



Publication Year	2022
Acceptance in OA	2023-07-18T12:13:55Z
Title	La ricerca della vita nel Sistema Solare passa attraverso il Laboratorio di Astrobiologia dell'INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri / The search for life in the Solar System passes through the Astrobiology Laboratory of the INAF-Arcetri Astrophysical Observatory
Authors	FORNARO, Teresa, BRUCATO, John Robert
Publisher's version (DOI)	10.36253/cdg-13837
Handle	http://hdl.handle.net/20.500.12386/34296
Journal	IL COLLE DI GALILEO
Volume	11



Il Colle di
Galileo

La ricerca della vita nel Sistema Solare passa attraverso il Laboratorio di Astrobiologia dell'INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri

The search for life in the Solar System passes through the Astrobiology Laboratory of the INAF-Arcetri Astrophysical Observatory

Teresa Fornaro, John Robert Brucato
INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Firenze

Sommario. L'attività scientifica del Laboratorio di Astrobiologia dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri spazia dalla ricerca sull'origine della vita, a simulazioni di processi rilevanti da un punto di vista astrobiologico, ricerca di tracce di vita nel Sistema Solare, sviluppo di tecnologie per l'esplorazione planetaria, fino all'analisi di campioni extraterrestri riportati sulla Terra e sviluppo di metodologie di protezione planetaria e strutture per la curatela di campioni extraterrestri.

Parole chiave. Astrobiologia, rilevamento di tracce di vita, biofirme, esplorazione di Marte, strumenti spaziali da volo, protezione planetaria.

Abstract. The scientific activity of the Astrobiology Laboratory of the Arcetri Astrophysical Observatory spans from research on the origin of life to simulations of astrobiologically relevant processes, the search for life in the Solar System and the development of planetary exploration technologies, along with the analysis of extraterrestrial samples brought back to Earth and the development of planetary protection methodologies and facilities for the curation of extraterrestrial samples.

Keywords. Astrobiology, life detection, biosignatures, exploration of Mars, space flight instruments, planetary protection.

Overview of the research activities and instrumentation of the Astrobiology Laboratory

The Astrobiology Laboratory of the INAF-Astrophysical Observatory of Arcetri, established by Dr. John Robert Brucato in 2010, is involved in many research projects to support the search

Panoramica delle attività di ricerca e della strumentazione del Laboratorio di Astrobiologia

Il Laboratorio di Astrobiologia dell'INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri, fondato dal Dr. John Robert Brucato nel 2010, è coinvolto in numerosi progetti di ricerca a supporto della ricerca di tracce di vita passata o presente, le cosiddette biofirme, su corpi astrobiologicamente rilevanti del Sistema Solare come il pianeta Marte.

L'obiettivo principale delle attività di laboratorio è quello di rilevare e identificare molecole organiche in questi corpi, poiché composti organici semplici costituiscono nutrienti per la vita e la loro scoperta su altri corpi del Sistema Solare potrebbe rappresentare una prova cruciale di abitabilità, mentre molecole organiche complesse potrebbero rappresentare tracce reali di vita estinta/presente e fornire prove dirette di attività biologica.

Per rilevare gli organici e poter distinguere se essi derivano da processi geochimici (abiotici) o biologici (biotici), il gruppo di ricerca del Laboratorio di Astrobiologia ha acquisito esperienza nella simulazione di una vasta gamma di ambienti extraterrestri (Fornaro et al., 2013a; Fornaro et al., 2013b; Fornaro et al., 2013c; Potenti et al., 2018; Fornaro et al., 2018a; Fornaro et al., 2018b; Poggiali et al., 2020; Fornaro et al., 2020; Corazzi et al., 2020; Razzell Hollis et al., 2021). Alcune delle attività principali riguardano: (i) preparazione di campioni analoghi planetari, composti da minerali e sali rappresentativi, dopati con diverse classi di composti organici, incluse possibili biofirme molecolari; (ii) trattamento dei

for traces of past or present life, the so-called biosignatures, on astrobiologically relevant bodies in the Solar System like the planet Mars.

The main objective of the laboratory activities is to detect and identify organic molecules in these bodies, as simple organic compounds constitute nutrients for life and their discovery on other bodies in the Solar System may represent crucial proof of habitability, while complex organic molecules may represent actual traces of extinct/extant life and provide direct evidence of biological activity.

To detect organics and to be seen whether they originate from geochemical (abiotic) or biological (biotic) processes, the Astrobiology Laboratory research team has been gaining expertise in the simulation of a wide range of extraterrestrial environments (Fornaro et al., 2013a; Fornaro et al., 2013b; Fornaro et al., 2013c; Potenti et al., 2018; Fornaro et al., 2018a; Fornaro et al., 2018b; Poggiali et al., 2020; Fornaro et al., 2020; Corazzi et al., 2020; Razzell Hollis et al., 2021). Some of the main activities are: (i) preparation of analog planetary samples, made up of representative minerals and salts, doped with different classes of organic compounds, including possible molecular biosignatures; (ii) processing of the analog planetary samples under simulated planetary conditions to investigate stability/preservation of organic compounds and their degradation mechanisms, in order to gain insights into the possible transformation of the organics in extreme planetary conditions, more accurately define molecular targets to seek, and predict the likelihood of finding organics preserved in specific mineral matrices; (iii) characterization of analog planetary samples with techniques similar to those

campioni analoghi planetari in condizioni planetarie simulate per studiare la stabilità/preservazione dei composti organici e i loro meccanismi di degradazione, al fine di ottenere informazioni sulla possibile trasformazione degli organici in condizioni planetarie estreme, definire più accuratamente i target molecolari da cercare, e prevedere la probabilità di trovare organici preservati in specifiche matrici minerali; (iii) caratterizzazione di campioni analoghi planetari con tecniche simili a quelle a bordo delle missioni spaziali per confrontare direttamente il dataset di laboratorio con i dati di missione e aiutarne l'interpretazione.

Questi esperimenti vengono eseguiti con la strumentazione disponibile nel laboratorio che include: spettrofotometro UV, interferometro FT-IR e microscopio per spettroscopia infrarossa in trasmittanza e riflettanza, una camera ad ultra alto vuoto per la gascromatografia-spettrometria di massa, e un setup di cromatografia liquida-spettrometria di massa. In entrambi gli apparati FT-IR ed alto vuoto, è possibile riprodurre una vasta gamma di ambienti extraterrestri attraverso il controllo termico da criogenico a temperature elevate e irraggiamento UV in-situ.

La Figura 1 riporta il setup sperimentale utilizzato per eseguire l'irraggiamento di campioni analoghi con luce UV in condizioni controllate di pressione e temperatura che simulano le condizioni planetarie.

Il laboratorio è anche attrezzato per la manipolazione di meteoriti e campioni riportati sulla Terra da missioni spaziali, in conformità con i requisiti di pulizia per evitare contaminazioni organiche. La collezione del laboratorio comprende decine di minerali, molecole e meteoriti.

onboard the space missions in order to directly compare the laboratory dataset with mission data and help their interpretation.

These experiments are performed with the laboratory equipment that includes: UV spectrophotometer, FT-IR interferometer and microscope for transmission and reflectance IR spectroscopy, an Ultra-high vacuum chamber for gas chromatography mass spectrometry and a Liquid Chromatography-Mass Spectrometry setup. In both FT-IR and high vacuum apparatus, it is possible to reproduce a wide range of extraterrestrial environments through thermal control from cryogenic to high temperatures and UV in-situ irradiation.

Figure 1 shows the experimental setup used to perform irradiation of analog samples with UV light under controlled pressure and temperature, simulating planetary conditions.

The laboratory is also equipped for the manipulation and handling of meteorites and samples brought back to Earth from space missions, in compliance with cleanliness requirements to avoid organic contamination. The laboratory collection includes dozens of minerals, molecules and meteorites.

Scientific Support to Mars exploration rover missions

Some members of the Astrobiology Laboratory are actively participating in the NASA Mars 2020 rover mission, which took the Perseverance rover to the Jezero crater on Mars on February 18th 2021, to seek traces of past life in the remains of an ancient delta-lake system



Figura 1. Setup di irraggiamento UV presso il Laboratorio di Astrobiologia dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri.

Figure 1. UV irradiation setup at the Astrobiology Laboratory of the Arcetri Astrophysical Observatory.

Supporto scientifico alle missioni robotiche di esplorazione di Marte

Alcuni membri del Laboratorio di Astrobiologia partecipano attivamente alla missione robotica della NASA Mars 2020, che ha portato il rover Perseverance

and collect samples to be brought back to Earth in subsequent space missions in cooperation between NASA and the European Space Agency (ESA) (Williford et al., 2018). In particular, the Arcetri Astrobiology laboratory provides scientific support to help with the identification of organics and their state of preservation in the samples currently under investigation by the Perseverance rover at the Jezero crater, and to assist with the selection of the best samples to collect to bring back to Earth in the future.

Another mission in which the laboratory is involved is the ESA ExoMars mission, which, for the first time ever, will explore the subsurface of Mars up to a depth of two meters, where we expect to find much better conditions for the preservation of biosignatures. In particular, some members of the Astrobiology Laboratory are co-investigators of the *Mars Organics Molecule Analyser (MOMA)* instrument, which is the key instrument on board the ExoMars Rosalind Franklin rover to detect organic molecules and possible molecular biosignatures (Goesmann et al., 2017).

Development of technologies for planetary exploration

The activities of the Astrobiology Laboratory also support the design and technological development of space flight instruments. In particular, the laboratory is responsible for the management and functional testing of AstroBio CubeSat (ABCS), a 3U cubesat selected by ESA, which hosts a mini laboratory payload based on innovative lab-on-chip technology suitable

al cratere Jezero su Marte il 18 febbraio 2021, per cercare tracce di vita passata nei resti di un antico sistema caratterizzato dalla presenza di un lago e del delta di un fiume e raccogliere campioni da riportare sulla Terra attraverso successive missioni spaziali in cooperazione tra NASA e Agenzia Spaziale Europea (ESA) (Williford et al., 2018). In particolare, il laboratorio di astrobiologia di Arcetri fornisce supporto scientifico per aiutare l'identificazione di organici e del loro stato di preservazione nei campioni attualmente sotto investigazione dal rover Perseverance al cratere Jezero, e per assistere la selezione dei campioni più convincenti da raccogliere per il futuro ritorno sulla Terra.

Un'altra missione in cui il laboratorio è coinvolto è ExoMars dell'ESA, che esplorerà per la prima volta in assoluto il sottosuolo di Marte fino ad una profondità di due metri, dove ci aspettiamo di trovare condizioni molto migliori per la conservazione di biofirme. In particolare, alcuni membri del Laboratorio di Astrobiologia sono co-investigatori dello strumento *Mars Organics Molecule Analyser (MOMA)*, che è lo strumento chiave a bordo del rover di ExoMars Rosalind Franklin per rilevare molecole organiche e possibili biofirme molecolari (Goesmann et al., 2017).

Sviluppo di tecnologie per l'esplorazione planetaria

Le attività del Laboratorio di Astrobiologia forniscono anche un supporto alla progettazione e allo sviluppo tecnologico di strumenti spaziali da volo. In

for research in the life sciences, biotechnology and pharmaceutical technologies sectors. The aim of the project is to test, in space environments, an automatic laboratory based on lab-on-chip technology capable of providing a highly integrated in-situ multiparameter platform that uses immunoassay tests, exploiting chemiluminescence detection. In-orbit validation of the technology proposed would represent a significant breakthrough for autonomous execution of bio-analytical experiments in space with potential application in planetary exploration for biomarker detection, astronaut healthcare, space station environmental monitoring and more. Development of this kind of technology for space application will enable its use in future astrobiology missions in the Solar System (Brucato et al., 2020).

Planetary Protection

Planetary protection is the name of all the activities and protocols performed in a space mission in order to prevent forward contamination of astrobiologically relevant targets (Mars, Europa, Enceladus...) and backward contamination of Earth with possible extraterrestrial life when bringing back samples. The main activities are the development of protocols, procedures and methods for sterilizing and cleaning instruments on board missions to sensitive targets; the design of curation facilities for analyzing and managing extraterrestrial material brought back to Earth. Some of the members of the Astrobiology Laboratory were involved in planetary protection for the ExoMars mission and sat on several boards to establish international protocols to

particolare, il laboratorio è responsabile della gestione e del test funzionale di AstroBio CubeSat (ABCS), un cubesat 3U selezionato dall'ESA, che ospita un mini payload di laboratorio basato su una tecnologia innovativa lab-on-chip adatta alla ricerca nei settori delle scienze della vita, delle biotecnologie e delle tecnologie farmaceutiche. L'obiettivo del progetto è quello di testare in ambienti spaziali un laboratorio automatico basato sulla tecnologia lab-on-chip, in grado di fornire una piattaforma multiparametrica in-situ altamente integrata che utilizza test immunoassay sfruttando la rilevazione della chemiluminescenza. La convalida in orbita della tecnologia proposta rappresenterebbe un significativo passo avanti per l'esecuzione autonoma di esperimenti bio-analitici nello spazio con potenziale applicazione nell'esplorazione planetaria per il rilevamento di biomarcatori, la salute degli astronauti, il monitoraggio ambientale delle stazioni spaziali e altro ancora. Lo sviluppo di questo tipo di tecnologia per applicazioni spaziali ne permetterà l'uso in future missioni di astrobiologia verso il Sistema Solare (Brucato et al., 2020).

Protezione planetaria

La protezione planetaria è il nome di tutte le attività e i protocolli operati in una missione spaziale al fine di prevenire la contaminazione sia di target rilevanti da un punto di vista astrobiologico (Marte, Europa, Encelado ...) sia della Terra con possibile vita extraterrestre durante la missione di ritorno del campione.

avoid contamination of the outer Solar System in future missions through the "Planetary Protection of Outer Solar System (PPOSS)" project. This project, funded by the European Commission H2020, ended with the publication of a handbook on the state-of-the-art and good practices to implement planetary protection requirements (PPOSS Consortium 2018). The Astrobiology Laboratory also took part in EURO-CARES, a European Commission H2020 research project which develops a roadmap for a European Sample Curation Facility, to handle extraterrestrial samples brought back to Earth from space exploration missions.

Bibliography

- Brucato J. R., A. Nascetti, A. Meneghin, D. Paglialunga, G. Poggiali, L. Iannascoli (2020) AstroBio CubeSat a new tool for astrobiology experiments in Medium Earth Orbit. AAS Division of Planetary Science meeting 52, id. 001.03. Bulletin of the American Astronomical Society, 52(6).
- Fornaro T., Boosman A., Brucato J. R., ten Kate I. L., Siljeström S., Poggiali G., Steele A. and Hazen R. M. (2018a) UV irradiation of biomarkers adsorbed on minerals under Martian-like conditions: Hints for life detection on Mars. *Icarus* 313, 38–60.
- Fornaro T., Brucato J., Poggiali G., Corazzi M. A., Biczysko M., Jaber M., Foustoukos D., Hazen R. and Steele A. (2020) UV Irradiation and Near Infrared Characterization of Laboratory Mars Soil Analog Samples: the case of Phthalic Acid, Adenosine 5'-Monophosphate,

Le attività principali riguardano: lo sviluppo di protocolli, procedure e metodi per la sterilizzazione e la pulizia degli strumenti a bordo di missioni verso target sensibili; la progettazione di strutture di curatela per l'analisi e la gestione di materiale extraterrestre riportato sulla Terra. Alcuni membri del Laboratorio di Astrobiologia sono stati coinvolti nella protezione planetaria per la missione Exo-Mars e hanno partecipato a diversi consigli per stabilire protocolli internazionali per evitare la contaminazione del Sistema Solare esterno nelle missioni future attraverso il progetto "Planetary Protection of Outer Solar System (PPOSS)". Questo progetto finanziato dalla Commissione Europea H2020 si è concluso con la pubblicazione di un manuale sullo stato dell'arte e sulle buone pratiche per implementare i requisiti di protezione planetaria (PPOSS Consortium 2018). Il Laboratorio di Astrobiologia ha partecipato anche all'EURO-CARES, un progetto di ricerca della Commissione Europea H2020, che sviluppa una roadmap per una European Sample Curation Facility, per manipolare campioni extraterrestri riportati sulla Terra da missioni di esplorazione spaziale.

Bibliografia

Brucato J. R., A. Nascetti, A. Meneghin, D. Paglialunga, G. Poggiali, L. Iannascoli (2020) AstroBio CubeSat a new tool for astrobiology experiments in Medium Earth Orbit. AAS Division of Planetary Science meeting 52, id. 001.03. Bulletin of the American Astronomical Society, 52(6).

L-Glutamic Acid and L-Phenylalanine Adsorbed onto the Clay Mineral Montmorillonite in the Presence of Magnesium Perchlorate. *Front. Astron. Space Sci.* 2020. <https://doi.org/10.3389/fspas.2020.539289>.

Fornaro T., Brucato J. R., Branciamore S. and Pucci A. (2013a) Adsorption of Nucleic Acid Bases on Magnesium Oxide (MgO). *Int. J. Astrobiol.* 12, 78–86.

Fornaro T., Brucato J. R., Feuillie C., Sverjensky D. A., Hazen R. M., Brunetto R., D'Amore M. and Barone V. (2018b) Binding of Nucleic Acid Components to the Serpentine-hosted Hydrothermal Mineral Brucite. *Astrobiology* 18, 989–1007.

Fornaro T., Brucato J. R., Pace E., Cestelli-Guidi M., Branciamore S. and Pucci A. (2013b) Infrared Spectral Investigations of UV Irradiated Nucleobases Adsorbed on Mineral Surfaces. *Icarus* 226, 1068–1085.

Fornaro T., Brucato J. R., Pucci A., Branciamore S. (2013c) Development of Extraction Protocols for Life Detection Biosensor-based Instruments. *Planetary and Space Science* 86, 75-79.

Goesmann F., Brinckerhoff W. B., Raulin F., Goetz W., Danell R., Getty S., Siljeström S., Mißbach H., Steininger H., Jr. Arevalo R. D., Buch A., Freissinet C., Grubisic A., Meierhenrich U. J., Pinnick V., Stalport F., Szopa C., Vago J. L., Lindner R., Schulte M. D., Brucato J. R., Glavin D. P., Grand N., Li X., van Amerom F. H. W., and the MOMA Science Team (2017) The Mars Organic Molecule Analyzer (MOMA) Instrument: Characterization of Organic Material in Martian Sediments. *Astrobiology* 2017, 17(6-7), 655-685.

- Fornaro T., Boosman A., Brucato J. R., ten Kate I. L., Siljeström S., Poggiali G., Steele A. and Hazen R. M. (2018a) UV irradiation of biomarkers adsorbed on minerals under Martian-like conditions: Hints for life detection on Mars. *Icarus* 313, 38–60.
- Fornaro T., Brucato J., Poggiali G., Corazzi M. A., Biczysko M., Jaber M., Foustoukos D., Hazen R. and Steele A. (2020) UV Irradiation and Near Infrared Characterization of Laboratory Mars Soil Analog Samples: the case of Phthalic Acid, Adenosine 5'-Monophosphate, L-Glutamic Acid and L-Phenylalanine Adsorbed onto the Clay Mineral Montmorillonite in the Presence of Magnesium Perchlorate. *Front. Astron. Space Sci.* 2020. <https://doi.org/10.3389/fspas.2020.539289>.
- Fornaro T., Brucato J. R., Branciamore S. and Pucci A. (2013a) Adsorption of Nucleic Acid Bases on Magnesium Oxide (MgO). *Int. J. Astrobiol.* 12, 78–86.
- Fornaro T., Brucato J. R., Feuillie C., Sverjensky D. A., Hazen R. M., Brunetto R., D'Amore M. and Barone V. (2018b) Binding of Nucleic Acid Components to the Serpentine-hosted Hydrothermal Mineral Brucite. *Astrobiology* 18, 989–1007.
- Fornaro T., Brucato J. R., Pace E., Cestelli-Guidi M., Branciamore S. and Pucci A. (2013b) Infrared Spectral Investigations of UV Irradiated Nucleobases Adsorbed on Mineral Surfaces. *Icarus* 226, 1068–1085.
- Fornaro T., Brucato J. R., Pucci A., Branciamore S. (2013c) Development of Extraction Protocols for Life Detection Biosensor-based Instruments. *Planetary and Space Science* 86, 75–79.

Poggiali G., Fornaro T., Potenti S., Corazzi M. A., Brucato J. R. (2020) Ultraviolet photoprocessing of glycine adsorbed on various space-relevant minerals. *Front. Astron. Space Sci.*, doi: 10.3389/fspas.2020.00018.

Potenti S., Manini P., Fornaro T., Poggiali G., Crescenzi O., Napolitano A., Brucato J. R., Barone V., d'Ischia M. (2018) Solid State Photochemistry of Hydroxylated Naphthalenes on Minerals: Probing Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Transformation Pathways under Astrochemically-Relevant Conditions. *ACS Earth Space Chem.*, 2 (10), 977–1000, <https://doi.org/10.1021/acsearthspacechem.8b00060>.

PPOSS Consortium, 2018, The international Planetary Protection Handbook. Committee on Space Research (COSPAR).

Fornaro T., Rapin W., Wade J., Vicente-Retortillo Á., Steele A., Bhartia R., Beegle L. W. (2021) Detection and Degradation of Adenosine Monophosphate in Perchlorate-Spiked Martian Regolith Analogue, by Deep-Ultraviolet Spectroscopy. *J. Razzell Hollis. Astrobiology*. <https://doi.org/10.1089/ast.2020.2362>.

Williford K. H., Farley K. A., Stack K. M., Allwood A. C., Beaty D., Beegle L. W., Bhartia R., Brown A. J., de la Torre Juarez M., Hamran S.-E., Hecht M. H., Hurowitz J. A., Rodriguez-Manfredi J. A., Maurice S., Milkovich S. and Wiens R. C. (2018) The NASA Mars 2020 Rover Mission and the Search for Extraterrestrial Life. In *From Habitability to Life on Mars* Elsevier. pp. 275–308.

- Goesmann F., Brinckerhoff W. B., Raulin F., Goetz W., Danell R., Getty S., Siljeström S., Mißbach H., Steininger H., Jr. Arevalo R. D., Buch A., Freissinet C., Grubisic A., Meierhenrich U. J., Pinnick V., Stalport F., Szopa C., Vago J. L., Lindner R., Schulte M. D., Brucato J. R., Glavin D. P., Grand N., Li X., van Amerom F. H. W., and the MOMA Science Team (2017) The Mars Organic Molecule Analyzer (MOMA) Instrument: Characterization of Organic Material in Martian Sediments. *Astrobiology* 2017, 17(6-7), 655-685.
- Poggiali G., Fornaro T., Potenti S., Corazzi M. A., Brucato J. R. (2020) Ultraviolet photoprocessing of glycine adsorbed on various space-relevant minerals. *Front. Astron. Space Sci.*, doi: 10.3389/fspas.2020.00018.
- Potenti S., Manini P., Fornaro T., Poggiali G., Crescenzi O., Napolitano A., Brucato J. R., Barone V., d'Ischia M. (2018) Solid State Photochemistry of Hydroxylated Naphthalenes on Minerals: Probing Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Transformation Pathways under Astrochemically-Relevant Conditions. *ACS Earth Space Chem.*, 2 (10), 977-1000, <https://doi.org/10.1021/acsearthspacechem.8b00060>.
- PPOSS Consortium, 2018, The international Planetary Protection Handbook. Committee on Space Research (COSPAR).
- Fornaro T., Rapin W., Wade J., Vicente-Retortillo Á., Steele A., Bhartia R., Beegle L. W. (2021) Detection and Degradation of Adenosine Monophosphate in Perchlorate-Spiked Martian Regolith Analogue, by Deep-Ultraviolet Spectroscopy. J. Razzell Hollis. *Astrobiology*. <https://doi.org/10.1089/ast.2020.2362>.

Teresa Fornaro is a researcher at the INAF-Astrophysical Observatory of Arcetri and Professor of Astrobiology at the Department of Physics and Astronomy of the University of Florence. The majority of her work involves life detection investigations on Mars, as participating scientist of the NASA Mars 2020 mission and co-investigator of the MOMA instrument onboard the ESA ExoMars space mission.

John Robert Brucato is an astronomer at the INAF-Astrophysical Observatory of Arcetri and Professor of Astrobiology at the Department of Physics and Astronomy of the University of Florence. His research activity is focused on laboratory studies of the formation and evolution of organic matter in space. He is involved in the study of ESA and NASA space missions to search for life on Mars and primitive asteroids.

Williford K. H., Farley K. A., Stack K. M., Allwood A. C., Beaty D., Beegle L. W., Bhartia R., Brown A. J., de la Torre Juarez M., Hamran S.-E., Hecht M. H., Hurowitz J. A., Rodriguez-Manfredi J. A., Maurice S., Milkovich S. and Wiens R. C. (2018) The NASA Mars 2020 Rover Mission and the Search for Extraterrestrial Life. In *From Habitability to Life on Mars*. Elsevier. pp. 275–308.

Teresa Fornaro è una ricercatrice dell'INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri, e Professore di Astrobiologia presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze. Si occupa principalmente di cercare tracce di vita su Marte, come scienziato partecipante alla missione della NASA Mars 2020 e co-investigatore dello strumento MOMA a bordo della missione spaziale ESA ExoMars.

John Robert Brucato è un astronomo dell'INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri, e Professore di Astrobiologia presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze. Si occupa dello studio in laboratorio della formazione ed evoluzione della materia organica nello spazio. È impegnato nello studio di missioni spaziali dell'ESA e della NASA per la ricerca di vita su Marte e su asteroidi primitivi.