

Sopravvivere nello Spazio: le biotecnologie per la 'Space Economy'

Nelle missioni spaziali di lunga durata, per garantire la sopravvivenza degli astronauti, sono indispensabili tecnologie bio-rigenerative altamente innovative per coltivare cibo e verdure freschi. ENEA si colloca in primo piano in questo contesto di ricerca, insieme all'Università Federico II di Napoli, al CNR, all'Università La Sapienza di Roma, grazie ad una ricca e articolata progettualità sviluppata negli ultimi anni, in stretta collaborazione con ASI.

DOI 10.12910/EAI2021-086

di **Angiola Desiderio, Luca Nardi e Eugenio Benvenuto**, *Laboratorio Biotecnologie*

La nuova corsa allo spazio vede protagoniste collaborazioni tra le principali agenzie spaziali internazionali e società private di settore, con la prospettiva di spingere l'esplorazione umana oltre l'orbita terrestre. Per valutare adeguatamente la fattibilità di un'impresa così ambiziosa, è stato sviluppato dalla NASA il programma "Artemis" che prevede la creazione di una stazione spaziale orbitante circumlunare, e successivamente l'atterraggio sulla Luna¹. L'obiettivo è quello di gettare le basi per un'economia lunare, mettendo a punto soluzioni e tecnologie per l'esplorazione sostenibile, che consentano di realizzare il prossimo passo da gigante: inviare l'uomo su Marte².

Una delle problematiche da affrontare per le missioni spaziali di lunga durata, lontane dall'orbita terrestre, è legata all'impossibilità di fare affidamento solo sui costanti scambi con la Terra per garantire la sussistenza degli astronauti. Infatti, se sul nostro pianeta diventa sempre più impellente il cambio di paradigma economico-ambientale, impostando i consumi su modelli basati sul riciclo delle risorse, in ambito spa-

ziale questo requisito diventa irrinunciabile. Cibo, acqua e aria devono poter essere rigenerati e riciclati (almeno in parte) per garantire la sopravvivenza degli equipaggi in missione.

La sfida è quindi quella di ricostruire "tecno-ecosistemi" spaziali, per il riciclo ottimale di risorse ed energia.

La ricerca spaziale degli ultimi anni si sta concentrando sulla definizione di "sistemi biorigenerativi per il supporto alla vita nello Spazio" (*Bioregenerative Life Support Systems*, BLSS), finalizzati ad individuare soluzioni biologiche e tecnologiche nella direzione di una gestione sempre più autonoma delle risorse primarie in missioni umane. Si tratta in pratica di ecosistemi artificialmente controllati, basati sull'interazione tra uomo, piante superiori ed altri organismi, in cui ogni componente biologica utilizza come risorsa i prodotti di scarto del metabolismo degli altri.

Perché coltivare nello spazio

In questo contesto, le piante indubbiamente giocano un ruolo chiave

come fonte di cibo fresco, integrando opportunamente le razioni alimentari preconfezionate (che per un viaggio su Marte ammonterebbero ad alcune tonnellate) e garantendo un apporto nutrizionale equilibrato (vitamine, sostanze bioattive, sali minerali), fondamentale per la sopravvivenza in condizioni ambientali estreme. Oltre alla capacità di convertire anidride carbonica in biomassa edibile, gli organismi vegetali sono in grado di rigenerare risorse preziose come aria, acqua e nutrienti minerali.

La coltivazione di verdure fresche rappresenta quindi la soluzione ottimale per rispondere alle esigenze di missione. Poiché l'ambiente spaziale è proibitivo, tanto per l'uomo quanto per i vegetali, è indispensabile creare ambienti artificiali che ripropongano condizioni opportune per la crescita delle piante. Piccoli impianti di coltivazione in assenza di suolo (in genere in condizioni idroponiche), attrezzati con illuminazione specifica, controllo di temperatura e umidità, sono stati appositamente progettati per rispondere ai requisiti restrittivi di ambienti spaziali:



Vegetable Production System: Sperimentazione sulla Stazione Spaziale Internazionale
 Source: <https://www.flickr.com/photos/nasa2explore/23860137753/>

alta produttività per unità di superficie tale da sopperire alle esigenze alimentari dell'equipaggio, controllo automatizzato delle condizioni ambientali per minimizzare i tempi operativi, ambiente estremamente pulito per evitare contaminazioni, sistemi per il riciclo di acqua, aria e substrati per la coltivazione. Da non sottovalutare è anche il **beneficio psicologico** per l'equipaggio, derivante dalla coltivazione e dal consumo di verdura fresca che richiamano la familiarità di abitudini e ambienti terrestri. Accorgimenti di questo genere sono oggetto di studi finalizzati a far fronte allo **stress psicologico** cui gli astronauti sono soggetti, dovuto alle condizioni di isolamento in un ambiente totalmente artificiale.

I progetti 'Lunar Greenhouse', 'EDEN ISS', 'Veggie' e 'APH'

La ricerca agrotecnologica ha portato alla formulazione di diverse unità prototipali di coltivazione in ambiente confinato, con la prospettiva di adattamento a condizioni spaziali. Tra questi, è stato testato in Antartide il modulo **EDEN ISS**, su progetto diretto dell'agenzia Spaziale Tedesca, con la partecipazione del CNR e di società italiane, per simulare le condizioni estreme di coltivazione in isolamento che caratterizzano le missioni extraterrestri³. Similmente, la NASA ha diretto il progetto "**Lunar Greenhouse**", una serra montabile su avamposti lunari o planetari, ideale per ospitare un sistema

idroponico biorigenerativo (<https://www.nasa.gov/feature/lunar-martian-greenhouses-designed-to-mimic-those-on-earth>).

Alcuni sistemi sono stati sottoposti a sperimentazione direttamente in ambiente spaziale. E' il caso del **Vegetable Production System**, noto come "**Veggie**", delle dimensioni di un bagaglio a mano. *Veggie* è stato assemblato sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS), allo scopo di fornire elementi di studio sulla crescita delle piante in condizioni di microgravità⁴. Altro esempio di impianto sperimentale sulla ISS è costituito dall'**Advanced Plant Habitat (APH)**, che, rispetto a *Veggie*, contiene telecamere e sensori che registrano i parametri ambientali e di crescita,

quindi non necessita di particolari cure da parte dell'equipaggio.

La chiusura dei cicli biorigenerativi nello spazio

Le piante sono pertanto organismi utili per fornire cibo e rigenerare aria e acqua in missioni umane di lunga durata. Per ottenere però un ecosistema il più possibile "autoconsistente" è necessario chiudere il ciclo, attraverso il recupero della biomassa di scarto. Questo concetto diventa particolarmente stringente in ambiente spaziale, dove gli scambi con l'esterno sono praticamente nulli e dove è fondamentale ottimizzare il riutilizzo di tutte le componenti necessarie al mantenimento della vita.

La prima risorsa da recuperare è l'acqua. Ma anche gli scarti organici, come residui alimentari, parti vegetali non edibili, reflui umani, carta usata per l'igiene personale ed ambientale, plastiche, rappresentano una risorsa preziosa che in un contesto estremo non può andare perduta. Sono allo studio soluzioni di trattamento dei rifiuti organici che prevedono processi di degradazione fisica e biologica (operata da batteri, funghi ed insetti), per favorire la bioconversione

in componenti chimiche reinseribili nel ciclo produttivo come fertilizzanti per promuovere la crescita e lo sviluppo delle piante.

Una delle prospettive più interessanti del reimpiego di materia organica rigenerata dagli scarti è la possibilità di poter **ammendare terreni lunari o marziani**. Questa potenzialità va nella direzione di utilizzare risorse *in situ* per favorire lo sviluppo di un ecosistema a supporto della sopravvivenza dell'uomo su altri pianeti. Infatti i suoli extraterrestri sono composti da matrici minerali, prive di componente organica, quindi di per sé non adatte alla coltivazione di piante. L'aggiunta di compost da biodegradazione degli scarti potrebbe rendere fertili anche questi substrati, modificandone opportunamente le caratteristiche chimico-fisiche.

Il ruolo dell'ENEA nella bioeconomia spaziale 'made in Italy'

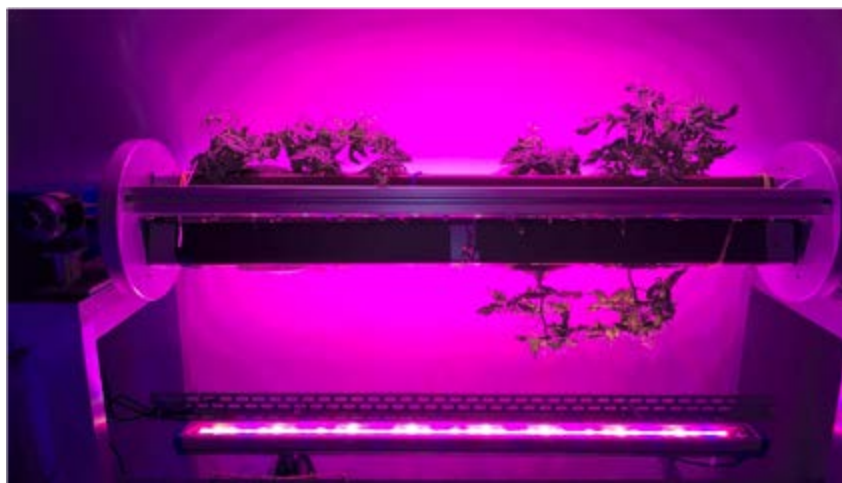
L'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) sta fortemente promuovendo le ricerche nazionali finalizzate all'esplorazione umana dello Spazio, favorendo la creazione di una rete scientifica italiana e supportando la progettualità. Questo ha permesso di sviluppare compe-

tenze uniche, riconosciute a livello internazionale, che mettono l'Italia tra i paesi in grado di proporre soluzioni valide e innovative. Infatti, oggi la nostra nazione è tra le poche al mondo a disporre di una filiera completa, che si avvale della collaborazione tra ricerca pubblica ed imprese di settore, per realizzare ecosistemi basati sulle tecnologie bio-rigenerative a sostegno della vita degli astronauti, come definito dalle linee guida tracciate per l'esplorazione umana dello Spazio, inclusa la Global Exploration Roadmap 2020.

ENEA si colloca in primo piano in questo contesto di ricerca, insieme all'Università Federico II di Napoli, al CNR, all'Università La Sapienza di Roma, grazie ad una ricca e articolata progettualità sviluppata negli ultimi anni, in stretta collaborazione con ASI. La Divisione Biotecnologie e Agroindustria (ENEA, SSPT-BIOAG), in particolare, ha saputo coniugare con successo la competenza scientifica maturata al proprio interno sulle applicazioni delle biotecnologie a sistemi di coltivazione d'avanguardia, con multidisciplinarietà della ricerca (in termini di conoscenza scientifica e dotazione tecnologica) che costituisce uno dei tratti distintivi di ENEA sul territorio nazionale.

I progetti ENEA per l'"agospazio"

Questa scelta sinergica è alla base di attività di ricerca finalizzate ai BLSS per lo Spazio, che si sono intensificate nel tempo, a partire dal progetto BIOxTREME, che ha fornito elementi conoscitivi di fondamentale utilità per lo studio della risposta delle piante in condizioni che simulano gli stress spaziali. A questo si è affiancato il progetto HORTSPACE, per la realizzazione di un impianto di coltivazione idroponica in ambiente controllato e la selezione di varietà vegetali biofortificate ("ideotipi") per una maggiore resilienza alle condizioni estreme dell'ambiente spaziale. Il sistema messo a punto per la coltivazione di 'microverdure' in



Clinostato per studiare la risposta delle piante in condizioni di microgravità simulata
Progetto Hortspace di ENEA

condizioni idroponiche controllate è stato poi validato in un esperimento su campo, organizzato all'Austrian Space Forum (OeWF), nell'ambito di una simulazione di missione su Marte realizzata nel deserto dell'Oman (Missione AMADEE-18). I progetti V-GELM e LOOPS-M (nell'ambito dell'iniziativa europea IGLUNA) hanno previsto la progettazione di una serra lunare automatizzata per la nutrizione degli astronauti.

Su questo filone di ricerca si collocano anche i diversi progetti attualmente attivi, tra cui REBUS per la definizione di cicli di recupero della biomassa di scarto attraverso bioprocessi controllati, GREENCUBE per la coltivazione di piante in ambiente estremo attraverso la realizzazione di un microsatellite da lanciare oltre l'orbita terrestre bassa con il lanciatore Vega-C, SOLE per la realizzazione di una camera di coltivazione per lo spazio con illuminazione LED in grado di potenziare le proprietà nutraceutiche delle microverdure prodotte, MICROx2 per la realizzazione di un BLSS per lo spazio basato sull'utilizzo delle piante superiori.

L'innovazione della ricerca ENEA per lo spazio sta nell'integrazione di soluzioni tecnologiche idonee alle peculiari e limitanti condizioni di coltivazione in ambiente spaziale (spazi ristretti, standardizzazione di processo, automatizzazione del sistema, ottimizzazione delle risorse) con i requisiti di qualità e sicurezza. E' infatti fondamentale nella formulazione di un BLSS, garantire l'assenza di contaminanti potenzialmente pericolosi per la salute degli astronauti, sia nella produzione di alimenti freschi



Prototipo di serra lunare automatizzata presentato nell'ambito dell'iniziativa europea IGLUNA - Progetto V-GELM di ENEA

che nei processi di riciclo delle risorse. Al tempo stesso, è importante mettere a punto sistemi di produzione che garantiscano un'alta qualità degli alimenti, privi di contaminanti chimici o biologici, in grado sia di rispondere alle esigenze nutrizionali appositamente studiate, sia di produrre cibo funzionale ricco di metaboliti a potere nutraceutico (come antiossidanti e vitamine) per contrastare lo stress fisiologico cui l'equipaggio è sottoposto.

Le innovazioni per lo spazio ritornano a terra

E' ben noto come la corsa all'esplorazione dello spazio abbia rappresentato un potente acceleratore per la messa a punto di soluzioni tecnologiche che hanno poi trovato ampia applicazione sulla terra. La coltivazione fuori suolo in ambiente controllato

risponde all'attuale tendenza a sviluppare un'agricoltura di precisione, che permetta una produzione primaria di qualità virtualmente in qualsiasi ambiente, comprese le città e gli ambienti climaticamente ostili (come i deserti o le aree polari) o contaminati. L'ulteriore vantaggio di questa prospettiva è la produzione a chilometro zero, che rafforza la sostenibilità dei sistemi di coltivazione "indoor".

D'altro canto, lo sviluppo per lo spazio di tecnologie controllate per il riciclo degli scarti organici trova pieno riscontro nell'interesse crescente per un'economia circolare terrestre sempre più efficiente e sostenibile, nell'intenzione di far fronte alla scarsità delle risorse, ai cambiamenti climatici, alla degradazione dei suoli, all'abbandono delle pratiche agronomiche poco redditizie.

Per info: eugenio.benvenuto@enea.it

1. <https://www.nasa.gov/what-is-artemis>
2. <https://www.nasa.gov/content/nasas-journey-to-mars>
3. https://www.dlr.de/content/en/articles/news/2019/03/20190823_project-eden-iss-presents-results.html
4. <https://www.nasa.gov/feature/lunar-martian-greenhouses-designed-to-mimic-those-on-earth>
5. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/veggie_fact_sheet_508.pdf