

Giornata di studio:

Space Farming.
Un ponte tra fantascienza e realtà
dell'agricoltura del terzo millennio

Firenze, 27 gennaio 2012

NOTA DI REDAZIONE

Alla giornata di studio hanno contribuito anche il prof. Stefano Mancuso con una relazione dal titolo “Adattamento delle piante a condizioni extraterrestri” e il prof. Stefano Pallanti con una relazione dal titolo “Rilevanza della presenza di piante per l’attenuazione dello stress da permanenza prolungata in ambienti artificiali”, delle quali però i relatori non hanno consegnato il testo per la stampa.

Introduzione

L'origine della vita, la capacità di comprendere i parametri ambientali che ne hanno permesso l'evoluzione, le modalità di diffusione sia a livello planetario che interplanetario (Panspermia), abbinate alla comprensione della capacità di adattamento degli organismi viventi anche alle condizioni più estreme costituiscono l'obiettivo principale di tutti i lavori di biologia e astro-biologia. Le ricadute di tali ricerche sulla vita dell'umanità nel futuro prossimo e lontano saranno molteplici e ci permetteranno di poter meglio sfruttare le risorse naturali sia come efficienza di utilizzo sia come capacità di riciclo.

Queste tematiche stanno diventando sempre più importanti in relazione alla capacità dell'umanità di trarre sufficiente sostentamento ed energia per soddisfare la crescente domanda di una popolazione mondiale in crescita esponenziale. Il proliferare delle megalopoli e l'impossibilità di estendere all'infinito le terre coltivate renderanno il nostro mondo sempre più attanagliato da problemi di inquinamento, smaltimento dei rifiuti e drastica diminuzione della superficie agricola procapite, in pratica è come se il mondo rimpicciolisce riducendo le risorse disponibili procapite. La sfida è resa più ardua dai fenomeni indotti dal *climate change* che stanno provocando drastici cambiamenti in varie aree del mondo con notevoli ripercussioni in termini di disponibilità di risorse naturali, soprattutto idriche, di perdita di biodiversità ed erosione dei suoli. La comprensione dei meccanismi di origine e adattamento della vita risulteranno quindi di vitale importanza nello sviluppo delle future strategie del settore agro-alimentare.

L'elevato numero di tematiche coinvolte nell'evoluzione di una nuova concezione dello sfruttamento delle risorse ambientali fortemente caratterizzata

* Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agroalimentari e dell'Ambiente (DiSPAA)

dalla sostenibilità, tra cui il passaggio da una agricoltura intensiva e non conservativa a una agricoltura più rispettosa dell'ambiente e a esso meglio adattata, rendono tale tematica una vera "palestra delle scienze bio-geologiche".

Relativamente alla necessità di reperire adeguate risorse energetiche, idriche e di materie prime, una strategia che si sta attentamente valutando è quella legata all'esplorazione e sfruttamento di pianeti, asteroidi e anche comete ai fini di uno sfruttamento delle loro risorse minerali e idriche. A tal fine, per consentire alle previste missioni spaziali con equipaggio di poter implementare la capacità operative aumentandone la capacità di auto-sostentamento, si sono progettati sistemi di supporto vitale bio-rigenerativi basati sulle conoscenze della funzionalità degli ecosistemi naturali. In questo modo si sfrutta la capacità del suolo (componente abiotica e biotica) di riciclare rifiuti e rimettere a disposizione le materie prime e depurare l'acqua, in abbinamento con la capacità delle piante di assorbire e organizzare CO_2 producendo alimenti ed emettendo O_2 , assorbire polveri sottili e mantenere un ottimale livello di umidità dell'aria. Queste opportunità naturalmente devono essere sviluppate considerando le particolari condizioni ambientali in cui si troveranno a operare, con particolare attenzione agli effetti dell'assenza di gravità. Infatti condizioni di bassa o zero gravità rappresentano un notevole ostacolo per la fluidodinamica, gli scambi gassosi e lo smaltimento termico dei suoli e delle piante. Un altro problema è rappresentato dalla protezione dalle radiazioni ionizzanti, dalla nostra capacità di fornire un adeguato livello di illuminazione, e dalla necessità di operare efficientemente in spazi molto ristretti in modo da soddisfare le esigenze di mantenimento degli equipaggi. A questo scopo è nato il MELiSSA (Micro-Ecological Life Support System Alternative), un sistema di supporto vitale biorigenerativo progettato e realizzato dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) per il completo riciclo dei rifiuti solidi, liquidi e gassosi nelle astronavi. Il sistema è basato sulle conoscenze acquisite sui meccanismi di funzionamento dei principali cicli degli elementi nel suolo, delle comunità microbiche coinvolte e sui complessi meccanismi di interazione tra suolo, microrganismi e piante. Principalmente il MELiSSA risulta suddiviso in cinque aree o bioreattori dedicati a: (i) depurazione e riciclo aria, (ii) e acqua, (iii) produzione e stoccaggio degli alimenti, (iv) trattamento dei rifiuti organici (riciclo), e (v) sicurezza equipaggio.

La necessità di sfruttare i sistemi suolo-microrganismi-piante e la conseguente possibilità di utilizzare la piante come integrazione all'alimentazione degli equipaggi ha fatto nascere ed evolvere rapidamente il concetto di *space farming*, che si è rapidamente esteso fino a essere valutato per operare anche per il mantenimento delle future basi umane su pianeti extraterrestri. A tale

fine le conoscenze sulle capacità di adattamento degli organismi viventi alle condizioni più estreme soprattutto in quei suoli che sulla terra sono considerati *planet-simulant* saranno fondamentali per definire e garantire il successo delle strategie di *space farming* da utilizzare per indurre la fertilità nei suoli extraterrestri.

In questo senso gli studi sulle prime fasi di evoluzione dei suoli periglaciali e aridi sono di estremo interesse per capire i meccanismi di adattamento delle comunità microbiche a condizioni ambientali estreme come temperature estremamente basse e scarsa disponibilità idrica. La scienza che si occupa di questa tipologia di studi è la biogeografia che attraverso la caratterizzazione e comparazione in termini di composizione e funzionalità delle comunità microbiche dei suoli ne individua quelle comuni (core) e quelle “caratteristiche”, evolute in relazione a fenomeni di adattamento ambientale (transposable), con approcci meta-genomici e trascrittomici.

Una ulteriore sfida è rappresentata dalla presenza in concentrazioni elevate e facilmente biodisponibili di elementi tossici che richiederanno sia l'applicazione di tecniche di bio-rimediazione che l'utilizzo di piante resistenti e/o iperaccumulatrici e, se il caso, anche la previsione di una successione di piante da pioniere fino a quelle utili per l'alimentazione. Sempre riguardo alla bio-rimediazione di estremo interesse sono gli studi di geomicrobiologia rivolti alla identificazione di batteri capaci di operare il bio-leaching, ossia la dissoluzione degli elementi chimici presenti nei minerali (biomining). Tale applicazione è di estremo interesse per lo *space farming* non solo in termini di remediation (bioleaching) ma anche in termini di approvvigionamento di elementi primari direttamente *in situ* dai rocce extraterrestri.

Come ricordato in precedenza di notevole interesse sono anche gli studi inerenti all'adattamento delle comunità microbiche e delle piante agli effetti della ridotta gravità sulla circolazione della soluzione tellurica acuiti dalla estrema finezza e mancanza di struttura dei suoli extraterrestri. Ulteriori elementi negativi di tali suoli sono rappresentati dalla mancanza della componente azotata unitamente alla presenza di composti salini solubili. Da considerare inoltre il basso livello di ossigeno che caratterizzerà le serre dove si opererà lo *space farming*.

L'insieme delle azioni da intraprendere per consentire l'induzione della fertilità nei suoli extraterrestri sarà di estrema utilità non solo per fornire alimenti agli abitanti della base ma, in senso più ampio, ma anche per la sopravvivenza della base in termini di approvvigionamento e riciclaggio di materie prime e fonti energetiche.

Da non dimenticare infine l'estrema utilità dell'effetto antistress dovuto

alla presenza delle piante in ambienti chiusi.

Relativamente al soddisfacimento delle esigenze alimentari, di estremo interesse sono gli studi di sfruttamento delle piante geneticamente modificate, di insetti, funghi, alghe e batteri come substrato alimentare in grado di completare una dieta prevalentemente vegetariana in termini di amminoacidi, di acidi grassi essenziali e di vitamine.

Di estrema rilevanza saranno inoltre gli studi per la valutazione del grado di deriva genetica delle comunità di organismi in relazione all'isolamento delle basi extraterrestri e come gestire tale fenomeno.

Per la gestione dei rifiuti delle future basi si attingerà agli studi di impatto ambientale e gestione delle discariche e alle tecniche di smaltimento dei reflui organici, come il bio-compostaggio tramite batteri iper-termofili aerobi, che permette di utilizzare substrati estremamente poveri e di arricchire successivamente il compost con plant growth promoting bacteria e antagonisti di eventuali patogeni.

Tali conoscenze si trasformeranno presto in informazioni utili per migliorare le nostre capacità di sfruttamento ecosostenibile delle risorse terrestri, rendendo possibile progettare nuove e più efficienti strategie bio per l'estrazione e/o lo sfruttamento delle risorse locali. Queste capacità, combinate con lo sfruttamento delle risorse dei pianeti extraterrestri, ripagheranno abbondantemente i costi sostenuti per la colonizzazione dei pianeti extraterrestri.

L'intento di questa breve e certamente non esaustiva disamina delle difficoltà e delle conseguenti sfide dello *space farming* è di rappresentare alcune delle difficoltà e soprattutto le potenzialità di questa sfida, che inizialmente saranno one way per poi trasformarsi, una volta attivate in una preziosa fonte di informazioni per migliorare l'efficienza delle pratiche agricole sia in campo che nelle serre e permettere anche di ipotizzare il recupero alle pratiche agricole di suoli estremi quali quelli desertici. In conclusione, parafrasando un noto detto popolare, si potrebbe definire questa sfida inizialmente come “dalle stalle alle stelle” e successivamente “dalle stelle alle stelle”, naturalmente con un significato diverso da quello comunemente attribuito a tale definizione.

RIASSUNTO

Riguardo al sostentamento degli equipaggi delle future basi su pianeti extraterrestri le odierne tecnologie sviluppate per le basi orbitali e per possibili viaggi interplanetari non risultano adeguate a causa della loro bassa capacità di auto sostentamento. L'unica possibilità è rappresentata dalla nostra capacità di indurre nei suoli extraterrestri la fertilità in modo da ingenerare in tali suoli la capacità di sostenere la vita che caratterizza i suoli terrestri.

Tale capacità è legata alla caratteristica dei soli terrestri di degradare praticamente tutto tramite la mineralizzazione in modo da riciclare i principali elementi, di purificare le acque e di immagazzinare biossido di carbonio attraverso il processo di umificazione. Questa capacità del suolo di permettere e di sostenere la vita è definita *fertilità* ed è generata dal contributo paritetico dagli organismi che abitano nel suolo e dalla sua matrice litologica. Le modalità di induzione della fertilità possono variare con le condizioni pedo-climatiche e sono definite con il termine di *funzionalità* che conferiscono al suolo la capacità di mantenere (*resistenza*) e/o di ripristinare (*resilienza*) la *fertilità* anche in presenza di situazioni ambientali sfavorevoli. Tale capacità è il risultato di milioni di anni di evoluzione della vita sulla terra.

In questi termini con la definizione di agricoltura spaziale (space farming) dobbiamo intendere l'induzione e mantenimento della fertilità nei suoli extraterrestri per il sostentamento degli equipaggi delle basi su pianeti extraterrestri tramite l'utilizzo delle piante in modo da creare un sistema verde (green system) capace di riciclare i rifiuti organici, purificare le acque e l'aria, producendo ossigeno e trasformando il biossido di carbonio in sostanza organica tramite gli organismi foto sintetizzanti, ingenerando la catena alimentare.

In pratica si tratta di indurre e mantenere la fertilità nei suoli extraterrestri in modo da coltivarci piante in ambienti protetti (indoor) considerando tutti i fattori ambientali avversi che caratterizzano tali suoli e in generale l'ambiente sui pianeti extraterrestri. Un esempio di tali difficoltà è rappresentato dall'azione combinata di condizioni di bassa gravità e di microporosità sulle proprietà idrauliche e la funzionalità biogeochimica che caratterizzano i suoli extraterrestri, con effetti sulla diffusione di ossigeno ed il trasporto dei nutrienti. Tali condizioni possono portare a condizioni di anaerobiosi con rischi di soffocamento della comunità microbica aerobica e delle radici con produzione di gas tossici. Altre caratteristiche negative presenti nei suoli extraterrestri sono rappresentate da valori estremi di pH, dalla eccessiva finezza degli orizzonti superficiali, dall'assenza di azoto e di acqua disponibile. Inoltre sono da considerare anche la possibile contaminazione da elevate concentrazioni di metalli pesanti e sali ad elevata igroscopicità. In fine la presenza di radiazioni ionizzabili ad elevato contenuto energetico possono indurre la formazione di superossidi sulla superficie esposte dei minerali.

In alcuni casi è possibile trovare delle condizioni pedo-ambientali idonee a consentire il reperimento *in situ* di alcuni elementi primari. Per esempio nel caso di Marte è possibile il reperimento di biossido di carbonio e tracce di azoto nella sua atmosfera, oltre a potassio e fosforo nella matrice litologica.

In conclusione possiamo affermare che l'agricoltura spaziale è possibile ma la sua realizzazione richiederà un notevole sforzo da parte degli esperti. Tale sforzo sarà soprattutto indirizzato ad ottimizzare le sinergie delle complesse interazioni che caratterizzano microorganismi e piante nel suolo in modo da ingenerare la *fertilità* nei suoli extraterrestri, ambienti totalmente differenti da quelli terrestri dove essi si sono sviluppati e vivono.

ABSTRACT

Concerning the life maintenance of a crew on extraterrestrial planetary bases, the technologies currently used in space ships are not self-sustaining, resulting thus inappropriate. In this context, soil, which is the universal substratum for sustaining the growth of

autotrophic organisms on Earth, shall necessarily be used to permit the life maintenance of human colonies on extraterrestrial planets.

The main functions of soil that permit to sustain life on Earth, are represented by its capacity to degrade almost everything by mineralization, thus recycling the principal elements, to purify water and to store carbon dioxide by humification processes. This capacity to sustain life is defined “fertility” and is generated by the equal contribution of both soil biological components, mainly represented by soil inhabiting organisms, and mineral components. The pathway to obtain fertility is termed “functionality” and could change in relation to the environmental conditions, conferring to soil an impressive capacity of resistance and resilience, as the results of billion of years of life evolution.

We have thus to consider space farming as the smart soil-plant management for human extraterrestrial base sustainability in order to create a green system, able to recycle organic waste, purify water and air, producing oxygen and transforming carbon dioxide in organic compounds by photosynthesizing organisms, ingenerating the food chain. Moreover, this green systems will play a fundamental beneficial role on the crew’s psyche, representing a comfortable area to reduce the mental stress induced by the confined, oppressing environment of the bases.

Practically we have to induce and maintain fertility in extraterrestrial soils in order to start planning indoor cultivation in planetary bases, considering the several negative aspects that characterize the extraterrestrial soil environment. An example is represented by the combined effects of low gravity and microporosity on the hydraulics and biogeochemical functioning of soil systems that will affect oxygen diffusion and nutrient transport in the liquid and gaseous phases. These conditions could lead to suffocation of aerobic microorganisms and roots, and emissions of toxic gases, both induced by the development of anaerobic conditions. Other negative characteristics are the extreme pH values, the presence of an unstructured top layer of fine dust sediments, the practically absence of nitrogen and available water (drought condition). Moreover it has to be considered the possible contamination by high concentration of toxic elements such as heavy metals and highly hygroscopic salts. Finally, extremely dangerous is the presence of ionizable radiations that could also induce the superoxides formation on the surfaces of exposed minerals.

In some cases it is also hypothesized to find some elements *in situ* in relation to the extraterrestrial environmental characteristics. In the case of Mars habitation, it will be possible to find carbon dioxide and a trace amount of nitrogen in atmosphere; potassium and phosphor in minerals.

In conclusion we can say that space farming it will be possible but the experts of the complex interactions between soil, plant, and microorganisms have certainly to work hard for optimizing their synergy in order to degrade, recycle and utilize nutrients in extraterrestrial soils, that represent physical systems different from those they presently live in.