓ Stima inviluppo complessivo intera attività: **40 M€** (hardware industriale escluso)
 - ✓ Stima inviluppo complessivo per la parte INAF dall'inizio a fine attività: **16 M€**
 - ✓ Stima fondi acquisiti da INAF fino al 2020: **14 M €**



Programmazione

- Il satellite **MEX**, in orbita attorno a Marte dal Dicembre del 2003, ha operato ed opera tuttora in sinergia con altre missioni spaziali a Marte, tra le quali i lander/rover NASA Phoenix e Curiosity, le sonde spaziali NASA MRO e MAVEN, la missione ESA ExoMars TGO, la missione cinese Tianwen-1, il nuovo Rover NASA Perseverance e, in futuro, con ExoMars 2022. Le attività sono attualmente estese fino a fine 2022 ed entro questo anno sarà discussa l'estensione della missione per gli anni 2023-25.
- Il satellite **TGO** è stato progettato per funzionare fino alle fine del 2023. Avrà un ruolo fondamentale per la trasmissione dei dati della missione ExoMars2022.
- Il triennio 2021-2023 vedrà anche la fase operativa della missione **ExoMars2022**, che lanciata nel settembre 2022, arriverà a Marte nel giugno 2023. Il termine della missione nominale è previsto nel 2025 (un anno Marziano).
- La missione **Mars2020** è atterrata in Jezero Crater nel febbraio 2020. Il Rover Perseverance raccoglierà per la prima volta campioni da riportare a Terra entro il 2031 (**Mars Sample Return**) e che di certo rappresentano gli esemplari più preziosi provenienti da un altro oggetto del Sistema Solare.



Criticità

- Necessità di **personale di ricerca stabile** per mantenere il ruolo di eccellenza in un programma di così lungo termine.
- Necessità di poter **formare in prospettiva nuovo personale** con un background **interdisciplinare**.
- Necessità di un **supporto a livello INAF per le attività scientifiche** (analisi dati, modellistica e laboratorio) che non vengono finanziate da ASI in modo costante, in particolare dopo il termine nominale di una missione.
- Necessità di **più personale tecnico nei laboratori e fondi per la manutenzione delle facilities**, in molti casi realizzate attraverso finanziamenti ASI per i progetti spaziali, e che rappresentano un **importante patrimonio dell'INAF** da poter mettere a fattor comune nell'ente.