

GIACOMO CAO<sup>\*,\*\*,\*\*\*</sup>, ALESSANDRO CONCAS<sup>\*</sup>, GIANLUCA CORRIAS<sup>\*\*</sup>,  
ROBERTO ORRÙ<sup>\*\*</sup>, ROBERTA LICHERI<sup>\*\*</sup>, MASSIMO PISU<sup>\*</sup>

## Reperimento *in-situ* di materie prime utili per il sostentamento di missioni umane nello spazio

### INTRODUZIONE

I paradigmi ISRU (In Situ Resource Utilization) e ISFR (In Situ Fabrication and repair) costituiscono il fondamento concettuale su cui basare lo sviluppo di tecnologie utili per l'esplorazione e la colonizzazione dello spazio. Le tecnologie ISRU hanno come obiettivo quello di garantire il sostentamento e l'operatività di equipaggi umani che nel futuro si insedieranno in modo permanente su Marte, Luna o asteroide attraverso lo sfruttamento di risorse naturali disponibili "in situ" quali materie prime per la produzione di ossigeno, acqua e cibo ma anche di propellenti e materiali da costruzione. L'obiettivo delle tecnologie ISFR è invece quello di consentire la fabbricazione e/o riparazione "in situ" di attrezzature e materiali utilizzati durante le missioni spaziali.

Pur essendo principalmente volto alla risoluzione di problematiche tipiche del settore aerospaziale, l'utilizzo dei paradigmi ISRU e ISFR può avere importanti ripercussioni su problematiche relative all'ambiente terrestre consentendo lo sviluppo di tecnologie innovative per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera, il riciclo dei rifiuti e la riduzione dei consumi idrici.

In tale ottica una "task force" costituita dall'Università di Cagliari, dal Dipartimento Energia e Trasporti del CNR (DET-CNR) e dal Centro di ricerca sviluppo e studi superiori in Sardegna (CRS4) svolge un'intensa attività di ricerca finalizzata allo sviluppo di nuove tecnologie ISRU e ISFR nell'ambito

\* CRS4, Centro di Ricerca, Sviluppo e Studi Superiori in Sardegna, Parco Scientifico e Tecnologico, POLARIS

\*\* Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Chimica e dei Materiali, Università di Cagliari

\*\*\* Centro Interdipartimentale di Ingegneria e Scienze Ambientali (CINSA) e Laboratorio di Cagliari del Consorzio Interuniversitario Nazionale "La Chimica per l'Ambiente" (INCA)

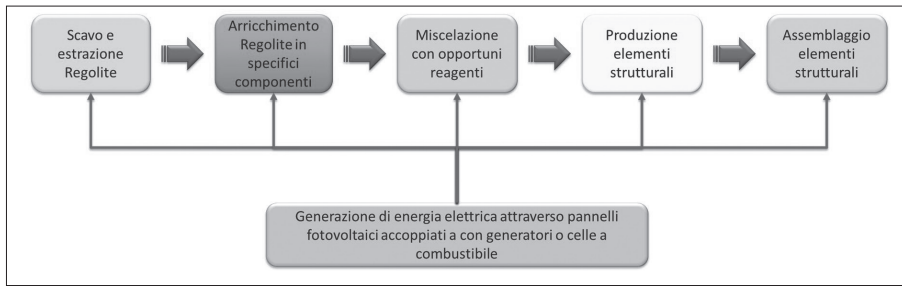


Fig. 1 Schema a blocchi del processo di produzione di elementi strutturali per la realizzazione di strutture a uso civile e/o industriale su Luna, Marte e asteroide

del progetto COSMIC finanziato dall’Agenzia Spaziale Italiana (ASI). Tale attività si è recentemente concretizzata nel deposito di quattro brevetti (Cao et al., 2010; 2011a; 2011b; 2012) relativi a nuovi processi sia per la produzione di elementi strutturali su Luna, Marte e asteroide sia per lo sfruttamento di risorse naturali disponibili su Marte. Nelle parti seguenti del documento si riporta una breve descrizione delle caratteristiche dei processi brevettati.

#### PRODUZIONE DI ELEMENTI STRUTTURALI

I primi brevetti depositati da Cao et al. (2010; 2011a) si riferiscono allo sviluppo di un processo basato sui paradigmi ISRU e ISFR per la produzione di elementi strutturali utili alla realizzazione di costruzioni di strutture a uso civile e/o industriale sulla Luna, su Marte e su asteroide. Le rivendicazioni del brevetto hanno come oggetto anche il “kit” o gli impianti necessari per l’implementazione di tale processo. Il processo brevettato contempla le fasi operative mostrate schematicamente in figura 1.

Sia nel caso di applicazioni lunari sia nel caso di applicazioni su Marte, la prima fase del processo consiste nello scavo ed estrazione della regolite attraverso opportune apparecchiature specificatamente progettate e realizzate per operare in condizioni extraterrestri. Nella fase successiva del processo la regolite viene arricchita in particolari composti già presenti in quantità significative sia nel suolo marziano che in quello lunare. Nello specifico il composto in cui è arricchita la regolite è l’ilmenite per il caso di applicazioni lunari e l’ematite per quanto concerne le applicazioni su Marte. La terza fase operativa del processo prevede la miscelazione della regolite arricchita con specifici reagenti trasferiti, se necessario, dalla terra.

Lo “step” successivo, che costituisce il cuore dell’intero processo, consi-

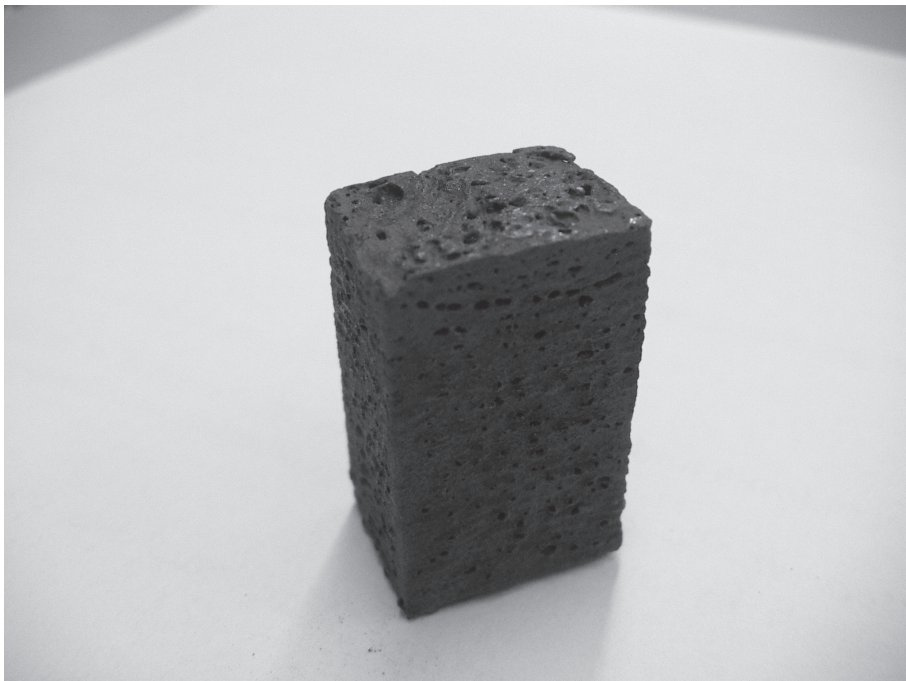


Fig. 2 *Fotografia di un tipico elemento strutturale prodotto mediante il processo brevettato*

ste nell'innescare una reazione auto-propagante a elevata temperatura in seno alla miscela ottenuta come precedentemente riportato. Questa tipologia di reazioni è caratterizzata dal fatto che, una volta innescate si auto-propagano sotto forma di un'onda di combustione attraverso la miscela reagente senza richiedere ulteriore energia. Tale fase operativa è realizzata all'interno di particolari reattori che costituiscono l'unità impiantistica principale del processo e sono opportunamente progettati per operare in condizioni marziane e lunari, ossia in condizioni microgravità, in presenza di basse temperature e in atmosfera estremamente rarefatta o quasi totalmente assente.

Il prodotto finale del processo è costituito da elementi strutturali a cui è possibile conferire forme e dimensioni opportune attraverso appropriati stampi. In definitiva sfruttando reazioni molto semplici, attivabili con bassi consumi energetici, è possibile ottenere prodotti solidi finali, modulabili in dimensione e forma nonché caratterizzati da una buona purezza e ottime proprietà meccaniche che ne consentono lo sfruttamento per la realizzazione di strutture a uso civile e/o industriale sul suolo marziano e lunare. In figura 2 è mostrata una fotografia di un elemento strutturale ottenuto attraverso il processo brevettato.

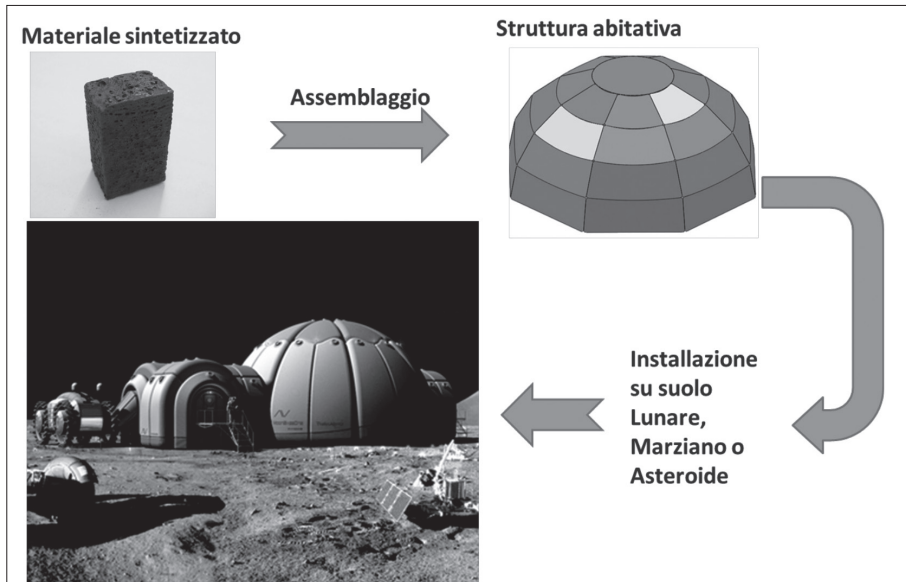


Fig. 3 Implementazione del processo brevettato sul Luna, Marte o asteroide

In figura 3 si mostra schematicamente come gli elementi strutturali ottenuti possono essere assemblati per realizzare strutture a uso civile e/o industriale su Luna e Marte.

La fattibilità della fase operativa principale del processo, ovvero dello stadio reattivo, è stata verificata nell'ottobre del 2010 a Bordeaux (France) durante la 53° campagna di voli parabolici, nell'ambito della quale è stato possibile eseguire esperimenti in condizioni di microgravità all'interno di un Airbus 300 durante le 30 parabole relative a ciascuna delle tre missioni compiute.

#### PRODUZIONE DI MATERIALI PER IL SOSTENTAMENTO DI MISSIONI UMANE SUL PIANETA MARTE

Il pianeta Marte è caratterizzato dalla presenza di importanti risorse naturali utilizzabili come materia prima per la produzione di beni di consumo utili a futuri equipaggi umani. Tra tali risorse è possibile annoverare l'anidride carbonica, l'azoto, l'argon e il vapor acqueo presenti nell'atmosfera marziana così come l'acqua adsorbita sulla regolite. In linea di principio la trasformazione di queste risorse in materiali utili per il sostegno di missioni spaziali umane permanenti può avvenire facendo ricorso a opportune tecnologie.

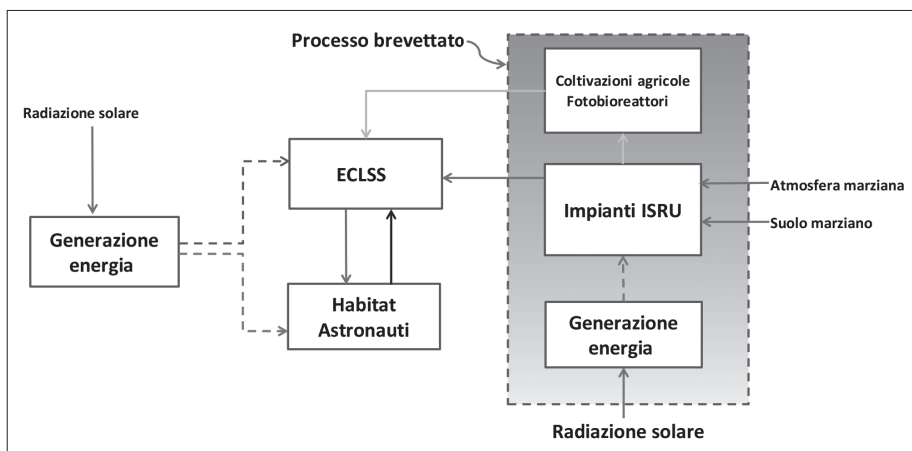


Fig. 4 Schema di una possibile integrazione delle tecnologie ISRU con sistemi ECLSS

In questo scenario, i successivi brevetti depositati da Cao et al. (2011b; 2012) si riferiscono a una tecnologia innovativa che, opportunamente accoppiata con sistemi di controllo ambientali rigenerativi (ECLSS), consente di perseguire gli obiettivi sopra esposti, ossia lo sfruttamento delle risorse marziane per la produzione di materiali utili a missioni spaziali umane permanenti. I sistemi ECLSS tipicamente impiegati nella Stazione Spaziale Internazionale sono costituiti da un insieme di unità impiantistiche che operando in sinergia consentono di mantenere le opportune condizioni fisiologiche all'interno della cabina dell'equipaggio rimuovendo i cataboliti organici e inorganici prodotti dagli astronauti quali atmosfera esausta, scarti e umidità così come diverse tipologie di rifiuti solidi e liquidi. I sistemi ECLSS rigenerativi permettono inoltre il riciclo degli scarti rimossi attraverso delle tecnologie che consentono di ottenere, a partire da questi, materiali utili per l'equipaggio quali acqua, ossigeno e in alcuni casi cibo. Nonostante l'obiettivo ultimo dei moderni sistemi rigenerativi sia quello di pervenire a una sorta di sistema a ciclo chiuso in cui tutti materiali necessari al sostentamento degli astronauti possano essere prodotti riciclando gli scarti, attualmente le sperimentazioni e le simulazioni modellistiche effettuate nell'ambito di specifiche attività di ricerca, hanno dimostrato che solo una piccola percentuale dei fabbisogni materiali primari degli astronauti può essere soddisfatta attraverso il riciclo degli scarti (Poughon et al., 2009). Questo implica che le aliquote di materiali necessari non ottenibili attraverso riciclo debbano essere trasferite sulla stazione spaziale dalla terra. Risulta quindi evidente che facendo ricorso esclusivamente a sistemi ECLSS, le future missioni spaziali umane su Marte potranno

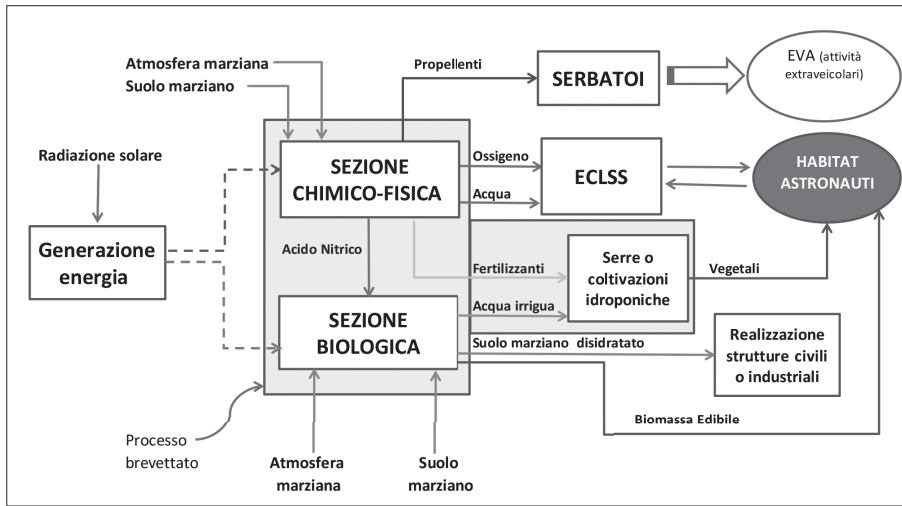


Fig. 5 Schema a blocchi del processo ISRU brevettato

essere fortemente condizionate, in termini di fattibilità tecnico-economica, dalla necessità di porre in essere dispendiosi viaggi interplanetari per il rifornimento continuo dei materiali necessari alla sussistenza e all'operatività dell'equipaggio.

D'altra parte le tecnologie ISRU possono contribuire a superare questi inconvenienti in quanto i materiali richiesti potrebbero essere prodotti "in situ" a partire dalle risorse naturali disponibili su Marte. Come mostrato in figura 4 il processo brevettato da Cao et al. (2011b; 2012) si basa su questo concetto di fondo integrando lo sfruttamento delle risorse in-situ con gli attuali sistemi rigenerativi ECLSS.

Nello specifico, il processo proposto da Cao et al. (2001b; 2012) consente la produzione di energia, ossigeno respirabile, acqua per usi potabili e igienici, idrogeno e ammoniaca da utilizzare come propellenti, acido nitrico e nitrato d'ammonio da sfruttare come fertilizzanti così come di biomassa edibile, a partire dalle risorse disponibili nell'atmosfera e nel suolo marziani.

A tale fine l'impianto proposto è concettualmente suddiviso in due sezioni interagenti ossia la sezione chimico fisica e quella biologica (fig. 5). Nella prima sezione, la combinazione di diverse unità impiantistiche specificatamente progettate per operare in condizioni Marziane, consente la produzione di acqua, ossigeno e dei propellenti necessari all'equipaggio così come opportuni quantitativi di fertilizzanti da utilizzare nella sezione biologica.

La sezione biologica è alimentata sia da risorse naturali quali  $\text{CO}_2$  atmo-

sferica e regolite sia da fertilizzanti sintetici, prodotti nella sezione chimico-fisica, utilizzati per produrre biomassa edibile e ossigeno fotosintetico mediante opportuni fotobioreattori e serre.

#### RIASSUNTO

Nel campo della ricerca spaziale è noto come il ricorso ai paradigmi ISRU (In Situ Resource Utilization) e ISFR (In Situ Fabrication and Repair) abbia consentito lo sviluppo di tecnologie fondamentali per l'esplorazione dello spazio e la sua colonizzazione. Recentemente sono stati brevettati due nuovi processi ISRU/ISFR, potenzialmente utili per la realizzazione di future missioni spaziali umane su Marte e Luna. In particolare il primo processo, sfruttando reazioni auto-propaganti da elevata temperatura, consente la produzione di elementi strutturali utili alla realizzazione di strutture ad uso civile e/o industriale in ambiente extra terrestre utilizzando come materia prima le regolite Lunare o Marziana. Il secondo processo consente la produzione di materiali quali ossigeno, acqua e biomassa edibile, utili al sostentamento di missioni spaziali umane su Marte. In particolare vengono sfruttate come materie prime solo le risorse naturali disponibili in situ, ossia l'atmosfera e la regolite Marziana. Nel presente articolo, i suddetti processi sono brevemente descritti e discussi.

#### ABSTRACT

In the field of space research it is well known that ISRU (In Situ Resource Utilization) and ISFR (In Situ Fabrication and Repair) paradigms gave rise to the development of core technologies for space exploration and colonization. In this framework two novel ISRU/ISFR processes, potentially useful for future manned Lunar and/or Martian space missions, have been recently patented. Specifically, the first process involves the fabrication of physical assets by self-propagating high temperature synthesis (SHS) for construction applications in extra-terrestrial environments starting from Lunar or Martian regolith. On the other hand, the second process allows the production of materials such as oxygen, water and edible biomass that are potentially useful to sustain manned space missions on Mars. In this process only natural resources available in-situ, namely Mars atmosphere and regolith, are exploited as raw feedstock. The above processes are briefly described and discussed in this work.

#### REFERENCES

- CAO G., CONCAS A., CORRIAS, G., LICHERI R., ORRÙ R., PISU M., ZANOTTI C. (2010): *Procedimento di fabbricazione di elementi per strutture abitative e/o industriali sul suolo lunare e/o marziano*, MI2010A001412; Applicants: UNICA, ASI; Luglio.
- CAO G., CONCAS A., CORRIAS G., LICHERI R., ORRÙ R., PISU M., ZANOTTI C. (2011a): *Process for manufacturing physical assets for civil and/or industrial facilities on moon, mars and/or asteroid*, 10453PTWO; Applicants ASI, UNICA; Luglio.

- CAO G., CONCAS A., CORRIAS G., LICHERI R., ORRÙ R., PISU M. (2011b): *Procedimento per l'ottenimento di prodotti utili al sostentamento di missioni spaziali sul suolo marziano mediante l'utilizzo di risorse reperibili in situ*, 11205PTIT; Applicants ASI, CRS4, UNICA; Luglio.
- CAO G., CONCAS A., CORRIAS G., LICHERI R., ORRÙ R., PISU M., (2012): *A process for the production of useful materials to sustain manned space missions on Mars through in-situ resources utilization*, PCT/IB2012/053754; Applicants:UNICA, CRS4, ASI; Luglio.
- POUGHON L., FARGES B., DUSSAP C.G., GODIA F., LASSEUR C. (2009): *Simulation of the MELiSSA closed loop system as a tool to define its integration strategy*, «Advances in Space Research», 44, pp. 1392-1403.