

## PROPOSTA PROGETTUALE

### Corso di dottorato e sua sede amministrativa:

Corso di Dottorato in “Environment, Resources and Sustainable Development”, del Dipartimento di Scienze e Tecnologie, Università degli Studi di Napoli “Parthenope”

### Titolo della borsa di dottorato:

Esperimenti per la classificazione di biofirme, in supporto alle missioni spaziali di interesse astrobiologico, e per lo sviluppo tecnologico di schermature da radiazione e dell'alimentazione spaziale, in supporto all'ISRU.

## PARTE A

### Attività formativa e di ricerca

*Attività di ricerca proposta con riferimento a metodologie, contenuti, approccio interdisciplinare, grado di innovazione e inserimento del dottorando in contesti di ricerca attivi su tecnologie o tematiche spaziali (max 5000 caratteri):*

Il progetto di dottorato proposto, che si svolgerà presso il Laboratorio di Fisica Cosmica, Planetologia e Astrobiologia del Dipartimento di Scienze e Tecnologie (DiST) dell'Università di Napoli “Parthenope” e presso il PLab dell'Istituto Nazionale di Astrofisica-Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali, Roma (PLab/INAF-IAPS), contribuirà alla classificazione di biofirme in supporto alle missioni di esplorazione planetaria di interesse astrobiologico, e.g. Artemis, Mars 2020, ExoMars, JUICE, Europa Clipper. Inoltre, nell'ottica dell'*in-situ* resource utilization (ISRU) e dello studio dell'abitabilità di ambienti extraterrestri, il progetto si propone di identificare potenziali biomolecole attive nella schermatura da radiazioni, e.g., amminoacidi essenziali, pigmenti e antiossidanti, vitamine e numerosi minerali, e definire i limiti chimico-fisici di sopravvivenza di organismi edibili, e.g., *Arthrospira platensis* (alga spirulina - già utilizzata nel progetto MELISSA-ESA).

Gli attuali metodi di indagine di biofirme, e biomolecole metabolicamente attive, in telerilevamento, si basano principalmente sull'interpretazione di dati spettroscopici acquisiti da strumenti che operano nel visibile (VIS) e nell'infrarosso (IR), e.g., SuperCam/Mars 2020, MAJIS/JUICE, MISE/Europa Clipper, NIRSpec e MIRI/JWST. Tuttavia, per ridurre l'ambiguità di falsi positivi o la mancanza di identificazione, la corretta interpretazione dei dati ottenuti richiede un'attività di laboratorio dedicata.

L'attività di ricerca sarà focalizzata su:

- studio fisiologico di diverse tipologie di organismi resistenti, e.g., batteri (*Deinococcus* sp., *Sphingomonas* sp., *Acidithiobacillus* sp.), cianobatteri fotosintetici (*Chroococcidiopsis* sp.), funghi (*Cryomyces* sp.) e specie edibili (*Arthrospira platensis*);
- Test di sopravvivenza di organismi, depositati su minerali e/o ghiacci, sottoposti a pressioni, temperature e irraggiamento che simulino ambienti extraterrestri, e.g., Luna, Marte e lune ghiacciate.
- Analisi della risposta spettrale delle biofirme, e.g., melanine, carotenoidi, clorofille, acidi organici, per la costruzione di un database spettroscopico.
- Studio della produzione di biomolecole attive, e.g., amminoacidi, vitamine e pigmenti, da

parte di organismi sottoposti a condizioni planetarie simulate.

Le diverse fasi del progetto sono:

- preparazione dei campioni biologici selezionati e loro mezzi di crescita;
- preparazione di analoghi mineralogici di Marte e Luna, e.g., regolith-like e ice-like materials, brine, in diverse proporzioni;
- test di vitalità sui campioni biologici (Optical Density Analysis, Colony Forming Units, and post-stress recovery) in seguito ad esposizione a condizioni extraterrestri simulate;
- caratterizzazione spettroscopica (VIS/IR) delle biofirme in condizioni analoghe planetarie (e.g., pressione, umidità, radiazioni ultraviolette e temperatura) riprodotte mediante camere di simulazione in ambiente controllato;
- identificazione di biofirme e.g., clorofilla, carotenoidi, melanina, acidi organici e composti inorganici, prodotti da degradazione radiolitica/ossidativa, silicati superficiali;
- valutazione della stabilità, evoluzione e rilevabilità delle biofirme e molecole attive al variare delle condizioni ambientali;
- costruzione di un dataset spettrale di riferimento per le future missioni spaziali e osservazioni da remoto;
- analisi microstrutturale e biologica mediante microscopia elettronica a scansione, in trasmissione e analisi elementale (i.e., SEM-EDX) che permetterà di studiare possibili meccanismi di adattamento e sopravvivenza (formazione di biominerali e dubiofossili/pseudofossili) e le interazioni organismi-substrato su scala cellulare per le applicazioni ISRU.

Il progetto, che verrà svolto in strettissima collaborazione tra il Laboratorio di Fisica Cosmica, Planetologia e Astrobiologia, DiST, Università di Napoli "Parthenope" e il PLab dell'INAF-IAPS, Roma, si fonda su un elevato grado di interdisciplinarietà e innovazione, possibile grazie anche al supporto dei docenti/ricercatori proponenti con competenze multidisciplinari, in grado di integrare approcci biologici, mineralogici, chimico-fisici e spettroscopici.

I risultati che si otterranno nell'ambito dei tre anni di attività di dottorato contribuiranno a: i) definire i criteri osservativi per l'identificazione di biofirme; ii) valutare le specie batteriche in grado di adattarsi a condizioni spaziali simulate; iii) analizzare le variazioni di produzione di composti bio-attivi nell'ambito l'ISRU.

*Modalità di svolgimento e contenuti delle attività formative integrative proposte dall'Ateneo rispetto agli obiettivi del progetto e alle esigenze della tematica ASI individuata (max 3000 caratteri):*

Le attività formative integrative saranno strutturate in coerenza con gli obiettivi del progetto e con le priorità scientifiche dell'ASI, con particolare attenzione allo sviluppo di competenze interdisciplinari nell'ambito dell'astrobiologia e delle scienze planetarie. Il/la dottorando/a parteciperà a corsi formativi di e.g. astrobiologia, planetologia, mapping GIS. È inoltre prevista la partecipazione del/la dottorando/a a scuole e workshop nazionali ed internazionali sulle tematiche attinenti al progetto di ricerca proposto, training su Open Science, FAIR Data, gestione della proprietà intellettuale (Nature Masterclass), attività di sviluppo di competenze trasversali (comunicazione scientifica, scrittura e project management) e attività di divulgazione, e.g., nell'ambito del festival della scienza "Futuro Remoto" presso la Città della Scienza di Napoli, e della Notte Europea della Ricerca, eventi ai quali l'Università di Napoli "Parthenope" partecipa annualmente.

## PARTE B

### Attività di studio e ricerca all'estero

*Denominazione, se già conosciuta, del/dei soggetto/i ospitante/i individuato/i dall'Ateneo (Università, Ente di ricerca pubblico o privato, Impresa) oppure indicazione della tipologia di Ente presso cui l'Ateneo intende attivare il periodo all'estero. Pertinenza delle attività previste rispetto alla tematica ASI selezionata (max 3000 caratteri):*

La permanenza presso i centri di ricerca e le università estere consentirà al/la dottorando/a di condurre attività complementari e sinergiche rispetto a quelle che svolgerà presso il Laboratorio di Fisica Cosmica, Planetologia e Astrobiologia del DiST, Università di Napoli "Parthenope" e presso il PLab dell'INAF-IAPS, Roma. Potenziali strutture presso cui l'Ateneo può attivare il periodo all'estero del/la dottorando/a sono: il Centro de Astrobiología - CAB, Spagna, The German Aerospace Center - DLR, Germania, Technical University Berlin, Germania, Open University, UK, UK Centre for Astrobiology, UK, Cornell University, USA. I gruppi di ricerca attivi presso i suddetti istituti offriranno l'opportunità di sviluppare competenze avanzate in: campionamento e analisi di materiali biologici e geologici provenienti da ambienti estremi/analoghi extraterrestri; simulazioni di ambienti planetari in laboratorio; studi sulle biofirme, studi sul DNA e sui meccanismi molecolari degli organismi selezionati. Inoltre, si potranno includere attività di ricerca presso l'ESA, dove la dotazione tecnologica dei laboratori, e.g., Life Support and Physical Sciences Instrumentation Laboratory, consente l'implementazione di analisi integrate, combinando tecniche biologiche e microbiologiche con approcci spettroscopici e microscopici, nonché la realizzazione di simulazioni di ambienti spaziali, microgravità, gravità parziale e ipergravità.

Le attività da svolgere presso i centri di ricerca internazionali sono indicate come principali cardini della ricerca astrobiologica e risultano coerenti con le priorità delle tematiche di interesse dell'ASI riportate nel bando, come ad esempio: supporto allo sviluppo tecnologico di componenti innovativi per gli ambienti lunare e marziano (schermatura da radiazione); alimentazione spaziale.

*Valore aggiunto del periodo di mobilità per il percorso formativo ai fini del raggiungimento degli obiettivi scientifici del progetto e rispondenza ai requisiti minimi di durata previsti dalla normativa (max 3000 caratteri):*

Il periodo all'estero rappresenta un elemento fondamentale per il percorso formativo del/la dottorando/a, offrendo l'opportunità, oltre che del perfezionamento delle conoscenze linguistiche, anche di confrontarsi direttamente con gruppi di ricerca internazionali coinvolti nell'esplorazione spaziale e di integrarsi in reti scientifiche internazionali. La mobilità consentirà di accedere a competenze, infrastrutture, metodi e approcci multidisciplinari complementari a quelli presenti nei due laboratori proponenti, dove si svolgerà l'attività di ricerca, favorendo lo sviluppo di capacità analitiche e metodologiche avanzate, la maturazione di autonomia scientifica e la costruzione di relazioni professionali internazionali.

Il periodo di mobilità prevista dal progetto avrà una durata conforme ai requisiti normativi del bando (minimo 6 mesi) e sarà pianificata in modo coerente con le fasi del progetto. Si svolgerà in contesti di ricerca altamente specializzati contribuendo al raggiungimento degli obiettivi scientifici del progetto: permetterà al/la dottorando/a di implementare approcci innovativi, consolidare competenze trasversali e integrare i risultati del progetto lavorando con gruppi leader nel settore



Agenzia Spaziale Italiana

a livello internazionale. In tal modo, la mobilità non solo arricchisce il profilo formativo del/la dottorando/a, ma massimizza anche l'impatto scientifico del progetto.

Si evidenzia inoltre che, nell'ambito del Corso di Dottorato in *Environment, Resources and Sustainable Development*, il periodo di ricerca all'estero costituisce già un elemento obbligatorio, qualificante e consolidato del percorso formativo dei dottorandi. Il Corso di Dottorato ha quindi esperienza specifica nella gestione di tali mobilità ed è in grado di garantire il necessario supporto amministrativo e organizzativo, assicurando la piena fattibilità del soggiorno internazionale previsto dal progetto.

## Periodi di studio e ricerca in Imprese, Centri di ricerca o Pubbliche Amministrazioni

*Denominazione, se già conosciuta, dell'Impresa, Centro di ricerca o PA presso cui verrà svolta l'attività di ricerca del dottorando, oppure indicazione della tipologia di Ente individuata dall'Ateneo. Durata di permanenza e descrizione delle attività previste, in coerenza con gli obiettivi del progetto e con le priorità scientifiche dell'ASI (max 3000 caratteri):*

Parte dell'attività di ricerca sarà svolta presso l'Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali (IAPS) dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) con modalità flessibili in funzione delle diverse fasi del progetto, grazie anche alla convenzione esistente con il DiST dell'Università Parthenope. Le attività da svolgere presso INAF-IAPS, Roma, si concentreranno sulla caratterizzazione spettroscopica nel VIS e nell'IR di miscele biologico-mineralogiche sottoposte a condizioni analoghe a quelle di corpi planetari, mediante strumentazione avanzata come FT-IR, microscopia e celle termovuoto.

*Contributo del partner all'arricchimento formativo del dottorando in termini di competenze, tecnologie, accesso a infrastrutture e altri elementi rilevanti per lo svolgimento del progetto (max 3000 caratteri):*

La collaborazione con l'INAF-IAPS consentirà al/la dottorando/a di acquisire competenze teoriche e pratiche relative all'utilizzo di strumentazione dedicata alla simulazione di habitat extraterrestri, con particolare riferimento alla gestione di sistemi sperimentali in grado di riprodurre condizioni ambientali analoghe a quelle presenti su diverse superfici planetarie e lunari, quali basse temperature e vuoto controllato.

Un altro aspetto centrale della formazione riguarderà l'impiego di tecniche spettroscopiche nel VIS e nell'IR applicate alla caratterizzazione di analoghi planetari. In particolare, il/la dottorando/a verrà formato/a all'uso autonomo della piattaforma sperimentale di caratterizzazione spettrale e imparerà a progettare, implementare, acquisire, ridurre e interpretare i dati di una campagna di caratterizzazione di spettro-microscopia nel visibile e nell'infrarosso. Particolare attenzione verrà posta nell'elucidare l'importanza della caratterizzazione di analoghi planetari in laboratorio a supporto di campagne osservative. Il/la dottorando/a verrà quindi anche introdotto/a ai fondamenti di spettroscopia planetaria per permettergli di effettuare il confronto tra i dati di laboratorio acquisiti durante il progetto con dati da remoto attualmente disponibili dei corpi di interesse astrobiologico.

## PARTE C

### Attività di valorizzazione e diffusione dei risultati

*Capacità del progetto di generare output significativi quali pubblicazioni, brevetti, prototipi (max 3000 caratteri):*

Il progetto produrrà risultati scientifici pubblicabili su riviste internazionali peer-reviewed ad alto impatto nei settori dell'astrobiologia, della microbiologia, della geobiologia e delle scienze



Agenzia Spaziale Italiana

planetarie. Un output di particolare rilevanza sarà rappresentato da dataset spettroscopici originali, utilizzabili come riferimento per l'interpretazione dei dati acquisiti da missioni spaziali. Tali dataset costituiranno un contributo strategico per la comunità scientifica. Eventuali nuove tecniche metodologiche di identificazione di biofirme che risultassero da questo studio, potranno essere valutate ai fini della protezione della proprietà intellettuale tramite brevetti, oppure sviluppate in futuro come prototipi per potenziale impiego spaziale.

*Modalità previste per la diffusione e la valorizzazione dei risultati scientifici o tecnologici del progetto, nel rispetto dei principi di Open Science, FAIR Data e della normativa sulla proprietà intellettuale (max 3000 caratteri):*

Il/la dottorando/a avrà l'opportunità di contribuire attivamente alla disseminazione dei risultati oltre che attraverso pubblicazioni su riviste internazionali Open Access, anche attraverso la partecipazione a convegni nazionali e internazionali, congressi scientifici, workshop seminari tematici, favorendo il confronto con la comunità scientifica e il trasferimento delle conoscenze acquisite. Tali attività consentiranno di presentare metodologie, risultati intermedi e finali del progetto, promuovendo la visibilità delle attività di ricerca degli istituti, dell'ASI e dell'ESA e l'inserimento del progetto in reti collaborative di livello nazionale e internazionale.

Sarà inoltre incoraggiata la partecipazione del/la dottorando/a ad eventi divulgativi rivolti ad un pubblico non specialistico, ad incontri formativi, e a canali di comunicazione scientifica accessibili, al fine di ampliare l'impatto sociale del progetto e favorire la diffusione della cultura scientifica.

I dati, i risultati e i dataset prodotti grazie all'attività svolta nell'ambito del progetto, qualora compatibili con la natura dei dati, con eventuali vincoli normativi sulla proprietà intellettuale, saranno resi disponibili attraverso database e repository riconosciuti dalla comunità scientifica, preferibilmente ad accesso aperto (e.g.: SSHADE per i dati spettrali, Zenodo), al fine di favorire la trasparenza, la replicabilità e l'utilizzo dei risultati da parte della comunità.