UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Corso di Studi «Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio»

PRESENTAZIONE TESI DI LAUREA

«Lava tubes: una georisorsa abitativa per le future esplorazioni spaziali»

Relatore:

Prof. Paolo Budetta

Candidato:

Simone Consiglio Matr. N49\224

L’obiettivo della Tesi è quello di mettere a confronto le caratteristiche morfologiche e topografiche dei tubi di lava e delle doline da crollo lunari e marziane con quelli terrestri.

I tubi di lava e le cavità ipogee in ambienti extraterrestri potrebbero, in un prossimo futuro, ospitare insediamenti umani più o meno stabili.

I vantaggi offerti da questi ambienti sono diversi e così di seguito sintetizzabili:

- Offrire all’uomo la possibilità di difendersi dal vento solare e dalle radiazioni ionizzanti ad elevata energia, causate dalla mancanza di efficaci campo magnetici;
- Difendersi da oscillazioni termiche estreme incompatibili con la sopravvivenza umana;
- Poter contare su ampi ambienti subsuperficiali formatisi in condizioni favorevoli (bassa gravità), a seguito dello scorrimento di lave fluide;
- Possibilità di schermare efficacemente (mediante involucri gonfiabili e pressurizzabili) le cavità con il trasporto a costi più contenuti ed agevoli di attrezzature dalla Terra;
- Approfondire gli studi di esobiologia in ambienti ostili (batteri, colonie algali, ecc.);
- Trovare più facilmente l’acqua (sottoforma liquida o solida).

La Tesi ha trattato i seguenti aspetti:

- I TUBI DI LAVA DELLA TERRA
- I TUBI DI LAVA TERRESTRI A CONFRONTO CON QUELLI MARZIANI E LUNARI
- I RISULTATI OTTENUTI DALLE ESPLORAZIONI CON MEZZI ROBOTIZZATI E QUELLI FUTURI PREVISTI DALL' ESA (EUROPEAN SPACE AGENCY)
- GLI ASPETTI INGEGNERISTICI CONNESSI ALLA COLONIZZAZIONE DEI SITI PRESCELTI

I Diversi meccanismi di formazione dei tubi di lava

A) Formazione e fusione di lamine di crosta duttile.

B)Formazione di sottili strati di crosta stabile agli argini del canale e loro saldatura al centro.

C) Formazione degli argini che si accrescono verso il centro del canale fino a congiungersi.

D) Sviluppo di un sistema di protrusioni di lava che avanzano e si raffreddano accrescendo il tetto del tubo.

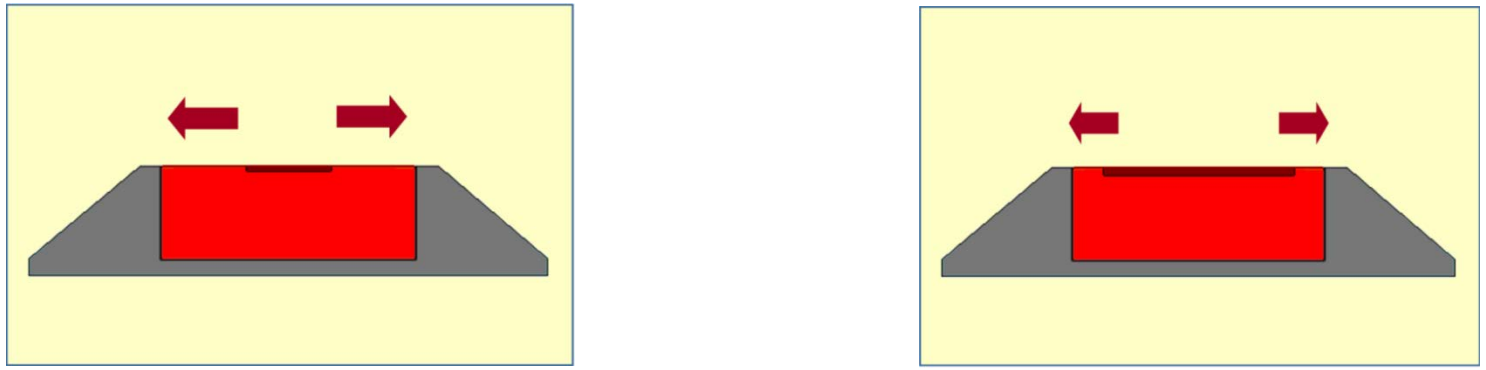
E) Unione di parti solide superficiali in un restringimento del canale.

F) Rallentamento, rigonfiamento e raffreddamento superficiale del flusso.

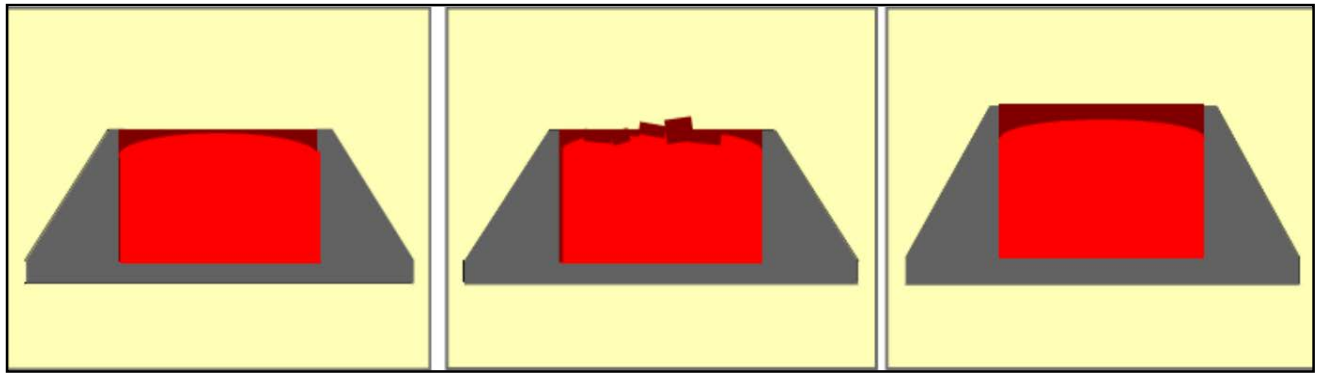
Lo scorrimento in superficie di magmi a bassa viscosità (da lave a composizione basica – povere in silice), favorisce la formazione di tubi di lava estesi, a partire da apparati vulcanici a condotto centrale o lineare.

Sulla Luna e su Marte la minore gravità (da circa 6 volte a 2,65 volte più bassa di quella terrestre) favorisce la scorrimento delle colate laviche su superfici a bassissima pendenza.

I modelli più comuni (A e B)



Schema dell'accrescimento laterale della crosta presente al centro di un flusso di lava (modello A).



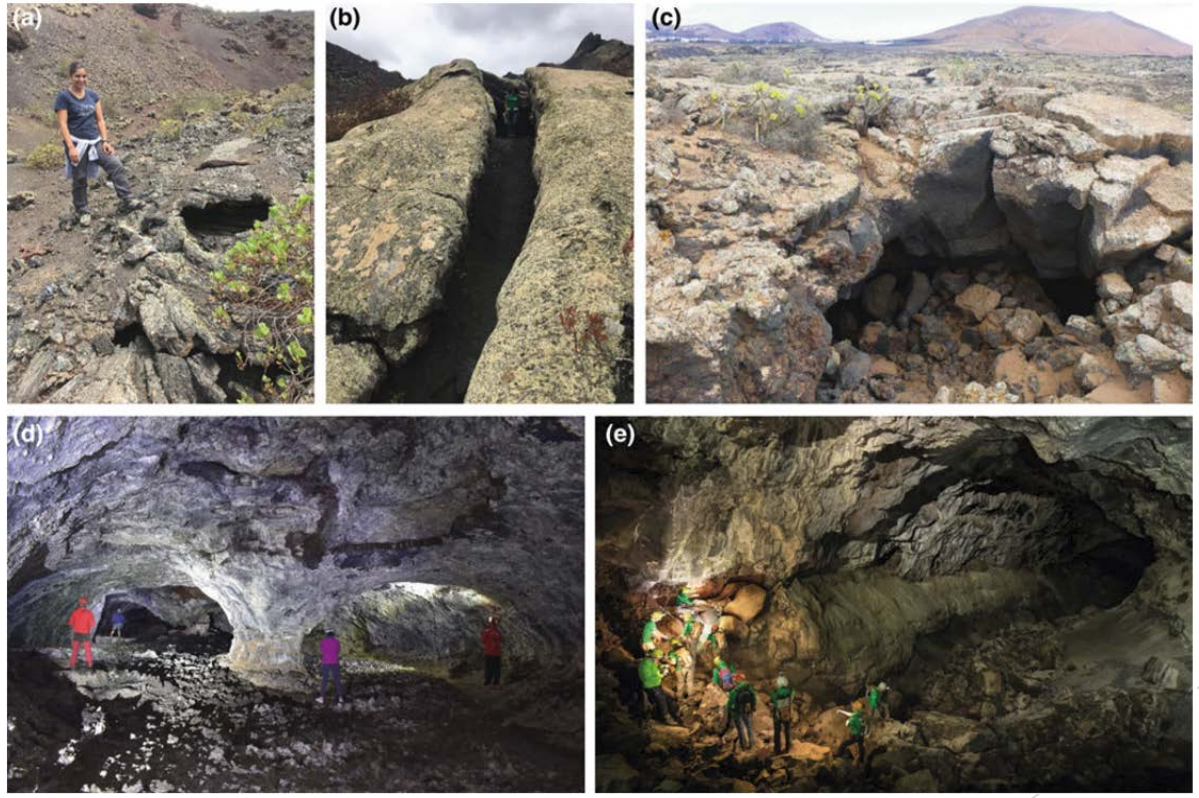
Schema dell'accrescimento degli argini laterali di un canale e congiungimento di questi con i frammenti solidi presenti al centro del canale (modello B).

Fattori che influenzano la formazione del tubo

I tubi di lava di Lanzarote

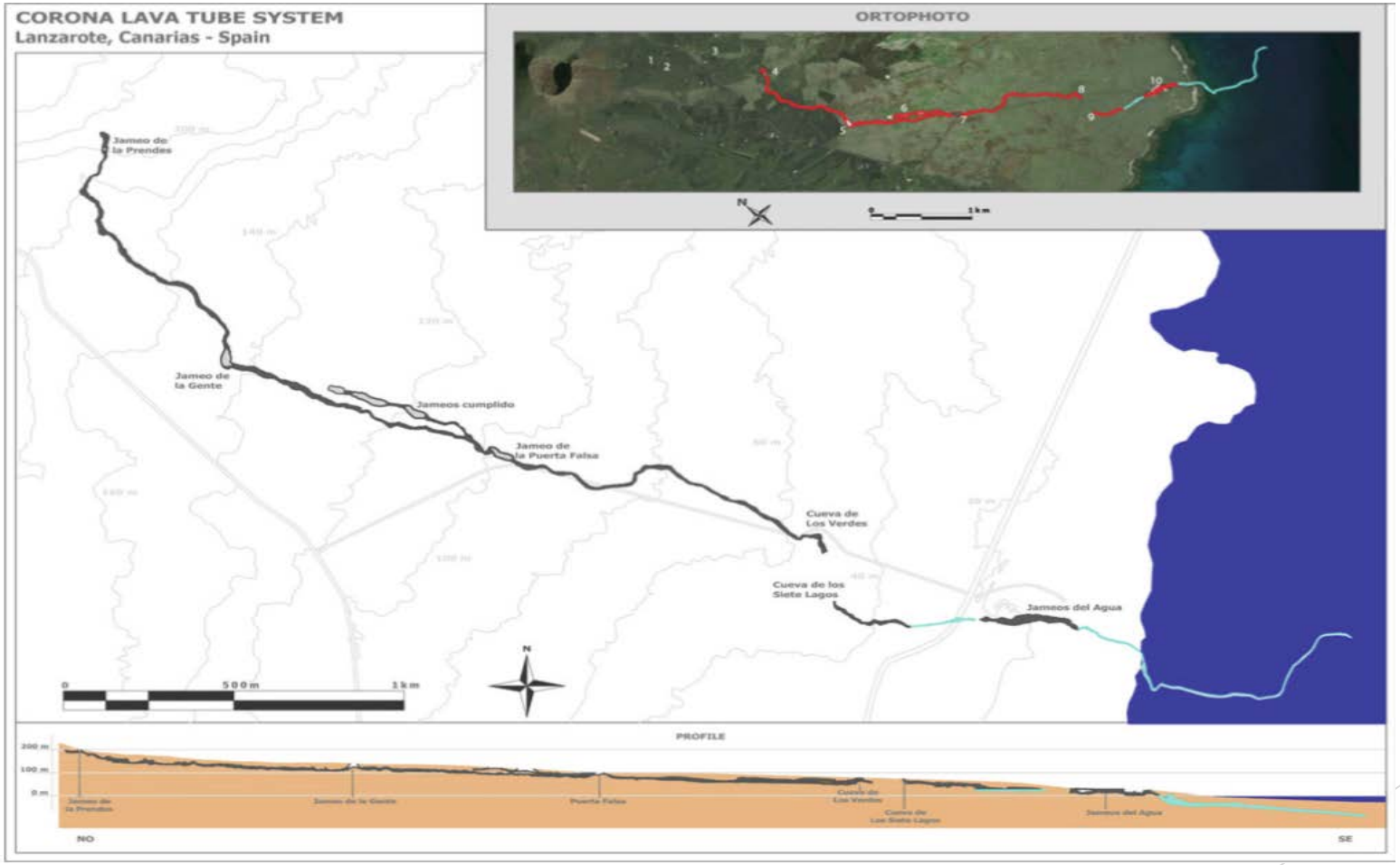
Le isole Canarie (in particolare Lanzarote) rappresentano un'area favorevole allo studio dei tubi di lava, per la:

- presenza di campi vulcanici ben conservati in presenza di clima arido e quindi privi di vegetazione;
- Presenza di tubi recenti, ben conservati e di diverse dimensioni (da eruzione del Timanfaya, e del vulcano Corona),alcuni parzialmente sommersi dal mare;
- Presenza di altri tipi di cavità (geyser esplosivi , "hornitos", doline da crollo sulla sommità dei tunnel lavici ("jameos" nella lingua locale).



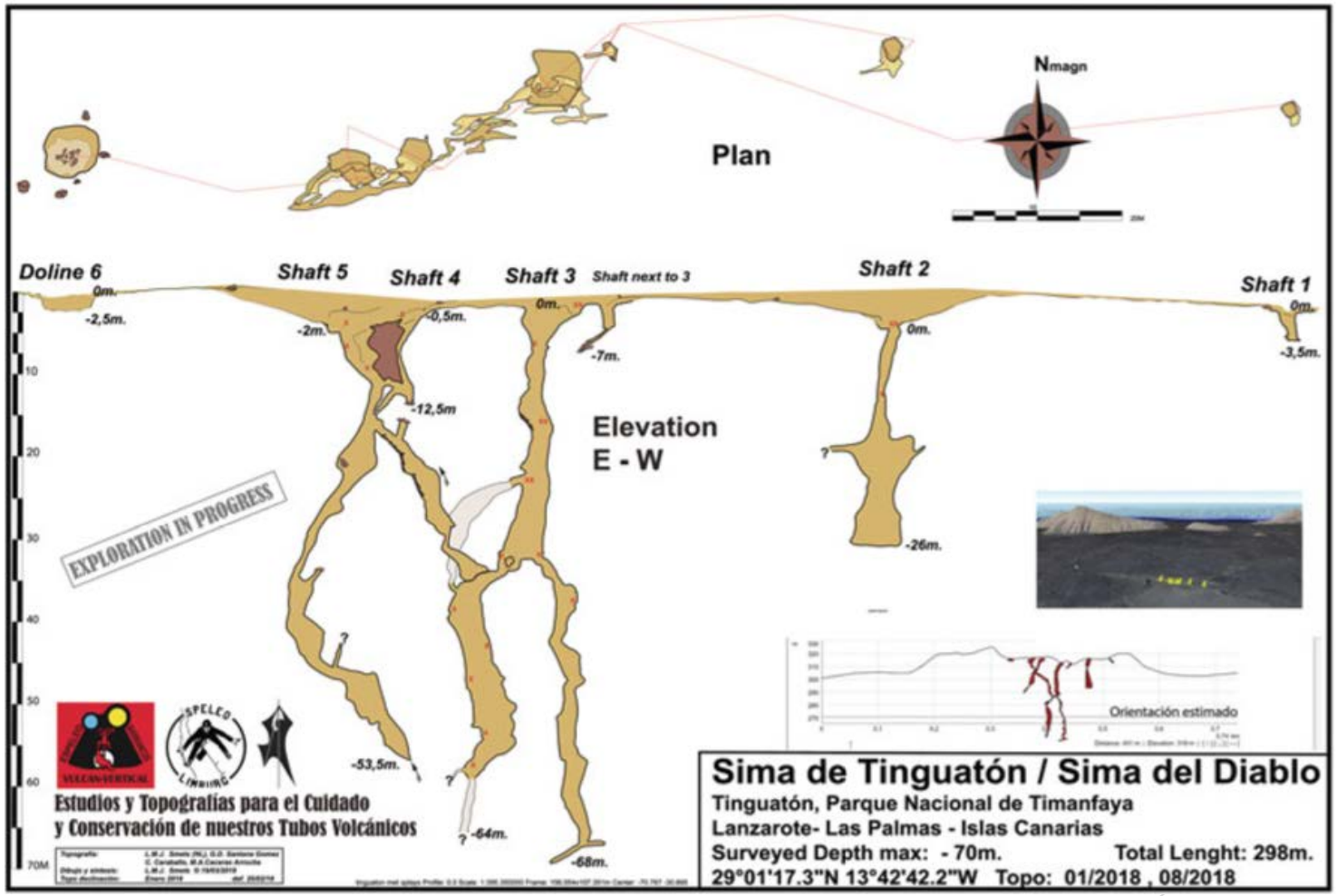
I tubi di lava del Corona

Il sistema di tubi di lava del Corona è uno dei più voluminosi ed estesi conosciuti al mondo. Con sezioni del condotto fino a 25 m di larghezza e 50 m di altezza e uno sviluppo totale di 6,1 km.



Le cavità del Tinguatòn

Qui la particolarità è data dalla presenza di una serie di geyser allineati nel cratere di Tinguaton con una profondità che arriva anche a - 64 m. L'esplorazione e la mappatura di queste particolari morfologie ha offerto la possibilità unica di studiare i condotti dei geyser dall'interno e nei minimi dettagli.



Biologia, microbiologia, astrobiologia e minerali secondari

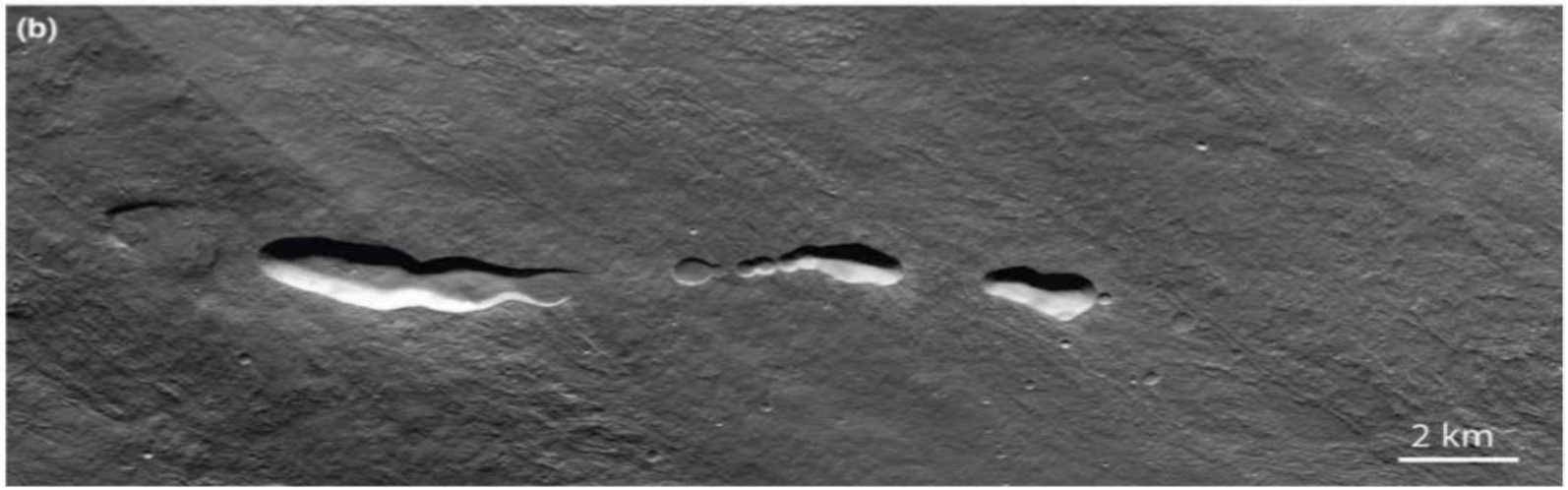
Lo studio dei tubi di lava ha consentito, tra l'altro, notevoli avanzamenti nelle conoscenze scientifiche, finalizzate alla colonizzazione di quelli extraterrestri.

- Scoperta di nuovi minerali (a composizione solfato-calcica; idrossidi di halite e di ferro, ecc.).
- Studi di microbiologia applicabili ad ambienti extraterrestri (predominanza di alofili batterici nella classe dei gammaproteobatteri eventualmente presenti anche su Marte).

La presenza di comunità batteriche associate a solfati come gesso e halite rende questi ambienti un ottimo analogo a quanto ci si aspetta di trovare nel sottosuolo marziano in termini di ambienti geochimici e forme di vita potenziali.

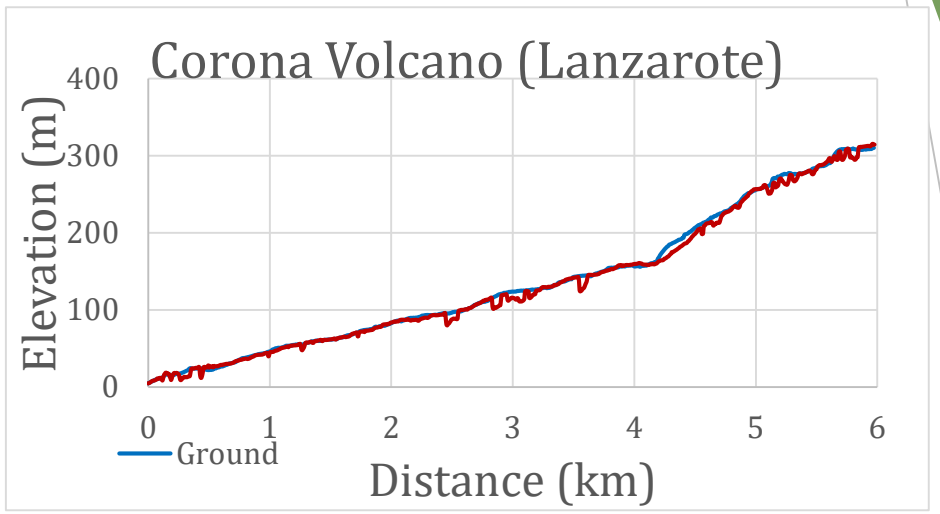
Analogie planetarie

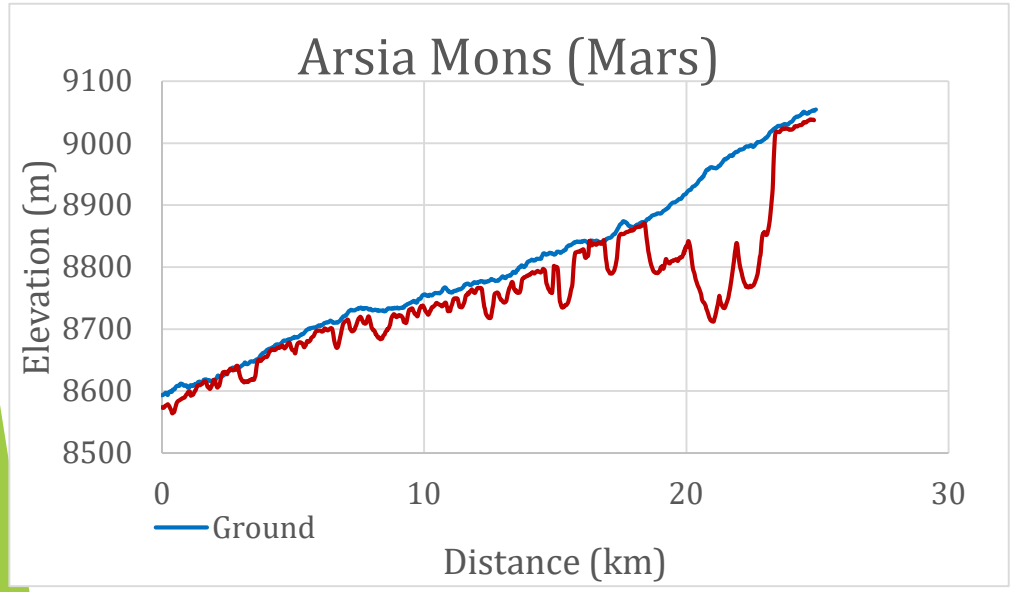
I numerosi processi vulcano-speleogenetici e i diversi studi di casi che possono essere osservati nel sottosuolo di Lanzarote rappresentano un ottimo analogo per comprendere la genesi di cavità e doline in terreni vulcanici di altri corpi planetari come Marte e la Luna.

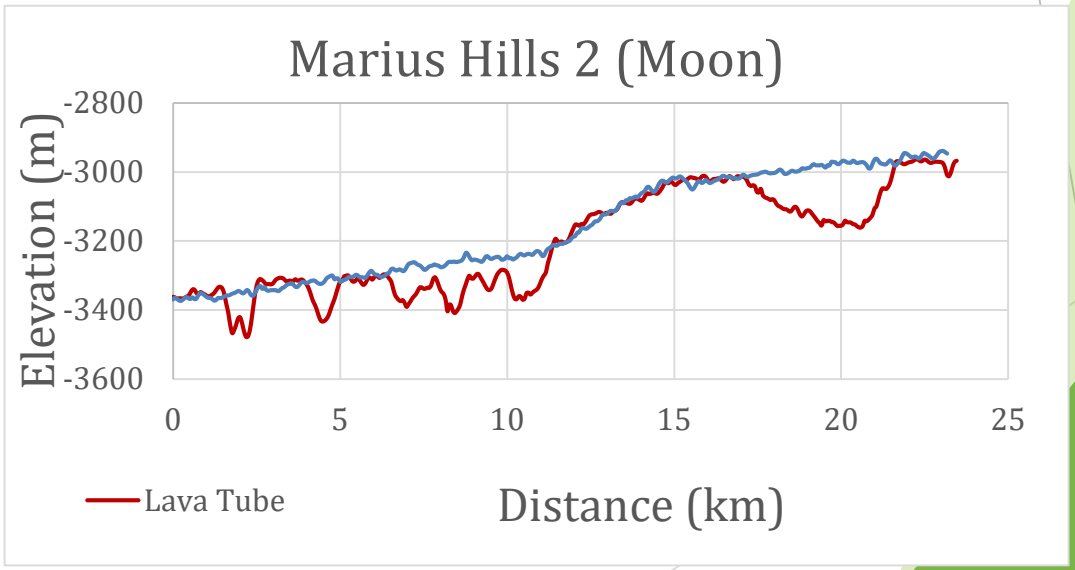


Differenze tra la Terra, la Luna e Marte

La differenza sostanziale fra la formazione dei tubi di lava sulla Terra e sugli altri corpi celesti citati, sta nelle caratteristiche fisiche e ambientali dei corpi celesti stessi. In totale sono stati individuati e cartografati 112 doline da crollo sulla Terra, 81 su Marte e 26 sulla Luna.



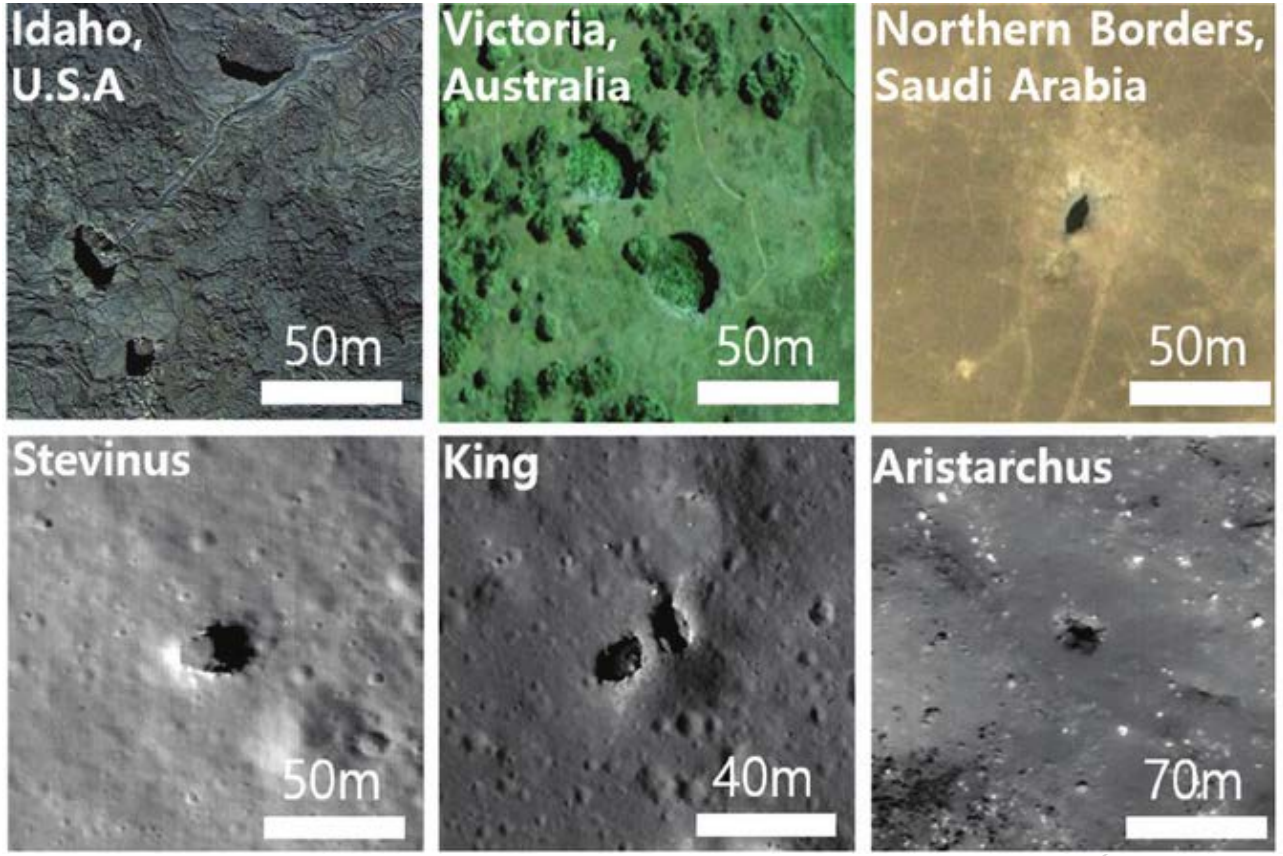




Confronto tra la Terra e la Luna

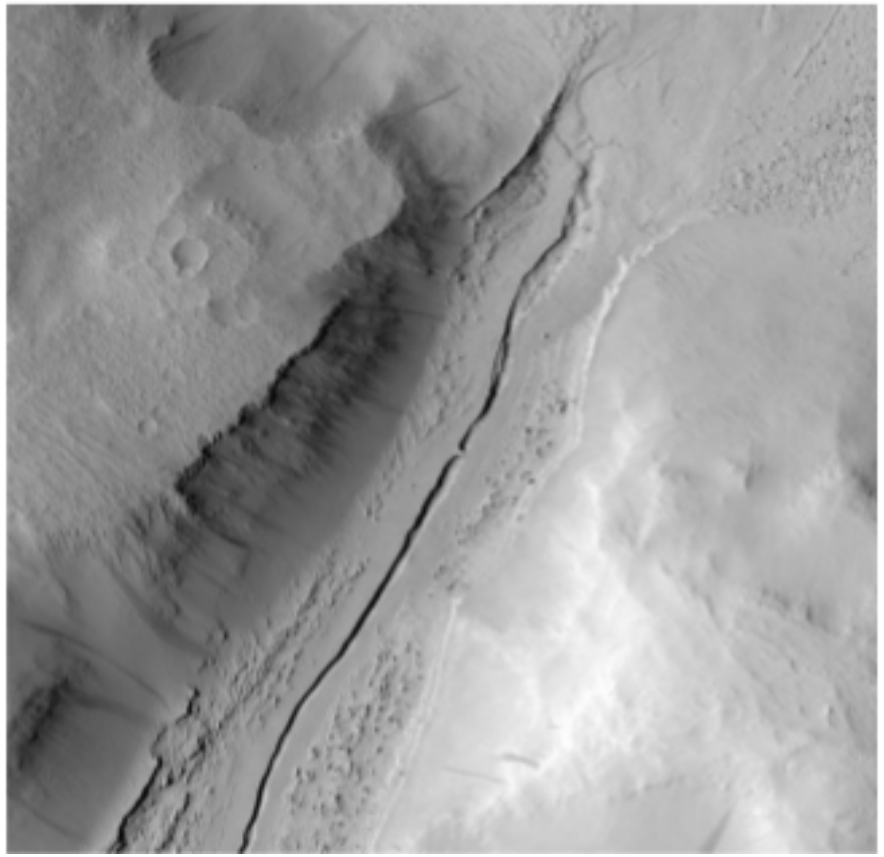
- La maggior parte delle morfologie superficiali lunari, con diametro di oltre 60 m, non sono adatte per l'istallazione di basi umane, poiché richiedono materiali da costruzione e attrezzature non facilmente trasportabili ed economicamente svantaggiose.
- Invece, morfologie di minori dimensioni (inferiori a 50 m) consentirebbero una colonizzazione iniziale.

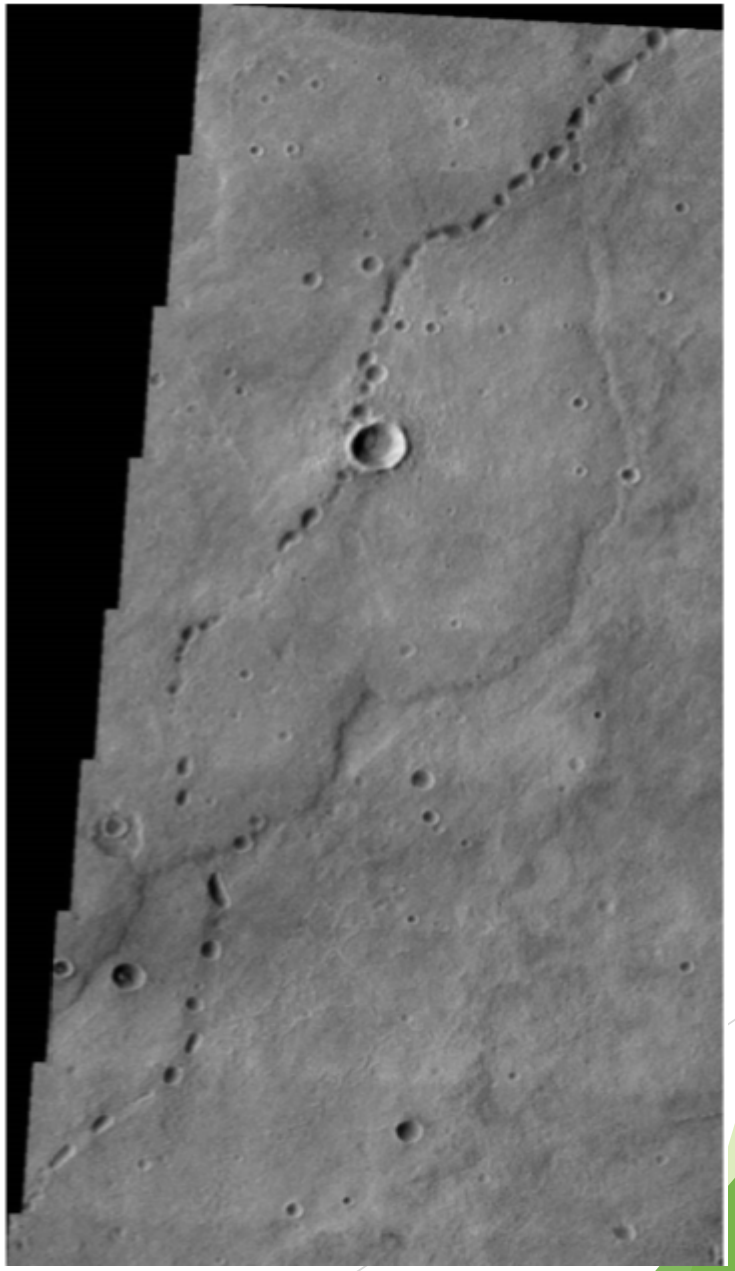
Di recente sono stati individuati moltissimi accessi a tubi lavici, di dimensioni inferiori a 50 m, sparsi su tutta la superficie della Luna. Essi presentano notevoli somiglianza con quelli terrestri.



Confronto tra La Terra e Marte

Nelle regioni Pavonis e Ascraeus Montes, così come nelle colate di Hadriaca Patera, i tubi di lava sembrano essere collassati, lasciando tratti lineari, a volte discontinui, simili a canali. Le grotte sono state identificate anche dalla presenza di "lucernari", che possono originarsi come aperture in soffitti parzialmente crollati di tubi di lava.





Risultati raggiunti: morfologia dei crateri

Le profondità dei collassi dolinici sono calcolabili solo quando la vista del pavimento è consentita (Eq. 1).

$$D=L/\tan(i)$$

Lo spessore della volta deve essere ottenuto in anticipo per determinare l'altezza e viene calcolato come segue:

$$c = t/\sin(e)$$

Quindi l'altezza dello spazio interno, h, è data da:

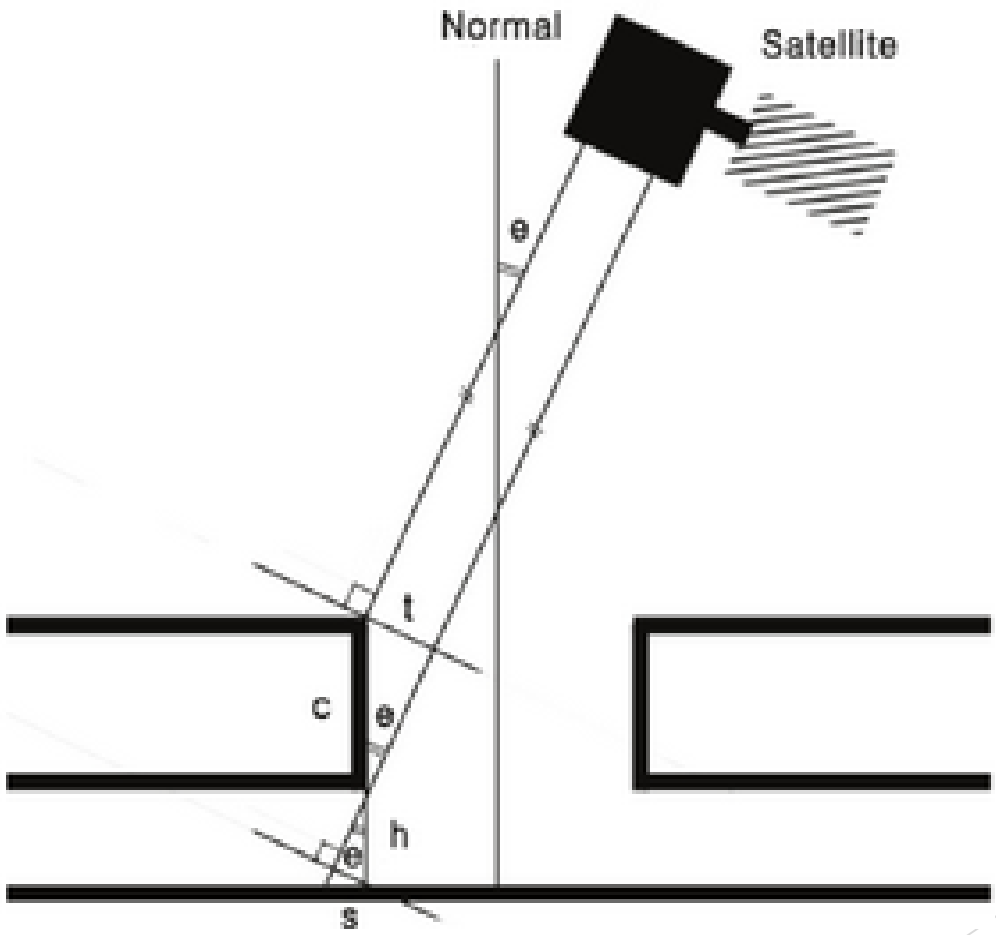
$$h=100-c$$

Utilizzando l'altezza e l'angolo di emissione, la dimensione dello spazio interno, s, viene determinata con l'equazione:

$$s=h\tan(e)$$

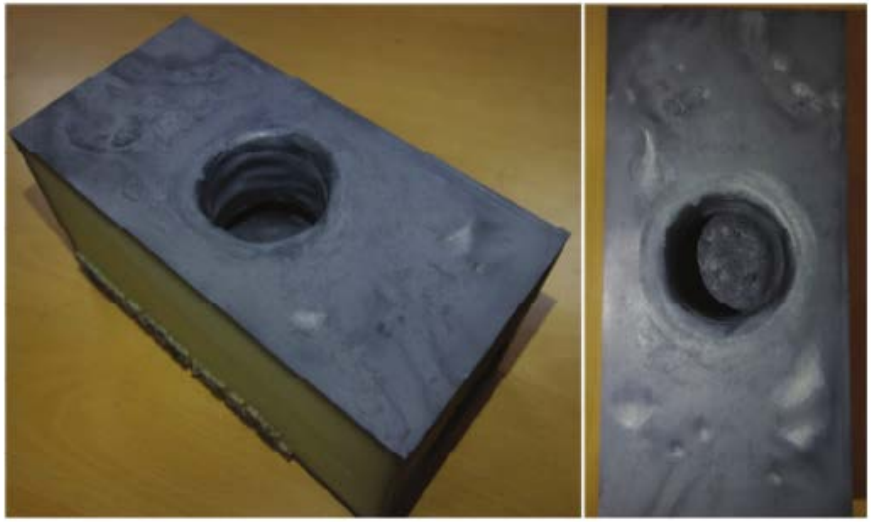
Infine, la dimensione può essere calcolata come segue

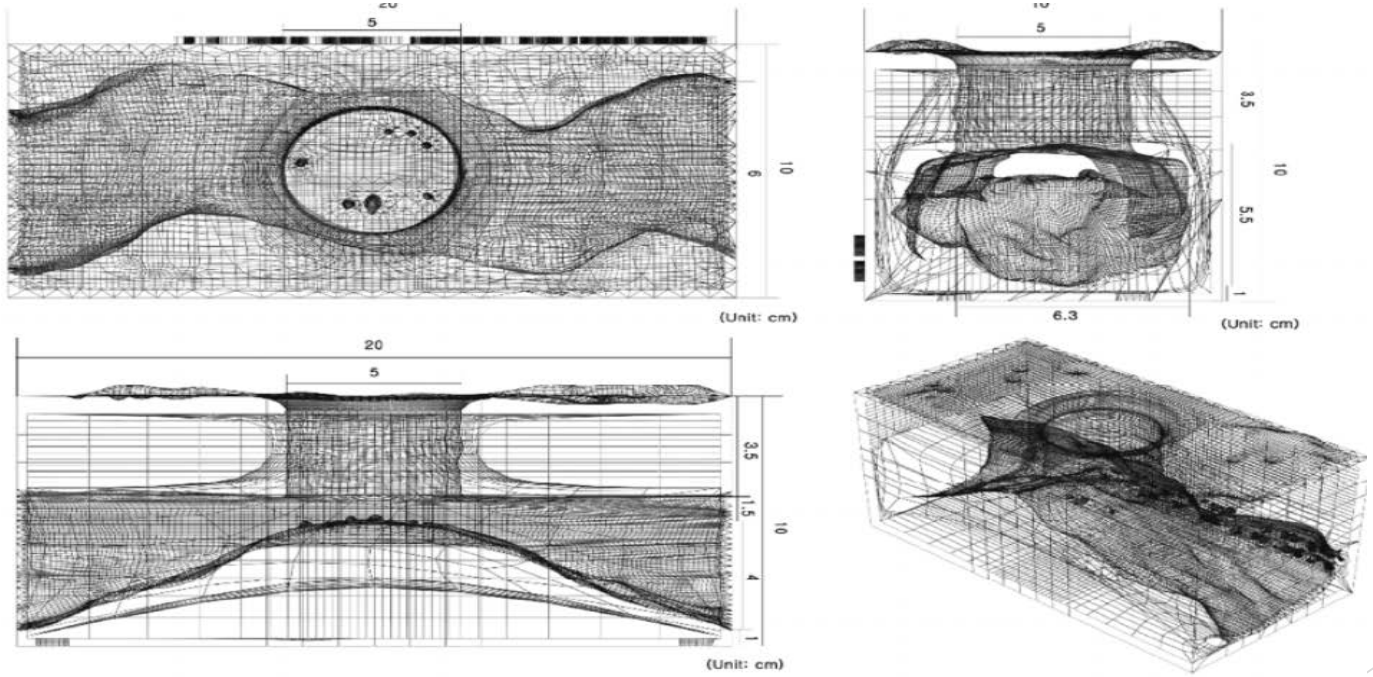
$$s = [100 - t/\sin(e)]\tan(e)$$



Struttura 3D

Un modello fisico 3D è stato prodotto utilizzando la stampante 3D del *Da Vinci Lab del Korea Aerospace Research Institute* (KARI). Per la progettazione del modello si è utilizzato il software 3DS MAX di Autodesk Inc..





Progetti futuri: ESA PANGAEA

Nelle future missioni planetarie si esploreranno ambienti geologici con l'obiettivo di risolvere importanti questioni scientifiche attraverso il campionamento e la documentazione in campo.

- In questo contesto, l'ESA ha sviluppato il PANGAEA (*Planetary ANalogue Geological and Astrobiological Exercise for Astronauts*), un programma progettato per insegnare agli astronauti metodi efficaci di osservazione e decisione, nonché tecniche descrittive e di documentazione.

- Il corso è stato progettato per fornire agli astronauti e agli ingegneri una conoscenza introduttiva dei processi genetici e delle morfologie terrestri per un'analisi comparata con le analoghe forme planetarie.

ESA CAVES

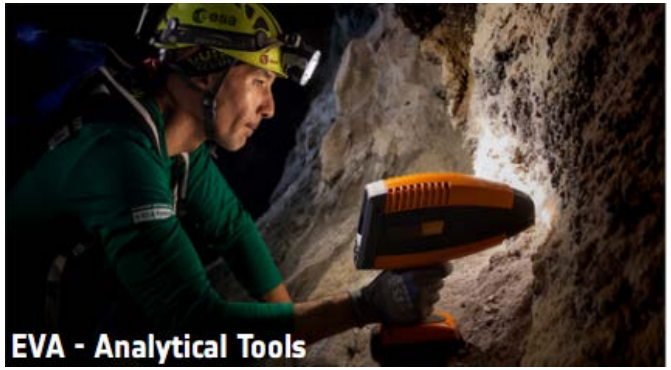
Altro progetto dell'ESA, lanciato nel 2011, è denominato CAVES (*Cooperative Adventure for Valuing and Exercising human behaviour and performance skills*), che coinvolge astronauti delle Agenzie Spaziali Partner.

Circa 28 astronauti provenienti da agenzie spaziali di tutto il mondo (ESA, NASA, JAXA, JAXA, ROSCOSMOS, CSA, CNSA) hanno partecipato alla formazione. CAVES intende fornire modelli realistici per voli spaziali di esplorazione e mappatura geologica.

ESA PANGAEA-eXtension Tecnologie e concetti operativi

Sampling Sequence with Constrains (SAMCO) and Operation Concept Comparison (OPSCO): verifica dell'uso di una combinazione di strumentazione (strumenti Apollo, SPLIT, strumenti PANalitici) e di diversi protocolli per operazioni di superficie per la ricognizione e la raccolta di campioni.

PANalytical (PAN):): I dispositivi analitici PANalitici XRF e VNIR sono stati testati per l'analisi in situ dei campioni prelevati dagli astronauti, anche con integrazione all'esperimento OPSCO.



Small Planetary Linear Impulse Tool (SPLIT): Questo strumento sviluppato dall'Università di Leicester fornisce un nuovo metodo di campionamento della rocce mediante sistemi a percussione.

ESA PANGAEA-eXtension Tecnologie e concetti operativi

Environment Modelling and Navigation for Robotic Space-Exploration (ENTERN): questo progetto di ricerca condotto dal DFKI si è concentrato sulla sperimentazione di un sistema rover per l'esplorazione di tubi di lava.

Microbiological Sampling Sequence (MICSS) e DNA extraction (DNAX), con il supporto del Mobile Procedur Viewer (MOBIPV): estrazione e sequenziamento del DNA in situ in tubi di lava.

Pegasus backpak (PEGASUS LEICA): Leica Geosystems (Francia) ha testato un sistema combinato SLAM/LIDAR integrato in zaini portatili, per la mappatura in tempo reale di lava tubes e terreni accidentati.

ASPETTI INGEGNERISTICI ED AMBIENTALI

- Allo stato attuale delle conoscenze, gli aspetti ingegneristici connessi alla realizzazione delle strutture residenziali sono ancora molto approssimativi e ad uno stadio iniziale di ideazione.
- Una possibile soluzione potrebbe essere quella di utilizzare involucri gonfiabili e pressurizzabili che si adattino al volume interno delle cavità, realizzando ambienti idonei alla vita umana. Gli stessi avrebbero il vantaggio di una più facile ed economica trasportabilità dalla Terra.

- Al momento occorre approfondire anche gli aspetti connessi alla valutazione della Pericolosità, Vulnerabilità e Rischio dei siti di impianto.
- Profili di pericolosità da non sottovalutare, almeno per Marte, sono connessi comunque alla possibilità di innesco e propagazione di frane e colate detritiche (anche fangose ?) con elevata mobilità che, in presenza di un'atmosfera rarefatta, di un campo gravitazionale non del tutto trascurabile, di attività sismica e scioglimento di eventuale permafrost, potrebbero coinvolgere le basi umane.

- Molti studi sull'innesco e propagazione di debris flows in ambiente marziano sono stati realizzati negli ultimi anni dalla NASA ed ESA in collaborazione con Università in tutto il mondo

Conclusioni

- L'esplorazione delle cavità su altri corpi celesti richiederà progressi significativi nei sistemi mobili robotici e autonomi, negli strumenti scientifici e nei sistemi di navigazione/comunicazione.

In questa direzione è stato proposto il sistema "cliffbot'" TRESSA (*Teamed Robots for Exploration and Science on Steep Areas*) per l'esplorazione dell'ambiente ipogeo marziano.

Gli obiettivi principali per il prossimo futuro, vedendo anche i progetti e gli studi dell' ESA per:

- la sperimentazione di tecnologie e operazioni di campionamento geologico e geomicrobiologico;
- la sperimentazione di tecnologie per l'esplorazione, la mappatura dei tubi di lava, la navigazione e la comunicazione in condizioni avverse.

- Entrambi questi obiettivi sono finalizzati allo sviluppo di strategie di esplorazione e rilevamento geologico extraterrestre, con particolare attenzione all'ambiente lunare e marziano, per stanziare le prime basi umane in condizioni di sicurezza.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Dal passato…..

Al futuro