

Il nuovo Programma Spaziale Europeo: un cambio di passo nella space policy UE

M. Salini **p. 08**

Lo spazio come driver di sviluppo economico sostenibile

S. Di Pippo **p. 11**

La space economy fra nuovi business e benefici sociali

A. Paravano, A. Cavallo **p. 32**

# Energia Ambiente e Innovazione

ENEA magazine

3/2021

[eai.enea.it](http://eai.enea.it)

## RICERCA E INNOVAZIONE PER LA SFIDA SPAZIALE

ISSN 1124-0065



**LE INTERVISTE:** Simonetta Cheli, Umberto Guidoni, Giorgio Saccoccia

## Il contributo dell'ENEA alle nuove sfide per lo spazio



di **Gilberto Dialuce**, *Presidente ENEA*

Il 15 dicembre 1964 con il lancio del satellite San Marco 1, l'Italia entrava ufficialmente nel mondo dello spazio, terzo paese, dopo Stati Uniti e Unione Sovietica, ad avere costruito e lanciato in orbita un satellite. A 57 anni di distanza da quella storica data il Governo italiano ha deciso di istituire la 'Giornata Nazionale dello Spazio' il 16 dicembre di ogni anno, per richiamare l'attenzione su un settore di eccellenza del nostro Paese, che offre opportunità di grande interesse a livello scientifico, tecnologico, economico e sociale.

L'idea di dedicare un numero della rivista ENEA a "Ricerca e innovazione per la sfida spaziale" nasce in questo contesto, come contributo alle diverse iniziative previste per celebrare la prima Giornata Nazionale dello Spazio, e come occasione per approfondire una tematica che merita particolare attenzione per le implicazioni sul progresso e il futuro dell'umanità.

In ENEA, la ricerca sullo spazio si sviluppa a livello trasversale, con numerose linee di attività, spesso in collaborazione con università e centri di ricerca attraverso un approccio multidisciplinare e di cross-fertilization tra enti di ricerca a livello nazionale come ASI, CNR, ENAV, INAF e INFN e internazionale con CERN, ESA, IAEA, lo Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, il Beijing Institute for Space Environmental Engineering e altri ancora.

Sul fronte del trasferimento di tecnologie innovative e di supporto all'industria aerospaziale, nei Centri di Frascati e della Casaccia ricercatori e tecnologi sono impegnati nello sviluppo di materiali e soluzioni hi-tech per 'proteggere' le strumentazioni per le osservazioni terrestri e lo studio di altri pianeti, ma anche in prove e test di resistenza alle radiazioni su materiali, componenti e sistemi per lo spazio, grazie a infrastrutture uniche come gli impianti di irraggiamento CALLIOPE, TRIGA RC-1 e RSV TAPIRO, il Frascati Neutron Generator o gli acceleratori di particelle come il TOP-IMPLART e REX.

Lavoriamo a sistemi propulsivi, strumentazioni ottiche, controlli non distruttivi basati su ultrasuoni, sistemi robotizzati per lo sviluppo e la caratterizzazione di componenti per satelliti e propulsori, coltiviamo 'orti spaziali' per fornire cibo fresco e ad alto valore nutritivo agli astronauti nelle missioni di lunga durata e, fra i progetti più recenti, stiamo studiando per ESA l'utilizzo di tecnologie satellitari a supporto di attività di monitoraggio e riconversione di strutture energetiche offshore. Ed è anche importante sottolineare come molte delle nostre tecnologie ed attività di studio, analisi e ricerca sul cambiamento climatico, l'inquinamento atmosferico, le missioni in Antartide, per citarne alcune, sono strettamente collegate al mondo dello spazio, in particolare nel settore del monitoraggio.

Di fatto, pur non essendo lo spazio strettamente al centro della nostra missione, abbiamo maturato solide competenze e professionalità che ci consentono di contribuire a questa fase molto dinamica di trasformazione del settore con l'affermarsi della Space Economy e, sempre più, della cosiddetta 'New Space Economy' che vede l'ingresso di nuovi soggetti, imprese, investitori, esponenti del venture capital.

In questo scenario, siamo pronti a mettere a fattor comune tutto il nostro bagaglio di tecnologie, conoscenze ed infrastrutture per contribuire a una nuova sfida spaziale italiana a questa frontiera e cogliere le opportunità di crescita, progresso e benessere che ne possono derivare, anche per stimolare nuove idee, nuova conoscenza e nuove scoperte.

## Perché parlare di spazio?

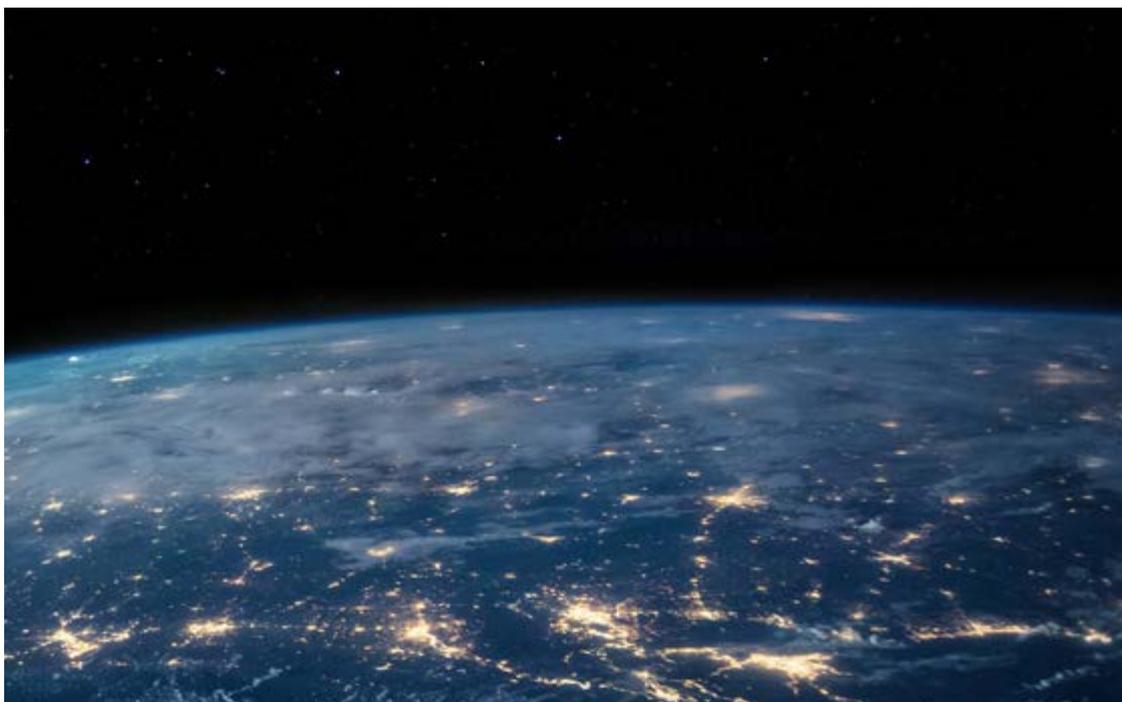


Perché dedicare un numero della rivista scientifica ENEA al tema dello spazio? Perché cercare di capire come sta evolvendo questo settore, quali sono le sfide, le opportunità, le possibili criticità?

Come scrive il **Presidente Dialuce** nel suo editoriale, la decisione è nata fra le varie iniziative dell'Agenzia in occasione della prima Giornata Nazionale dello spazio. Ma a questa motivazione si è progressivamente aggiunta la volontà di capire meglio un settore dal quale dipendono sempre di più le attività sulla terra e la sua stessa salvaguardia. Un comparto di importanza strategica anche per il nostro Paese, tra le poche nazioni al mondo a disporre di una filiera industriale completa con competenze uniche riconosciute a livello internazionale, nate anche grazie alla collaborazione tra ricerca pubblica e imprese di settore, e finalizzate alla esplorazione umana dello Spazio.

Con oltre 2 miliardi di euro di fatturato annuo e 7 mila addetti, l'industria spaziale nazionale vanta oltre 200 imprese con numerose punte di eccellenza su attività upstream e downstream, 12 distretti tecnologici, un cluster tecnologico aerospaziale, tre associazioni industriali, startup e grandi aziende esportatrici di tecnologie spaziali e sistemi complessi.

Inoltre, come sottolinea l'Osservatorio per la Space Economy del Politecnico di Milano, in Italia come nel resto del mondo questo comparto sta vivendo un forte cambiamento, una vera 'rivoluzione' con ricadute per l'economia e per il nostro futuro, in termini di opportunità ma anche rischi emergenti a



livello di sicurezza e di competizione geo-spaziale.

Con la redazione, quindi, abbiamo deciso di approfondire come sta evolvendo lo scenario spaziale e quale può essere il contributo di ricerca e innovazione a questa nuova stagione coinvolgendo diversi protagonisti del settore, esponenti del mondo della scienza, delle imprese, della ricerca, di istituzioni nazionali e internazionali, come l'europarlamentare **Massimiliano Salini**, relatore all'Europarlamento del piano da 14,8 miliardi di euro della UE per lo spazio approvato prima dell'estate, il Presidente dell'Agenzia Spaziale Italiana **Giorgio Saccoccia**, l'astrofisica **Simonetta Di Pippo**, Direttrice dell'Ufficio delle Nazioni Unite per gli affari dello spazio extra-atmosferico, **Simonetta Cheli** che è stata nominata Direttrice dei Programmi di Osservazione della Terra e Capo di ESRIN dal 1 gennaio 2022, l'astronauta **Umberto Guidoni** ed esperti come **Andrea Taramelli**, Professore Associato presso la Scuola Universitaria Superiore IUSS Pavia e Coordinatore Nazionale del Copernicus User Forum Italia, **Alessandro Cavallo** e **Angelo Paravano** dell'Osservatorio per la Space Economy del Politecnico di Milano.

A loro si affiancano le testimonianze degli amministratori delegati di Thales Alenia Spazio **Claudio Massimo Comparini**, di Avio, **Giulio Ranzo**, del responsabile per le attività spaziali di Leonardo e amministratore delegato di Telespazio, **Luigi Pasquali**, di **Luca Rossettini**, presidente dell'Associazione delle Imprese per le Attività Spaziali e **Giovanni Sylos Labini** CEO di Planetek Italia e Vice Chairman di EARSC, European Association of Remote Sensing Companies, di **Raffaele Mauro** General Partner in Primo Space, fondo di venture capital specializzato nella new space economy e nelle tecnologie correlate e di **Giuseppe Aridon**, Responsabile Strategic and Corporate Development di Telespazio.

La parte Focus è stata curata dai colleghi ENEA impegnati su queste tematiche con numerosi progetti e iniziative nell'ambito di programmi con istituzioni, centri di ricerca, università e aziende, dai grandi player alla folta platea di PMI ad alta specializzazione che caratterizza questo settore.

A tutti loro va un grande grazie e non da ultimo, ad **Alessandro Coppola** Direttore Innovazione e Sviluppo dell'ENEA che firma l'articolo di apertura nella sua veste di tramite per tecnologie e servizi frutto della ricerca ENEA nel campo dello spazio (e non solo). Buona lettura!

Cristina Corazza

N. 3 Settembre - Dicembre 2021

**Direttore Responsabile**

Cristina Corazza

**Comitato di direzione**

Ilaria Bertini, Alessandro Coppola, Alessandro Dodaro,  
Giorgio Graditi, Roberto Morabito, Diana Savelli

**Comitato tecnico-scientifico**

Paola Batistoni, Marco Casagni, Francesco Gracceva,  
Mario Jorizzo, Chiara Martini, Federica Porcellana,  
Franco Roca

**Redazione**

Laura Di Pietro, Roberto De Ritis, Paola Giaquinto,  
Laura Moretti, Fabiola Falconieri (per i testi in inglese)

**Progetto grafico ed elaborazione tecnica**

Paola Carabotta

**Edizione web**

Antonella Andreini, Serena Lucibello

**Promozione e comunicazione**

Paola Giaquinto

**Stampa**

Laboratorio Tecnografico  
Centro Ricerche ENEA Frascati  
Numero chiuso nel mese di luglio 2021

**Registrazione**

Tribunale Civile di Roma  
Numero 42/2019 del 28 marzo 2019  
(versione stampata)  
Numero 43/2019 del 28 marzo 2019  
(versione telematica)



**24** La New Space Economy italiana tra scienza, tecnologia e industria  
*di Luca Rossetini e Giovanni Sylos Labini*

- 01 Il contributo dell'ENEA alle nuove sfide per lo spazio *di Gilberto Dialuce*  
03 Perché parlare di Spazio? *di Cristina Corazza*

**GLI INTERVENTI**

- 06 L'ENEA e la nuova stagione spaziale  
*di Alessandro Coppola*

**GLI SCENARI**

- 08 Il nuovo Programma Spaziale Europeo: un cambio di passo nella space policy UE  
*di Massimiliano Salini*  
11 Lo spazio come driver di sviluppo economico sostenibile *di Simonetta Di Pippo*  
14 L'importanza del settore spaziale e l'azione di AVIO *di Giulio Ranzo*  
17 Il ruolo dell'Italia nell'economia delle infrastrutture spaziali *di Massimo Comparini*  
20 Pasquali (Leonardo), all'Italia vogliamo garantire un ruolo da protagonista  
*di Luigi Pasquali*  
24 La New Space Economy italiana tra scienza, tecnologia e industria  
*di Luca Rossetini e Giovanni Sylos Labini*  
28 Mirror Copernicus per lo sviluppo e la competitività della Space Economy italiana  
*di Andrea Taramelli*  
32 La space economy fra nuovi business e benefici sociali  
*di Angelo Cavallo e Alessandro Paravano*  
36 Il capitale privato nella space economy  
*di Raffaele Mauro*  
39 La piattaforma High Performance Computing davinci-1 di Leonardo  
*di Giuseppe Aridon*

# Sommario



**14** L'importanza del settore spaziale e l'azione di AVIO  
*di Giulio Ranzo*

**17** Il ruolo dell'Italia nell'economia delle infrastrutture spaziali  
*di Massimo Comparini*

**20** Pasquali (Leonardo), all'Italia vogliamo garantire un ruolo da protagonista  
*di Luigi Pasquali*

## LE INTERVISTE

- 42** *Simonetta Cheli*  
Perché 'osservare' la Terra è sempre più strategico
- 45** *Umberto Guidoni*  
Per la Space Economy un grande futuro, ma servono regole chiare
- 48** *Giorgio Saccoccia*  
All'Italia un ruolo sempre più importante nella sfida per lo spazio

## FOCUS ENEA

- 52** Nuovi materiali e componenti per 'resistere' a condizioni estreme  
*Giuseppe Barbieri, Antonio Rinaldi*
- 55** Sopravvivere nello spazio: le biotecnologie per la 'Space Economy'  
*di Angiola Desiderio, Luca Nardi, Eugenio Benvenuto*
- 59** Radiazioni e spazio: una facility unica per la ricerca  
*di Alessia Cemmi, Ilaria Di Sarcina, Carino Ferrante, Giuseppe Ferrara, Francesco Filippi, Fabio Panza, Jessica Scifo, Adriano Verna*
- 62** Il ruolo dei reattori di ricerca ENEA per l'aerospazio  
*di Luca Falconi, Alfonso Santagata, Barbara Bianchi, Matteo Cesaroni, Valentina Fabrizio, Davide Formenton, Maria Grazia Iorio, Monica Lammardo, Pierpaolo Ricci, Antonino Ratto, Andrea Robert e Luigi Lepore*
- 66** La Space Economy tra prospettive di sviluppo nazionali e internazionali  
*di Roberta Cosmi*
- 71** Il laboratorio "Eccimeri" per test sui materiali spaziali  
*di Paolo Di Lazzaro, Daniele Murra, Luca Mezi, Sarah Bollanti, Francesco Flora*

- 74** Il Frascati Neutron Generator e i test di resistenza a radiazione  
*di Salvatore Fiore*
- 77** Navigare tra i pianeti con la bussola 'marziana'  
*di Francesco Flora, Sarah Bollanti, Paolo Di Lazzaro, Gian Piero Gallerano, Luca Mezi, Daniele Murra, Fabrizio Andreoli, Luca Murra*
- 81** Simulazione numerica e supercalcolo per la propulsione chimica aerospaziale  
*di Eugenio Giacomazzi e Donato Cecere*
- 85** Il contributo delle osservazioni satellitari degli oceani al monitoraggio del clima  
*di Salvatore Marullo, Rosalia Santoleri*
- 90** Tecnologie satellitari per l'Habitat Mapping nei Paesi in Via di Sviluppo  
*di Mattia Barsanti, Ivana Delbono, Silvia Cocito, Elena Candigliota, Francesco Immordino, Lorenzo Moretti e Andrea Peirano*
- 93** Il Progetto ESA-INSURE: i satelliti per la messa in sicurezza delle piattaforme energetiche marine  
*di Antonio Palucci*
- 97** Lo sviluppo dei componenti ottici per le applicazioni della Space Economy  
*di Anna Sytchkova*
- 101** La ricerca ENEA sui piccoli reattori per applicazioni spaziali  
*di Mariano Tarantino*
- 103** I sistemi di mappatura non distruttiva UT  
*di Angelo Tati*
- 109** REX e TOP-IMPLART, due facilities uniche per la ricerca in campo spaziale  
*di Monia Vadrucci*
- 113** Esplorare lo spazio con le 'vele fotoniche'  
*di Danilo Zola, Salvatore Scaglione*
- 119** Il volo parabolico: l'ENEA a zero-G  
*di Luca Saraceno, Giuseppe Zummo*

## L'ENEA e la nuova stagione spaziale

Da decenni l'ENEA svolge attività di rilievo nell'esplorazione spaziale e per la new space economy, grazie a competenze e collaborazioni di R&S maturate nel campo energetico, delle biotecnologie, della fisica nucleare, sicurezza, sostenibilità ambientale e circolarità. Infatti, pur non essendo un ente specializzato nella ricerca spaziale, dispone di professionalità particolarmente qualificate e infrastrutture di rara capacità a livello europeo come gli acceleratori di particelle TOP-IMPLART e REX, gli impianti FNG, Calliope o il Laser ABC, il più potente in Italia, solo per citarne alcuni.

DOI 10.12910/EAI2021-071



Intervista con **Alessandro Coppola**, Direttore Innovazione e Sviluppo ENEA

**S**cienza a filosofia convergono sempre più nell'affrontare quelli che sono gli asintoti della conoscenza umana, ovvero l'infinito e l'infinitesimo. Che sono essi stessi poi circolarmente connessi, dato che studiando l'infinitesimo si riesce a comprendere meglio la fisica che governa l'universo e soprattutto quello che presumibilmente è stata l'origine e forse l'epilogo della bolla universale in cui osserviamo gli eventi. Una propensione caratterizzante del genere umano al superamento dei propri limiti, la mente che col pensiero si eleva sulla dimensione fisica anticipandone nuovi traguardi, elaborando soluzioni su come vincere gli ostacoli che si interpongono al loro raggiungimento e poi...ulteriormente superarli. "Fatti voi non foste per viver come bruti..." recitava il Sommo Poeta, avendo ben approfondito l'animo umano in tutte i suoi orientamenti.

Avventurarci quindi oltre i confini del nostro pianeta, conquistando lo spazio è quindi in primo luogo una sfida scientifica e filosofica, che però poi ha grandi ricadute da un punto di vista sociopolitico per la valenza di benchmark sulla potenza tecnologica e di tipo applicativo pensando a quante tecnologie ritroviamo oggi nel nostro vivere quotidiano, tutte derivate dagli sviluppi scientifici e tecnologici conseguiti a partire dalla fine degli anni '50 con le prime missioni Mercury della NASA. Satelliti per telecomunica-

zione, geolocalizzazione, meteorologia, e poi materiali, sistemi di generazione elettrica (eg fuel cells testate inizialmente sulle Gemini poi utilizzate estensivamente sulle Apollo). Ma anche un enorme impatto sui modelli di organizzazione e pianificazione sia della Ricerca che dell'Industria, pensando a dover costruire macchine e missioni con centinaia di migliaia tra ricercatori, ingegneri, manager, tecnici ed operai di migliaia di aziende, sparsi praticamente in tutto il mondo.

Un enorme impatto anche sulle relazioni internazionali, con l'apertura di collaborazioni talvolta anche impensabili, come ad esempio quella US/Russia in piena guerra fredda prefigurata da Kennedy prima della crisi cubana e poi realizzata con Apollo-Soyuz nel 1975. L'abbraccio tra Leonov e Slayton è una foto che trovo ancora oggi emozionante. Che poi fu anche l'ultima missione con rientro di una capsula spaziale US (anche successiva allo Skylab 4) fino ad addirittura il 2019.

Quasi cinquant'anni da allora, bene...che cosa rimane o meglio, come è evoluta questa grande sfida nell'arrivare ai tempi nostri? Beh, sicuramente c'è stata l'esigenza di voler legare maggiormente, anche agli occhi dei finanziatori (ovvero i cittadini), i benefici le ricadute con i costi; in questo il passaggio dai vettori Saturno allo Shuttle era senza dubbio uno dei key driver, anche se poi conti alla



mano completamente disatteso. Poi aprire un'era spaziale più a misura d'uomo che di superuomo (limite reso ben evidente proprio nel rientro dell'Apollo Soyuz dove i tre astronauti hanno rischiato più volte di morire per loro errori, e dalla ritrosia di NASA a metter negli equipaggi scienziati che non fossero esperti Test Pilots, come e.g. il geologo "Jack" Schmitt in Apollo 17). Tutto ciò **facendo diventare lo spazio e le tecnologie ad esso associate strumenti direttamente utili alla crescita economica, alla creazione di nuove opportunità commerciali, allo studio del pianeta, per prevenire ed aiutare a trovare le cure giuste ai mali dovuti sia a dinamiche naturali, ma ancor più derivanti dai comportamenti umani.** Infine, ma certamente non per ultimo, la necessità/opportunità di coltivare il progresso verso lo spazio come una sorta di "orto comune" internazionale, arrivando con la Stazione Spaziale Internazionale (ISS) ad un consorzio di 14 paesi e decine di equipaggi misti delle varie agenzie spaziali coinvolte.

## Il ruolo dell'Italia

**L'Italia ha sempre avuto un posto rilevante, che le sue fortissime competenze che ritroviamo nella costruzione di vettori, sistemi di propulsione, strumentazione e tecnologie satellitari (ricordo il primo satellite San Marco 1 addirittura del 1964), nella partecipazione a missioni internazionali congiunte con l'ISS e l'importantissimo contributo in termini di coordinamento, risorse e formazione dato da ASI- Agenzia Spaziale Italiana.** L'impegno italiano grazie ad ASI e tutti i soggetti coordinati dall'Agenzia rappresenta uno dei maggiori a livello Europeo (il terzo maggiore in ambito ESA) e sicuramente uno dei più importanti a livello globale con NASA. Anche ENEA, pur non essendo un Ente specializzato in tecnologie spaziali, contribuisce ad affrontare sia le sfide della Space Economy sia quelle dell'esplorazione spaziale, guardando in primo luogo alla ri-conquista della Luna per poi andare su Marte con un volo chiaramente moto più impegnativo. **L'Agenzia, con le proprie amplissime competenze e collaborazioni anche internazionali maturate in decenni di attività nei settori Energia, Biotecnologie, Fisica Nucleare e Sicurezza, Sostenibilità Ambientale e Circolarità, sta già giocando un ruolo particolarmente attivo nella presenza Italiana in questa rinnovata stagione dello Spazio.** Materiali hi-tech, sistemi robotizzati, saldature laser e ultrasuoni per testare la sicurezza e la resistenza di componenti, ma anche supercomputer, 'vele spaziali', strumentazioni avanzate, infrastrutture uniche e

micro-orti: sono solo alcune delle attività nel campo dello spazio e dell'aerospazio perseguite da ENEA con partner scientifici e industriali attraverso una filiera di sistemi, prodotti, servizi e infrastrutture che fanno capo ai dipartimenti Fusione e Sicurezza Nucleare (FSN), Tecnologie Energetiche e fonti RINnovabili (TERIN) e Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali (SSPT), con il supporto trasversale della Direzione Innovazione e Sviluppo (ISV) e di tutta l'organizzazione ENEA.

In particolare, tali attività trovano indirizzo nella realizzazione di quelli che saranno dei veri e propri "Orti Spaziali" e sistemi circolari che daranno sostentamento nelle nuove stazioni spaziali geostazionarie (oltre l'attuale ISS) e nei lunghi viaggi interplanetari oltre che negli ostili ambienti di destinazione degli astronauti, nello studio di sistemi per la produzione e gestione dell'energia e propulsione dei veicoli spaziali anche con nuovi combustibili, nello studio e sperimentazione di materiali ed elettroniche in ambienti con elevati gradienti di sollecitazioni ed in presenza di forti radiazioni ionizzanti, nello sviluppo di tecnologie optoelettroniche di osservazione e di orientamento/navigazione. Tutte attività di Ricerca ed Innovazione che sono di grande interesse per le applicazioni in ambito Space Economy a garanzia di produttività, affidabilità ed abbattimento del rischio di investimento di satelliti/vettori impiegati in attività suborbitali/orbitali, ed ancor più per gli altamente sfidanti futuri voli umani extra-orbitali.

**Ciò impiegando oltre che personale e competenze, anche una avanzata organizzazione di infrastrutture di rara capacità a livello europeo, con dotazioni che comprendono acceleratori di particelle (macchine TOP-IMP-LART e REX), generatori di neutroni (impianto FNG) e raggi gamma (e.g. Impianto Calliope, impianti per prove sperimentali di sistemi di trasferimento calore a gravità zero (Impianto MICROgravityBOiling), Laser ad impulsi (Laser ABC, il più potente in Italia), impianti nucleari per test di irraggiamento (Triga e Tapiro), oltre tanti altri impianti di diagnostica e caratterizzazione nei campi dell'ottica, della interferometria etc etc.** Un connubio quindi di grande passione scientifica, competenze e capacità nella Ricerca ed Innovazione con un occhio attento alle esigenze di sviluppo dell'Industria che si affaccia alla Space Economy, ma che già guarda anche molto più in alto "...e quindi uscimmo a riveder le stelle".

# Il nuovo Programma Spaziale Europeo: un cambio di passo nella space policy Ue

Il fortissimo orientamento del settore spazio all'innovazione, la grande propensione a generare servizi utili ai cittadini e la capacità di creare occupazione, fanno del Programma spaziale UE un modello ideale di investimento, in piena sintonia con il piano Next Generation EU. In questo contesto, è fondamentale dare ordine alla governance del settore, fare sì che le istituzioni europee parlino sempre più con una voce sola e comunicare l'importanza di questo comparto che conta quasi il 10% del PIL dell'UE e racchiude in sé enormi potenzialità.

DOI 10.12910/EAI2021-072



di Massimiliano Salini, Europarlamentare e relatore all'Europarlamento per il programma spaziale dell'UE

**I**l fortissimo orientamento del settore spazio all'innovazione, la grande propensione a generare servizi utili per i cittadini e la capacità di creare nuovi posti di lavoro nelle filiere industriali e nelle start up, fanno del Programma spaziale UE un modello ideale di investimento per gli Stati membri, in piena sintonia con il maxi piano Next Generation EU, che punta proprio sui giovani e scommette sui settori strategici, in grado di fare la differenza per la ripresa nel lungo periodo. Per questo assume un significato importante la recente adozione del primo Programma Spaziale Europeo, regolamento al quale ho dedicato gli ultimi tre anni e mezzo di lavoro in qualità di Relatore al Parlamento Europeo. **Si tratta di un settore che conta quasi il 10% del PIL dell'UE e racchiude in sé enormi potenzialità sul piano tecnologico, economico e occupazionale.**

**I nostri sforzi devono essere orientati non solo all'attuazione ma anche alla promozione della conoscenza di questo asset fondamentale presso l'opinione pubblica. Nonostante il successo della politica spaziale europea, infatti, lo Space program è ancora sconosciuto ai più.** Un esempio eloquente è Galileo: pur essendo il sistema di navigazione satellitare più accurato al mondo e pur venendo oggi utilizzato da un miliardo di dispositivi a livello globale, la maggior parte dei cittadini europei non lo conosce ancora e continua a indicarlo con il nome del concorrente americano (GPS).

## Rilanciare una Comunicazione efficace

Quando nell'UE parliamo di integrazione e politiche comunitarie in grado di offrire risultati positivi ci riferiamo

comunemente ad Erasmus, PAC e mercato unico. Troppo poco facciamo riferimento alla politica spaziale, l'unica che gestisce un'infrastruttura veramente europea. È nel 2009, con il Trattato di Lisbona, che quella spaziale diventa a tutti gli effetti una politica comunitaria, anche se in parte continua ad essere condivisa con gli Stati membri. L'articolo 189 del Trattato sul funzionamento dell'UE recita così: "Per promuovere il progresso scientifico e tecnico, la competitività industriale e l'attuazione delle sue politiche, l'Unione elabora una politica spaziale europea". Questo allargamento della sfera sovranazionale al settore spaziale ha promosso due programmi divenuti di grande successo per l'Unione, Galileo e Copernicus, rispettivamente il sistema globale di navigazione satellitare e il programma



di osservazione satellitare della Terra. Se da un lato è quanto mai necessario rilanciare una comunicazione efficace, dall'altro è fondamentale che le istituzioni europee facciano maggiore sintesi per parlare con una sola voce, elemento che aiuterebbe sia a livello interno che internazionale. Tradizionalmente, quella spaziale è una politica nazionale e gli Stati membri continuano a detenere competenze in questo campo, come stabilito dall'articolo 189 del Trattato; la componente nazionale di questa politica dipende anche dal tipo di approccio che gli Stati membri hanno nel settore, che può variare molto da Paese a Paese. Un esempio è il confronto tra la politica spaziale francese e quella tedesca, la prima più legata alla difesa, la seconda all'ambito civile.

**Dare ordine alla governance del settore, garantire la separazione dei poteri**

Una delle principali sfide rappresentate dal Programma Spaziale europeo è dare ordine alla governance del settore e alle disposizioni che regolano le diverse parti dell'ordinamento. La

molteplicità di voci si traduce infatti in un'interessante articolazione istituzionale a livello europeo.

Sono tre i principali attori in gioco: Commissione Europea, EUSPA ed ESA. La Commissione, e in particolare la nuova DG Defis, creata all'inizio dell'attuale legislatura, svolge un duplice ruolo, poiché oltre ad avere avviato l'iter legislativo redigendo la proposta di regolamento, è anche incaricata di attuarlo; EUSPA (ex GSA) è invece l'agenzia decentrata dell'UE responsabile del Programma spaziale. Ultima, ma non certo in ordine di importanza, è l'ESA, European Space Agency, organizzazione internazionale creata nel 1975 che oggi conta 22 membri (non tutti Paesi UE come Svizzera, Norvegia e Regno Unito).

Alla luce della presenza di attori differenti, nella costruzione del nuovo Space program è stato fondamentale ripensare la governance in modo tale da garantire il buon funzionamento di tutte le componenti del Programma.

**In qualità di relatore, ho sempre sostenuto una governance chiara e stabile, basata su una netta separazione di ruoli e compiti tra gli attori istituzionali in**

gioco, che faccia affidamento su una solida cooperazione tra la Commissione europea, l'EUSPA e un'organizzazione internazionale con lunghissima esperienza nel campo come l'ESA. Questa cooperazione, elemento centrale nella governance dello Spazio, può funzionare nel modo più efficace solo se verrà garantita la separazione dei poteri e dei compiti. A questo proposito, il Parlamento Europeo ha seguito con grande attenzione i negoziati trilaterali che hanno coinvolto Commissione, ESA e EUSPA sull'accordo quadro di partenariato finanziario, al fine di monitorare attentamente il rispetto dell'architettura progettata dai co-legislatori.

**Per lo spazio 14,8 miliardi di euro, la somma più alta mai stanziata prima dall'UE**

Altro tassello fondamentale per costruire un programma di successo è la dotazione finanziaria necessaria all'implementazione. Fin dai primi momenti di confronto nel 2018 il Parlamento ha chiesto di stanziare per lo sviluppo delle componenti del Programma spaziale un

budget ambizioso di circa 17 miliardi di euro, superando la proposta iniziale della Commissione. Le cifre, rimaste in sospenso fino al 2020 a causa dei negoziati del Quadro Finanziario Pluriennale, sono state inevitabilmente riviste alla luce della pandemia, e parte delle risorse destinate al QFP 2021-2027 sono state reindirizzate verso il Next Generation EU. **Il bilancio finale destinato al settore tra 2021 e 2027 è pari a 14,8 miliardi di euro: si tratta della somma più alta mai stanziata prima dall'UE per lo Spazio.** Il budget UE è sicuramente una conquista ma andrà potenziato: gli Stati Uniti, attuali leader nel settore spaziale, assegnano alla NASA un budget annuale pari a 22,6 miliardi di dollari (per il 2020), mentre l'ESA è riuscita a raccogliere una cifra di 14,4 miliardi di euro da destinare ai progetti e da spalmare su 3 anni.

**L'Europa non può permettersi di stare indietro.** Stanno infatti emergendo nuove "nazioni spaziali" come la Cina. Nel gennaio 2019 Pechino ha effettuato un atterraggio morbido della navicella spaziale Chang'e-4 sul lato opposto della Luna, mentre aspira a una prima missione umana con allunaggio nel 2036. **Un bilancio ambizioso a livello dell'UE è fondamentale non solo per consentire alla nostra Unione di svolgere un ruolo a livello globale ma anche per promuoverne e garantirne l'autonomia strategica, assicurando pieno sostegno alla competitività della nostra industria.** E' necessario investire in ricerca e innovazione con l'obiettivo di spingere le nostre tecnologie, preservare la competitività, sostenibilità e autonomia della leadership europea. Questo approccio assume un'importanza tanto

più crescente quanto più il contesto rimane dinamico e fluido, con le tradizionali potenze spaziali estremamente attive, **la competitività del settore spaziale europeo messa sempre più alla prova da nuovi attori, organizzazioni industriali dirompenti e modelli di business inediti, sostenuti da entità istituzionali nazionali (a riguardo si parla di New Space economy).**

### Creare un 'Consiglio spaziale congiunto'

Il lavoro da fare è ancora molto. Raggiunta l'eccellenza nell'upstream e nelle infrastrutture satellitari, è infatti il momento di concentrarsi anche sul downstream e sullo sviluppo di servizi e applicazioni destinate agli utenti europei. Il regolamento ha solo dato il via al processo. **Come recentemente sottolineato dalla raccomandazione della Corte dei conti europea, la Commissione dovrebbe sviluppare una strategia globale e un piano d'azione per sostenere l'industria e la diffusione dei servizi.** Un settore spaziale competitivo e fiorente è un fattore abilitante anche della doppia transizione verde e digitale (il monitoraggio della Terra tramite Copernicus è ad esempio decisivo per il futuro dell'agricoltura e la lotta al cambiamento climatico). A questo si aggiunge l'iniziativa CASSINI promossa dal Commissario al Mercato Interno Thierry Breton, che istituirà, insieme alla BEI/FEI, **un Fondo spaziale europeo da un miliardo di euro per promuovere le start-up e l'innovazione spaziale:** sosterrà interventi attuati sull'intero ciclo dell'innovazione, dalla fase di sviluppo dell'idea impen-

ditoriale all'industrializzazione, sulla base del progetto Space Equity Pilot da 100 milioni di euro lanciato nel 2020.

**L'adozione del nuovo Programma Spaziale europeo corona un cambio di passo avvenuto negli ultimi tempi.** Il 28 maggio 2019, per la prima volta in otto anni, il Consiglio per la competitività si è riunito in una riunione congiunta con gli Stati membri dell'ESA. L'obiettivo era creare, o meglio rinnovare, un "Consiglio spaziale congiunto", un momento di confronto a livello ministeriale tra il Consiglio per la competitività e il consiglio dell'ESA con cadenza annuale. In quell'occasione è stato ribadito che la politica spaziale è fondamentale per l'UE e per l'ESA, e che il coordinamento tra le due organizzazioni deve essere rafforzato. Allo stesso tempo, la nuova Commissione guidata dalla presidente Ursula Von der Leyen ha istituito **una direzione specifica dedicata allo Spazio e alla Difesa** all'interno della più ampia direzione generale per il Mercato interno, affidata al commissario francese Breton.

**Nel frattempo, l'UE ha adottato il Programma spaziale con un budget aumentato, nuove componenti (Govsatcom e SSA) e nuova governance,** mentre di recente il commissario Breton ha avviato uno studio per creare un sistema sicuro di connettività spaziale, che culminerà con una proposta legislativa all'inizio del prossimo anno. Insomma: il lavoro da fare è ancora moltissimo. Da parte sua, il Parlamento UE continuerà a fare la propria parte vigilando sulla piena attuazione del Programma al fine di rafforzarne la governance e gli aspetti più innovativi del settore.

Massimiliano Salini è Deputato al Parlamento Europeo dal 2014. E' stato eletto con Forza Italia e fa parte del Gruppo PPE. E' membro titolare delle Commissioni per il Commercio Internazionale (INTA), per i Trasporti e il Turismo (TRAN), e membro sostituto della Commissione Industria, Ricerca ed Energia (ITRE). I suoi principali centri di interesse sono legati alla manifattura, al mercato dell'energia e alle PMI. Nel 2018 è nominato Relatore per il Parlamento Europeo del Programma Spaziale dell'UE, nell'ambito del nuovo QFP 2021-2027. In qualità di Vicepresidente dell'Intergruppo Sky and Space, è fra i principali promotori di iniziative inerenti alla politica spaziale all'interno del Parlamento europeo.

# Lo spazio come driver di sviluppo economico sostenibile

Le grandi sfide dell'umanità come cambiamento climatico, disastri naturali, insufficienza di acqua e cibo, mega-città, epidemie e immigrazione, vanno affrontate su scala globale, con tutti i mezzi a disposizione. Ed è qui che lo spazio entra nell'equazione, come elemento-chiave per contribuire alla soluzione di questi problemi: ricerca e tecnologia spaziale, nei settori di osservazione della terra, geolocalizzazione e tlc sono indispensabili per almeno il 50% dei 17 obiettivi e dei 169 sotto-obiettivi indicati dall'ONU nell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile.

DOI 10.12910/EAI2021-073



di **Simonetta Di Pippo**, *Direttore dell'Ufficio delle Nazioni Unite per gli affari dello spazio extra-atmosferico (UNOOSA)*

**A**nno 2050 C.E. Il pianeta Terra respira. Le azioni di monitoraggio, mitigazione e adattamento messe in atto a seguito delle numerose COP susseguite negli anni per arginare la crisi climatica, hanno dato frutti tangibili: la sfida di raggiungere un bilanciamento sostenibile tra le emissioni GHG antropogeniche prodotte e rimosse dall'atmosfera (net zero) è stata vinta. Nel contempo, la specie umana si è espansa nel sistema solare, vive e lavora regolarmente in orbita bassa intorno alla Terra, e tante sono le stazioni spaziali, in particolari commerciali, dove si produce il 'Made in space'. Accordi di governance globale del traffico spaziale hanno consentito il fiorire di stazioni permanenti sulla Luna e la presenza su Marte è ormai una realtà in crescita. Aver stabilito delle regole di comportamento per la sostenibilità a lungo termine nello spazio, nel cosiddetto 'Summit of the

Future' che si è tenuto nel 2023 sotto l'egida delle Nazioni Unite, ha contribuito a preservare l'ambiente spaziale. Molto è stato fatto anche per utilizzare sempre di più i dati e le infrastrutture spaziali come volani, acceleratori per uno sviluppo socio-economico sostenibile sulla Terra, sconfiggendo la fame e appianare le disuguaglianze, senza lasciare 'no one behind'. Può sembrare fantascienza, e sono solo 30 anni da adesso: 30 anni davanti a noi per salvare il pianeta. Vediamo come.

## Spazio come driver di sviluppo economico sostenibile

**Il settore spaziale è in fermento. Non che non lo sia sempre stato, ma certamente, mai come ora. Da un lato, con la tecnologia di accesso allo spazio che è divenuta più matura, l'innovazione di processo trova modo di aggiungere valore, mentre il ridotto costo di ac-**

**cesso, associato ad una fruizione più distribuita, consente ad un numero sempre più elevato di attori, pubblici e non, di contribuire allo sviluppo economico a livello globale.** È indiscutibile che il settore sia soggetto ad una profonda trasformazione nei vari segmenti della catena del valore. Quindi, mentre l'interesse si espande anche a settori e entità fuori dal classico settore spaziale, **c'è una evidente necessità per gli attori cosiddetti tradizionali di rivedere il loro posizionamento. Quanto più si avanza nello sviluppo tecnologico, tanto più diviene evidente che lo spazio si posiziona come un driver per uno sviluppo socio-economico sostenibile.**

Le grandi sfide dell'umanità, come cambiamento climatico, disastri naturali, insufficienza di acqua e cibo, mega-città, epidemie e immigrazione, vanno affrontate su scala globale e con tutti i mezzi a disposizione. Ed è



qui che lo spazio entra nell'equazione, affermandosi sempre di più come un elemento determinante per contribuire alla risoluzione di questi problemi: ricerca e tecnologia spaziale, nei settori di osservazione delle terra, geolocalizzazione e telecomunicazioni, sono indispensabili per almeno il 50% dei 17 obiettivi e dei 169 sotto-obiettivi indicati dall'ONU nell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile. Studi recenti indicano che nel raggiungere i sopracitati 17 obiettivi, si possono aprire 12 trilioni di dollari di opportunità di sviluppo economico, nelle quattro aree analizzate, vale a dire cibo e agricoltura, città, energia e materiali, e salute. Questi quattro settori rappresentano circa il 60% dell'economia reale e sono strategici per la realizzazione degli obiettivi prefissati.

#### 'War of talents'

Analizzando i 17 SDGs uno ad uno, ve-

diamo come ciascuno di loro può sviluppare valore. Ad esempio, per SDG5, che ha come obiettivo di ottenere un bilanciamento nella partecipazione di uomini e donne nel sistema produttivo e sociale, si considera che in termini di crescita economica, 144 paesi in via di sviluppo potrebbero aumentare il loro GDP di 8 milioni di miliardi se 600 milioni di donne avessero accesso a tecnologie come ICT, tenendo conto che il 90% dei lavori del futuro richiederà competenze in questo settore. A questo è collegato anche l'SDG4 per aumentare la conoscenza di qualità su scala globale, con una forte focalizzazione sulle materie STEM, indispensabili per lo sviluppo del settore spaziale del futuro che necessita di una componente consistente di queste competenze. Siamo infatti già in presenza di quel fenomeno che diversi anni fa The Economist definì 'the war of talents' (la guerra dei talenti) che costituisce anche un potenziale blocco in entrata per le aziende

NewSpace che pur avendo idee e capitali, si trovano e potrebbero trovarsi sempre di più in carenza di ossigeno dal punto di vista della forza lavoro qualificata che è necessaria in questo settore. E certamente giocare con l'intera squadra senza lasciarne la parte femminile in panchina sarà uno dei meccanismi a disposizione per combattere e, potenzialmente, vincere questa sfida. I dati e le infrastrutture spaziali consentono una accelerazione anche in termini di sostenibilità, proprio in quei settori dove raggiungere gli obiettivi dell'Agenda 2030 ha un valore strategico globale: monitoraggio del cambiamento climatico, della deforestazione, mappatura dei flussi migratori, sorveglianza epidemiologica, miglioramento della produzione agricola, risposte ai disastri naturali e gestione delle emergenze. E' inoltre un settore che ha per definizione un alto contenuto di innovazione, alla frontiera delle tecnologie allo

stato dell'arte, da sempre, dove obiettivi molto difficili (come, ad esempio, atterrare su un altro corpo celeste, astronauti in attività extra-veicolari, robot che si muovono sulla superficie di Marte, stazioni orbitanti, studio di pianeti e delle loro lune, sonde che studiano il Sole) costringono l'ingegno umano a trovare soluzioni così tecnologicamente spinte da sembrare, qualche volta, oltre quello che sembra possibile.

### 'Made in Space'

Spesso le tecnologie sviluppate per missioni spaziali trovano poi la loro strada per migliorare la qualità della vita sulla Terra, e oramai le nostre attività giornaliere sono sempre più dipendenti da satelliti e applicazioni di tecnologia spaziale. Nel mondo, peraltro, c'è una domanda crescente di comunicazione, e soprattutto comunicazione a banda larga, per cui ci sarà bisogno di un numero elevato di satelliti in orbita bassa per poter coprire l'intero globo a tale scopo. Il passo successivo sul piano dell'innovazione non potrà che essere una sempre maggiore integrazione tra le varie tecnologie spaziali (telecomunicazioni, osservazione della terra e localizzazione di precisione) e tra le tecnologie spaziali e le nuove tecnologie di frontiera. Questo certamente permetterà di affrontare, ad esempio, in modo intelligente e costruttivo il problema dell'analisi della enorme mole di dati che vengono raccolti dai satelliti, ma anche di poter avere a bordo dei satelliti, per osservazione della terra e non solo, sistemi evoluti basati su I.A. per poter meglio servire vari obiettivi e in tempi più stretti, il che si traduce in alcuni casi anche in un valore in termini di vite umane, come per esempio quando siamo in presenza di disastri

naturali. Quando poi abbiamo a che fare con tecnologie mature, ecco che anche l'innovazione di processo gioca il suo ruolo per portare un vantaggio competitivo. Senza dimenticare ovviamente tecnologie di punta come la stampa in 3D, che può consentire di delocalizzare la manifattura in modi mai pensati prima, oppure la produzione di oggetti nello spazio, il cosiddetto 'Made in Space'.

Come definiamo una 'società spaziale'? Secondo l'ONU, con il termine 'space society' ci riferiamo ad una società che porta avanti le sue funzioni istituzionali utilizzando nel modo migliore ed esteso possibile tecnologie spaziali, nonché servizi ed applicazioni basate su dati e infrastrutture spaziali. Inoltre, l'utilizzo di dati satellitari non è limitato a coloro che dispongono di asset nello spazio, siano essi governativi o privati.

### La rivoluzione nei servizi e nelle applicazioni

La politica di accesso libero e gratuito ai dati della costellazione europea Copernicus è un esempio di accesso aperto ed inclusivo per chiunque abbia la capacità di analizzare ed utilizzare le immagini nei settori più disparati. È chiaro che qui la rivoluzione sta anche e soprattutto nei servizi e applicazioni, nel cosiddetto downstream. Se prendiamo Copernicus come esempio, alcuni dati: dal 2008 al 2020, a fronte di un investimento pari a circa 7.5 miliardi di euro, si stima un valore creato di circa 13.5 miliardi, generato dal valore aggiunto per l'industria upstream, la vendita dei servizi basati sulle applicazioni di Copernicus e l'utilizzo dei prodotti resi fruibili attraverso Copernicus in vari settori economici. Si registrano infatti

percentuali altissime di riduzione dei costi per l'agricoltura di precisione, aumento di produzione di energia solare, benefici nel settore delle assicurazioni, o nel monitoraggio dello stato di avanzamento di costruzioni di edifici.

Se invece guardiamo alla questione dal punto di vista del ridotto costo dell'accesso allo spazio e al maturare della tecnologia disponibile, diviene sempre più possibile per nuovi attori, che si tratti di paesi in via di sviluppo o di start-up, accedere allo spazio con frequenza e a costi ridotti, anche con satelliti che raggiungono dimensioni e pesi veramente ridotti. Nuovi mercati per sempre una maggiore mole di dati spaziali rappresentano inoltre una importante prospettiva nel settore. Non dimentichiamo poi che più di metà delle 54 variabili climatiche essenziali possono essere monitorate efficacemente solo attraverso satelliti.

**Dunque, sostenibilità a lungo termine delle attività spaziali e attività spaziali come volano per accelerare il raggiungimento di uno sviluppo socio-economico sostenibile su scala globale. Questo richiede un sistema di governance e di coordinamento del traffico spaziale, in orbita bassa e rispetto a Luna, Marte e oltre, per consentire di preservare l'ambiente spaziale per le future generazioni, in quanto bene comune.**

Salvare lo spazio per salvare la terra. Sviluppare una presenza umana su altri corpi del sistema solare con missioni in cooperazione internazionale e in modo sostenibile. Saranno necessari ingenti sforzi economici, politici e strategici di portata straordinaria, ma certamente, è lo spazio la nuova frontiera. Collaborando per un futuro migliore, forse nel 2050 C.E. i nostri figli e nipoti dormiranno sogni più tranquilli.

# L'importanza del settore spaziale e l'azione di AVIO

L'accesso allo spazio sta diventando un'attività sempre più strategica tenuto conto dei molti nuovi soggetti – stati e privati- che vogliono entrare in questo settore. Possedere una capacità di lancio indipendente diventa quindi fondamentale per motivi economici, ma anche di sicurezza nazionale. Il lanciatore Vega sviluppato da Avio per l'Agenzia Spaziale Europea consente di ridurre i costi di lancio e di aprire le porte dello spazio a una platea più ampia di attori istituzionali e privati. E per il futuro sono in cantiere altre iniziative e progetti di evoluzione della 'famiglia' Vega.

DOI 10.12910/EAI2021-074



di Giulio Ranzo, Amministratore Delegato di Avio Spazio

**S**pesso si pensa allo spazio come qualcosa di lontano, la nuova frontiera, come è stato spesso definito. Un ambito che ha a che fare con astronauti, ingegneri, astronomi e tecnici. La realtà è ben diversa. Lo spazio è presente nella nostra vita quotidiana quasi senza accorgercene. Quante volte guardiamo le **previsioni meteorologiche** alla televisione o sui nostri dispositivi per sapere come sarà il tempo il giorno successivo, a volte anche come sarà dopo un'ora. Le rilevazioni meteorologiche sono diventate sempre più precise grazie ad appositi satelliti che forniscono immagini di parte del globo terrestre per monitorare lo spostamento delle perturbazioni.

Un'altra azione "spaziale" che si fa quasi abitualmente è usare le applicazioni del nostro smartphone per orientarci e andare da un punto a un altro sia a piedi sia con l'automobile. Il **navigatore sullo smartphone** non sarebbe possibile senza le costellazioni satellitari per la navigazione, il

posizionamento e la sincronizzazione temporale. La più famosa è certamente il Global Positioning System (GPS) statunitense, ma anche l'Europa si è dotata di un proprio sistema ad alta precisione, denominato Galileo. Una funzione poco conosciuta di questi sistemi è quella di fornire **la sincronizzazione temporale universale necessaria, ad esempio, alle transazioni finanziarie e al funzionamento degli scambi nelle Borse.** Lo spazio ha a che fare con il cibo. I satelliti per l'osservazione della Terra hanno, tra le diverse applicazioni, quella di **monitoraggio dell'agricoltura e dello sfruttamento delle risorse idriche.** Inoltre, la ricerca spaziale ha migliorato le tecniche di conservazione e sterilizzazione degli alimenti. Le sperimentazioni nelle missioni spaziali con equipaggio, ad esempio quelle effettuate sulla Stazione spaziale internazionale (ISS), hanno permesso grandi passi nella **medicina, studiando la fisiologia umana e le condizioni di sviluppo e riproduzione di alcune malattie.**

Infine, i satelliti per **telecomunicazioni** hanno cambiato il mondo, permettendo di trasmettere immagini da parti molto distanti del pianeta e nei prossimi anni garantiranno l'accesso a internet su quasi tutta la superficie abitata e non del globo.

Questi sono solo alcuni degli esempi dell'importanza che il settore spaziale ha nella vita di tutti i giorni, rendendolo una parte fondamentale e che necessita di continui investimenti per migliorare le tecnologie e essere accessibile a una platea sempre più ampia.

**Un accesso allo spazio indipendente e a basso costo**

Per poter usufruire dei servizi dallo spazio sono necessari razzi capaci di portare i carichi in orbita terrestre e, se necessario, anche oltre. **L'accesso allo spazio è quindi una capacità fondamentale e solo pochi Paesi al mondo la possiedono, ma essi**



sono in aumento così come gli attori privati. Il mercato dei lanciatori, perciò, sta diventando sempre più competitivo. L'innovazione tecnologica è fondamentale per migliorare le prestazioni e la versatilità dei razzi, ma soprattutto per abbassare i costi di lancio. Questo sia in ottica di competitività nel mercato sia come obiettivo di poter offrire il servizio di accesso allo spazio a una platea più ampia di clienti, istituzioni, università e centri di ricerca. **Il settore dei lanciatori, tuttavia, non può essere analizzato solamente in termini economici, ma è importante anche l'aspetto strategico.** Alcuni carichi o satelliti sono importanti a livello di sicurezza nazionale o di tecnologie e lanciarli con un'azienda straniera potrebbe non garantire i necessari requisiti di sicurezza, riservatezza e tempistiche. Inoltre, l'attuale ambiente spaziale in orbita terrestre è sempre più congestionato, tra satelliti operativi, non più funzionanti e detriti di vario genere. In caso un satellite fosse messo fuori uso da un impatto potrebbe esserci la necessità di sostituirlo nel più breve tempo

possibile. Per tutti questi motivi, **possedere una capacità di lancio indipendente è fondamentale nonostante le logiche di mercato.** Abbassare i costi è funzionale anche per l'aspetto strategico dell'accesso allo spazio.

### Avio verso il futuro

In questo contesto, Avio è stata ed è presente. **Il lanciatore Vega, progetto europeo dell'Agenzia spaziale europea (ESA), ma di cui l'Italia è Paese leader, è stato sviluppato per abbassare i costi di lancio e dare la possibilità a una platea più ampia di attori istituzionali e privati di mettere propri carichi ed esperimenti in orbita terrestre.** Il razzo sfrutta nuovi materiali come la fibra di carbonio, che a parità di solidità garantisce un peso più leggero quindi un minor carico di carburante. Vega è stato usato per portare in orbita diversi tipi di carico, tra cui satelliti per l'osservazione della Terra del progetto europeo Copernicus dedicati al monitoraggio ambientale, climatico, agricolo e dei disastri naturali, sa-

telliti per telecomunicazioni e anche missioni scientifiche. Si è da poco conclusa la sua ventesima missione ed è giunto il momento di guardare al futuro.

Il primo passo è rappresentato dal nuovo vettore della famiglia Vega, il Vega C. Esso sarà più potente e versatile rispetto alla versione precedente, con una capacità di carico superiore a un prezzo più basso. Le novità riguardano il primo stadio, chiamato P120C, che farà anche da booster per il vettore medio/pesante europeo Ariane 6, e il secondo, lo Zefiro 40. Vega C sfrutterà a pieno il nuovo adattatore del carico utile Small Spacecraft Mission Service (SSMS), che è stato sperimentato con successo durante il sedicesimo volo del Vega, mettendo in orbita 53 satelliti con un solo lancio, un record europeo. Inoltre, il nuovo vettore lancerà lo **Space Rider un veicolo spaziale riutilizzabile dell'ESA che avrà diverse applicazioni** potendo rimanere per lunghi periodi in orbita per poi rientrare effettuando un atterraggio frenato da paracadute. Avio è responsabile del modulo propulsivo del veicolo.

### Lo Space Propulsion Test Facility

Il futuro non si ferma qui. Di recente è stata inaugurata la **Space Propulsion Test Facility (SPTF) in Sardegna**, banco di prova per l'M10, un motore di nuova generazione a ossi-

geno e metano liquidi più sostenibile a livello ambientale che equipaggerà l'ultimo stadio del Vega E, ulteriore evoluzione della famiglia Vega, che avrà una capacità di carico ancora maggiore a costi ulteriormente inferiori. Diversamente dai suoi prede-

cessori, Vega E avrà tre stadi invece che quattro. I primi due, a propellente solido, saranno gli stessi del Vega C, ossia il P120C e lo Zefiro 40, riducendo così i costi di sviluppo. Lo spazio è il futuro e l'Italia e Avio continueranno a essere protagonisti.

Giulio Ranzo è Amministratore Delegato e Direttore Generale di AVIO SpA dal 2 ottobre 2015. In precedenza, è stato Direttore Strategie, Marketing e Government Affairs di Avio Aero. In Avio dal 2011 è stato Direttore Strategie di Gruppo (2011-2013), Direttore Investor Relations (2012) e Consigliere di Amministrazione (2013). Ha inoltre gestito la preparazione per la quotazione in Borsa di Avio nel 2011-2012, la cessione alla General Electric Aviation nel 2013 e l'integrazione postmerger nel 2014. Nel periodo 2011-2013 ha fatto parte del CdA di Europropulsion, la Joint Venture tra Safran e Avio per la propulsione spaziale. Dal 2007 al 2011 è stato Direttore Finanziario e Condirettore Generale delle attività di in Italia di Cementir Holding, azienda attiva nel settore dei materiali da costruzione. Ha iniziato la sua carriera in Booz Allen Hamilton, società di consulenza strategica leader al mondo nel settore dell'Aerospazio e della Difesa, dove ha ricoperto i ruoli di Associate, Senior Associate e Principal tra il 2000 e il 2007. In quegli anni ha sviluppato progetti di strategia per i maggiori gruppi europei operanti nei settori dell'aeronautica civile e militare, delle tecnologie e dei lanciatori spaziali, dell'elettronica della difesa, dei business jets e dell'aviazione generale. Laureato in Ingegneria Civile all'Università di Roma La Sapienza nel 1995, nel 2000 ha completato un Dottorato di Ricerca congiunto con la University of California San Diego dove è stato Graduate Research Assistant tra il 1996 e 1999.

# Il ruolo dell'Italia nell'economia delle infrastrutture spaziale

Lo spazio è oggi uno dei settori più promettenti di crescita economica e, allo stesso tempo, le tecnologie ad esso collegate contribuiscono ad un pianeta più sostenibile, con meno emissioni e maggiore ottimizzazione delle risorse. Come punto di incontro di ricerca e tecnologia, di capacità infrastrutturali e di sviluppo di applicazioni, di diplomazia ed economia, lo spazio si confronta con nuovi attori privati, nuovi modelli di investimento e nuovi paradigmi di collaborazione pubblico-privata. In questo contesto Thales Alenia Space, JV tra Thales 67% e Leonardo 33%, colloca la sua azione strategica a livello nazionale e internazionale.

DOI 10.12910/EAI2021-075



di Massimo Claudio Comparini, Amministratore Delegato Thales Alenia Space Italia

**E**ra il 15 dicembre 1964 quando, nel cielo della Virginia veniva lanciato il primo satellite scientifico italiano: il San Marco. L'Italia entrava così nella storia dello spazio diventando la terza nazione al mondo, dopo URSS e USA, a mandare in orbita un satellite di propria progettazione e costruzione. Un'avventura straordinaria sviluppata e cresciuta enormemente negli anni, fino ai giorni nostri, attraverso molti programmi di grande successo e grazie al coordinamento delle Agenzie Spaziali, Italiana ed Europea, che hanno permesso il consolidamento di un comparto industriale tra i più avanzati al mondo.

“Allo Spazio è ormai ampiamente riconosciuto il ruolo di attività abilitante e strategica per lo sviluppo economico, sia per il potenziale impulso che dà al progresso tecnologico e alla evoluzione dei sistemi economici sia

per la naturale scala europea che ne contraddistingue l'ambito di azione e di coordinamento degli investimenti”. Ciò è quanto si legge nel noto Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), che destina proprio parte delle sue risorse allo Spazio, quale settore dai numeri in forte crescita. A questo si sommano gli investimenti già previsti sia a livello nazionale con il Piano Triennale di Attività della Agenzia Spaziale Italiana e naturalmente la contribuzione nell'ambito della Agenzia Spaziale Europea.

**Oltre 2 miliardi l'anno di giro d'affari**

**Ben 200 aziende di cui circa l'80% PMI, un giro d'affari annuo di oltre 2 miliardi di euro, oltre settemila addetti e un aumento del 15% negli ultimi 5 anni, sono alcuni dei numeri che confermano quanto le tecnologie, le infrastrutture e le applicazio-**

**ni dei sistemi spaziali sono oramai parte integrante della nostra vita ed abilitano una nuova e crescente economia, la cosiddetta Space Economy, assieme alle tecnologie digitali uno dei più promettenti motori per la crescita economica del nostro Paese.** Nello spazio d'altronde, pur essendo la dimensione ormai globale, il modello dei nostri distretti industriali funziona bene in linea con l'importante tradizione di cultura economica del paese; sono 12, guidati dal **Cluster Tecnologico Nazionale Aerospazio**, che aggrega tutti gli attori della filiera. Un'importante azione propulsiva che consente di contribuire a sviluppare ed a tenere aggiornata la visione organica e strategica guidata dall'azione dell'**Agenzia Spaziale Italiana** e -alla luce della governance ormai in azione da qualche anno- in linea con le direttive politiche e strategiche del **Comitato interministeriale per le politiche**



spaziali a livello della Presidenza del Consiglio.

Se le attività spaziali, per quanto riguarda i servizi per il pianeta, sono partite storicamente con le telecomunicazioni, **negli ultimi anni l'Osservazione della Terra ha subito un'evoluzione particolarmente rilevante con un grande impatto su diversi domini e fornendo un contributo molto rilevante sui temi della sostenibilità.**

Osservare la Terra dallo Spazio ci aiuta a comprendere meglio quello che sta accadendo sul nostro pianeta su scala globale, non solo per i rilevanti aspetti relativi al cambiamento climatico, analisi dello stato di salute dei mari e degli oceani, monitoraggio dei poli, ma anche consumo di suolo, deforestazione, e naturalmente aspetti più locali, come quelli legati all'agricoltura di precisione o il monitoraggio delle infrastrutture. Attraverso le tecnologie satellitari, possiamo, infatti, contribuire a una attività agricola più produttiva e sostenibile, con un uso minore di risorse idriche o gestire in modo intelligente

ed anche predittivo la manutenzione di infrastrutture. Se infine ci concentriamo sul posizionamento satellitare e sulle tecnologie legate alla connettività globale, il fatto che queste tecnologie permettano di essere connessi anche in movimento, consente un'ottimizzazione delle rotte in mare e in volo, con una conseguente riduzione di emissioni di anidride carbonica.

#### Tecnologie spaziali e sostenibilità ambientale

**Le tecnologie spaziali contribuiscono dunque, in diversi modi, ad un pianeta più sostenibile, con meno emissioni e maggiore ottimizzazione delle risorse. In questa corsa contro il tempo, l'enorme mole di dati che otteniamo grazie alle costellazioni satellitari di osservazione, è probabilmente, insieme alle tecnologie digitali, Digital Twin, Intelligenza Artificiale, IoT, lo strumento più potente che abbiamo a disposizione.**

In questo contesto non posso non sot-

tolinare il ruolo nel dominio della navigazione con l'importante assegnazione a Thales Alenia Space Italia dello sviluppo e la costruzione dei primi sei satelliti della costellazione Galileo di seconda generazione, un traguardo storico per l'industria spaziale italiana. **Oggi, quale punto di incontro di ricerca e tecnologia, di capacità infrastrutturali e di sviluppo di applicazioni, di diplomazia ed economia, lo spazio si confronta con nuovi attori privati, nuovi modelli di investimento e con l'avvento e sviluppo rapido della new Space Economy certamente con nuovi paradigmi di collaborazione pubblico-privata.**

Ad esempio nel dominio della esplorazione spaziale recentemente Thales Alenia Space e la Axiom Space (USA), hanno siglato un contratto per lo sviluppo e la produzione negli stabilimenti di Torino dei primi due elementi pressurizzati della Stazione Spaziale di Axiom, la prima stazione commerciale al mondo. Previsti per essere lanciati rispettivamente nel

2024 e nel 2025, i due elementi saranno inizialmente attraccati all'attuale Stazione Spaziale Internazionale (ISS), dando vita al nuovo segmento orbitale della Stazione Axiom.

**La Stazione avrà la funzione di hub centrale per la ricerca, la produzione e il commercio in orbita terrestre bassa (LEO)**, ampliando il volume utilizzabile e abitabile della ISS, e sarà agganciata al modulo ISS Nodo 2, costruito anch'esso da Thales Alenia Space. Quando la ISS avrà completato la sua vita operativa, i moduli Axiom si separeranno e opereranno come una stazione spaziale commerciale a volo libero, un laboratorio e una infrastruttura spaziale che sarà utilizzata per esperimenti di microgravità, test di materiali critici per l'ambiente dello spazio e ospiterà astronauti 'privati' e professionisti. Sarà la pietra miliare di una permanente e attiva presenza umana nonché di una proficua rete di attività commerciali in orbita terrestre bassa, consentendo nuovi progressi sia sulla terra che nello spazio e **lo sviluppo di una economia dell'orbita bassa.**

### **Innovazione elemento chiave per la competitività**

Con lo sviluppo di oltre il 50% del volume abitabile della ISS, l'Italia ha d'altronde con la sua industria spaziale marcato la storia delle infrastrutture orbitali fin dalle origini. Sulla base di questa eredità unica, **Thales Alenia**

**Space è pioniere del futuro della presenza umana in orbita bassa**, allargando i confini dell'esplorazione spaziale, ponendo le basi per il Gateway Lunare e potenzialmente i primi elementi lunari di superficie, laboratorio di esplorazione spaziale per mete più lontane, in primis Marte, il pianeta rosso. La perenne ricerca umana di esplorazione dello spazio sta diventando, pezzo dopo pezzo, realtà e siamo così orgogliosi di contribuire a realizzarla.

L'eccellenza italiana è presente dunque in tutti i domini e, ancora una volta, Thales Alenia Space insieme alla sua ampia filiera, al centro di un processo di cross fertilization, si impegna con determinazione nel progetto comune di volersi spingere sempre oltre, ai confini dell'eccellenza tecnologica e della capacità di concepire missioni spaziali ambiziose, di frontiera e affascinanti. Una eccellenza che dalle infrastrutture abilita nuovi servizi ed applicazioni con l'alleanza spaziale di Leonardo e Thales ancora in prima linea con il ruolo e l'azione di Telespazio nel mondo dei servizi e delle operazioni spaziali.

Per una industria spaziale all'avanguardia, in grado di fronteggiare le sfide globali del settore, **l'innovazione è elemento chiave** per mantenere e rafforzare la competitività ed essere sempre pronti a lanciare nuove soluzioni ed architetture anche attraverso dinamiche di fertilizzazione con settori adiacenti. E in questo contesto

che **Thales Alenia Space, ha una forte azione strategica di rafforzamento della rete di collaborazioni e partnership con i grandi atenei del paese, gli enti di ricerca, le startup innovative e una ricca filiera di PMI, al fine di facilitare ed espandere il legame vitale fra la ricerca, innovazione ed il comparto industriale.** Un percorso che non sarebbe possibile senza un importante e qualificatissimo contributo del mondo scientifico-accademico.

Vale la pena ricordare che a Torino ha recentemente visto la luce l'**ESA Business Incubation Centre Turin**, che per sette anni avrà la missione di supportare l'avvio e lo sviluppo di almeno 65 start-up della space economy. Iniziativa che già nella Regione Lazio, nel relativo BIC, ha dato ottimi risultati.

In un Paese che attraverso le nuove tecnologie deve accelerare nel percorso della economia della conoscenza, dell'incremento della produttività e della capacità di innovazione, **lo spazio rappresenta un terreno ideale di valorizzazione delle competenze e di sviluppo di occupazione qualificatissima nel e per il paese.** Lavoriamo ogni giorno, nei nostri laboratori, nelle camere bianche, assieme alla filiera, ai centri di conoscenza nazionali, nelle nostre fabbriche per costruire le sonde, i moduli, i satelliti del futuro, ma soprattutto per costruire un futuro solido di conoscenze e sviluppo per i nostri giovani e per la nostre comunità.

Massimo Claudio Comparini è Deputy CEO, Senior Executive Vice President Osservazione, Esplorazione e Navigazione di Thales Alenia Space e Amministratore Delegato di Thales Alenia Space Italia. Precedentemente Amministratore Delegato di eGeos e Direttore della Linea di Business Geoinformazione di Telespazio, ha una comprovata esperienza nell'industria dello spazio, dalla tecnologia ai servizi, e nel campo dell'osservazione. Laureato in Ingegneria elettronica, telerilevamento, sistemi radar presso la Sapienza di Roma e in strategia presso la Graduate School of Business, Stanford University (USA), ha cominciato la sua carriera nel 1983 nell'allora Selenia Spazio (poi divenuta Alenia Spazio), ricoprendo varie posizioni manageriali, fino a quella di Chief Technical Officer (CTO). Nel 2013 è stato nominato CTO di Telespazio, joint venture tra Leonardo (67%) e Thales (33%). Nel 2016 è nominato Amministratore Delegato di eGeos, società di ASI (20%) e Telespazio (80%), leader internazionale nel campo dell'Osservazione della Terra e dell'Informazione Geospaziale, e Presidente di GAF e di EarthLab Lussemburgo. Fa parte del comitato consultivo tecnico-scientifico del Centro di Ricerca, Sviluppo e Studi Superiori in Sardegna (CSR4).

# Pasquali (Leonardo), all'Italia vogliamo garantire un ruolo da protagonista

Il futuro della Terra è sempre più legato allo spazio. Pensiamo a chi abiterà le basi lunari, a chi viaggerà verso Marte, a chi vivrà lo spazio come luogo di lavoro e a chi, sulla Terra, godrà dei benefici della space economy. E' una sfida che riguarda sempre più la cooperazione e l'armonizzazione a livello internazionale. Leonardo, come grande realtà industriale ad alto contenuto tecnologico, ha sempre creduto nella valenza strategica e nel potenziale di business del settore spaziale, investendo risorse e competenze per garantire all'Italia un ruolo da protagonista.

DOI 10.12910/EAI2021-076



di Luigi Pasquali, Coordinatore delle Attività Spaziali di Leonardo, Amministratore delegato di Telespazio

Il settore spaziale ha acquisito sempre maggiore importanza e non c'è dubbio che sia entrato a pieno titolo nel nostro vissuto, anche là dove non è immediatamente percepibile; ad esempio, quando usiamo il nostro smartphone, il 50% delle app funziona solo grazie ai dati di posizione forniti dai satelliti come Galileo o GPS, o quando le forze della Difesa si occupano della nostra sicurezza. Cominciano anche ad emergere con chiarezza le dimensioni economiche del business commerciale legato allo spazio. Nel 2020 sono stati investiti nell'economia legata allo spazio circa 70 miliardi di euro, la maggior parte dei quali (il 60%) dagli Stati Uniti, rispetto ai 12 miliardi dell'Europa. Il valore generato, sempre nel 2020, è pari a 300 miliardi di euro, un ammontare che, agli attuali tassi di crescita, salirà a circa 450 miliardi nel 2030.

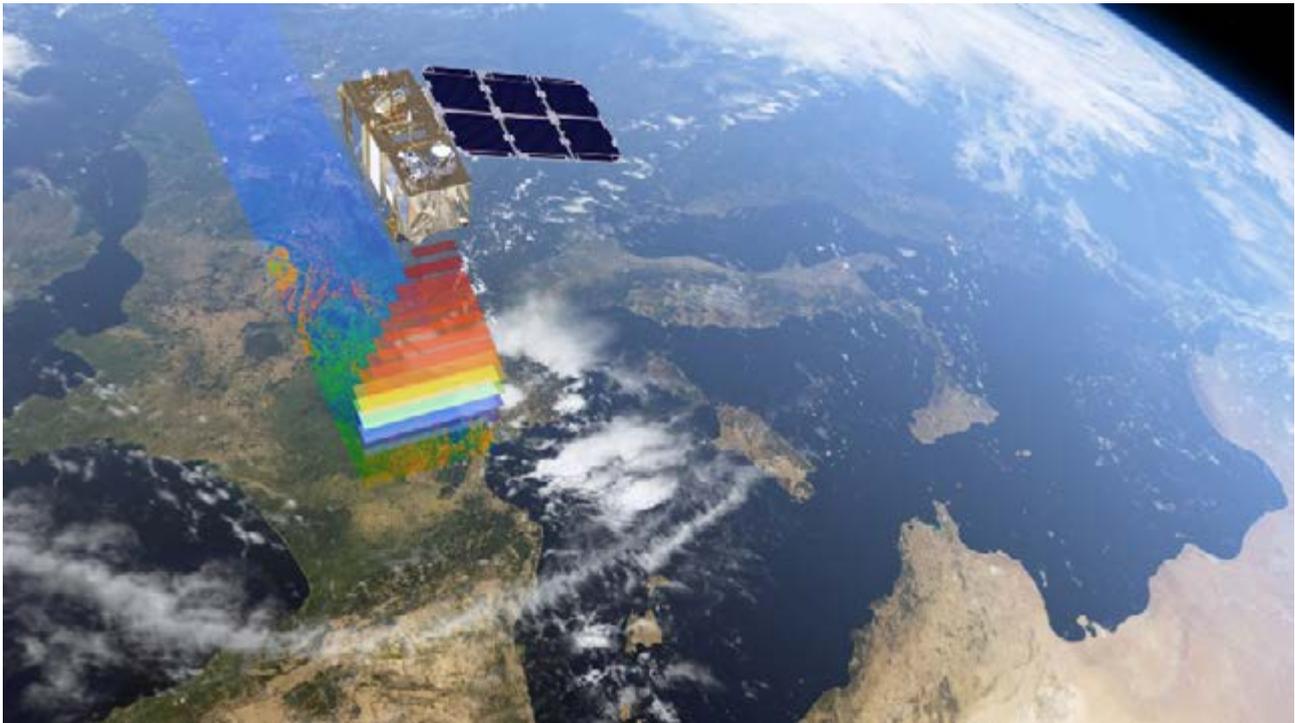
## “Spazio per i cittadini”

Al cuore di questa evoluzione, i dati e i segnali satellitari: la loro raccolta, analisi ed elaborazione è alla base del cosiddetto “Spazio per i cittadini”. Le tecnologie di questo comparto danno infatti un contributo decisivo al miglioramento della vita sul nostro Pianeta e alla sua protezione. Basti pensare, da una parte, alle costellazioni di satelliti come COSMO-SkyMed e Sentinel, che consentono il monitoraggio dei livelli di inquinamento e dello stato di salute di foreste e ghiacciai, oltre al controllo della sicurezza delle infrastrutture e delle persone, dell'efficienza della mobilità urbana e dei flussi delle merci. Dall'altra, al contributo dell'analisi e processamento dei big data satellitari – anche attraverso infrastrutture di supercalcolo - per l'agricoltura

di precisione, il monitoraggio delle infrastrutture critiche, le smart cities e l'healthcare. Non da ultimo, il settore spaziale rappresenta un importante motore di conoscenza scientifica grazie all'esplorazione del cosmo e a programmi come ExoMars ed Euclid.

La space economy si sta rivelando, insomma, un nuovo eldorado, popolato da imprenditori visionari e società private che hanno aperto la strada a nuovi segmenti di business come il turismo spaziale, la connettività in aree del Pianeta finora mai raggiunte e la creazione di strutture abitative extraterrestri insieme ai moduli di trasporto.

Leonardo, come grande realtà industriale ad alto contenuto tecnologico, ha sempre creduto nella valenza strategica e nel potenziale di business del settore spaziale, investendo risorse e competenze



per garantire all'Italia un ruolo da protagonista. Capacità che l'azienda ha valorizzato sia attraverso le società Telespazio e Thales Alenia Space, sia attraverso specifiche competenze della propria Divisione Elettronica. Un patrimonio ricco di conoscenze e tecnologie nello sviluppo e nella gestione dei sistemi di terra, delle operazioni, dei servizi e della manifattura satellitare, oltre che di apparecchiature e sistemi robotici dedicati.

Oggi Leonardo copre il 70% del settore spazio in Italia, che coinvolge circa settemila addetti (+15% negli ultimi cinque anni) tra personale diretto e indiretto a fronte di un giro d'affari pari a 2 miliardi di euro all'anno. Un business in grado di produrre benefici per l'economia reale quantificabili tra i 3 e i 7 euro per ogni euro investito.

Disponiamo, in sostanza, di un'offerta di eccellenza che, insieme a una filiera altamente specializzata,

colloca il nostro Paese fra le maggiori potenze spaziali e tra i protagonisti delle più importanti missioni internazionali. Nel prossimo decennio vogliamo continuare a essere un volano di sviluppo tecnologico per l'Italia, contribuendo alla sicurezza e alla crescita sostenibile dei suoi cittadini. La nostra ambizione è guidare l'innovazione, che vede nello spazio un ambiente operativo ideale. **Non a caso il settore riveste un ruolo centrale nel Piano "Be Tomorrow" – Leonardo 2030, la roadmap strategica a dieci anni dell'azienda per un progresso sostenibile in un mondo più sicuro.** Proprio per questo, nel momento in cui l'Italia e l'Europa ridisegnano i rispettivi modelli di sviluppo, lo spazio deve assumere una valenza decisiva. Ma, per operare e competere in maniera efficace, bisogna essere solidi: l'industria spaziale richiede un impegno costante e una visione di lungo periodo da parte di

aziende e istituzioni per affrontare **le tre, complesse, cruciali sfide del prossimo decennio.**

### Le tre sfide del prossimo decennio

La prima riguarda la salvaguardia dell'ambiente. Vista dallo spazio, la Terra è un pianeta bellissimo ma nello stesso tempo fragilissimo, interessato oggi da profonde trasformazioni che mettono a repentaglio il suo ecosistema. Esserne consapevoli e mantenersi aggiornati costituisce solo il primo, fondamentale passo, perché sempre dallo spazio arrivano alcune tra le migliori risposte alla problematica del cambiamento climatico: attraverso le costellazioni di satelliti si possono infatti verificare in modo sistematico l'evoluzione dei gas serra e lo stato di salute di foreste e ghiacciai. Presto, grazie all'aiuto di tecnologie come digital twin, big data analytics e intelligenza artificiale, nonché all'utilizzo di macchine di calcolo ad alte prestazioni (HPC), i gover-

ni di tutto il mondo saranno in grado di prendere decisioni più consapevoli in materia ambientale e di valutarne in anticipo l'impatto. **Il settore spaziale rappresenta, in altre parole, il miglior alleato della sostenibilità ambientale e il suo utilizzo è quindi irrinunciabile per il raggiungimento, in tempi brevi, degli obiettivi posti dall'Europa con il Green Deal e dalle Nazioni Unite attraverso i Sustainable Development Goals.**

La seconda sfida è quella della **sicurezza**, preconditione di un progresso sostenibile: il nostro Paese deve contare sulla sicurezza fisica e digitale di tutti i propri asset per poterne garantire la continuità operativa. Anche in questo caso lo spazio assume una funzione centrale, a partire dai servizi di geo-localizzazione, assistenza e allarme nella mobilità e nei trasporti, per proseguire con l'impiego intensivo di applicazioni spaziali da parte delle forze di sicurezza, come i sistemi di comunicazione sicura, sostenuti dalle tecniche quantitative, che riguardano una copertu-

ra planetaria. Altri rilevanti impieghi riguardano l'osservazione della Terra: correlando in tempo reale dati provenienti da satelliti, web e archivi informatici, è possibile elaborare questa mole di informazioni con algoritmi di intelligenza artificiale allo scopo di assumere decisioni in tempi rapidi. È il vantaggio di cui beneficiano gli operatori della sicurezza, sia in ambito civile sia militare, grazie a **X-2030, una piattaforma di comando, controllo e intelligence nazionale, sicura e cyber-resiliente.**

La **terza sfida** interessa le regole del gioco ed è legata soprattutto all'ingresso di **nuove realtà nel settore.**

**C'è un forte interesse del mercato finanziario per le missioni spaziali: vari fondi d'investimento hanno supportato o accompagnato il debutto in Borsa di numerose società private del settore, con il risultato di cambiare gli equilibri tra queste ultime e la sfera pubblica: si è creato, in particolare, un divario tra gli USA, dove esiste complementarietà tra la componente**

istituzionale e quella privata/commerciale, e i Paesi dove questo fenomeno si verifica con modalità e intensità diverse o non si è ancora manifestato.

Dal punto di vista geopolitico, nel frattempo, sta crescendo l'influenza della Cina e della Russia nel comparto. **Ci troviamo, in definitiva, di fronte a nuove dinamiche di varia natura che hanno velocemente spostato la frontiera delle opportunità verso l'ambito spaziale.** Ne sono un chiaro esempio l'interesse all'estrazione delle materie prime su Luna e altri pianeti e corpi celesti, la presenza umana in pianta stabile su Luna e Marte e il turismo spaziale.

In un contesto così dinamico servono però regole certe. Fino a pochi anni fa la gestione razionale dello spazio riguardava la condivisione delle orbite e delle frequenze tra i diversi Paesi e operatori principalmente per i propri sistemi di comunicazione satellitare. **Oggi, invece, occorre definire con precisione le modalità di accesso e di interazione nello Spazio nel suo complesso.**



## Il rischio 'far west'

Un'esigenza che diventa sempre più stringente con l'approssimarsi delle missioni che ci porteranno su Luna e Marte è infatti capire come potrà essere gestito lo sfruttamento delle risorse che andremo a trovare. Bisogna evitare il 'Far West' o, come avviene oggi, che a deciderlo sia chi arriva per primo. **Il moltiplicarsi di operatori e attività in orbita rende, inoltre, urgente la regolamentazione del traffico spaziale e dei relativi protocolli di comunicazione volti a prevenire le collisioni tra i satelliti ed i conseguenti profili di responsabilità.** Altrettanto rilevante è un ulteriore tema collegato al progressivo affollamento dello spazio, ossia la questione dell'aumento dei detriti spaziali, che mettono a rischio asset strategici e fondamentali per la vita quotidiana e richiedono capacità di *Space Traffic Management* sempre più sofisticate. Anche la rimozione di questi ultimi richiede la definizione di regole di ingaggio chiare.

Solo regole certe e condivise possono creare i presupposti per lo sviluppo dei

grandi programmi dei Governi e delle istituzioni. È un impianto regolatorio solido quello che permette alle imprese di investire in sicurezza e di creare massa critica su programmi e missioni internazionali, favorendo così lo sviluppo dell'occupazione, di competenze specializzate e di servizi di qualità.

Ad oggi, la regolamentazione non è stata altrettanto veloce quanto l'evoluzione del settore. Quale strada imboccare? La via della **cooperazione** è centrale, sia a livello industriale che a livello geopolitico.

## Cooperazione, il fattore chiave

In ambito europeo esistono precedenti incoraggianti: abbiamo l'ESA (European Space Agency), che unisce e coordina le risorse dei 22 Stati membri in ambito spaziale, a beneficio dei popoli europei. A livello di commissione, poi, l'EUSPA (European Union Agency for the Space Programme) gestisce, a sua volta, i grandi programmi EU nel settore: Galileo ed EGNOS, che alimentano il sistema globale di navigazione europea, Copernicus per il monitorag-

gio dei disastri naturali e del cambiamento climatico e GovSatCom per le comunicazioni satellitari governative dell'Unione. **La vera sfida riguarda la cooperazione e l'armonizzazione a livello internazionale.**

**Leonardo, presente in tutte le più importanti iniziative promosse da istituzioni e agenzie internazionali, è pronta a fare la sua parte facendo leva su un significativo patrimonio di competenze, capacità e tecnologie.** Già oggi parlano in buona parte italiano la Stazione Spaziale Internazionale e la costellazione Galileo, il più importante sistema di navigazione e posizionamento europeo a cui si affidano oltre due miliardi di persone e che genera il 10% del Pil dell'Unione. Domani, poi, le nostre competenze consentiranno all'umanità di tornare sulla Luna con il programma Artemis, di comunicare e muoversi sul suolo lunare grazie a Moonlight e di perforare il suolo marziano con la trivella di ExoMars. Le premesse per convergere verso un sistema di norme comuni a livello internazionale, come si vede, ci sono tutte.

Luigi Pasquali è Amministratore Delegato di Telespazio dal febbraio 2013 e Coordinatore delle Attività Spaziali di Leonardo da gennaio 2016. Attualmente, è membro del Supervisory Board di Thales Alenia Space, Presidente del Cda di Thales Alenia Space Italia; membro del Cda di Avio; consigliere della federazione delle Aziende Italiane per l'Aerospazio, la Difesa e la Sicurezza (AIAD); membro del Board of CEOs di ESOA (European Satellite Operator Association) e Vice Presidente del Consiglio di Eurospace (il Gruppo Spaziale dell'ASD/AeroSpace and defence Industries Association of Europe). Laureato in Ingegneria Elettronica, ha frequentato un corso in Financial Management presso la SDA Bocconi, e ha prestato servizio militare nell'Esercito come Ufficiale del Corpo Tecnico, responsabile dei collaudi dei sistemi di telecomunicazioni. Entra poi in Selenia in qualità di System Engineer e poi in STET/Telecom Italia, per occuparsi di strategie internazionali e sviluppo. Viene poi nominato Direttore del Business Development di Atlanet, società di Telefónica de España per poi passare a Alenia Spazio (oggi Thales Alenia Space Italia) dove ricopre il ruolo di responsabile della Divisione Satelliti per Telecomunicazioni. Viene chiamato in Telespazio come Direttore Generale per poi tornare, tre anni dopo, con la carica di Presidente e Amministratore Delegato in Thales Alenia

# La New Space Economy italiana tra scienza, tecnologia e industria

Lo spazio sta evolvendo rapidamente da settore di nicchia, destinato prevalentemente a istituzioni pubbliche, a settore altamente trasversale che può offrire notevoli opportunità per aziende, istituzioni e cittadini. L'affermazione dell'economia New Space, tuttavia, richiede un cambio di passo nella realizzazione di attività di ricerca e sviluppo e di trovare modalità di sfruttamento dello spazio che permettano di migliorare le condizioni di vita in modo sostenibile ed efficiente.

DOI 10.12910/EAI2021-077



di Luca Rossetini, *Presidente AIPAS Associazione delle Imprese per le Attività Spaziali* e Giovanni Sylos Labini, *CEO di Planetek Italia e Vice Chairman di EARSC, European Association of Remote Sensing Companies*

**L'**economia New Space, un termine che denota la partecipazione di imprese private finanziate da capitale a rischio nel settore spaziale, ha incrementato in maniera significativa la consapevolezza pubblica dell'impatto che lo spazio ha nella vita di tutti i giorni. **Lo spazio sta evolvendo rapidamente da settore di nicchia, destinato prevalentemente a istituzioni pubbliche, a settore altamente trasversale che può potenzialmente coinvolgere tutti i settori commerciali e la pubblica amministrazione.** In meno di dieci anni, l'economia New Space ha introdotto veicoli spaziali privati come quelli di SpaceX, voli di turismo spaziale come quelli di Blue Origin, e migliaia di applicazioni su computer e cellulari che permettono la connessione con qualunque parte del mondo e l'accesso in tempo reale a informazioni satellitari.

Uno scenario di crescita come que-

sto offre a piccole e medie imprese (PMI), caratterizzate da una struttura gestionale e produttiva più snella, l'opportunità di investigare modelli di business innovativi, spesso inaccessibili a imprese più larghe e consolidate. Settori tradizionali come sanità, agricoltura, servizi pubblici, assicurazioni, logistica e trasporti, insieme a settori di frontiera come l'estrazione mineraria su altri corpi celesti e il turismo spaziale, stanno vivendo un'accelerazione e una crescita impressionante finanziata soprattutto da investitori americani. **Questo fiorire di investimenti privati nel settore è stato anche largamente favorito dal ruolo del governo americano (DARPA e NASA), in qualità di primo cliente rilevante. Iniziative come il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), concepito per stimolare il rilancio e la ripresa dell'economia europea, offrono l'occasione di espandere queste opportunità an-**

che nel nostro continente. Spetta a noi cogliere questa sfida, creando un modello di crescita sostenibile e altamente inclusivo verso giovani e minoranze.

## Sfide scientifiche e tecnologiche

La crescita dell'economia New Space, abilitata dalla creazione di infrastrutture in orbita terrestre che offrono un accesso tempestivo a informazioni accurate e affidabili provenienti dallo spazio, è una diretta conseguenza della progressiva digitalizzazione di informazioni, beni e servizi che si è verificata negli ultimi 30 anni. La disponibilità di queste informazioni offre non solo opportunità di risparmio, ma vera e propria creazione di valore in qualunque settore. In casi estremi, come il monitoraggio di territorio e infrastrutture, può fare la differenza tra la vita e la morte.

Al di là del mero aspetto tecnologico,



la generazione di prodotti e servizi innovativi a valore aggiunto basati su infrastrutture spaziali e tecnologie digitali è alla base di un'innovazione dei modelli di business che offre notevoli opportunità per aziende, istituzioni e cittadini. Le aziende che formano questo nuovo ecosistema spaziale, l'industria spaziale tradizionale, i fornitori di servizi digitali e le aziende di utenti interessate alle applicazioni per uso finale, hanno appena iniziato a sfruttare il suo potenziale. Nei prossimi anni, un numero crescente di soggetti appartenenti ai settori industriali più disparati si rivolgeranno ai servizi offerti dalla space economy in modalità che al momento si possono solamente intravedere.

La convergenza tra spazio e tecnologie digitali ha il potenziale di produrre trasformazioni radicali a livello industriale, innovando processi, prodotti, servizi, e modelli di business, generando nuove aziende e coinvolgendo nuovi attori che tradizionalmente non avevano legami con l'industria spaziale. Le aziende

che si dimostreranno capaci di cogliere queste opportunità, aumenteranno la loro competitività sui mercati globali e saranno più capaci di rispondere ai bisogni futuri della società.

A livello globale ad oggi, gli investimenti pubblici nell'economia spaziale ammontano a circa 90 miliardi di dollari, di cui poco meno della metà negli Stati Uniti<sup>1</sup>. Con un budget pubblico di 1.13 miliardi di euro (2018), quinta al mondo in termini di spesa dell'economia spaziale in rapporto al PIL (0,55%), l'Italia, terzo maggior contribuente all'Agenzia spaziale europea nel 2020, mantiene lo spazio saldamente al centro della propria strategia nazionale. A conferma del ruolo centrale del settore spazio, il governo ha lanciato un piano strategico nazionale per l'economia spaziale del valore di 4,7 miliardi di euro con l'obiettivo di offrire un ulteriore impulso al suo sviluppo. È tuttavia fondamentale che questa strategia venga accompagnata da misure specifiche a livello nazionale per la crescita e lo sviluppo del settore industriale, che ne rappresenta il motore propulsivo.

### Sfide per l'industria

Per realizzare questa visione in Italia e negli altri paesi dell'Unione Europea e per mantenere alta la competitività nello scenario globale con i grandi player internazionali è necessario intervenire su diversi fronti, a partire dallo snellimento delle procedure di accesso al credito e al finanziamento privato per



startup e PMI.

L'AIPAS, associazione nata nel 1998 che rappresenta più di cinquanta imprese spaziali italiane di ogni dimensione e tipologia di attività, può fornire interessanti casi di studio sulla risoluzione delle principali difficoltà che si trova a vivere una startup che vuole imporsi in questo mercato, date le molteplici esperienze delle sue associate. Le grandi aziende e le PMI più affermate o in forte crescita hanno un importante compito di responsabilità: fungere da aggregatore per il consolidamento della filiera, creando un ambiente dove le startup possano inserirsi gradualmente come subappaltatori, poi come partner, fino ad assumere il ruolo di appaltatori principali in progetti sempre più importanti.

L'industria spaziale e quella dell'alta tecnologia hanno inoltre un impatto cruciale sulle capacità nel settore della Difesa nazionale. Mantenere l'industria nazionale allo stato dell'arte in uno o più campi tecnologico-scientifici garantisce autonomia di accesso a risorse strategiche. È quindi importante supervisionare a livello nazionale le realtà interessanti che nascono sul territorio a seguito di questo stimolo, garantendo la tutela del processo di crescita e mantenendo il controllo dello sviluppo di asset potenzialmente strategici a livello nazionale.

### Le sfide per la sostenibilità

Le principali sfide da affrontare riguardano la sostenibilità di questo crescente mercato spaziale in costante evoluzione. Storicamente, le operazioni di lancio di satelliti in orbita sono state realizzate con veicoli usa e getta. Questo fattore, ineluttabilmente orientato allo spreco, ha creato un eccesso di detriti in orbita terrestre che rischia di raggiungere presto una soglia critica, non appena inizieranno i lanci dei 12000 satelliti che organizzazioni pubbliche e private si apprestano a inviare in orbita nei prossimi 10 anni<sup>2</sup>.

Aziende come D-Orbit stanno affrontando queste problematiche su due fronti. Il primo è la produzione di dispositivi di decommissioning da installare su satelliti prima del lancio al fine di garantire una rapida e sicura rimozione dall'orbita a fine vita. La seconda è lo sviluppo di una infrastruttura logistica spaziale permanente che permetta di trasferire satelliti e altri veicoli spaziali da orbite di parcheggio alle orbite operative, effettuare operazioni di riparazione e rifornimento di satelliti già in orbita, e attuare la rimozione attiva di detriti a fine missione.

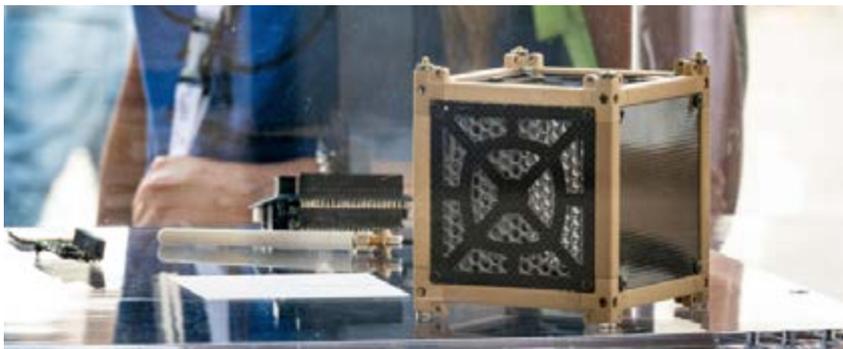
Soluzioni complementari compren-



AIX è una piattaforma satellitare sviluppata da Planetek Italia, D-Orbit e Aiko

### Che cosa è l'AIPAS, l'Associazione delle Imprese Per le Attività Spaziali

Nell'ambito dei Programmi dell'Unità di Trasporto Spaziale, l'Agenzia Spaziale Italiana supporta attività di ricerca e è un'organizzazione senza scopo di lucro nata nel 1998 con l'obiettivo di tutelare gli interessi delle PMI Spaziali Italiane. Dal 2007 l'AIPAS ha dato la possibilità anche alle grandi imprese di partecipare alla vita associativa, divenendo un esempio di buona collaborazione tra PMI e grandi imprese al fine dello sviluppo di un ecosistema favorevole a tutte le imprese di settore indipendentemente dalla loro dimensione. Le Associate AIPAS operano sia nell'upstream che nel downstream della catena del valore del settore spaziale, con competenze in tutti i principali domini tecnologici. Per l'elenco completo delle imprese associate vi invitiamo a visitare il sito [www.aipas.it/imprese-associate/](http://www.aipas.it/imprese-associate/).



BRICSAT, soluzione sviluppata da Picosats

dono l'utilizzo di materiali che fondono a temperature più basse, per non lasciare detriti al rientro, come per i satelliti costruiti da Picosats. E la riduzione del rischio di collisioni in orbita è ottenuta anche tramite servizi di *traffic management* basati sull'Intelligenza Artificiale, offerti da imprese come ARCA Dynamics, oppure con sistemi di allerta automatica in caso di frammentazione del veicolo spaziale, realizzati da aziende come Aviosonic Space Tech.

La storia umana è caratterizzata fino

ad ora da un processo di crescita e sviluppo avvenuto a spese di risorse naturali, come terra, mare, acqua e aria. Grazie allo sfruttamento di queste risorse, l'umanità ha potuto costruire il mondo nel quale viviamo oggi, garantendo un livello di qualità sempre maggiore rispetto al passato. Ma a quale costo? Lo spazio, una risorsa naturale che abbiamo cominciato ad utilizzare meno di 70 anni fa, può fare molto per la Terra, specialmente nell'ambito dei servizi e delle applicazioni.

La trasformazione delle attività spaziali richiede anche un cambio di passo da questo lato dell'Atlantico nella realizzazione di attività di ricerca e sviluppo a supporto dell'industria spaziale. Le agenzie spaziali, inclusa l'ESA e la Commissione Europea, accanto alle loro attività più tradizionali devono passare da una attività limitata alla riduzione dei rischi ad una consapevole condivisione del rischio con l'industria, insomma seguire le indicazioni per uno Stato Imprenditore riportate dall'economista Mariana Mazzucato nel suo ormai famoso saggio.

L'economia New Space pone certamente una sfida: trovare modalità di sfruttamento dello Spazio che permettano di migliorare le condizioni di vita ma in modo sostenibile ed efficiente. Nel prossimo futuro, lo Spazio ci porterà addirittura nuovi territori da esplorare e colonizzare, creando scenari che oggi possiamo a malapena immaginare. Il settore spaziale rappresenta anche questo.

**Luca Rossetti** è un imprenditore seriale, alla ricerca di una proficua e sostenibile espansione del genere umano nello spazio. Dottorato di ricerca in Advanced Space Propulsion, Master in Sostenibilità Strategica e Certificate in Business, nel 2009 Luca vince una Borsa di studio Fulbright e nel 2010 ottiene un Certificate in Technology Entrepreneurship nella Silicon Valley, California. Dopo uno stage presso l'Ames Research Center della NASA, Luca Rossetti torna in Italia e fonda D-Orbit, che sviluppa soluzioni per la logistica e trasporti spaziali e per gli space debris. Luca ama il paracadutismo, le immersioni subacquee e divora libri di fantascienza.

**Giovanni Sylos Labini** è Chief Executive Officer (CEO) di Planetek Italia. Ricopre i ruoli di Vice Chairman di EARSC (European Association of Remote Sensing Companies), Board member di SME4SPACE (Associazione europea PMI Spaziali), Past President AIPAS (Associazione delle Imprese per le Attività Spaziali). Laurea in Fisica. Ha diverse pubblicazioni scientifiche nel settore dell'analisi dei segnali e immagini e su sistemi spaziali. Dal 1984 ha collaborato a diversi progetti di Osservazione della Terra con l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e con la NASA. È stato direttore del Centro di Geodesia Spaziale dell'ASI. È stato anche delegato italiano presso l'European Space Agency (ESA) Earth Observation Program Board e professore allo IUAV - Università di Venezia.

1. <https://www.morningfuture.com/en/2021/03/10/space-economy-innovation-business/>
2. <https://www.nsr.com/?research=global-satellite-manufacturing-and-launch-markets-11th-edition>

# Mirror Copernicus per lo sviluppo e la competitività della Space Economy italiana

Il Programma europeo Copernicus ed il Programma nazionale Mirror Copernicus possono dare un contributo di rilievo alla transizione ecologica e digitale del nostro Paese. Il secondo, in particolare, nasce nell'ambito del Piano Stralcio Space Economy per rafforzare il posizionamento del nostro sistema produttivo nell'emergente mercato europeo e globale dei servizi geo-spaziali, attraverso la realizzazione di un'innovativa infrastruttura abilitante, aperta, scalabile, interoperabile con altri sistemi analoghi, in grado di accelerarne lo sviluppo ed aumentarne la competitività.

DOI 10.12910/EAI2021-078



di **Andrea Taramelli**, Professore Associato di Geografia fisica e Geomorfologia Coordinatore Nazionale del Copernicus User Forum Italia

**E**rede del Global Monitoring for Environment and Security (GMES), Copernicus è il Programma sul quale l'Unione Europea ha deciso di investire 5,4 miliardi di euro per il prossimo settennato. Possiamo dire che dopo una prima fase di ricerca con GMES e una seconda di messa in operatività, Copernicus punta oggi ad un **terzo step** nel nuovo Regolamento Spazio UE: diventare uno strumento per tutti, trasformando la mole di dati in informazioni che il cittadino può ricevere in modo semplice. Con il Programma di osservazione della terra, l'Europa ha deciso di dotarsi di un'infrastruttura che fornisce dati e informazioni in maniera continua su tutte le matrici ambientali, come

anche su sicurezza e protezione civile. Un sistema che non è utilizzato solo nel vecchio continente, ma in tutto il mondo a cominciare dagli Stati Uniti che sono tra i suoi maggiori utilizzatori per credibilità e affidabilità.

## A che punto siamo con Copernicus in Italia

Negli ultimi dieci anni si è lavorato molto per affermare l'idea che l'osservazione della Terra può essere inserita nei servizi operativi di controllo ambientale o di protezione civile. Un concetto che piano piano è entrato in filiere già rodiate. I controlli ambientali, ad esempio, si fanno da molti anni a prescindere dai dati Copernicus, ma si è arrivati a capire

che i dati dell'osservazione della Terra possono essere integrati nel lavoro quotidiano. **Al momento non c'è ancora un pieno utilizzo delle potenzialità del Programma, ma si sta affermando una cultura nuova nelle catene di lavoro già esistenti.**

Un esempio concreto è il monitoraggio della qualità dell'aria in Italia, il quale il Sistema nazionale SNPA utilizzava le centraline a terra e la modellistica. In questi ultimi anni si è iniziato a prendere le cosiddette 'condizioni al contorno' della modellistica europea del Servizio di Monitoraggio dell'Atmosfera di Copernicus (CAMS), per crearne una nazionale e assimilarla con i dati delle centraline. **Non dobbiamo più creare ex novo in Italia i modelli da utilizzare,**



ma possiamo usare quelli europei ‘tarandoli’, per così dire, sulla realtà nazionale e costituendo una base per le elaborazioni a livello regionale e comunale. In questo modo, il modello italiano si infittisce con i dati locali. Certo non è un lavoro semplice, perché occorre un processo di assimilazione e comprensione del dato. Tuttavia, oggi possiamo dire di essere in una fase di prima operatività. Per far questo servono nuove competenze trasversali. Si è partiti dagli esperti di geomatica - la disciplina che unisce informatica, rilevamento e trattamento dei dati ambientali - ma sono tante le professionalità che utilizzano il dato Copernicus: ecologi, geologi, biologi, chimici e fisici, esperti di qualità dell'aria o mappatura del suolo, che hanno nel loro background anche la geomatica. Non serve avere solo familiarità con i pixel, bisogna conoscere il significato di quel dato. **Questa nuova cultura trasversale ha iniziato ad affermarsi e ci sono anche le competenze. Manca da percorrere l'ultimo miglio.**

### Qual'è l'ultimo miglio

Per l'utilizzo quotidiano serve un ulteriore sforzo da fare insieme, settore pubblico e privato. Solo così potremo gestire al meglio questi dati gratuiti e aperti che Copernicus fornisce. La parte pubblica sta imparando a conoscere e utilizzare questa tipologia di informazioni. Quella privata ha già investito parecchio sui dati sviluppando soluzioni innovative: penso all'intelligenza artificiale o ai *big data*. Per lungo tempo questi due mondi non si sono parlati: spesso la parte pubblica si è rivolta al mondo privato per risolvere i problemi, accettando soluzioni a pacchetto chiuso. Oggi, il ragionamento deve essere fatto in maniera congiunta. La parte pubblica ha bisogno delle *expertise* sviluppate dal privato e per quest'ultimo c'è bisogno della visione più ampia del ‘pubblico’, poiché spesso i privati lavorano sui cosiddetti ‘verticali’ specializzandosi solo su una tematica. Sulla base dei dati messi a disposizione da Copernicus e da altri sistemi

analoghi, è ora possibile osservare con continuità e precisione processi e fenomeni globali, sia naturali che di origine antropica, per una migliore gestione delle risorse ambientali e del territorio, dei rischi e delle emergenze, anche collegati al cambiamento climatico e ai suoi impatti. Inoltre, nel prossimo futuro le tecnologie Big Data, i nuovi Analytics e l'High Performance Computing (HPC) consentiranno di trattare ed integrare moli enormi di dati provenienti da piattaforme eterogenee (dati in real time da satellite, dal suolo e da aereo, ivi includendo sistemi a pilotaggio remoto, dati da archivi, new social networks, et.), creando le condizioni per lo sviluppo di servizi radicalmente innovativi.

Moltissime le applicazioni che possono essere abilitate da tali piattaforme: agricoltura di precisione, gestione della resilienza dell'ambiente costruito, sorveglianza marittima, nowcasting (previsione meteo-marina a brevissimo e breve termine), ma anche nuovi modelli di business in-

dusty 4.0, legati alla disponibilità di dati di geolocalizzazione e tracciatura satellitare, o anche applicazioni nel campo della finanza dove si stanno diffondendo strumenti quali i “catastrophe bond”, che trasferiscono alcuni tipi di rischio, legati al verificarsi di eventi straordinari predefiniti, come terremoti, uragani o inondazioni.

### **Il ruolo della Space Economy Nazionale: il Piano strategico Mirror Copernicus**

Il Piano di Space Economy Nazionale si articola in 5 linee programmatiche, in linea con le iniziative condotte a livello europeo e con l'obiettivo di valorizzarne al massimo l'impatto a livello nazionale:

1. Telecomunicazioni satellitari (Mirror GovSatCom)
2. Supporto alla partecipazione nazionale a GALILEO (Mirror Galileo)
3. Infrastruttura Galileo PRS
4. Supporto a Copernicus (Mirror Copernicus)
5. Esplorazione spaziale e sviluppi tecnologici connessi.

Il piano prevede di rendere maggiormente produttiva quella porzione di mercato collegato direttamente e indirettamente a questi settori, non solo nella fornitura di prodotti a soddisfacimento dei player istituzionali, ma in particolare per abilitare modelli di business market-to-market, anche basati sugli sviluppi a beneficio per le istituzioni.

Nel Piano stralcio Space Economy, il Programma Mirror Copernicus nasce con l'obiettivo di rafforzare il posizionamento del sistema produttivo nazionale nell'emergente mercato europeo e globale dei servizi geo-spaziali, realizzando –con un investimento di 400 milioni di euro un'innovativa 'Infrastruttura Abilitante il Mercato dei Servizi Geo-spaziali'- aperta, scalabile, interope-

**rabile con altri sistemi analoghi, in grado di accelerarne lo sviluppo ed aumentarne la competitività.**

Lo sviluppo del Mirror Copernicus prende avvio dai Buyers Group, ovvero utenti istituzionali come la Protezione Civile o l'Agea per l'agricoltura che, attraverso una domanda qualificata di infrastrutture abilitanti, prodotti e servizi innovativi legati ai propri compiti, promuovono il processo di innovazione radicale attorno al quale si sviluppa la ricerca di soluzioni tecnologiche e la progettazione dell'infrastruttura da parte delle imprese, cui spetta il compito di scegliere le soluzioni architettoniche ed il mix tecnologico più idoneo:

- a rispondere alle richieste del Buyers Group in modo efficace ed efficiente;
- a favorire la crescita dei mercati privati che si costituiscono attorno ai processi di produzione dei nuovi beni comuni, oggetto dell'azione del Buyers Group.

**Anche il sistema della ricerca, detentore di una parte importante dell'investimento pubblico pregresso sulle conoscenze e le tecnologie utilizzabili per la realizzazione dell'infrastruttura e dei servizi che vi si possono sviluppare, riveste un ruolo importante nel programma.** Esso può fornire qualificata assistenza al Buyers Group nel processo di affinamento della specifica tecnica dei propri fabbisogni, supervisionare validare e contribuire a migliorare le specifiche tecniche dei sistemi e degli algoritmi proposti dalle imprese, nonché fornire e mantenere delle catene prototipali per il benchmarking e la sperimentazione pre-operativa di servizi ed applicazioni critiche per i compiti del Buyers Group.

La progettazione e il funzionamento di CoMaP, acronimo che sta per Copernicus Market Place, il mercato dei servizi collegati al programma Copernicus si baserà su un processo

innovativo che prevede la scomposizione e il ri-assemblaggio di applicazioni, servizi e sistemi di supporto operativo tra un livello e l'altro dell'infrastruttura. L'obiettivo è quello di sviluppare le soluzioni architettoniche e il mix tecnologico più idoneo a rispondere in modo efficace ed efficiente alle richieste del Buyers Group e a favorire contestualmente la crescita dei mercati privati. L'iniziativa avrà quattro compiti fondamentali:

- Fornire agli utenti finali, in primo luogo alla parte istituzionale del Buyers Group, ambienti di supporto alle decisioni, strettamente adeguati alle loro esigenze operative;
- poter ospitare e rendere accessibili i dati, sia satellitari che non satellitari, "materia prima" per la creazione di applicazioni e servizi, nel modo più semplice ed efficiente, ma anche rispettoso dei diritti di proprietà e delle conseguenti politiche sui dati;
- Favorire l'accesso “as a service” da parte delle aziende, in particolare delle PMI, possibilmente non solo quelle già attive nel settore ICT o spaziale, a sofisticate tecnologie di estrazione dell'informazione, comprese quelle basate sulla Big Data Analytics e sull'HPC;
- Costruire un mercato, per la gestione in tempo reale degli scambi connessi alla domanda e all'offerta di applicazioni e servizi geo-spaziali a valore aggiunto.

### **L'evoluzione del Piano strategico Mirror Copernicus: gli investimenti del PNRR Spazio**

L'impatto del programma Mirror Copernicus sul monitoraggio dello stato del territorio nazionale e quindi sul monitoraggio di quelli che saranno gli indicatori ad esempio della transizione ecologica sarà notevole, perché permetterà di fare analisi su un lungo periodo storico e confrontare la situazione anche tra paesi diver-

si attraverso uno standard condiviso da tutti attraverso il raggruppamento delle esigenze degli utenti in specifiche aree tematiche. Questo processo tradurrà le esigenze dell'utente in requisiti tecnici razionalizzando tali esigenze in specifici servizi tematici utili alla transizione ecologica (ad esempio, agricoltura, sicurezza, monitoraggio delle coste, ecc.).

**Per essere efficace, l'infrastruttura target finale sarà ulteriormente finanziata attraverso i fondi del PNRR nei diversi asset tematici, per assolvere a quattro compiti fondamentali:**

- poter ospitare e rendere disponibili dati, satellitari e non, “materia prima” per la creazione di applicazioni e servizi, nel modo più semplice ed efficiente ma anche rispettoso dei diritti di proprietà e delle data policy che ne conseguono;
- favorire l'accesso da parte delle imprese, soprattutto PMI, possibilmente non solo quelle ICT o Space native, a tecnologie sofisticate di estrazione dell'informazione,

comprese quelle basate su Big Data Analytics e HPC;

- costituire un market place, ovvero una piattaforma per la gestione real time degli scambi legati alla domanda ed offerta di applicazioni e servizi geo-spaziali a valore aggiunto che costituisca un fattore di accelerazione della diffusione di tali applicazioni, sul modello delle piattaforme per la gestione delle transazioni dei mercati finanziari;
- fornire agli utenti finali, prima di tutto a quelli istituzionali appartenenti al Buyers Group, degli ambienti di supporto informativo alla decisione, strettamente ritagliati sulle loro esigenze operative.

L'infrastruttura nazionale avrà la funzione di Piattaforma di servizio e supporto, ma soprattutto di interconnessione, interoperabilità ed amalgamazione tra i diversi servizi tematici del “Sistema nazionale per la realizzazione, gestione e fornitura al Paese dei servizi operativi di Operational Technology (OT) ritenuti di interesse

nazionale”.

Il CoMaP consentirà un modello aperto per lo sviluppo e la fornitura di servizi, adatto a tutte le parti interessate europee pubbliche e private. Collegherà la domanda e l'offerta di soluzioni geospaziali su un mercato digitale aperto e flessibile, in modo che la domanda degli utenti istituzionali possa essere utilizzata come ‘cliente di ancoraggio’ per garantire la sostenibilità economica dell'iniziativa stessa, sostenendo l'industria e, in particolare, le PMI, sviluppando un mercato che risponde alle esigenze operative istituzionali attorno a tematiche specifiche. Essere un cliente consentirà agli utenti istituzionali di beneficiare di soluzioni convenienti progettate specificamente per rispondere alle loro esigenze operative. D'altra parte, avere una domanda ‘impegnata’ attirerà attori commerciali sul CoMaP e stimolerà il loro interesse a sviluppare soluzioni/prodotti su misura per risolvere i punti deboli degli utenti istituzionali.

**Prof. Andrea Taramelli PhD:** Professor Associate at IUSS University, Pavia and Senior Scientist in Remote Sensing and Surface Process at the Institute for Environmental Protection and Research Rome. Scientific Director of Centro Interuniversitario di Ricerca sul Telerilevamento applicato all'osservazione dello spazio e della terra CIRTA. He is national delegate at the European Commission Copernicus User Forum. He is a member of the ‘Technical Space Committee’ at the Presidenza del Consiglio dei Ministri. Member of the Joint Scientific Committee of ASI-ISPRA, head of the Space Economy implementation Group in ISPRA and delegate to the Comitato di Sorveglianza della Space Economy at Ministry of Sustainable Industrial Development.

# La Space Economy fra nuovi business e benefici sociali

La Space Economy è definita dall'OCSE come l'intera gamma di attività e l'uso di risorse che creano valore e benefici per gli esseri umani nel corso dell'esplorazione, ricerca, comprensione, gestione e utilizzo dello spazio. In questo contesto, il nostro Paese deve affrontare la sfida di 'convincere' ampi settori dell'economia e il Governo del ruolo di piattaforma che le infrastrutture spaziali possono giocare, come è oggi riconosciuto alle TLC e alle tecnologie IT, per la crescita dell'economia, lo sviluppo di nuovi business e per raggiungere obiettivi fondamentali come la transizione ecologica, la digitalizzazione, la mobilità sostenibile, la salute, fino all'inclusione sociale e il superamento del digital divide.

DOI 10.12910/EAI2021-079



di Angelo Cavallo, Direttore Osservatorio Space Economy e Alessandro Paravano, Ricercatore Osservatorio Space Economy

**L**a Space Economy è definita dall'OCSE come l'intera gamma di attività e l'uso di risorse che creano valore e benefici per gli esseri umani nel corso dell'esplorazione, ricerca, comprensione, gestione e utilizzo dello spazio. Tale definizione, volutamente omnicomprensiva, include una duplice vista: quella rivolta verso l'accesso e l'esplorazione allo spazio, le cui attività (tra cui si annoverano ad esempio space tourism, space colonization, asteroid mining) avranno ricadute rilevanti ma nel contempo concretizzabili solo nel lungo o lunghissimo termine; e quella orientata, invece, verso l'utilizzo dello spazio per realizzare servizi a valore aggiunto con impatti sulla terra, apprezzabili già nel breve-medio termine. In linea con questa seconda visione, la definizione di Space Economy elaborata dall'Osservatorio, coerentemente

con la sua mission e con le definizioni comunemente adottate da istituzioni internazionali e nazionali di riferimento quali il Ministero Innovazione e quello dello Sviluppo Economico, è la seguente: *“La Space Economy è la catena del valore che, partendo dalla ricerca, sviluppo e realizzazione delle infrastrutture spaziali abilitanti (upstream) genera prodotti e modelli di servizio innovativi basati sullo spazio (downstream) - come per esempio i servizi di telecomunicazione, di navigazione e di osservazione della terra - capaci di meglio soddisfare esigenze note ed emergenti di un ampio spettro di organizzazioni private e pubbliche, in diversi settori (end-user)”*.

## Quanto vale la Space Economy?

**La Space Economy è un fenomeno in continua crescita, che secondo stime**

**di Morgan Stanley raggiungerà il trilione di dollari entro il 2040. I ricavi generati nel 2020 in questo settore sono pari a circa 371 miliardi di dollari dei quali il 73% (271 miliardi di dollari) riconducibile all'industria satellitare (Satellite Industry Association).** Andando più nel dettaglio, quasi il 32% del totale (pari a 117.8 miliardi di dollari) è riconducibile all'erogazione dei servizi satellitari di telecomunicazione (con una gran predominanza di circa 88.4 miliardi di dollari della televisione satellitare), navigazione ed osservazione della terra (il valore generato tocca i 2.6 miliardi di dollari). Il 36.5% (135.3 miliardi di dollari) ai prodotti relativi all'equipaggiamento a terra per la gestione e l'erogazione dei servizi satellitari, come infrastrutture di rete a terra o sensori e antenne, quali ad esempio il GPS installato sui di-



spositivi mobili. Il 27% (100.7 miliardi di dollari) è invece relativo ai ricavi generati dall'industria non satellitare e comprende principalmente il valore generato dagli investimenti finanziati con budget governativi: nel 2019 tra i più significativi c'erano i 57 miliardi di dollari degli Stati Uniti, seguiti dai 12 miliardi di dollari dell'Europa e dagli 11 miliardi della Cina (quest'ultimo dato probabilmente sottostimato vista la difficoltà a reperire dati attendibili). Lo stesso fenomeno sta accadendo anche in Europa benchè con ritmi e volumi più contenuti. In Italia è nato il fondo PrimoSpace, primo fondo di Venture Capital nazionale dedicato specificamente allo spazio. L'industria italiana dello spazio rappresenta peraltro un player di rilevanza mondiale, con circa 200 aziende, un giro d'affari annuo di 2 miliardi di euro e con circa 7.000 addetti (+15% negli ultimi 5 anni) (MiSE, 2020<sup>1</sup>). Analisi recenti confermano l'immagine di un settore in netta crescita nonostante l'impatto della pandemia sulla filiera.

### Le opportunità imprenditoriali e di investimento

La frontiera dell'innovazione della Space Economy ha tra i protagonisti centrali sia le imprese della space industry, sia quelle imprese che erogano space-based services, vale a dire servizi il cui valore aggiunto è costituito dall'utilizzo di dati provenienti da satelliti elaborati da opportuni strumenti e tecnologie digitali. **La combinazione di dati – come immagini satellitari, segnali di navigazione e comunicazione – con tecnologie digitali avanzate, come gli algoritmi di artificial intelligence e le dashboard di data analytics, rappresenta il presente e il futuro imprenditoriale della Space Economy.**

Questo è confermato anche dal crescente numero di startup e investimenti. Abbiamo censito a livello mondiale più di 700 startup per un valore complessivo di investimenti nel 2020 pari a 4,8 miliardi di dollari. Questa ricerca continuerà anche nei

prossimi anni grazie a un database proprietario che raccoglie le startup in ambito Space Economy fondate a partire dal 2010 e con almeno un round di finanziamento ricevuto negli ultimi cinque anni. La scelta di considerare solo startup finanziate si fonda e basa sulla consolidata Signaling Theory, secondo la quale la capacità di una nuova impresa di attrarre finanziamenti da attori esterni è da considerarsi come segnale di qualità e credibilità della stessa impresa (Timmons & Bygrave, 1986; Connelly et al., 2011).

### Quali opportunità per le aziende?

**Le opportunità sono molteplici per tutti gli attori dell'ecosistema space economy.** Lo sviluppo di un mercato privato di soluzioni space-based genera nuovi modelli di ricavo ripercorrendo tutta la catena del valore, da chi sviluppa i servizi a chi crea nuove infrastrutture fino agli utilizzatori finali di tali servizi che possono rendere più efficienti le loro operations e/o creare

nuove soluzioni per il cliente finale. Le soluzioni space-based ed il mercato privato che si sta sviluppando toccano una moltitudine di settori (da cui l'idea di una nuova "economy" che va oltre il perimetro "industry-specific"). Nell'agricoltura di precisione, ad esempio, l'uso di immagini di Earth Observation permette di simulare l'uso di pesticidi sulle colture e analizzare la fertilità del terreno, migliorandone la redditività, o di decidere quale coltura seminare basandosi sui dati raccolti.

Le immagini satellitari sono utili anche per monitorare quasi in tempo reale le reti di distribuzione energetica, spesso collocate in zone poco accessibili, per prevenire eventuali danni ed evitare costose interruzioni di rete. Il monitoraggio continuo di merci e beni è fondamentale anche

nel settore logistica e trasporti per valutare quali sono le tratte più brevi e remunerative e rendere più efficienti le fasi di carico e scarico merce. Le assicurazioni guardano con interesse ai servizi space-based per migliorare i modelli di previsione del rischio e poter offrire polizze personalizzate sul singolo cliente.

### Il ruolo strategico dello spazio per l'Europa

**Lo spazio e i servizi abilitati da esso sono e saranno sempre una priorità strategica per l'Europa.** Nel l'area europea, unica nel suo genere, la spesa complessiva su scala europea per il settore spaziale è composta da due principali fonti di finanziamento pubblico:

- i bilanci nazionali, che a loro volta comprendono il contributo all'ESA,

il contributo al bilancio EUMETSAT e il contributo alle agenzie nazionali per la gestione dei programmi spaziali nazionali e di altri progetti spaziali al di fuori di ESA e EUMETSAT;

- il bilancio spaziale dell'Unione Europea, finanziato attraverso contributi degli Stati membri al bilancio dell'Unione, ma gestito come un bilancio sovranazionale che integra i bilanci nazionali.

Complessivamente il bilancio spaziale europeo è stato stimato attorno ai 10.3 miliardi di euro nel 2019, di cui 8.5 miliardi dai bilanci nazionali e 1.73 miliardi dal bilancio dell'Unione Europea. Nell'aprile scorso il Parlamento Europeo ha inoltre dato il via libera definitivo al nuovo programma spaziale, con una dotazione di 14.8 miliardi di euro nel prossimo bilancio

## L'Osservatorio Space Economy

L'Osservatorio Space Economy si propone come punto di riferimento permanente a livello nazionale nello studio delle opportunità tecnologiche e dei relativi impatti di business della Space Economy, con l'obiettivo di accelerare processi di innovazione cross-settoriali combinando le tecnologie spaziali e digitali più sfidanti per generare un ampio portafoglio di servizi.

L'utilizzo di tecnologie spaziali e dei dati da esse raccolti, in combinazione con le più avanzate tecnologie digitali abilitanti, sta generando una molteplicità di opportunità di business, che includono la realizzazione di nuovi prodotti e servizi, fino alla creazione di nuovi modelli di business e alla riconfigurazione delle reti del valore e delle relazioni tra imprese. Tali opportunità tecnologiche e di business, se opportunamente sfruttate, possono contribuire alla creazione di valore tangibile e intangibile, attraverso nuove forme e fonti di ricavo, efficienza operativa e nascita di progettualità con impatti positivi multidimensionali (e.g. società, ambiente).

L'Osservatorio Space Economy, in qualità di ente terzo di ricerca, si propone di favorire la concretizzazione di queste opportunità, ricoprendo il ruolo di advisor tecnico-scientifico e enabler di relazioni di valore tra tutti gli attori dell'ecosistema Space Economy, che includono:

- aziende della Space Industry, impegnate nelle attività di ricerca, sviluppo, realizzazione e gestione delle infrastrutture e tecnologie spaziali abilitanti ("upstream"), tra cui Avio, e-GEOS, OHB, Telespazio, Thales Alenia Space Italia;
- aziende dell'offerta di soluzioni e servizi di Digital Innovation (e.g. IT provider, system integrator, società di consulenza) e centri di ricerca specializzati che si occupano di ricerca, sviluppo e implementazione delle più avanzate tecnologie digitali ("downstream"), tra cui Accenture, Data Reply, PwC;
- aziende e istituzioni della domanda, interessate a nuove applicazioni d'uso e servizi derivanti dall'utilizzo combinato di tecnologie spaziali e digitali ("end-user"); e (iv) policy maker, enti e istituzioni nazionali ed internazionali che governano e regolamentano l'ambito della Space Economy. Tra cui: ACEA, ENEL, Prysmian, Unipol.

2021/2027. Le politiche per lo spazio potranno inoltre beneficiare di porzioni importanti dei fondi per l'innovazione e la ricerca previsti nel programma quadro Horizon Europe.<sup>2</sup>

### La Space Economy e il PNRR italiano

L'Italia vanta una lunga tradizione nelle attività spaziali: è stata il terzo paese al mondo, dopo Unione Sovietica e Stati Uniti, a lanciare ed operare in orbita un satellite (il San Marco 1, lanciato nel 1964) ed è anche tra i membri fondatori dell'Agenzia Spaziale Europea, di cui è oggi il terzo contribuente con un budget allocato nel 2020 pari a 665,8 milioni di euro, preceduta soltanto da Germania (1,37 miliardi di euro) e Francia (981,7 milioni di euro). Conseguenza tangibile di questa lunga avventura spaziale è la notevole dotazione nazionale in termini di centri di ricerca, infrastrutture e imprese che si articolano in una catena del valore estesa e unica nel suo genere. Al fine

di favorirne lo sviluppo, il Governo ha emanato a fine 2016 un primo Piano Strategico Nazionale Space Economy, con una dotazione complessiva di 4,7 miliardi di euro ed un focus sul programma nazionale SATCOM di 1,38 miliardi di euro e Mirror Copernicus di 1,8 miliardi di euro.

Il valore dello spazio all'interno del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza<sup>3</sup> è pari a circa 1,49 miliardi, infatti, come si legge nella sezione - Investimento 4: Tecnologie satellitari ed economia spaziale - *“Allo spazio è ormai ampiamente riconosciuto il ruolo di attività strategica per lo sviluppo economico, sia per il potenziale impulso che può dare al progresso tecnologico e ai grandi temi di transizione dei sistemi economici (ad esempio, l'anticipazione delle implicazioni del cambio climatico tramite l'osservazione satellitare), sia per la naturale scala continentale/europea che ne contraddistingue l'ambito di azione e di coordinamento degli investimenti”*. Le risorse stanziare dal PNRR copriranno tuttavia solo una quota de-

gli investimenti per alcune linee di intervento: SatCom, Osservazione della Terra, Space factory, Accesso allo Spazio, In-orbit economy e Downstream. Un segnale certamente positivo per il settore ed il Paese, ma ancora timido per visione di medio-lungo periodo. La vera sfida che l'intero ecosistema della Space Economy deve affrontare in questo frangente storico è infatti quello di convincere ampi settori dell'economia e i Governi del ruolo di piattaforma che le infrastrutture spaziali possono giocare, come è oggi riconosciuto alle TLC e alle tecnologie IT. Un primo e fondamentale test sarà allora osservare quanto le soluzioni space-based saranno rilevanti, se non centrali, all'interno delle articolazioni progettuali di altre linee strategiche del PNRR: dalla transizione ecologica alla digitalizzazione, dalla mobilità sostenibile alla salute, fino alla inclusione sociale e al superamento del digital divide.

**Angelo Cavallo, Ph.D.** è docente di imprenditorialità e strategia presso il Politecnico di Milano. I principali interessi di ricerca riguardano: i) lo sviluppo di ecosistemi imprenditoriali e di innovazione; ii) l'innovazione di modelli di business; iii) open innovation governance e corporate entrepreneurship. Dal 2019, è core faculty member presso la MIP Graduate School of Business Politecnico di Milano, dove opera come Direttore dell'International Master in Innovation and Entrepreneurship. È autore di diverse pubblicazioni scientifiche – pubblicate in riviste internazionali come Technovation, Journal of Business Research, Technological Forecasting, and Social Change. Nel 2020, Angelo Cavallo ha co-fondato l'Osservatorio Space Economy – School of Management Politecnico di Milano, un programma di ricerca permanente relativo al trend emergente della space economy. Attualmente opera come Direttore dell'Osservatorio Space Economy e come external advisor per startup e grandi organizzazioni interessate ad innovare il proprio modello di business facendo leva sulle nuove tecnologie.

**Alessandro Paravano** è PhD Candidate presso la School of Management del Politecnico di Milano e ricercatore presso l'Osservatorio Space Economy. La sua ricerca mira a studiare la transizione in corso verso la new space economy, concentrandosi sui cambiamenti dell'industria spaziale e i conseguenti impatti su altri settori tradizionalmente lontani dallo spazio. Si è laureato con lode in Ingegneria Gestionale al Politecnico di Milano.

1. <https://www.mise.gov.it/index.php/it/198-notizie-stampa/2041625-presentata-pubblicazione-sull-industria-italiana-dello-spazio>  
 2. <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/eu-space-programme/#:~:text=Dando%20seguito%20a%20questa%20strategia,per%20il%20periodo%202021%2D2027.&text=Il%2016%20dicembre%202020%20il,per%20il%20periodo%202021%2D2027.>  
 3. [https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR\\_3.pdf](https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR_3.pdf)

# Il capitale privato della Space Economy

Fino a pochi anni fa l'industria spaziale era molto lontana dall'ottica degli operatori del capitale di rischio. Oggi, invece, sulla scia delle imprese di "baroni dello spazio" come, Elon Musk con SpaceX, Richard Branson con Virgin Galactic e Jeff Bezos con Blue Origin stanno nascendo un numero crescente di startup spaziali, di "astroimprenditori" e di nuovi attori dell'"astrofinanza", come Space Capital negli Stati Uniti, Seraphim Capital nel Regno Unito, CosmiCapital in Francia e Primo Space, il primo fondo in Italia di venture capital per lo spazio.

DOI 10.12910/EAI2021-080



di Raffaele Mauro, General Partner Primo Space

**G**li ultimi anni sono stati caratterizzati dalla moltiplicazione degli investimenti privati nella new space economy. In particolare, il comparto del venture capital ha registrato una crescita significativa: considerando l'orizzonte temporale degli ultimi 20 anni si stima che l'84% degli investimenti sia avvenuto dal 2015 al 2020, in particolare con un raddoppio annuale dei capitali investiti che sono passati da 2 miliardi di dollari all'anno nel 2018 per poi passare a 4 miliardi nel 2019 e poi raddoppiare ulteriormente nel 2020, nonostante la situazione complessa creata dalla pandemia. Anche il numero medio di operazioni è aumentato in modo significativo, erano state in media meno di 10 dal 2000 al 2005 per poi diventare in media più di 200 all'anno dal 2015 al 2020. Queste possono sembrare cifre relativamente contenute sia rispetto alla dimensione complessiva della space economy, circa 430 miliardi di dollari con alcune variazioni a seconda della base

di calcolo, sia rispetto al volume globale di investimenti in venture capital, circa 250 miliardi di dollari nel 2020, tuttavia rappresentano un fenomeno non affatto ovvio. Fino a pochi anni fa l'industria spaziale era considerata particolarmente lontana dall'ottica degli operatori del capitale di rischio e si orientava verso forme di finanziamento differenti.

## Nuove opportunità per il settore privato

Il capitale di rischio è un indicatore molto importante per identificare il potenziale di crescita futura di un settore: le principali aziende per capitalizzazione di borsa, come Amazon, Google, Facebook e Apple, sono nate e cresciute grazie a questa forma specifica di finanza e oggi sono tra i motori dell'economia della conoscenza. I fondi di venture capital si concentrano su imprese nella prima fase del ciclo di vita, quindi ad alto rischio, ma anche ad alta crescita potenziale, quindi con una prospettiva di ren-

dimenti futuri altrettanto elevati. In passato tali imprese erano comunque considerate al di fuori dell'ottica del venture capital dato che la quota di rischio era percepita come strutturalmente superiore rispetto ai rendimenti potenziali, i capitali richiesti potenzialmente troppo elevati e gli orizzonti temporali troppo lunghi per una remunerazione efficace degli investimenti. Le imprese spaziali dovevano affidarsi prevalentemente ai finanziamenti provenienti da governi, grandi aziende operative nel settore aerospaziale, agenzie spaziali e canali bancari tradizionali. Queste fonti di supporto oggi non sono affatto scomparse, anzi la loro rilevanza rimane centrale, tuttavia sono mutate e simultaneamente sia la natura di queste imprese sia il contesto generale.

Lo "Space 2.0" o new space economy oggi si trova al crocevia di tendenze molto profonde. Innanzitutto, una crescente rilevanza delle applicazioni terrestri abilitate dai dati satellitari e dalle cosiddette tecnologie "downstream", pensiamo ad esempio alla



tutela dell'ambiente, al monitoraggio delle infrastrutture, ai trasporti, all'Internet of Things, all'agricoltura, per non parlare della crescente interdipendenza tra l'infrastruttura di Internet e l'infrastruttura spaziale, ad esempio per quanto riguarda l'accesso alla rete e i sistemi di mappatura e posizionamento. In secondo luogo si può notare come si sia verificata una **democratizzazione dell'accesso ai sistemi spaziali, in particolare per quanto riguarda la riduzione del costo medio per il lancio di carichi in orbita**, ambito dove è emblematico l'avvento dei lanciatori riutilizzabili, così come la miniaturizzazione e riduzione di costo di alcuni sottosistemi di tecnologie satellitari, tendenza esemplificata dalla diffusione dei microsattelliti e dei cubesat. Anche le **nuove pressioni di natura geopoliti-**

**ca stanno amplificando la competizione tra stati e blocchi continentali per il raggiungimento di traguardi nell'ambito dell'esplorazione spaziale, generando di conseguenza un flusso di opportunità per il settore privato.**

La new space economy si è inoltre inserita in una fase storica di sviluppo dell'industria del venture capital dove assume una centralità notevole il cosiddetto "deep tech", ovvero l'investimento nelle imprese posizionate sulla frontiera tecnico-scientifica, in settori come la robotica, i nanomateriali, l'intelligenza artificiale e l'aerospaziale, dove le asimmetrie informative sono particolarmente rilevante e la complessità nella valutazione e nel supporto dei progetti è molto superiore rispetto ad altri ambiti, come ad esempio l'economia di Internet.

### Startup spaziali, "astroimprenditori" e "astrofinanza"

La nuova ondata startup spaziali e "astroimprenditori" ha avuto una prima fase embrionale con le imprese fondate dai "baroni dello spazio", Elon Musk con SpaceX, Richard Branson con Virgin Galactic e Jeff Bezos con Blue Origin. Sono tutte e tre realtà nate circa una ventina di anni fa che hanno vissuto nel 2021 un punto di discontinuità importante con il trasporto tramite i loro sistemi di passeggeri civili, aprendo la strada a nuova fase nel **turismo spaziale commerciale**. Questi primi esperimenti, finanziati in gran parte con capitali accumulati da iniziative imprenditoriali in altri settori, hanno dimostrato la possibilità – in particolare nel caso di SpaceX – di utilizza-

re nuovi metodi di prototipazione e produzione, combinati a forme organizzative leggere tipiche delle startup. **Le startup nate negli anni successivi si sono ispirate a questi apripista e hanno avuto modo di attirare i nuovi attori della “astrofinanza”, come Space Capital negli Stati Uniti, Seraphim Capital nel Regno Unito o Primo Space in Italia.**

Un altro elemento che ha consentito ai capitali privati di avvicinarsi a questo settore è stata la creazione di un nuovo mercato delle exit per le startup legate alla space economy: grandi colossi tecnologici, come Google, Apple e Uber, hanno acquisito negli anni recenti imprese operanti nell'industria spaziale, al fine di ampliare le loro capacità di accesso e interfacciamento con le tecnologie di telecomunicazione e osservazione della terra. Ovviamente questo è uno stimolo per i player del capitale di rischio, che per mandato devono produrre nell'arco di un ambito temporale ben definito un ritorno sull'investimento per i propri “limited partner” o sottoscrittori.

La conseguenza di questo fermento è che le valutazioni medie delle startup operative nella space economy stanno aumentando, con la presenza di numerosi “unicorni” - ovvero imprese non-quotate con una valutazione superiore ad almeno un miliardo di

dollari - e con la maturazione di un piccolo importante con SpaceX che ha raggiunto un valore di 100 miliardi di dollari.

**Si tratta di un surriscaldamento che ovviamente non è esente da rischi:** ad esempio, il ricorso sempre più frequente alle SPAC (Special Purpose Acquisition Company) come veicolo per la raccolta di capitale sui mercati pubblici sta portando a un'inflazione nella valutazione delle imprese che non sempre è aderente a criteri di prudenza e di equilibrio. Nei prossimi anni vedremo in quale traiettoria questa dinamica di crescita andrà a innestarsi.

### **Il ruolo dei fondi sovrani**

**Anche altri soggetti non-tradizionali che nell'ultimo decennio sono entrati pesantemente nel finanziamento delle imprese in fase di scaleup, dopo la fase di startup, hanno avuto un ruolo nel finanziamento delle aziende legate all'industria spaziale. Pensiamo ad esempio ad alcuni fondi sovrani come quelli di Abu Dhabi e dell'Arabia Saudita, così come mega-strutture di investimento come il Vision Fund della giapponese Softbank.**

E' verosimile che il trend continuerà in futuro in con una moltiplicazione

del numero e della tipologia di attori: anche in Europa, dopo l'operazione di Primo Space in Italia che ha funto da apripista, stanno nascendo altre strutture di investimento dedicate come CosmiCapital in Francia e Orbital Ventures in Lussemburgo.

**L'ecosistema del venture capital oggi interviene anche per supportare la filiera che opera a sostegno della space economy: imprese che si occupano di componentistica, materiali, elettronica, robotica, etc. sono importanti per sostenere il settore e spesso, producendo prodotti e servizi ad alta performance per l'ambito aerospaziale, riescono a generare innovazioni significative anche per altre industrie come, ad esempio, l'automotive e il nautico.**

In generale, lo spazio va considerato sempre meno una singola industria e sempre di più come un “ambiente” in cui altre industrie vanno a operare: quando parliamo di spazio troviamo anche le scienze della vita, l'intelligenza artificiale, la sicurezza informatica, l'agricoltura e molto altro. Si tratta di un settore affascinante che verosimilmente continuerà a crescere, in cui l'Italia ha un posizionamento interessante e verso il quale potranno essere convogliati in futuro capitali intelligenti per far prosperare la nuova generazione di imprese.

General Partner in Primo Space, fondo di venture capital specializzato nella new space economy e nelle tecnologie correlate. In passato Managing Director di Endeavor Italia, organizzazione che supporta le imprese ad alta crescita su scala internazionale, precedentemente si è occupato di investimenti high tech e sviluppo di iniziative per l'imprenditorialità innovativa presso il gruppo Intesa Sanpaolo e in fondi di venture capital come United Ventures (prima Annapurna Ventures) e P101. Membro della Kauffman Society of Fellows, ha ottenuto l'MPA ad Harvard con specializzazione in finanza internazionale, il dottorato di ricerca in Bocconi ed il GSP presso la Singularity University nel campus NASA Ames. Young Leader presso lo US-Italy Council, è stato Junior Fellow presso l'Aspen Institute, fa parte del gruppo “Young European Leaders – 40under40” e del gruppo Future Leaders dell'ISPI. Ha pubblicato su Harvard Business Review - Italia ed è autore dei libri “Hacking Finance” e “Quantum Computing”.

# La piattaforma High Performance Computing *davinci-1* di Leonardo

L'enorme mole di dati che arriva dai satelliti di osservazione della Terra richiede un'infrastruttura di supercalcolo in grado di fare calcoli ad altissima velocità e di immagazzinarli in maniera sicura. La piattaforma High Performance Computing *davinci-1* di Leonardo può dare un contributo fondamentale per la sua capacità di effettuare 5 milioni di miliardi di operazioni al secondo e di archiviare 20 milioni di gigabyte di dati. Grazie all'uso di algoritmi proprietari, intelligenza artificiale e tecniche di Big data analytics, *davinci-1* si presta a molte applicazioni, alcune delle quali potrebbero a breve cambiare il modo in cui viviamo e prendiamo decisioni.

DOI 10.12910/EAI2021-081



di Giuseppe Aridon, Responsabile Strategic and Corporate Development di Telespazio

**S**in dall'antichità il cielo e i fenomeni astronomici hanno attirato l'attenzione dei popoli. Si cercavano i segni per comprendere il presente o risposte per conoscere il futuro. Oppure, più concretamente, dei riferimenti per orientarsi durante la navigazione in mare o l'esplorazione via terra. Oggi il desiderio di scoperta si è spostato direttamente nel cosmo, per utilizzarlo al fine di migliorare la vita sul nostro Pianeta, per rendere abitabili altri corpi celesti o estrarre da essi delle risorse utili alla Terra.

I satelliti di osservazione della Terra consentono di studiare il Pianeta, i suoi cambiamenti e le sue fragilità. A "occhi" capaci di monitorare la vita sulla Terra in ogni suo aspetto serve però un cervello potente, un'infrastruttura di supercalcolo in grado di stoccare ed elaborare l'enorme mole di dati messa a disposizione. Se pensiamo che la quan-

tità di satelliti in orbita raddoppia ogni anno (già 2.000 operativi ad ottobre 2021) e che la massa di informazioni generate è immensa – ad esempio la sola costellazione Copernicus genera circa 250 terabyte di dati al giorno – è evidente la necessità di utilizzare computer con prestazioni molto elevate, in grado di fare calcoli ad altissima velocità e immagazzinare i dati in cloud in maniera sicura.

**La piattaforma High Performance Computing *davinci-1* di Leonardo**

**Un contributo fondamentale in questo senso è offerto dalla piattaforma High Performance Computing *davinci-1* di Leonardo che, grazie ad un'infrastruttura ibrida, è in grado di coniugare supercalcolo e cloud computing in un'unica unità, capace di effettuare ben 5 milioni di miliar-**

**di di operazioni al secondo e archiviare 20 milioni di gigabyte di dati.** Grazie all'uso di algoritmi proprietari, intelligenza artificiale e tecniche di Big data analytics per elaborare i dati satellitari e integrarli con quelli provenienti da fonti informative diverse come i social media, *davinci-1* si presta a una molteplicità di applicazioni, alcune delle quali potrebbero a breve cambiare il modo in cui viviamo e prendiamo decisioni.

È il caso del *digital twin*, un gemello digitalizzato tramite il quale è possibile simulare l'intera vita operativa, dalla progettazione alla manutenzione di un sistema. Una soluzione che si dimostra sostenibile perché consente enormi benefici dal punto di vista della sicurezza, dei costi di produzione, dell'impiego dei materiali e dei consumi di energia. L'applicazione di questa tecnologia alla Terra (Digital Twin Earth), a cui sta la-



vorando l'Unione Europea, rappresenta l'ultima frontiera. Si tratta di una **replica digitale del Pianeta** alimentata continuamente con i dati di osservazione della Terra, combinati con misurazioni *in situ* e intelligenza artificiale. Il modello simulerà l'evoluzione dell'atmosfera, degli oceani, dei ghiacci sulla Terra con una precisione senza precedenti e tenterà anche di 'catturare' il comportamento umano, permettendo ai leader mondiali di prevedere gli impatti degli eventi meteorologici e dei cambiamenti climatici sulla società sulla base degli effetti delle politiche climatiche.

### Osservazione della Terra

Ciò che già ci restituiscono i satelliti italiani di COSMO-SkyMed e PRISMA, o le 'sentinelle' europee del programma Copernicus, sono dati e immagini che ci consentono di monitorare lo scioglimento e lo spostamento dei ghiacciai,

gli sversamenti di petrolio o l'innalzamento del livello del mare, il consumo di acqua e terra, l'inquinamento, la deforestazione abusiva, le eruzioni vulcaniche, il patrimonio culturale e artistico. Allo stesso tempo, nella gestione delle emergenze, l'analisi dei dati satellitari si dimostra un valido aiuto nella creazione di mappe per individuare i danni e coordinare i soccorsi.

**In tutti questi programmi, Leonardo ha un ruolo da protagonista: nella realizzazione dei satelliti con Thales Alenia Space, nell'acquisizione dei dati e nell'erogazione dei servizi attraverso Telespazio, nonché nello sviluppo dei sensori, gli "occhi" dei satelliti, molti dei quali nascono nei laboratori toscani e lombardi della Divisione Elettronica di Leonardo.**

Le tecnologie che abbiamo a disposizione viaggiano nell'infinitamente grande ma arrivano all'infinitamente piccolo. La distanza da cui osserviamo la Terra,

ad esempio, non ci preclude la possibilità di formulare previsioni meteo molto accurate, di studiare la chimica atmosferica e la qualità dell'aria, di monitorare il buco nell'ozono e perfino di misurare l'attività fotosintetica delle piante, indice diretto dello stato di salute della vegetazione.

Allo stesso tempo, grazie a strumenti iperspettrali, possiamo analizzare la composizione chimico-fisica di un'area o di un oggetto. Ciò ci consente per esempio di monitorare la qualità dell'acqua e la fioritura delle alghe, di individuare le aree a rischio incendio o di rilevare discariche abusive.

**C'è poi la tecnologia radar a bordo di COSMO-SkyMed** - che ha già catturato oltre 1 milione e 200 mila scene in tutto il mondo - in grado di registrare spostamenti millimetrici del terreno causati da fenomeni naturali, come il cedimento del suolo, o innescati da attività umane, come l'estrazione mineraria

sotterranea. Lo stesso tipo di rilevazioni può essere impiegato per accertare deformazioni di infrastrutture critiche, come strade, porti, aeroporti o centrali nucleari.

### **Salvaguardia delle risorse idriche e gestione più efficiente del territorio**

L'Italia è uno dei Paesi europei più minacciati dalla scarsità idrica. Le tecnologie sviluppate da Leonardo offrono un significativo supporto a chi affronta questa sfida. **Grazie a sensori installati su satelliti, aerei e droni è infatti possibile monitorare, in modo continuo, le risorse idriche e il loro utilizzo.** L'analisi dei dati con il supporto di intelligenza artificiale e big data analytics mette a sua volta a disposizione informazioni preziose per la tutela degli oceani. Proprio tali informazioni costituiscono il presupposto irrinunciabile per una gestione più efficiente del territorio.

I dati satellitari supportano il monitoraggio di infrastrutture critiche come dighe e acquedotti, falde acquifere, perdite idriche, e permettono di misurare la quantità di acqua nella vegetazione individuando le aree più aride, a rischio incendio e dissesto idrogeologico. Possono offrire dati utili anche per il calcolo di variazioni nei livelli di fiumi e laghi, artificiali e non, fornendo dati misurabili e confrontabili per gestire

in modo intelligente le risorse idriche. In base a tali informazioni, in caso di siccità prolungata, ad esempio, è possibile pianificare i consumi fissando le priorità in base alla distribuzione delle riserve.

Nell'agricoltura di precisione i dati satellitari integrati con quelli di altre fonti consentono di calcolare il reale fabbisogno idrico delle colture e di pianificare un utilizzo sostenibile dell'acqua per l'irrigazione, segnalando eventuali abusi. Si stima che con queste tecnologie il risparmio d'acqua possa attestarsi tra il 40 e il 60 per cento.

**Non solo dati satellitari, ma anche droni, IA e cloud si mettono al servizio del settore agricolo grazie a T-Dromes,** la piattaforma digitale di Telespazio la cui app visualizza mappe accurate dei campi invasi da una particolare pianta infestante, lo stramonio, affinché l'agricoltore possa rimuoverla risparmiando tempo ed energie nella ricerca, arrivando a liberare circa 3.000 ettari di campi ogni settimana.

### **Gestione delle emergenze**

Dallo spazio arriva poi un supporto fondamentale anche nella gestione delle emergenze: i satelliti osservano la Terra per aiutare a prevedere frane e alluvioni, a coordinare i soccorsi in caso di terremoti o incendi, a controllare dall'alto le aree di crisi. Non solo: garantiscono comunicazioni affidabili a banda larga

anche quando la rete terrestre non è disponibile e permettono localizzazioni precise nelle delicate fasi di ricerca e soccorso.

A seguito di una calamità naturale o di una crisi umanitaria, il fattore tempo è cruciale. In questi casi **le mappe satellitari di e-GEOS** possono fare la differenza, perché consentono ai soccorritori di intervenire in modo efficace e tempestivo grazie all'impiego di algoritmi proprietari che elaborano i dati e le immagini e segnalano in maniera precisa dove intervenire o l'entità dei danni subiti.

Galileo è invece la costellazione che fornisce sistemi di navigazione e posizionamento estremamente precisi e, di conseguenza, essenziali nella localizzazione, ad esempio, di persone in pericolo e nella gestione tempestiva dei relativi soccorsi.

L'osservazione da satellite offre insomma una prospettiva unica e incomparrabile tanto nella lotta al cambiamento climatico e nell'analisi del dissesto idrogeologico, quanto nel monitoraggio ambientale e nell'utilizzo efficiente e razionale di risorse essenziali come terra e acqua.

Prossimi passi: consapevoli della assoluta necessità, qui come in altri contesti, di anticipare i problemi, grazie alle tecnologie satellitari integrate con l'intelligenza artificiale dovremo operare per offrire soluzioni efficaci prima che ulteriori danni si manifestino.

# Le interviste

## Perché ‘osservare’ la Terra è sempre più strategico

DOI 10.12910/EAI2021-082



Intervista con Simonetta Cheli, *Direttrice dei Programmi di Osservazione della Terra e Capo di ESRIN, il centro ESA a Frascati*  
A cura di Laura Moretti

**Lo spazio è un comparto sempre più strategico per le potenzialità di innovazione, progresso tecnologico, sviluppo economico e molto altro ancora. E di particolare rilievo, in questo contesto, sono le attività di Osservazione della Terra che hanno ricadute molto importanti per la ricerca scientifica, l'industria, le comunicazioni ma anche per la vita dei cittadini, il benessere e la sicurezza del nostro pianeta. Oggi, alla guida del Centro europeo per l'osservazione della Terra (ESRIN) dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) è stata nominata per la prima volta una donna, l'italiana Simonetta Cheli, che vanta un'esperienza di 30 anni nel campo spaziale. A lei abbiamo chiesto come stanno evolvendo gli scenari del settore e quali sono le principali sfide che dovrà affrontare ESRIN?**

Le sfide sono molte, anche per il tradizionale ruolo di ‘collegamento’ di ESA fra il mondo tecnico-scientifico, quello politico e i cittadini che devono poter beneficiare al massimo delle tecnologie spaziali e delle attività collegate. A livello operativo, ESRIN, il centro ESA di Frascati, deve garantire il buon funzionamento dei 16 satelliti di osservazione della Terra dell'Agenzia nell'ambito delle missioni scientifiche Explorer e della famiglia Copernicus, assicurare la gestione di grandi volumi di dati anche a lungo termine e il pieno accesso di questi dati agli utenti. Inoltre, abbiamo in costruzione 39 satel-

liti da lanciare nei prossimi anni: dobbiamo far sì che i tempi di costruzione e di lancio vengano rispettati e che i costi siano contenuti.

### **A livello personale quali sono i suoi ‘challenge’?**

In realtà le sfide sono almeno due, perché da un lato sarò Direttore per l'osservazione della Terra - campo fondamentale per le ricadute in molti campi- con il compito di portare avanti le attività in questo settore e, dall'altro, devo rappresentare l'ESA in Italia, assicurando una collaborazione ottimale con le istituzioni, con l'Agenzia Spaziale Italiana e con gli enti di ricerca.

### **Lei ha partecipato alla recente COP 26 di Glasgow. Parlando di osservazione della Terra, quale può essere il contributo di ESA per il contrasto al cambiamento climatico?**

Sin dall'inizio ESA ha partecipato alle COP come osservatore e attualmente supporta tutte le convenzioni ambientali delle Nazioni Unite, compresa quella sui cambiamenti climatici. A Glasgow ho avuto l'opportunità di rappresentare l'Agenzia e di valorizzarne il possibile contributo nel contrasto alla crisi climatica, attraverso le attività di monitoraggio. Lavoriamo su oltre 24 delle 50 variabili climatiche definite dalle Nazioni Unite relative a informazioni legate al clima, emissioni di CO<sub>2</sub> di origine

antropogenica, all'innalzamento dei mari, all'aumento della temperatura, alla qualità dell'aria, alla massa dei ghiacci, alla copertura delle foreste e così via.

**“Sin dall’inizio ESA ha partecipato alle COP come osservatore e attualmente supporta tutte le convenzioni ambientali delle Nazioni Unite, compresa quella sui cambiamenti climatici,,**

**Quindi per il clima fate molto**

Sì, anche perché dopo la COP 21 di Parigi l'ESA ha lanciato il Climate Change Initiative (CCI), un Programma incentrato sul monitoraggio delle variabili climatiche, a supporto e degli accordi in questo settore. Riguardo a Glasgow, fra i risultati importanti c'è l'approvazione della dichiarazione sul contenimento al 2030 della deforestazione e delle attività collegate; qui i nostri satelliti avranno un ruolo importante per la verifica di quanto effettivamente gli Stati stiano rispettando l'accordo, per monitorare l'evoluzione delle foreste, il tipo di biomassa, il tipo di foresta e così via. Anche per l'Osservatorio sul metano approvato dal G20 di Roma il ruolo di un satellite come Sentinel-5P di Copernicus, è fondamentale perché consente di monitorare benissimo questo gas serra.

**ESRIN è il braccio strategico dell'ESA per l'Osservazione della Terra ma è anche il centro informatico dell'Agenzia. In un momento in cui la cybersicurezza è sempre più importante che cosa occorre fare per garantire un sistema informatico affidabile e aggiornato?**

Formalmente non sarò io la responsabile di questa attività, che fa capo a un altro direttore. Tuttavia, il nostro ruolo richiede di tutelare la sicurezza dei dati, dei documenti, delle infrastrutture e, quindi, è necessario trovare meccanismi e programmi dedicati al monitoraggio e al contenimento dei cyber attacchi ma non solo. Verso metà di novembre, la Russia ha lanciato un

missile contro un suo vecchio satellite, distruggendolo in una miriade di frammenti. Questo tipo di eventi può mettere in pericolo la Stazione Spaziale Internazionale e, potenzialmente, anche gli astronauti. Quindi occorre garantire la sicurezza delle nostre infrastrutture e del nostro personale in un contesto tecnico e normativo certo, con iniziative e azioni organizzate e coordinate anche dall'ESA.

**Sembra quasi un evento da Guerre Stellari...**

È stato un evento grave per l'ISS ma anche per tre dei nostri satelliti di osservazione della terra che girano nell'orbita più bassa e hanno rischiato di essere impattati dai numerosi frammenti che rimarranno in orbita per circa due anni. Per evitare collisioni abbiamo dovuto fare manovre di riassetto dei satelliti che si trovavano vicino.

**In tema di pericoli, anche se di tutt'altra natura, come giudica la progressiva 'privatizzazione' dello spazio alla quale stiamo assistendo con un ruolo sempre più ampio dei privati e l'ingresso del venture capital. Vede più rischi o opportunità in questa nuova situazione?**

Sicuramente ci sono molte opportunità e potenzialità, anche se il modello di business del settore spaziale è completamente diverso da quello tradizionale, con maggiori rischi, un po' come nella Silicon Valley dove su 10 aziende nuove ne rimanevano in vita tre. Quindi c'è sicuramente da prevedere un'elevata percentuale di fallimento, ma questo è normale, fa parte del gioco.

**“Una delle priorità riguarda proprio le iniziative nel settore della commercializzazione, ad esempio per velocizzare la realizzazione di idee innovative e aiutare nuove imprese a poter accedere al venture capital ,,**

**Ma può esserci anche un rischio di ‘sovraffollare’ lo spazio?**

E’ un rischio oggettivo tenuto conto che sono in preparazione molte nuove iniziative e nuove costellazioni con decine di satelliti.

**“In questo comparto abbiamo una grande tradizione a livello accademico, industriale, di centri di ricerca”**

**Secondo l’Osservatorio sulla Space economy del Politecnico di Milano, oggi lo spazio e le sue ricadute economiche stanno attraversando una fase di forte cambiamento e di discontinuità col passato. Concorda con questa analisi?**

Concordo assolutamente. Oggi nel settore spaziale vediamo crescere iniziative private e commerciali con l’ingresso di nuovi attori a fianco dei tradizionali soggetti istituzionali, e questo, ovviamente, impatta sul contesto nel quale lavoriamo. Questo ha una valenza importante e l’Agenzia spaziale si sta già muovendo con un ‘pacchetto’ di iniziative a supporto della new space economy. Nell’Agenda 2025 del nostro nuovo Direttore Generale, una delle priorità riguarda proprio le iniziative nel settore della commercializzazione, ad esempio per velocizzare la realizzazione di idee innovative e aiutare nuove imprese a poter accedere al venture capital ed a opportunità di lancio a basso costo.

**Il ministro per l’innovazione tecnologica e la transizione digitale Vittorio Colao ha proposto una giornata nazionale dello spazio da celebrare**

**il 16 dicembre. Quale è a suo giudizio la valenza di questa iniziativa?**

Penso che sia un’iniziativa politica nata come evento simbolico, che può avere una forte rilevanza come momento topico di incontro, di grande visibilità e di riconoscimento dell’importanza strategica del settore spaziale italiano. Sarà l’occasione per far vedere a tutti - bambini, giovani, grande pubblico- quello che sa fare il nostro Paese in questo comparto nel quale abbiamo una grande tradizione a livello accademico, industriale e di centri di ricerca.

**A proposito della sua nomina, in una recente intervista, il Presidente dell’ASI ha sottolineato che è “una bella soddisfazione” avere un’italiana a coordinare le attività dell’ESA per l’Osservazione della Terra e a dirigere il centro dell’Agenzia spaziale europea in Italia. Lei è una delle prime figure femminili a ricoprire un ruolo di grande responsabilità e visibilità nel mondo dello spazio. Si sente una pioniera?**

Sicuramente si tratta di un grande riconoscimento del ruolo dell’Italia nel settore spaziale e della forte tradizione nel campo dell’osservazione della terra; ed è anche un’enorme opportunità per garantire il collegamento tra mondo tecnico-scientifico, mondo internazionale e mondo diciamo ‘politico’ e istituzionale. Quanto al sentirmi una pioniera non saprei. Certamente è una soddisfazione personale, perché questa nomina arriva dopo 30 anni di carriera in ESA, dei quali 15 hanno riguardato l’osservazione dallo spazio della Terra. E’ stata una sorta di evoluzione naturale anche se non scontata, perché la designazione non viene solo dall’Italia, ma deve essere validata e condivisa con tutti i 22 paesi membri dell’ESA. Quindi è una bella soddisfazione e un riconoscimento per il nostro paese.

# Per la Space Economy un grande futuro, ma servono regole chiare

DOI 10.12910/EAI2021-083



Intervista con **Umberto Guidoni**, *Astronauta – Divulgatore – Scrittore*  
A cura di **Laura Moretti**

**Umberto Guidoni è stato il primo astronauta europeo a mettere piede sulla Stazione Spaziale Internazionale, esattamente 20 anni fa. Da allora molte cose sono cambiate nel mondo dello spazio con passi in avanti importanti a livello scientifico, ma anche un crescente sviluppo di attività e l'ingresso di privati. E, secondo l'Osservatorio sulla Space economy del Politecnico di Milano, oggi lo spazio e le sue ricadute economiche attraversano una fase di forte cambiamento e di discontinuità col passato. A Umberto Guidoni abbiamo chiesto se concorda con questa analisi e quali sono stati i cambiamenti più rilevanti a suo giudizio?**

La globalizzazione e le tecnologie emergenti hanno influenzato anche le attività spaziali che hanno subito trasformazioni radicali negli ultimi due decenni. Lo spazio non è più il monopolio delle agenzie spaziali dei paesi più avanzati, ma è diventato il terreno di gioco per le attività di nuovi stati emergenti e soprattutto di imprese private. È prevedibile che l'economia spaziale influenzerà la crescita socio-economica dei prossimi anni e che le compagnie private saranno sempre più protagoniste nello sviluppo di nuove tecnologie spaziali.

**Come giudica la progressiva 'privatizzazione' dello spazio alla quale stiamo assistendo con un ruolo sempre più ampio dei privati e l'in-**

**gresso dei fondi di investimento?**

Nei prossimi venti anni, la ricchezza annuale generata dalle attività di "space economy" dovrebbe triplicare rispetto agli attuali 350 miliardi di dollari su scala globale. La nuova competizione per lo spazio non è più solo fra stati ma anche a livello aziendale. L'aumento della competizione tra privati e quella fra pubblico e privato potrà consentire una significativa riduzione dei costi e portare a una accelerazione nello sviluppo di nuove tecnologie e servizi.

**Non c'è un rischio di sovrappollamento?**

È chiaro che bisogna evitare che la corsa ad accaparrarsi il fiorente mercato spaziale diventi una sorta di nuovo "far west"; per questo è importante stabilire regole chiare e valide per tutti, che salvaguardino la sicurezza e il rispetto dei trattati internazionali. Ad esempio, con migliaia di satelliti pronti a partire nei prossimi anni, bisognerà affrontare il tema dell'affollamento delle orbite o, se pensiamo al turismo spaziale, occorrerà stabilire criteri per certificare la sicurezza dei veicoli su cui viaggeranno i futuri equipaggi.

**Quali sono le sfide prioritarie che il nostro Paese si trova ad affrontare sul fronte dello spazio e, in particolare, dello sviluppo della Space Economy e della New Space Economy?**



## “Dovremmo cercare di valorizzare le eccellenze industriali e i poli scientifici di livello mondiale che abbiamo in campo spaziale,,

Gli investimenti privati nell'industria spaziale stanno aumentando rapidamente; tuttavia, le istituzioni pubbliche nazionali e internazionali sono ancora i maggiori clienti delle compagnie private. Se negli Stati Uniti la NASA e le altre agenzie governative hanno avuto un ruolo determinante nel successo di compagnie come Space X, non è successo lo stesso in Europa, dove mancano infrastrutture spaziali operate autonomamente da compagnie private. Lo spazio è tremendamente complesso e ci vorrà tempo prima che possa svilupparsi un “ecosistema spaziale” che sia veramente autosufficiente. Nel nostro paese ci sono esperienze in questo senso, come i distretti aerospaziali, ma c'è bisogno di

un maggior coordinamento fra pubblico e privato perché si vengano a creare soggetti industriali autonomi e competitivi a livello globale.

**Secondo l'ASI ogni euro investito nel settore spaziale ne porta sette per il Paese. Quali sono i settori che beneficiano maggiormente della ricerca nel settore spaziale e quali andrebbero potenziati?**

Robotica e Intelligenza Artificiale, Energia, Telerilevamento sono solo alcuni tra i settori che maggiormente hanno beneficiato della ricerca spaziale. Ad esempio, sin dagli anni '60 le celle a combustibile sono state utilizzate per fornire energia elettrica a bordo delle capsule Apollo e, successivamente, dello Space Shuttle. Oggi quella stessa tecnologia può produrre energia pulita sulla Terra e permettere la transizione verso una mobilità sostenibile. Credo che siano tutti settori chiave per lo sviluppo del nostro paese e andrebbero potenziati per affrontare la più grande sfida dei prossimi anni: quella dei cambiamenti climatici.

**Dal Catalogo dell'Industria Spaziale Italiana di ASI emerge che il settore spaziale contribuisce allo**

**sviluppo economico e all'innovazione del nostro Paese con più di 7000 professionisti, oltre 400 aziende e 2 miliardi di euro di fatturato. Che prospettive e opportunità si aprono per il futuro del settore in Italia e nel contesto internazionale?**

Si può dire che l'industria spaziale fornisce un vantaggio competitivo al paese in cui opera, diminuendo i costi medi e accelerando lo sviluppo tecnologico e l'innovazione. Un paese manifatturiero come l'Italia ha bisogno di questo "driver" per migliorare la qualità e il contenuto tecnologico dei suoi prodotti e per essere competitivo sui mercati internazionali. Se vogliamo aumentare gli obiettivi di crescita socio-economica del nostro paese per il prossimo decennio, dovremmo cercare di valorizzare le eccellenze industriali e i poli scientifici di livello mondiale che abbiamo in campo spaziale.

**“C'è bisogno di un maggior coordinamento fra pubblico e privato perché nascano soggetti industriali autonomi e competitivi a livello globale,,**

**La ricerca ha un ruolo fondamentale per l'esplorazione e la 'conquista' dello spazio. Secondo lei nel nostro Paese si investe abbastanza in questo settore?**

Direi di NO! Siamo molto al di sotto della media europea e certamente lontani da paesi come USA e Giappone, per non parlare della Cina. L'esiguità degli investimenti in ricerca è un dato che riguarda i la-

boratori e le università pubbliche, ma investe anche il settore privato. Inoltre, la precarietà è una delle piaghe della ricerca italiana. Non è un caso che i nostri giovani laureati siano spesso costretti a trasferirsi all'estero per trovare occupazioni adeguate al livello delle loro competenze. Anche quando i ricercatori italiani ricevono finanziamenti europei, il più delle volte scelgono di condurre le loro ricerche in laboratori stranieri.

**“Potenziare l'insegnamento delle materie scientifiche nelle scuole e nelle università,,**

**Come valuta la decisione del ministro Colao di istituire la Giornata nazionale dello spazio?**

“L'ecosistema spaziale” avrà sempre più bisogno di capitale umano preparato e motivato. In questo senso, l'istituzione della Giornata nazionale dello spazio da parte del ministro Colao va nella direzione giusta; sarà importante, però, che sia accompagnata da finanziamenti adeguati per potenziare l'insegnamento delle materie scientifiche nelle scuole e nelle università. Da quando ho lasciato l'attività di astronauta, mi sono impegnato nel campo della divulgazione scientifica, scrivendo libri e incontrando studenti di tutte le età. Credo che un certo sentimento antiscientifico, come quello che stiamo vivendo in questo lungo periodo di pandemia, possa essere sconfitto proprio con una maggiore diffusione della cultura scientifica. L'avventura spaziale, che ha fatto sognare generazioni intere di giovani, potrebbe essere il modo migliore per farlo.

# All'Italia un ruolo sempre più importante nella sfida per lo spazio

DOI 10.12910/EAI2021-084



Intervista con Giorgio Saccoccia, *Presidente dell'Agenzia Spaziale Italiana*  
A cura di Laura Moretti

**Al mondo dello spazio è ormai ampiamente riconosciuto un ruolo sempre più strategico a livello geopolitico e per le ricadute in termini di servizi e innovazione tecnologica in numerosi comparti, dall'energia alla salute, ai nuovi materiali alle scienze della vita e all'agricoltura per citarne solo alcuni. In questo campo, l'Italia si è sempre distinta per l'eccellenza della ricerca scientifica, un tessuto industriale competitivo e la leadership a livello internazionale. Tuttavia, i rapidi cambiamenti in atto sul fronte della sicurezza, della Space Economy e della New Space Economy aprono nuove sfide. Quali sono e come affrontarle? Lo abbiamo chiesto a uno dei principali protagonisti del settore, il Presidente dell'Agenzia spaziale italiana, Giorgio Saccoccia.**

L'Italia dello spazio di oggi è il risultato di alcuni decenni di investimenti, di crescita del livello di competenza, di nascita, realizzazione e consolidamento di un tessuto industriale, dell'accademia e dei centri di ricerca che ci hanno portato a essere un player importante a livello mondiale e a giocare un ruolo di rilievo in tutti i settori applicativi dello spazio. E - ci tengo a sottolinearlo - non sono molte le nazioni che possono fare questo. La sfida, adesso, è di posizionarci ancora meglio rispetto al ruolo che lo spazio giocherà nello scenario economico e geopolitico mondiale, capitalizzando quanto fatto finora,

consolidando gli asset sviluppati e facendoli crescere in modo sostenibile e stabile.

**“La sfida, adesso, è di posizionarci ancora meglio rispetto al ruolo che lo spazio giocherà nello scenario economico e geopolitico mondiale, capitalizzando quanto fatto finora, consolidando gli asset sviluppati e facendoli crescere in modo sostenibile e stabile”**

## **Che cosa significa a livello operativo?**

Che occorre continuare ad investire in tutti i settori, selezionando le aree sulle quali concentrare i nostri sforzi, quelle di maggior ritorno per la Space Economy e la New Space economy come l'osservazione della Terra, senza dimenticare l'esplorazione spaziale, un comparto di grande ritorno scientifico e per l'innovazione.

**Quest'anno il Comint, il Comitato interministeriale per lo spazio ha assegnato 2 miliardi allo spa-**



**zio e nel PNRR sono previsti 1,49 miliardi per la Space economy. In quali settori vanno investiti?**

I 2 miliardi stanziati dal Comint, il Comitato interministeriale per lo spazio e i fondi previsti dal PNRR sono risorse importanti, a conferma del fortissimo potenziale di crescita e di sviluppo riconosciuto a questo comparto. A livello di investimenti, l'osservazione della terra è senz'altro una priorità per i ritorni immediati e l'importanza dei servizi offerti, penso al monitoraggio ambientale, delle infrastrutture, alla gestione delle situazioni di emergenza e altro; in questo

campo abbiamo ottimi prodotti nazionali e siamo ben posizionati a livello internazionale, partecipando ai programmi dell'ESA e a collaborazioni bilaterali ad esempio con gli Stati Uniti.

**Dal Catalogo dell'Industria Spaziale Italiana di ASI emerge che il settore spaziale contribuisce allo sviluppo economico e all'innovazione del nostro Paese con più di 7000 professionisti, oltre 400 aziende e 2 miliardi di euro di fatturato. Che prospettive e opportunità si aprono per il futuro del settore in Italia?**

Come ho detto prima, l'osservazione della terra è uno dei settori più dinamici per la nostra industria del downstream, dalla grande impresa alla giovane startup, con un'ottima 'economia di ritorno' in termini di sviluppo di nuovi prodotti. Poi c'è l'esplorazione, un comparto di rilievo, nel quale abbiamo un'ottima capacità, con ricadute sia di innovazione tecnologica per la 'vita di tutti i giorni' sia di 'diplomazia internazionale'. L'esplorazione, sia robotica che umana, è un bellissimo biglietto da visita, perché è tramite i progetti di esplorazione che ci confrontiamo e ci coordiniamo con altri paesi, attraverso l'Agenzia Spaziale Europea, ma anche in bilaterale con gli Stati Uniti, il Giappone e così via. E poi c'è tutto il mondo delle attività legate alle future comunicazioni sicure, alla protezione dei nostri asset in orbita e alla protezione dalle possibili minacce dallo spazio verso la terra che ricoprono un ruolo sempre più importante. Senza trascurare le applicazioni scientifiche e lo sviluppo della ricerca pura legata ai grandi obiettivi delle missioni spaziali.

#### **Di fatto c'è l'imbarazzo della scelta.**

Sì, e aggiungerei a quanto citato sopra un ulteriore comparto, quello dell'accesso allo spazio, del trasporto spaziale che è tra le sfide più attuali e complesse. Per poter competere con gli altri player occorre investire sulle tecnologie legate a questo settore anche per garantire l'accesso all'orbita dei nostri asset strategici nazionali ed europei.

#### **In una recente intervista lei ha affermato che ogni euro investito nel settore spaziale ne porta sette al Paese. Da che cosa deriva questo confronto?**

E' chiaro che se parliamo di ritorni legati non solo alle applicazioni dell'osservazione della terra sicuramente possiamo trovare ricadute anche "superiori". Se invece ci soffermiamo sulle ricadute scientifiche, non sono tanto di natura economica ma di innovazione e ricerca. Un altro criterio interessante è l'impatto 'distribuito' delle tecnologie e delle applicazioni spaziali sull'economia europea; già qualche anno fa un Commissario all'economia sosteneva che più del 10% del PIL degli stati membri era in qualche modo influenzato dalle ricadute di servizi connessi allo spazio. Questo significa che al di là dei conteggi 'diretti', occorre avere presente il potenziale di ulteriore crescita in futuro di questo comparto.

**“Occorre continuare a investire in tutti i settori, selezionando le aree sulle quali concentrare i nostri sforzi, quelle di maggior ritorno per la Space Economy e la New Space economy come l'osservazione della terra, senza dimenticare l'esplorazione spaziale,,**

**Uno studio dell'ASI con l'Università Statale di Milano ha analizzato l'impatto socio-economico delle politiche pubbliche nel settore industriale e scientifico spaziale in Italia. Quali sono le evidenze di maggior rilievo?**

E' uno studio molto interessante perché guarda non tanto al ritorno diretto, ma al contributo e all'impatto dei differenti attori del sistema spaziale italiano, le imprese dell'upstream, del downstream e poi la comunità scientifica più in generale. Lo studio ha investigato nel dettaglio, attraverso indagini dirette, interviste, analisi econometriche, raccolta di dati on line, approfondimenti di alcuni casi e di documenti, i risultati quantitativi in termini di miglioramento tecnologico, di incremento del fatturato, ma anche della capacità di sviluppo di ricerca e la realizzazione di nuovi prodotti, il numero di clienti e così via. Di fatto, è stato un modo di valutare in maniera più ampia il concetto di 'ritorno economico' generato dalle attività spaziali, aprendo anche la strada a ulteriori approfondimenti, ad esempio sugli ambiti nei quali potrebbe essere interessante migliorare.

**A proposito di 'ritorno economico', come giudica la progressiva privatizzazione dello spazio alla quale stiamo assistendo con un ruolo sempre più ampio dei privati e l'ingresso del venture capital. Vede più rischi o opportunità in questa nuova situazione?**

Rappresentando un'istituzione pubblica non posso che vedere in maniera molto positiva quest'ingresso,

perché vuol dire che il settore sta diventando attrattivo. Infatti, a parte poche eccezioni dettate magari da passioni o altro, i privati sono interessati al ritorno economico, al raggiungimento di determinati obiettivi che, comunque sia, devono generare profitti. Il fatto che lo spazio interessi ai privati vuol dire siamo arrivati alla fase alla quale si aspirava da tempo e che altri settori - pensiamo ad esempio al sistema dei trasporti- hanno già visto. Siamo in un momento di transizione molto interessante, dove la sfida è di conciliare al meglio ciò che è ancora 'prerogativa' delle istituzioni e ciò che può essere totalmente demandato al privato.

### **In che senso?**

Non dobbiamo dimenticare che lo spazio copre una serie di aspetti molto delicati legati anche alla sicurezza e ad elementi di tipo strategico che non possono essere lasciati completamente ai privati, perché si verrebbe a perdere il ruolo fondamentale della governance sovranità dei paesi o dell'Unione europea. Settori come i rifiuti spaziali, la sicurezza degli asset in orbita, la protezione del pianeta dal rientro di oggetti in orbita o il futuro utilizzo delle risorse di altri pianeti devono essere oggetto di regolamenti stabiliti non da privati ma dai governi, dalle istituzioni e dalle Agenzie che dovranno promuovere un'adesione alle nuove norme. Oggi queste regole sono in fieri, ma si sta comunque andando verso regolamenti comuni; ci sono iniziative a livello dell'ONU, di singoli paesi e c'è molto fermento in materia a livello internazionale.

**A livello internazionale, il 20 e il 21 settembre scorsi l'ASI ha organizzato l'evento "G20 Space economy leaders meeting 2021" con i rappresentanti delle maggiori agenzie spaziali mondiali delle organizzazioni internazionali del settore. Come nasce questa idea e quale l'obiettivo?**

Visto l'impatto della sfera spaziale sui grandi temi ambientali, dell'esplorazione e della protezione del pianeta e della gestione delle emergenze è quasi automatico che si debba parlarne a livello di G20. La prima riunione con i capi di tutte le agenzie spaziali l'ha fatta l'Arabia Saudita nel 2020 quando aveva la presidenza del

G20. Noi, molto volentieri, abbiamo preso il testimone cercando di legare l'evento alla presidenza italiana del G20, alla Cop 26, prevedendo per la prima volta oltre alle agenzie spaziali anche un evento dedicato alle industrie spaziali e altre iniziative promosse ad esempio da Leonardo o quella di Grottaglie nell'ambito dei distretti. L'obiettivo era di far sì che di spazio si parlasse in consessi di grande visibilità e di far inserire il tema nell'Agenda del G20 per il futuro. Quest'anno, intanto, è andata molto bene e c'è stata una forte partecipazione; inoltre il tema del G20 'People, Planet, Prosperity' proposto dall'Italia era perfetto da 'collegare' ai nostri lavori'.

**“È molto importante avvicinare questa tematica all'opinione pubblica, spiegare perché lo spazio è qualcosa di più di un mondo affascinante da esplorare,,**

**Il ministro Colao ha proposto una giornata nazionale dello spazio che verrà celebrata il prossimo 16 dicembre. Quale è a suo giudizio la valenza di questa iniziativa?**

Devo confessare che l'idea è mia e risale a un anno fa. Poi fortunatamente ho avuto la sponda del governo che ha deciso di adottarla. L'obiettivo condiviso è di far sì che questo evento ufficiale accresca la conoscenza di questo settore in Italia, che non sia solo per gli addetti ai lavori, ma se ne parli in qualunque situazione e contesto, coinvolgendo il più possibile tramite i Ministeri che compongono il Comint, le scuole e i cittadini. E' molto importante avvicinare questa tematica all'opinione pubblica, spiegare perché lo spazio è qualcosa di più di un mondo affascinante da esplorare. Mi auguro veramente che questa iniziativa possa funzionare e crescere, per divulgare il più possibile un tema che sarà sempre più rilevante in futuro e dove l'Italia gioca e deve giocare sempre di più un ruolo importante.

# Nuovi materiali e componenti per ‘resistere’ a condizioni estreme

*L'ENEA supporta lo sviluppo della Space economy e il tessuto produttivo nazionale nello sviluppo di soluzioni innovative e di tecnologie avanzate per produrre componenti e nuovi materiali per velivoli spaziali, operanti in condizioni estreme e per la protezione dalle radiazioni cosmiche. Le attività progettuali sono svolte in stretto raccordo con l'infrastruttura MAIA (Materiali Avanzati Infrastruttura Aperta) in via di realizzazione nel centro ENEA della Casaccia, specializzata nella stampa 3D di materiali avanzati, tra i quali materiali metallici ad alte prestazioni per l'aeronautica e l'aerospazio.*

DOI 10.12910/EAI2021-085

di Giuseppe Barbieri ed Antonio Rinaldi, *Laboratorio di Materiali e Processi chimico-fisici*

**U**no dei settori emergenti per l'economia mondiale ma soprattutto per la sostenibilità del genere umano è la Space Economy (SE), definita dall'OCSE come “l'intera gamma di attività e l'uso di risorse che creano valore e benefici per gli esseri umani nel corso dell'esplorazione, della ricerca, della comprensione, della gestione e dell'utilizzo dello spazio” (1). ENEA supporta con svariate attività lo sviluppo delle SE e il tessuto produttivo nazionale nella messa a punto di soluzioni innovative legate alla realizzazione di componenti e nuovi materiali mediante l'applicazione di tecnologie avanzate. Nel recente passato, ad esempio, ha supportato Thales Alenia Space nella realizzazione di componenti per la stazione spaziale orbitale sviluppando processi di saldatura automatizzati ad alta densità di energia a fascio di elettroni ed a fascio laser. Nel corso degli anni è stato maturato il know how sulla saldatura in pratica di tutte le famiglie di metalli, dai semplici acciai inossidabili alle superleghe di nichel passando per le leghe leggere di magnesio, alluminio e titanio.

Alcuni dei prodotti della collaborazione con grandi aziende del settore aerospaziale sono state utilizzate con successo a bordo della Stazione Spaziale Internazionale (ISS). Ad esempio due cold-plates progettate da Thales Alenia Space Italia (TASI) e realizzate con il supporto di ENEA in lega di alluminio AA 6061 T651 (2). Le cold plates (Figura 1) sono i principali componenti del sistema di raffreddamento per il payload MDS (Mice Drawer System). Lo sviluppo e la realizzazione di questo componente, finanziato dall'ASI, ha reso possibile lo svolgimento di vari programmi di ricerca spaziali. L'MDS è stato necessario per mantenere le temperature richieste, sia per le unità elettroniche di controllo sia per l'habitat dei topolini (raffreddamento dell'aria di ricircolo e dell'acqua alimentare delle cavie) a bordo della ISS. Sempre per TASI, è stato sviluppato il processo di saldatura laser per l'assemblaggio di specifici sensori per la componentistica del satellite per l'esperimento LISA Pathfinder (3). Il progetto finanziato dall'agenzia spaziale Europea (ESA) mirava alla costruzione e messa

in orbita di un satellite per lo sviluppo di tecnologie per il rilevamento delle onde gravitazionali nello spazio. ENEA ha sviluppato alcuni processi di saldatura laser per assemblare speciali sensori realizzati in leghe di titanio differenti e rispettando requisiti stringenti in termini di tenuta, con pressione di prova fino a 130 Bar, contenendo la temperatura sugli elementi sensibili al di sotto di 120°C, riprogettando le geometrie di giunzione e sviluppando i sistemi di monitoraggio del processo. Arrivando alle applicazioni e collaborazioni più recenti, ENEA ha instaurato in questi anni consolidati rapporti con AVIO SpA, leader mondiale nella produzione di sistemi per l'accesso allo spazio. Oltre che attraverso specifici contratti di servizio avanzato e progetti Proof of Concept (SAMUT - Sistema automatico di mappatura ultrasonora per componenti aerospaziali), la collaborazione è stata rafforzata attraverso la partecipazione ai progetti di ricerca e sviluppo promossi attraverso LAEROSPAZIO, iniziativa finanziata dal FESR Fondo Europeo di Sviluppo Regionale - Pro-

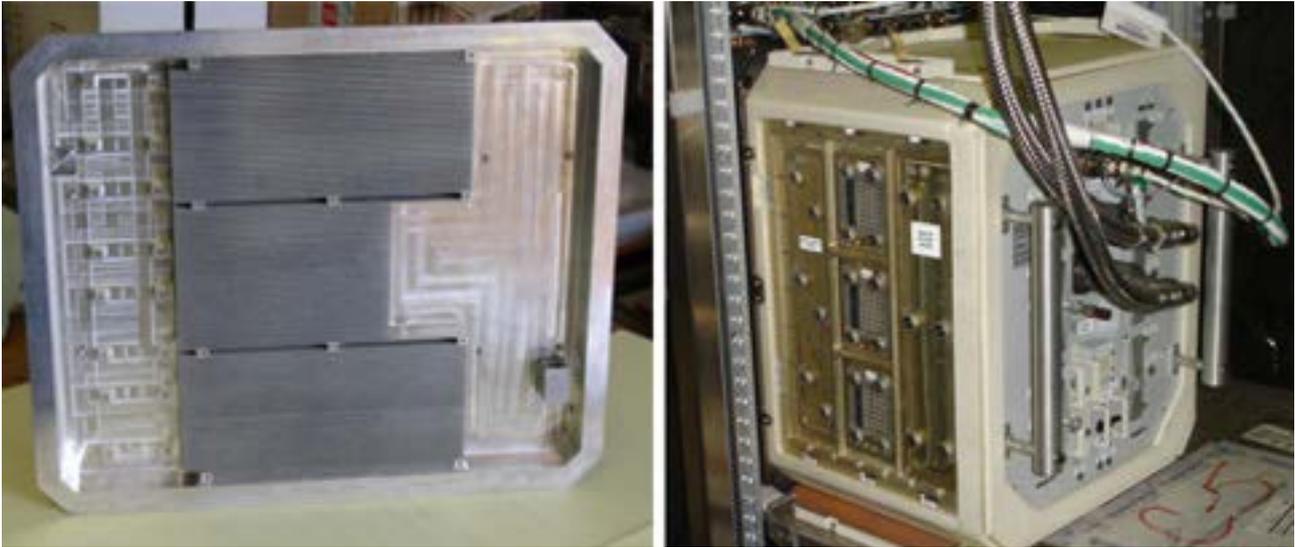


Fig. 1 Sistema di raffreddamento per il payload MDS (Mice Drawer System) saldato mediante fascio elettronico

gramma Operativo Regionale del Lazio. In questo speciale bando, ENEA agisce da Organismo di Ricerca Cardine Mandatario dell'aggregazione con ASI, INFN e Consorzio Hypatia, in veste di OdR associati. Gli OdR stanno realizzando, in collaborazione con differenti imprese 7 progetti inerenti all'Area di Specializzazione "Aerospazio".

In uno di questi progetti denominato MAGIC (Tecnologie abilitanti per la Manifattura ALM, la Giunzione e il Controllo di propulsori aerospaziali), ENEA sta progettando soluzioni innovative per la realizzazione di componenti per velivoli spaziali operanti in condizioni estreme e per proteggere passeggeri e componenti dalle radiazioni cosmiche. Con i partner AVIO, Hypatia, COMEB ed ASI, (<https://www.laerospazio.enea.it/>), sono in fase di sviluppo sistemi robotizzati per produrre e caratterizzare componenti di propulsori per i lanciatori aerospaziali di nuova generazione operanti in condizioni estreme di pressioni e temperature. In particolare, si stanno sviluppando sistemi di assemblaggio robotizzati che impiegano i processi di saldatura laser e i complementari sistemi automatizzati di controllo non distruttivo mediante mappatura ultrasonora dell'integrità strutturale dei

componenti realizzati.

Le future evoluzioni del lanciatore VEGA prevedono infatti una struttura a tre stadi in cui l'ultimo sarà costituito da un motore criogenico a ossigeno e metano liquido in sviluppo presso AVIO che andrà a sostituire gli attuali terzo e quarto stadio, rispettivamente a solido e liquido storable, proponendo una soluzione flessibile che permetta simultaneamente di massimizzare il carico utile e ridurre l'impatto ambientale. Lo sviluppo di tali propulsori passa dall'applicazione di nuovi materiali e nuove tecnologie di assemblaggio che permettano la minimizzazione del numero di componenti. Ciò è possibile sfruttando al massimo l'impiego di tecnologie di stampa 3D e di tecnologie di giunzione automatizzate, quali la saldatura laser, che permettono alto livello di ripetibilità ed affidabilità. Assieme alle tecnologie di realizzazione dei nuovi componenti saranno sviluppate le tecnologie di controllo automatizzate sia Ultrasonore (UT) che Eddy Current (EC) rapide migliorando quanto già applicato in termini di controllo qualità mediante scansione UT di camere di combustione (Figura 3). La buona riuscita del progetto permetterà di sviluppare sistemi per lo Zero Defect Manufacturing per l'aerospazio

che consentiranno alle imprese coinvolte un enorme salto in avanti in un comparto altamente competitivo dove per mantenere la leadership è indispensabile puntare costantemente all'eccellenza.

Sempre nell'ambito LAerospAZIO, nel progetto W-SHIELD, assieme ai partner SIT, CRYOLAB e Consorzio HYPATIA, ENEA sta sviluppando materiali compositi a matrice polimerica microstrutturati caricati con tungsteno per la realizzazione di schermature flessibili candidati a far parte della nuova generazione di sistemi di protezione da radiazioni, sia per l'uomo sia per le strumentazioni di bordo, nei futuri viaggi interplanetari e nelle stazioni orbitanti. Le attività progettuali sono svolte sinergicamente alle attività dell'infrastruttura MAIA (Materiali Avanzati Infrastruttura Aperta) specializzata nella stampa 3D di materiali avanzati, tra cui materiali metallici ad alte prestazioni per l'aeronautica e l'aerospazio, che si sta realizzando nel centro ENEA della Casaccia.

La schermatura dalle radiazioni cosmiche

A fianco alla realizzazione di compo-

nenti strutturali per lo spazio, esiste tutta la problematica legata alla protezione dei componenti ma anche dei passeggeri per i futuri viaggi interplanetari collegata alla schermatura dalle radiazioni cosmiche. Queste tematiche sono affrontate dal progetto W-SHIELD che ha l'ambizione di produrre sistemi schermanti compositi a matrice polimerica caricati di tungsteno.

W-SHIELD persegue un nuovo approccio volto all'esplorazione di due tecnologie di manifattura avanzata, i.e. l'elettrofilatura e la stampa 3D, selezionate per tre ordini di motivi. In primo luogo, entrambe le tecnologie sono applicabili in ambiente spaziale e in assenza di gravità, aspetto importante per rispondere alla necessità di avere sistemi produttivi localizzati fuori orbita terrestre. In secondo luogo, l'elettrofilatura consente

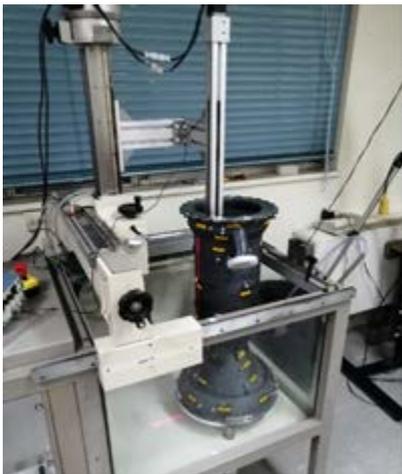


Fig. 3 Controllo UT automatizzato di camera di combustione presso ENEA (courtesy of AVIO)

di produrre sistemi tessuto-non-tessuto (TNT) micro e nanostrutturati con proprietà uniche ed innovative a costi



Fig. 2 Test di Saldatura laser "key hole" di superlega di nichel IN 718 per la messa a punto di processi di saldatura per motori aerospaziali;

relativamente accessibili. Questa tecnica in W-SHIELD sarà utilizzata per creare schermature metalliche flessibili, cercando di unire le eccellenti proprietà schermanti del metallo (tungsteno in questo caso) a quelle di flessibilità e conformabilità proprie dei tessuti. Da ultimo, diversamente dalle tecniche produttive tradizionali di tipo sottrattivo, la stampa 3D consente di ottenere oggetti "near-net-shape" con nessuno o minimo sfrido, aspetto fondamentale per la gestione ottimale delle risorse nello spazio. Il progetto W-SHIELD punta a combinare i vantaggi di elettrofilatura e 3D-printing, utilizzandoli in modo sinergico, dimostrando la loro vantaggiosa applicazione anche per applicazioni terrestri in ambito biomedicale per la protezione di persone, attrezzature e luoghi di lavoro in contesto radiogeno e biomedicale. Insieme alla collaborazione con l'azienda laziale S.I.T-Sordina IORT ([www.soiort.com](http://www.soiort.com)), che è un'azienda leader nel settore di attrezzature biomedicali per terapia radiogena, il partena-

riato condurrà un complesso piano di sviluppo che include attività fabbricative e dimostrative su cellule ed animali, valutando la capacità schermante di schemi prototipali rispetto ad irraggiamenti condotti con fasci di elettroni e fotoni a livelli energetici significativi. Il livello di protezione verrà quantificato attraverso la misura del danno da irraggiamento su DNA tramite modelli messi a punto dall'ENEA, che dispone di competenze e laboratori specializzati per condurre questo tipo di attività.

Il progetto W-SHIELD culminerà con un'attività prototipale mirata ad ingegnerizzare un componente schermante opportunamente individuato per fare un confronto con un componente standard tradizionale sulle macchine S.I.T-Sordina IORT. In prospettiva, i risultati potranno aprire un nuovo filone di ricerca e sviluppo industriale per implementare schermature flessibili e performanti rispetto alle radiazioni cosmiche nello spazio.

*Per info: [giuseppe.barbieri@enea.it](mailto:giuseppe.barbieri@enea.it)*

#### BIBLIOGRAFIA

1. D Handbook on Measuring the Space Economy 2012.
2. EBW of AA 6061 T651 aluminium alloy cold plates for the space guinea pig living unit cooling system. G.Barbieri, Moncada, M. e Sgambati, A. 5, s.l. : Welding Internartiona, 2012, Vol. 26. <https://doi.org/10.1080/09507116.2011.592693>.
3. LISA Pathfinder. [Online] [Riportato: 14 10 2021.] [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Operations/LISA\\_Pathfinder](https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/LISA_Pathfinder).
4. M10 thrust chamber hot firing. [Online] [Riportato: 18 10 2021.] [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2020/02/M10\\_thrust\\_chamber\\_hot\\_firing](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/02/M10_thrust_chamber_hot_firing).

# 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**

**L**a 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 Luna<sup>1</sup>. 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 Marte<sup>2</sup>.

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 extraterrestri<sup>3</sup>. 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 microgravità<sup>4</sup>. 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](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](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/veggie_fact_sheet_508.pdf)

# Radiazioni e spazio: una facility unica per la ricerca

Le Agenzie Spaziali europee e dei maggiori Paesi industrializzati prevedono per i prossimi anni, la realizzazione di vere e proprie basi lunari permanenti da utilizzare anche come avamposto per missioni di esplorazione spaziale di lunga durata come quelle con destinazione Marte. Per rendere possibile tutto ciò, è necessario conoscere e prevenire gli effetti che l'ambiente spaziale -e le radiazioni di cui è ricco- può provocare sull'uomo e sui dispositivi tecnologici. Queste (e molte altre) attività di ricerca vengono condotte presso Calliope, una facility di irraggiamento gamma collocata presso il Centro Ricerche ENEA Casaccia di Roma [1], che vanta caratteristiche uniche nel panorama italiano ed europeo ed è fra gli impianti più utilizzati per applicazioni in ambito spazio.

DOI 10.12910/EAI2021-087

di Alessia Cemmi, Ilaria Di Sarcina, Carino Ferrante, Giuseppe Ferrara, Francesco Filippi, Fabio Panza, Jessica Scifo e Adriano Verna - *Laboratorio Sistemi Nucleari Innovativi*

**L**o spazio non è caratterizzato solo da assenza di ossigeno, da temperature molto basse o estremamente elevate, ma anche dalla presenza di radiazioni di origine cosmica e solare di diversa natura, sia cariche che neutre (raggi gamma, elettroni, raggi X, neutroni, ioni pesanti, protoni...). Sono proprio le radiazioni a rappresentare uno degli ostacoli più complessi da superare per l'esplorazione dell'Universo da parte dell'uomo. Queste infatti sono in grado di provocare sensibili modifiche e danneggiamenti sia nei sistemi biologici che nei materiali e nei dispositivi tecnologici impiegati nelle missioni spaziali di breve e lunga durata.

## Ricreare a terra le radiazioni spaziali: il Programma ASIF

Proprio nell'ottica di evitare problematiche legate alla salute degli astronauti ed al malfunzionamento degli apparati

elettronici, ottici e meccanici, è di fondamentale importanza la possibilità di eseguire a Terra qualifiche e test di resistenza a radiazione in impianti in grado di simulare l'ambiente spaziale. È proprio in questo ambito che l'Agenzia Spaziale Italiana ASI, a partire dal 2016, ha sviluppato il Programma ASIF (*ASI Supported Irradiation Facilities*) con la finalità di costituire un network coordinato e operativo di primo livello delle facilities di irraggiamento italiane a servizio della comunità spaziale nazionale ed internazionale, secondo i requisiti e standard di riferimento dall'Agenzia Spaziale Europea. Questo processo vede attualmente coinvolti impianti e laboratori di eccellenza di ENEA, INFN e Università degli Studi di Milano Bicocca: tramite l'istituzione di un portale interattivo (ASIF gateway), gli utenti istituzionali, industriali e del mondo della ricerca potranno fruire

di una serie di servizi di irraggiamento con radiazioni di diversa tipologia. Per quanto riguarda l'ENEA, il programma vede coinvolti gli impianti di irraggiamento del Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare - FSN (Calliope, Frascati Neutron Generator, i reattori nucleari Triga e Tapiro e gli acceleratori Top-Implart e Rex).

Da molti anni la facility di irraggiamento gamma Calliope, con caratteristiche uniche nel panorama italiano ed europeo, opera nel Centro Ricerche ENEA Casaccia (Roma) nel campo della qualifica e dello studio della resistenza a radiazioni di materiali e sistemi biologici per ambienti ostili (Spazio, nucleare, fisica delle alte energie) [2]. La facility è costituita da un impianto di irraggiamento a piscina con sorgente di Cobalto-60 (energia media di 1,25 MeV, attività massima di  $3.7 \times 10^{15}$  Bq, intensità



Fig. 1 Nell'immagine è visibile la piscina dell'Impianto Calliope e, sul fondo, la rastrelliera portasorgenti con le 25 barre di Cobalto-60. La luce azzurra è prodotta dalla ionizzazione dell'acqua vicino alle sorgenti (effetto Cherenkov)

di dose massima di 8 kGy/h) e da una cella di irraggiamento di grandi dimensioni, ma anche da un laboratorio dosimetrico e di caratterizzazione per lo studio delle modifiche provocate dai raggi gamma su materiali e dispositivi. Per simulare al meglio condizioni ambientali differenti da quelle terrestri si possono condurre test di irraggiamento in vuoto o in atmosfera inerte, a basse o ad alte temperature, oppure prove sotto tensione. Per studiare le condizioni di irraggiamento, il personale del laboratorio ha sviluppato anche modelli di simulazione basati su codici Monte Carlo validati attraverso numerosi dati sperimentali dosimetrici ottenuti all'interno della camera di irraggiamento.

Per queste sue caratteristiche, la facility Calliope è uno degli impianti più utilizzati per le applicazioni in ambito spazio. Tra gli aspetti più importanti dal punto di vista industriale bisogna senza dubbio considerare i test di qualifica dei componenti e sistemi elettronici. **Qualsiasi disposi-**

**tivo, sensore, memoria o microchip che viene inviato nello spazio deve possedere un grado di affidabilità estremamente elevato ed assenza di difetti in modo da non compromettere l'esito della missione cui è destinato.** A tal fine questi sistemi devono rispondere a stringenti standard e normative specifiche e devono essere opportunamente validati dalle campagne sperimentali di qualifica a terra. Le stesse problematiche valgono per componenti ottici quali lenti, specchi, dispositivi multistrato che possono andare incontro a perdita di trasparenza o a fenomeni di opacizzazione se esposti a radiazione: questo sarebbe deleterio in satelliti o telescopi [3, 4]. Altri materiali di grande utilizzo in questo ambiente estremo sono i polimeri, impiegati come fibre per la realizzazione delle tute degli astronauti, nei compositi per materiali strutturali (molto leggeri e meccanicamente resistenti), nella realizzazione di film e tessuti, oppure come adesivi e collanti nei

dispositivi optoelettronici. I test di irraggiamento in questo caso sono volti a verificarne il mantenimento delle caratteristiche per evitare fenomeni indesiderati di infragilimento o degradazione. In questo ambito, la facility Calliope, in collaborazione con altri laboratori ENEA, partecipa allo studio del comportamento di fluidi sintetici refrigeranti più sicuri ed affidabili rispetto a quelli attualmente utilizzati sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS).

#### **Packaging alimentari, protezioni cosmiche e 'mattoni' spaziali**

Un'altra applicazione di grande interesse riguarda lo sviluppo di packaging alimentari edibili realizzati a partire da sostanze naturali: in tal modo si otterrebbe il duplice risultato di un maggiore apporto nutrizionale alla dieta degli astronauti e di una sostanziale riduzione di rifiuti, importante problematica legata alle lunghe permanenze dell'uomo nello

## Spazio o sulla ISS [5].

Come accennato in precedenza, un altro aspetto molto interessante è rappresentato dalla realizzazione di **protezioni dalle radiazioni cosmiche**. In tal modo, la creazione di avamposti lunari e successive missioni verso Marte o verso zone dell'Universo ancora più remote potrebbero davvero tradursi in realtà in quanto diventerebbero più sicure per la salute degli astronauti. **Sono attualmente allo studio, in collaborazione con l'Università della Tuscia, le proprietà schermanti delle regoliti lunari e marziane, polveri di varia composizione chimica che costituiscono gli strati più superficiali di questi corpi celesti. Dai primi promettenti risultati, si potrebbe pensare di utilizzare queste risorse già presenti nello spazio per produrre veri e propri mattoni per edilizia.** Si avrebbe quindi un valore aggiunto legato al concetto di In Situ Resource Utilization (ISRU), sempre più richiesto dalle Agenzie Spaziali internazionali, che porterebbe ad un enorme risparmio economico evitando l'invio di materiale dalla terra. La facility Calliope inoltre collabora con vari Laboratori ENEA del Dipar-

timento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali - SSPT nell'ambito dell'*agrospace*, in particolare per studiare **gli effetti delle radiazioni spaziali sulle piante**. Attualmente sono due i progetti principali in cui è coinvolto l'impianto: Greencube e HortSpace.

Entrambi i progetti riguardano l'integrazione della dieta degli astronauti con verdure fresche da far crescere direttamente nello Spazio. Con Greencube si stanno effettuando, per la prima volta, test in vivo degli effetti della radiazione gamma sulla pianta di crescita (*Lepidium sativum*). Il progetto HortSpace invece è volto allo sviluppo di piattaforme in cui i vegetali vengono arricchiti con sostanze nutraceutiche. In questo caso l'utilizzo della radiazione gamma consente di simulare condizioni ambientali estreme, studiare gli effetti biologici sui parametri fisiologici e morfologici delle piante e sul loro ciclo di crescita oltre che effettuare test sulle capacità antiossidanti delle piante stesse.

Infine, avete mai pensato che alcuni microrganismi possono sopravvivere non solo nelle zone più estreme del nostro pianeta (temperature e acidità

elevate, presenza di sali e metalli pesanti) ma anche nello spazio? È questo un aspetto di grande interesse per l'astrobiologia, la disciplina che studia la possibilità di esistenza di forme viventi su altri pianeti. **È proprio questo il contesto in cui, in collaborazione con l'Università della Tuscia e con l'Università di Roma La Sapienza, si studiano le capacità di sopravvivenza di microrganismi sottoposti ad irraggiamento.** In particolare, la prima collaborazione riguarda il *Cryomyces antarcticus*, detto banalmente fungo nero, presente nelle rocce antartiche. Questo fungo è molto ricco di melanina e la sua presenza lo rende così resistente alle radiazioni da poter pensare ad un suo utilizzo come materiale schermante; la seconda collaborazione ha invece come oggetto un particolare ceppo batterico che, in presenza di materiale sabbioso ed urea, è in grado di produrre un vero e proprio bio-cemento. Anche in questo caso quindi sarebbe possibile utilizzare risorse già in situ in caso di presenza umana.

*Per info: [alessia.cemmi@enea.it](mailto:alessia.cemmi@enea.it)*

## BIBLIOGRAFIA

1. S. Baccaro, A. Cemmi, I. Di Sarcina, G. Ferrara (2019), Gamma irradiation Calliope facility at ENEA – Casaccia Research Centre (Rome, Italy), ENEA Technical Report RT/2019/4/ENEA.
2. S. Baccaro, A. Cemmi, I. Di Sarcina (2019), Calliope 60Co gamma irradiation facility for space qualification at ENEA-Casaccia research centre (Rome), Phys Astron Int J. 3(2):94-100. DOI: 10.15406/paij.2019.03.00164.
3. A.J. Corso, E. Tassarolo, S. Baccaro, A. Cemmi, I. Di Sarcina, D. Magrin, F. Borsa, R. Ragazzoni, V. Viotto, A. Novi, M. Burrese, F. Pellowski, M. Salatti, I. Pagano, M. G. Pelizzo (2018), Rad-hard properties of the optical glass adopted for the PLATO space telescope refractive components, Optics Express, Vol. 26, Issue 26, pp. 33841-33855; DOI: 10.1364/OE.26.033841.
4. S. Baccaro, A. Cemmi (2016), Optical characterization of ion-doped crystalline and glassy matrices operating under hostile environmental conditions, J. Phys: Conf. Series 763 (2016) 012001; DOI: 10.1088/1742-6596/763/1/012001.
5. S. Baccaro, O. Bal, A. Cemmi, I. Di Sarcina (2018), The Effect of Gamma Irradiation on Rice Protein Aqueous Solution, Rad. Phys. Chem., 146, pp. 1-4; DOI: 10.1016/j.radphyschem.2018.01.011.

# Il ruolo dei reattori di ricerca ENEA per l'aerospazio

Nello scenario delle infrastrutture per la ricerca nazionali e internazionali, i reattori di ricerca TRIGA RC1 e RSV TAPIRO rappresentano una sorgente molto importante di neutroni e di radiazione gamma e sono stati ampiamente utilizzati per irraggiamenti di componenti elettronici nel campo dell'aerospazio. A seguito dell'Accordo di Collaborazione ASIF (ASI Supported Irradiation Facilities) firmato nel 2017 da ASI, ENEA ed INFN per definire un programma comune di analisi del danneggiamento di componenti elettronici, utilizzando fasci di neutroni e raggi gamma, i reattori nucleari ENEA sono tra le installazioni presenti nel progetto e sono stati qualificati come facility supportate da ASI.

DOI 10.12910/EAI2021-088

di Luca Falconi e Alfonso Santagata - *Laboratorio Reattori Nucleari di Ricerca - Reattori Nucleari di Ricerca TRIGA RC-1 e RSV TAPIRO (\*)*

L'industria è fortemente coinvolta nella progettazione e realizzazione di vettori per impegnative missioni aerospaziali che richiedono grande autonomia energetica, sistemi di navigazione e sofisticate apparecchiature per l'esecuzione di esperimenti scientifici e tecnologici. In generale, nel corso di queste missioni, sia i sistemi per la generazione di energia che tutta la strumentazione presente a bordo sono soggetti a interazioni con campi di particelle ad alta energia presenti nei diversi strati attraversati durante il volo orbitale o interplanetario. Queste particelle cariche 'intrappolate' nelle fasce generate dal campo magnetico terrestre, rappresentano un problema concreto per la componentistica di questi apparati, più che il vento solare e la radiazione cosmica.

Le missioni spaziali hanno durate sempre maggiori e per questo motivo occorre verificare l'entità del danno che può accumularsi nel tempo, per effetto di una somma di eventi. Inoltre potrebbe aumentare sensibilmente la probabilità

di interagire con particelle di così elevata energia al punto di poter registrare un danno anche a causa di un singolo evento. Il problema ha un'importanza significativa anche per la progettazione, poiché se la realizzazione di schermi potrebbe in parte ridurre l'entità del problema, di contro essa pone serie limitazioni per l'incremento del peso del vettore che comporta un aumento del fabbisogno energetico. La progettazione degli schermi, deve, inoltre, tener conto del danneggiamento dovuto alle particelle generate dalle reazioni che la radiazione primaria ha con il materiale di cui è costituito lo schermo stesso.

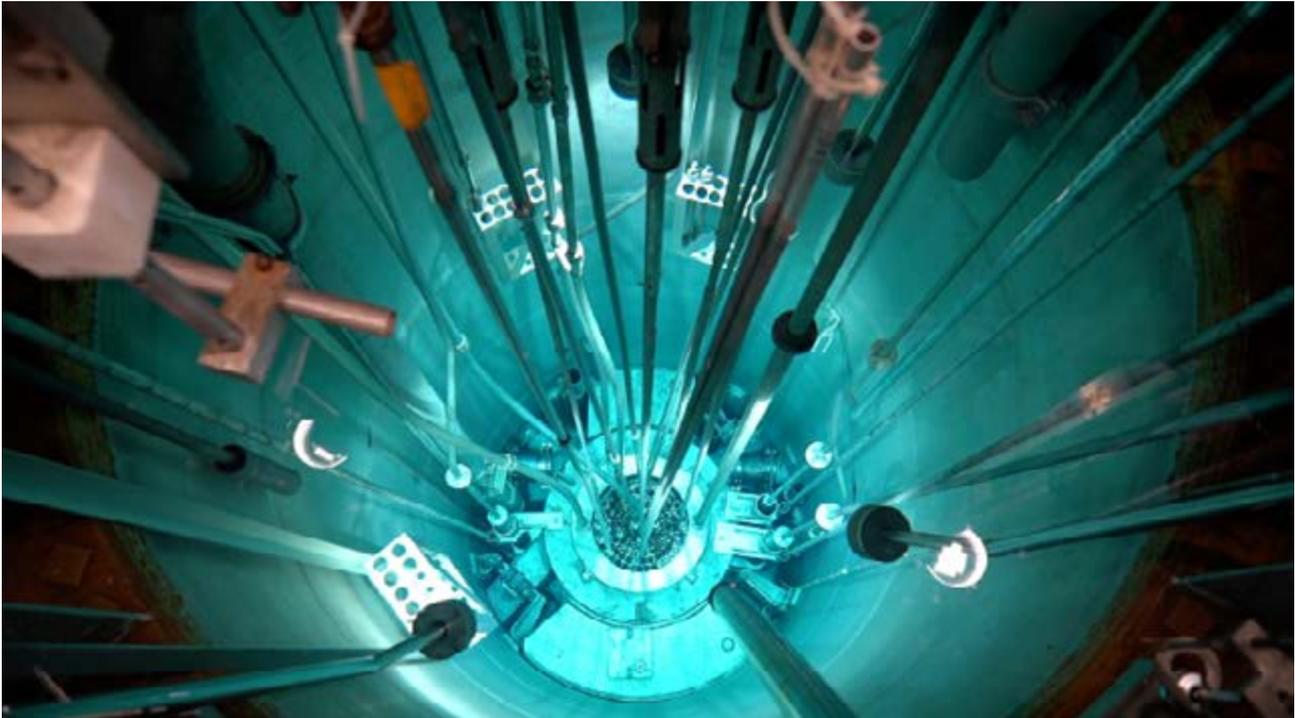
## Prevedere il degrado dei componenti

**La disponibilità di installazioni e di metodologie con cui eseguire irraggiamenti che siano rappresentativi di ciò che può avvenire nei viaggi interplanetari, è un elemento significativo per progettare componenti, inclusa tutta la microelettronica per l'aerospazio, sui**

**quali vengono rilasciate elevate quantità di radiazione cercando di prevederne il degrado nella performance.**

Il danneggiamento di un materiale, nella fattispecie di un semiconduttore, avviene quando l'interazione con un campo di particelle o con raggi gamma è in grado di provocare delle dislocazioni degli atomi della struttura cristallina, oppure la sua ionizzazione o trasmutazione, compromettendone la funzionalità.

Le sorgenti di neutroni, quali i reattori nucleari a fissione, sono capaci di garantire flussi elevati e variabilità nello spettro energetico, con un'energia cinetica media pari a 1 MeV (circa  $1.59 \cdot 10^{-13}$  joule) e un intervallo energetico che va dal campo termico (neutroni con energia di 0.025 eV) a quello veloce (neutroni con energia superiore a 1 keV), e potrebbero essere utilmente impiegate per il danneggiamento di dispositivi a semiconduttore. È un dato consolidato che neutroni di alta energia inducono eventi di dislocazione atomica, contro una bassa ionizzazione totale del materiale. Ciò



Pozzo reattore impianto TRIGA RC-1

significa che le sorgenti di neutroni di interesse potrebbero essere caratterizzate per la determinazione della dose NIEL (Non Ionizing Energy Loss). Nella caratterizzazione di un flusso neutronico si osservano le indicazioni dell'American Society for Testing and Materials (ASMT), per l'identificazione di parametri rappresentativi della capacità di danneggiamento da parte di un campo di particelle. Il primo di questi parametri è il valore del flusso equivalente di neutroni con energia pari a 1 MeV – definito  $\Phi_{\text{eq}1\text{MeV, mat}}$ , cioè il flusso di particelle aventi la stessa energia (neutroni monocromatici) capace di produrre un danno equivalente a quello della radiazione disponibile in una sorgente di neutroni come, per esempio, in un reattore nucleare a fissione. L'interazione tra il materiale e la radiazione incidente è rappresentata dalla funzione di danneggiamento  $F_{D,g}^{(m)}$ , legata al KERMA, ovvero all'energia cinetica trasferita dalle particelle al mezzo, per la quale

è importante conoscerne il valore per l'energia incidente di 1 MeV. Impostando l'equivalenza degli effetti tra la radiazione monocromatica e quella di una distribuzione energetica (spettro), è possibile calcolare  $\phi_{\text{eq}}(r, 1\text{MeV})$ , che è la prima grandezza utile per la caratterizzazione del nostro flusso di neutroni. Un ulteriore indicatore, suggerito dallo standard ASTM, è il parametro di durezza, solitamente indicato con  $H(r)$ , funzione della posizione all'interno del campo stesso. Esso rappresenta il rapporto tra il flusso totale del campo di particelle con un certo spettro energetico e quello di riferimento ed è un indice della capacità di provocare danneggiamento. Entrambi i parametri permettono di confrontare diversi campi di radiazione, come quelli presenti in diversi reattori, in modo da stabilirne un indice di efficacia rispetto alla capacità di indurre danneggiamento su un determinato componente. Presupposto essenziale per la quantificazio-

ne di detti parametri è la conoscenza dettagliata dello spettro neutronico di un determinato campo di radiazione.

### I reattori nucleari di ricerca TRIGA RC1 e RSV TAPIRO

**I reattori nucleari di ricerca dell'E-NEA TRIGA RC1 e RSV TAPIRO dispongono di diversi canali e posizioni di irraggiamento sia in prossimità del nocciolo che in posizioni più distanti. Pertanto, sono in grado di fornire flussi neutronici di energia (spettro) e di intensità variabili.** Il TRIGA RC1 è un reattore termico a piscina dotato di un nocciolo caricato con combustibile a basso arricchimento in  $^{235}\text{U}$ . I flussi neutronici vanno dal campo termico a quello epitermico con una piccola coda veloce, ma essenzialmente il contributo maggiore è fornito dai neutroni con energie nel campo termico. Le posizioni di irraggiamento consen-

tono di avere intensità di flusso fino a  $2 \cdot 10^{13} \text{ ncm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Il reattore RSV TAPIRO è un reattore a spettro veloce, dotato di un nocciolo con  $^{235}\text{U}$  ad alto arricchimento che gli conferiscono caratteristiche uniche dal punto di vista spettrale. In particolare, nella posizione corrispondente al centro del nocciolo, il reattore è in grado di fornire un flusso di neutroni con uno spettro simile a quello di fissione con un'energia media pari a 1MeV e un'intensità pari a  $10^{12} \text{ ncm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Nei vari canali radiali è parimenti in grado di fornire alte intensità accoppiate a uno spettro epitermico. Tale reattore, date le sue caratteristiche, è spesso scelto per l'irraggiamento di componenti elettronici dedicati all'industria aerospaziale. Nel recente passato, è stato utilizzato per irraggiamenti di componenti in silicio destinati all'aerospazio per verificarne la suscettibilità rispetto ad un campo di neutroni, ovvero ne è stato valutato il deterioramento. Sono previsti, entro la fine del 2021, irraggiamenti di vele solari, costituite da Kapton, quest'ultimo eseguito in collaborazione con i colleghi del dipartimento DTE-PCU-IPSE dell'ENEA.

L'utilizzo dei reattori TRIGA RC1 e RSV TAPIRO nel campo dell'aerospazio non costituisce una novità. Nel passato sono stati ampiamente utilizzati per irraggiamenti di componenti elettronici. Recentemente, nel 2017, ASI, ENEA ed INFN hanno firmato un Accordo di Collaborazione, (2017-22-HD.0 ASI-ENEA, 2017-15-HD.0 ASI-INFN), denominato ASIF (ASI Supported Irradiation Facilities) al fine di definire un programma comune per l'analisi del danneggiamento di componenti elettronici utilizzando fasci di neutroni e raggi gamma. I reattori nucleari di ricerca dell'ENEA, insieme al Calliope, FNG, Rex e Top Implart, sono tra le installazioni presenti nel progetto e, quindi, qualificate come **facility supportate da ASI. Il progetto**

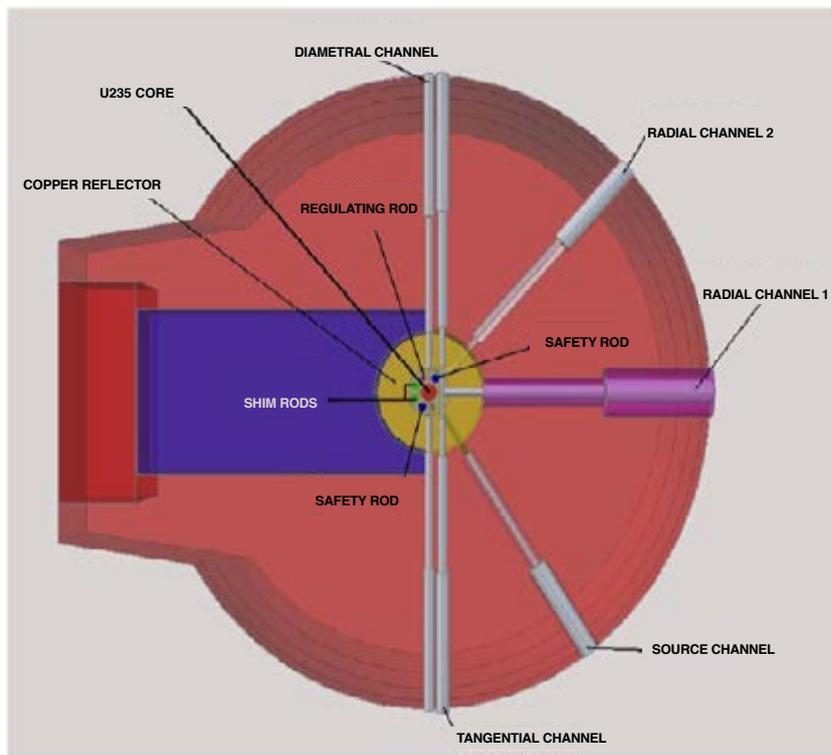
**prevede anche la creazione di un portale, dedicato a tutte le aziende che operano nel settore aerospaziale, che possano avere la necessità di accedere a una delle facility per l'esecuzione di irraggiamenti permettendo ad ogni singolo stakeholder di verificare la disponibilità di tempo macchina.**

### Campagne sperimentali

Nel corso del 2018, il reattore TRIGA RC1 è stato protagonista di diverse campagne sperimentali che hanno permesso la caratterizzazione di due suoi canali di irraggiamento: la LAZY SUSAN, o rastrelliera girevole, e il Canale Centrale. Nelle stesse posizioni sono state realizzati diversi irraggiamenti di dosimetri NIEL. Nel corso del 2022, sempre in ambito ASIF, verrà completata la caratterizzazione dei ca-

**nali sperimentali dei due impianti scelti per gli irraggiamenti di componenti per l'aerospazio.**

Nella fattispecie, entrambi i reattori presentano valori interessanti sia per quanto riguarda il flusso 1MeV equivalente che per il parametro di durezza. E' chiaro che i suddetti parametri presentano valori diversi in funzione del canale sperimentale o della posizione di irraggiamento scelta. D'altro canto, ogni campione caratterizzato da forma, peso e stato di aggregazione che possa differire dagli altri campioni, potrà essere irraggiato solo in alcune posizioni del reattore, sia per ragioni di ingombro che per il rispetto delle prescrizioni tecniche per l'esercizio dell'impianto. Il reattore TRIGA RC1 fornisce il valore massimo per  $\phi_{eq}(r, 1 \text{ MeV})$  pari a  $5 \cdot 10^{17}$  neutroni per  $\text{cm}^2$  in un irraggiamento di 5 ore e un valore corrispondente del parametro di durezza uguale a 0.35.



Sezione orizzontale reattore TAPIRO

Il reattore RSV TAPIRO, date le sue caratteristiche fondamentali, è in grado di assicurare un valore massimo di  $\phi_{0,1}(r,1MeV)$  pari a  $1.14 \cdot 10^{16}$  neutroni per  $cm^2$  in un irraggiamento di 5 ore e corrispondentemente un valore di  $H(r)$  pari a 0.55 [4][5]. Entrambe le facilities rappresentano una sorgente importantissima di neutroni e di radiazione gamma, sia nello scenario delle infrastrutture per la ricerca nazionali che in quello internazionale [1]. Il TRIGA RC1, che offre la massima

**potenza termica di operazione di 1 MW, rappresenta la più grande potenza nucleare installata in Italia e tra le più alte tra tutti i TRIGA europei. Il reattore RSV TAPIRO è unico ed è il solo reattore a spettro veloce presente nell'Europa Occidentale, rappresentando di conseguenza un punto di riferimento irrinunciabile per tutte le realtà che operino nel campo del danneggiamento indotto da radiazione.**

(\*) Barbara Bianchi, Matteo Cesaroni, Valentina Fabrizio, Davide Formenton, Maria Grazia Iorio, Monica Lammardo, Pierpaolo Ricci, Antonino Ratto, Andrea Roberti, Luigi Lepore - ENEA, Laboratorio Reattori Nucleari di Ricerca - Reattori Nucleari di Ricerca TRIGA RC-1 e RSV TAPIRO

Per info: [luca.falconi.1@enea.it](mailto:luca.falconi.1@enea.it)

#### BIBLIOGRAFIA

1. Research Reactors for the Development of Materials and Fuels for Innovative Nuclear Energy Systems, no. NP-T-5.8 in Nuclear Energy Series, International atomic energy agency, Vienna (2017)
2. American Society for Testing and Materials (ASTM), "Standard Practice for Characterizing Neutron Fluence Spectra in Terms of an Equivalent Monoenergetic Neutron Fluence for Radiation-Hardness Testing of Electronics", E722 – 09, August 2009.
3. D.Chiesa et altri Characterization of TRIGA RC-1 neutron irradiation facilities for radiation damage testing Eur. Phys. J. Plus (2020) 135:349 <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-020-00334-7>
4. M.Carta, K.W. Burn, P. Console Camprini, S.Dulla, V.Fabrizio, L.Falconi, P.Ravetto, A.Santagata TAPIRO fast spectrum research reactor for neutron radiation damage analyses - Proceedings of the IGORR Conference (2017)
5. M. Carta, L.Falconi, V.Fabrizio, M.Palomba, E.Santoro "Preliminary study for the utilization of the TRIGA RC-1 research reactor as a facility for radiation damage" - Proceedings of the IGORR Conference (2018)

# La Space Economy tra prospettive di sviluppo nazionali e internazionali

*Nel settore spaziale stiamo assistendo a una crescita molto rapida delle attività economiche e all'ingresso di soggetti e capitali privati. Di fatto, il mondo dello spazio sta cambiando, di conseguenza, stanno cambiando le prospettive, le opportunità ma anche i rischi. Tutto ciò sia a livello internazionale sia per il nostro Paese, che in questo settore ha una tradizione di eccellenza e obiettivi ambiziosi per il futuro.*

DOI 10.12910/EAI2021-089

di Roberta Cosmi - Ufficio Relazioni con i media

**1** 957 l'era spaziale ha inizio! L'Unione Sovietica lancia in orbita lo Sputnik e grazie a questo piccolo satellite compie il primo passo nello spazio. Da allora, il settore ha avuto obiettivi sempre più importanti e ambiziosi come la messa in orbita del primo uomo fino allo sbarco sulla Luna. Le vicende spaziali si sono più volte intrecciate alla fitta rete di dinamiche geopolitiche e la competizione tecnologica e scientifica per il progresso dell'umanità ha virato spesso verso finalità collegate alla sicurezza nazionale per le quali i servizi satellitari hanno avuto una doppia funzione: civile e militare. Dopo Stati Uniti e URSS, nel 1964 fa il suo ingresso nel mondo dello spazio l'Italia con il lancio del satellite San Marco 1 che fa del nostro Paese il terzo in assoluto a entrare nell'era spaziale. Negli anni '60 anche la Cina e l'Europa iniziano a investire ingenti budget nella corsa allo spazio: la collaborazione spaziale europea nasce ufficialmente nel 1962, quando sei paesi - Italia, Belgio, Francia, Germania, Paesi Bassi e Regno Unito, più Australia come membro associato - istituirono l'European Launcher

Development Organisation (Eldo). L'organismo può essere considerato il precursore dell'ESA, l'Agenzia Spaziale Europea, le cui basi costitutive sono state poste nel 1973, anno in cui venne firmato l'accordo che ne stabiliva i principi costitutivi, ratificato nel 1975 a Parigi. Oggi l'ESA è un'organizzazione internazionale con 22 Stati membri.

L'ingresso di questi ulteriori player ha reso necessaria la sottoscrizione di trattati internazionali<sup>1</sup> per regolare i principi guida nel governo delle attività di esplorazione e utilizzazione dello spazio extra-atmosferico.

**La competizione e la cooperazione internazionale sono stati due elementi portanti che hanno condizionato lo sviluppo delle relazioni e delle attività spaziali.** Sebbene la prima abbia sicuramente contraddistinto l'epoca storica della corsa allo spazio e la seconda sia il modello a cui oggi le nazioni si ispirano, le due dimensioni hanno spesso coesistito, alternandosi e intersecandosi secondo le differenti politiche e strategie nazionali.

Attualmente più di venti nazioni al mondo gestiscono satelliti in orbita, ma solo sei, di cui cinque potenze nu-

cleari, dispongono delle competenze tecnologiche missilistiche e di una base sul proprio territorio per effettuare lanci nello spazio.

## La New Space Economy

Il settore spaziale ha goduto per lungo tempo del prevalente sostegno economico istituzionale e le attività spaziali sono cresciute e si sono sviluppate principalmente per l'iniziativa delle agenzie governative (NASA, ESA, Roscosmos). **Sono stati proprio gli investimenti pubblici ad aver spianato la strada all'economia dello spazio;** del resto, i programmi spaziali sono sempre stati impegnativi e costosi a causa dell'alta percentuale di fallimento.

Oggi, tuttavia, assistiamo a un sempre più consistente ingresso di privati nel mondo dello spazio e alla nascita di un comparto tra i più dinamici e promettenti: quello della "new space economy", **un fenomeno che in gran parte coincide con la 'privatizzazione' dello spazio. Inizialmente oggetto di interesse da parte del settore scientifico e militare pubblico, ora è soggetto a un ambizioso intervento di investitori privati e all'ingresso**



del venture capital, grande novità rispetto al passato. Tra gli imprenditori più ambiziosi a livello mondiale vanno ricordati sicuramente Elon Musk, cofondatore e capo di Tesla, SpaceX, Neuralink e fondatore di Space X (lancio di grossi satelliti, con propositi di volo umano), Jeff Bezos proprietario di Amazon e fondatore di Blue Origin (grandi razzi, in prospettiva con equipaggio) e Richard Branson, profeta del turismo spaziale con Virgin Galactic. Ma anche le big four, vale a dire Google, Amazon, Facebook e Apple, stanno investendo sempre di più nel settore.

La “new space economy” comprende svariati settori economici legati all’esplorazione e a tutto ciò che attiene a tecnologie, applicazioni, prodotti e servizi che nascono dall’ambito spaziale e che possono avere diversi impieghi nella vita di tutti i giorni. Generalmente l’economia spaziale viene divisa in tre segmenti: **upstre-**

**am, midstream e downstream.**

Per **upstream** si intende il business “verso lo spazio”: satelliti, manifattura e costruzione di componenti per satelliti, lanciatori e altri velivoli spaziali.

Il **midstream**, invece, è l’insieme di tutte le infrastrutture funzionali a raggiungerlo: piattaforme di lancio, centri di controllo e così via.

Il settore **downstream** include tutte le applicazioni che vengono sviluppate a terra partendo dai dati raccolti dai dispositivi in orbita: elaborazione dei dati stessi, servizi space-based, di telecomunicazioni, di navigazione e di monitoraggio ambientale, di previsione meteo, a supporto dell’agricoltura di precisione, della prevenzione e gestione delle emergenze, del controllo del traffico aereo e automobilistico sino alla potenziale gestione di una pandemia.

È dallo spazio che arrivano i dati per ottenere un posizionamento certo e accurato, tracciare le spedizioni, se-

guire un treno; sono costellazioni di satelliti come Copernicus che ci raccontano il livello di inquinamento in ogni zona del mondo, i flussi di merci, i movimenti dei ghiacciai, le variabili climatiche e svolgono un ruolo sempre più importante nella salvaguardia del pianeta. Ma è vero anche il contrario: è nello spazio che poi tornano tecnologie e innovazioni concepite a terra come stampanti 3D, robotica, innovazioni nei carburanti, microcircuiti e miniaturizzazione<sup>2</sup>.

Il comparto spaziale è ormai un ‘fornitore’ che condiziona fortemente la vita sulla terra. In questo senso rappresenta un asset indispensabile e un’enorme opportunità di crescita e investimento. Secondo le valutazioni di Morgan Stanley<sup>3</sup> e di Merrill Lynch<sup>4</sup>, a livello mondiale il segmento **downstream**, costituito dalle applicazioni innovative e dai servizi avanzati, porterà il settore spaziale a raggiungere un valore fra i 1.000

e i 2.700 miliardi di dollari entro il 2040. Dal report di PwC Space Practice (il network multinazionale che offre servizi professionali di consulenza legale e fiscale e di revisione bilancio alle imprese nel settore dello spazio) “Main Trends & Challenges in the Space Sector”<sup>5</sup> pubblicato nel dicembre 2020, emerge che la maggior parte del fatturato (in media più del 70%) riguarda i servizi nel settore downstream e il 30% in media l’upstream. **A livello europeo, il settore vale circa 370 miliardi di euro l’anno, che diventeranno più di 500 entro il 2030.** L’industria europea oggi dà lavoro a 230 mila persone con un giro d’affari annuo di 2 miliardi di euro<sup>6</sup>.

### L’industria spaziale italiana

L’Italia è uno dei pochi paesi al mondo che può vantare un budget per lo spazio di oltre 1 miliardo di dollari ed è il terzo contributore dell’European Space Agency con 2,3 miliardi di euro dopo Francia e Germania. È anche uno dei pochissimi paesi ad avere una filiera completa su tutto il ciclo, dall’accesso allo spazio alla manifattura, dai servizi per i consumatori ai poli universitari e di ricerca, con un’ottima distribuzione delle atti-

vità su tutto il territorio concentrandosi però principalmente nel Lazio, in Lombardia, Piemonte, Campania e Puglia. Un panorama industriale formato da grandi attori presenti sui mercati internazionali che si è arricchito, negli ultimi anni, con il contributo di piccole e medie imprese, come start-up e spin-off, che insieme rappresentano un eccellente potenziale per la crescita.

Questo tessuto industriale è organizzato in distretti tecnologici e in centri di competenza dell’aerospazio: strumenti di coordinamento, consultazione e riferimento che raccolgono in modo coordinato le migliori esperienze e competenze esistenti sul territorio.

Secondo il documento elaborato dal Ministero dello Sviluppo Economico “*L’industria italiana dello spazio. Ieri, oggi e domani*”<sup>7</sup>, nel settore spazio operano all’incirca 200 aziende con un fatturato annuo di circa 2 miliardi di euro. Dal catalogo pubblicato e aggiornato annualmente dall’ASI sulla filiera industriale che collabora con i progetti dell’Agenzia, comprensivo di startup, PMI e big player e dal documento del Ministero si evince che il comparto spaziale italiano è composto per circa l’80% da picco-

le e medie imprese altamente specializzate nel campo manifatturiero e in diversi ambiti: dai componenti elettronici all’avionica, dall’assemblaggio delle strutture alla creazione di materiali ad hoc, da componenti ingegneristiche a strumentazione ad alta precisione. Circa 50.000 addetti specializzati, su più di 200.000 totali nella filiera, sono impiegati nelle oltre 4.000 aziende che costituiscono l’indotto. La maggior parte di esse, circa il 90%, sono PMI<sup>8</sup>.

Il comparto italiano vanta anche diversi big player e grandi imprese (circa il 17%) riconosciute e affermate internazionalmente, che sviluppano la loro attività in diversi ambiti della filiera, principalmente telecomunicazioni e satellitare. Tra le più grandi troviamo Leonardo SpA, una delle prime dieci aziende mondiali ad alta tecnologia che operano nei settori aerospazio, difesa e sicurezza. Le prime attività spaziali di Leonardo risalgono a metà degli anni ‘60, con la partecipazione ai primi programmi europei; da allora ha progettato e prodotto strumentazione come sistemi ottici, pannelli fotovoltaici, sistemi di controllo e dispositivi robotici. Negli ultimi anni ha collaborato alle più importanti missioni spaziali europee

### Le risorse per lo spazio nel PNRR

Nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza per lo spazio sono previsti 1,29 miliardi di euro per tecnologie satellitari ed economia spaziale, nell’ambito della missione “Digitalizzazione, innovazione, competitività e cultura” a cui sono destinati complessivamente 40,73 mld di euro. “Allo spazio - si legge nel PNRR - è ormai ampiamente riconosciuto il ruolo di attività strategica per lo sviluppo economico, sia per il potenziale impulso che può dare al progresso tecnologico e ai grandi temi di ‘transizione’ dei sistemi economici (ad es. anticipazione delle implicazioni del cambio climatico tramite l’osservazione satellitare), sia per la naturale scala continentale/europea che ne contraddistingue l’ambito di azione e di coordinamento degli investimenti. Analizzando il contesto di mercato globale e le caratteristiche dell’industria spaziale italiana è stato prodotto un Piano Nazionale volto a potenziare i sistemi di osservazione della terra per il monitoraggio dei territori e dello spazio extra atmosferico e a rafforzare le competenze nazionali nella space economy. Il Piano Nazionale include diverse linee d’azione: SatCom, Osservazione della Terra, Space Factory, Accesso allo Spazio, In-Orbit Economy, Downstream. Le risorse stanziare dal PNRR copriranno una quota degli investimenti definiti per queste linee di intervento”.

quali Rosetta, ExoMars, Galileo, Copernicus, Cosmo-SkyMed, Meteo-Sat. Al secondo posto **Thales Alenia Space**, l'azienda italo-francese tra le più grandi in ambito aerospaziale in Italia, poi **Avio Aero**, **Engineering Ingegneria Informatica**, **Telespazio**, **e-GEOS SpA**, **Avio SpA**, **Exprivia SpA**, per citarne alcune.

A livello nazionale i settori cardine che negli ultimi anni hanno capitalizzato il successo dello Stato nello spazio sono: l'osservazione della terra, in particolare con il programma **Cosmo SkyMed** (con la seconda generazione di satelliti da poco pienamente operativa), l'esplorazione spaziale e la ricerca con un sempre maggiore livello di tecnologia e innovazione, anche a livello ingegneristico.

### Il Piano Strategico Space economy dell'Italia e il ruolo del PNRR

Nel 2016 l'Italia si è dotata di un "Piano Strategico Space Economy" - parzialmente confluito, come "Piano a Stralcio Space Economy", nel Piano Imprese e Competitività Fsc - che prevedeva un investimento paese di circa 4,7 miliardi di euro, di cui circa il 50% finanziato con risorse pubbliche, tra nazionali e regionali, aggiuntive rispetto a quelle ordinariamente destinate alle politiche spaziali. (<https://www.mise.gov.it/index.php/it/>

impresa/competitivita-e-nuove-imprese/space-economy).

Il Piano si articolava in cinque linee programmatiche, in linea con le iniziative condotte a livello europeo e con l'obiettivo di valorizzare al massimo le ricadute a livello nazionale

- Telecomunicazioni satellitari (Mirror GovSatCom)
- Supporto alla partecipazione nazionale a Galileo (Mirror Galileo)
- Infrastruttura Galileo Prs
- Supporto a Copernicus (Mirror Copernicus)
- Esplorazione spaziale e sviluppi tecnologici connessi

Adesso, con il **Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza**, il settore spaziale si candida a rappresentare uno dei volani di maggiore potenziale e impatto per la ripresa e crescita del nostro Paese nel breve e medio periodo. Il Piano Nazionale prevede investimenti per 1,29 miliardi per "potenziare i sistemi di osservazione della terra per il monitoraggio dei territori e dello spazio extra-atmosferico e per rafforzare le competenze nazionali nella space economy". A ciò si aggiungono i 2 miliardi di investimenti approvati dal Comint, il Comitato interministeriale per lo spazio. Più in generale, secondo il ministro per l'Innovazione Tecnologica e la Transizio-

ne Digitale con delega allo Spazio e all'Aerospazio, Vittorio Colao "la Space Economy genera investimenti pari a 447 miliardi di dollari: il settore è cresciuto del 4,4% nel 2020 e ci aspettiamo che arrivi a 1 trilione di dollari nei prossimi dieci anni. Le tecnologie spaziali devono essere considerate dal governo un asset fondamentale che può aiutare la società in molti ambiti e a mitigare gli effetti della pandemia. Inoltre, possono essere usate per colmare il gap digitale e contribuire alla sfida del cambiamento climatico".

### Rischi e opportunità

Se l'economia dello spazio sta registrando una crescita senza precedenti, gli esperti sottolineano l'importanza di non sottovalutare le criticità emergenti e, in particolare, le problematiche che possono ostacolare lo sviluppo. Tra le luci, si allungano in particolare due ombre: quella legata al **capitale** e quella relativa alla **sicurezza**. Quest'ultima a sua volta comprende due aspetti.

La privatizzazione dello spazio apre la strada a **sciame di migliaia di satelliti anche piccolissimi** che destano preoccupazione sia per il pericolo di impatti sia per il rischio di creare nuovi pericolosi detriti spaziali. Inoltre, potrebbero compromettere il corretto funzionamento dei sistemi satellitari da cui dipendono numerose attività della nostra vita quotidiana. Per questo da molte parti si chiede una regolamentazione internazionale che tenga conto dei cinquant'anni trascorsi dal Trattato sullo spazio extra-atmosferico del 1967.

Vi è poi il rischio di **attacchi informatici**, tenuto conto che oggi l'infrastruttura spaziale ha più punti di accesso: reti aziendali, satelliti in orbita, stazioni di comunicazione e qualsiasi sistema si connetta alla rete per sfruttarne i servizi. Tra le minacce più diffuse, c'è il cosiddetto "**jamming**", azione di disturbo che compromette la qualità del servizio fino ad annull-



larlo (come, per esempio, nel settore delle telecomunicazioni via satellite per le trasmissioni televisive) o l'ancor più pericoloso "spoofing", un tipo di attacco informatico basato sulla falsificazione dell'identità.

Quasi tutte queste attività fraudolente hanno come target principale i dati e le informazioni sensibili. Riuscire a spiare altre nazioni oltre l'atmosfera terrestre significa trarre vantaggi concorrenziali in un settore cruciale anche a livello industriale, riuscendo a carpire informazioni importanti per la sicurezza collettiva. I sabotaggi a strutture e infrastrutture di interesse nazionale, il furto di proprietà intellettuali inerenti tecnologie spaziali, la violazione dei segreti industriali e militari sono, purtroppo, di estrema attualità. A dimostrare la consisten-

**za e la criticità di questo scenario, è il documento pubblicato nel febbraio 2021 dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri e dal Sistema di Informazione per la Sicurezza della Repubblica che analizza le minacce geopolitiche e geostrategiche del Paese, con particolare riferimento alla cybersecurity e alla sicurezza dell'informazione.**

La seconda zona d'ombra è legata al capitale. L'elevato costo di investimento e il rischio di un ritorno economico troppo basso nel medio periodo potrebbe spingere a un utilizzo dello spazio prevalentemente per finalità militari. Di qui la necessità per le imprese di adeguare continuamente l'offerta alla domanda, e questo è possibile solo attraverso competitività e innovazione, filiere integrate ed

efficienti, che si informino al principio di "open innovation" dove la collaborazione è aperta a tutti gli attori in grado di dare il loro contributo, con opportunità anche per le imprese più piccole.

Infine, un fattore-chiave per mantenere e rafforzare la competitività nel settore spaziale, è la costante ricerca dell'innovazione, attraverso iniziative di ricerca e sviluppo, attività a sostegno del trasferimento tecnologico e di conoscenze tecnico-scientifiche verso e tra i grandi player, le PMI, le università e i centri di ricerca, ma anche con azioni a supporto delle start-up, nonché alla promozione di investimenti aggiuntivi, pubblici e privati, che agiscano come effetto-leva.

*Per info: roberta.cosmi@enea.it*

1. "Trattato sui principi che regolano le attività degli Stati nell'esplorazione e nell'uso dello spazio extra-atmosferico, compresi la Luna e gli altri corpi celesti" del 10 ottobre 1967
2. Prefazione "L'industria italiana dello Spazio. Ieri, oggi e domani" <https://www.mise.gov.it/index.php/it/per-i-media/pubblicazioni/2041575-l-industria-italiana-dello-spazio-ieri-oggi-e-domani>
3. 1 Morgan Stanley, (2017). Space: Investing in the Final Frontier. Research [website]. Accessed May 2018. <https://www.morganstanley.com/ideas/investing-in-space>.
4. 2 Tran F., Nahal S., Ma B., Epstein R. and Heelan B., (2017). To Infinity And Beyond – Global Space Primer. Thematic Investing, Bank of America Merrill Lynch.
5. <https://www.pwc.fr/fr/assets/files/pdf/2020/12/en-france-pwc-main-trends-and-challenges-in-the-space-sector.pdf>
6. "L'industria italiana dello Spazio. Ieri, oggi e domani" – Ministero dello Sviluppo Economico
7. <https://www.mise.gov.it/index.php/it/per-i-media/pubblicazioni/2041575-l-industria-italiana-dello-spazio-ieri-oggi-e-domani>
8. (Fonte: Federazione delle Aziende Italiane per l'Aerospazio, la Difesa e la Sicurezza - AIAD/ICE Agenzia)

# Il laboratorio “*Eccimeri*” per test sui materiali spaziali

Il laboratorio “*Eccimeri*” del Centro di Ricerche ENEA di Frascati ha sviluppato sin dal 1980 competenze nella realizzazione, sviluppo e caratterizzazione di sorgenti di radiazione ultravioletta (UV) e nell'estremo ultravioletto, sia coerenti (Laser) sia non coerenti. In quest'ambito, di recente è stato progettato e realizzato un apparato di irraggiamento UV, già sperimentato con successo per test di resistenza alle radiazioni solari fuori dall'atmosfera terrestre su materiali da usare anche in applicazioni spaziali.

DOI 10.12910/EAI2021-090

di Paolo Di Lazzaro, Daniele Murra, Luca Mezi, Sarah Bollanti e Francesco Flora - *Laboratorio sorgenti diagnostiche e interazioni laser materia*

**N**el Centro ENEA di Frascati il laboratorio “*Eccimeri*” ha sviluppato sin dal 1980 competenze nella realizzazione, sviluppo e caratterizzazione di sorgenti di radiazione ultravioletta (UV) e nell'estremo ultravioletto (EUV), sia coerenti (Laser) sia non coerenti [1]. Tali sorgenti di radiazione sono state utilizzate in molti campi, dalla realizzazione di transistori a film sottile alla sverniciatura controllata di graffiti su materiali metallici, plastiche e pietre, dalla modifica delle proprietà chimiche della superficie di materiali elettronici e tessuti alla micro-litografia EUV di ultima generazione, dalla sanificazione di superfici alla scrittura invisibile su film sottili dielettrici per anticounterfeiting. Recentemente, il laboratorio *Eccimeri* ha progettato e realizzato un apparato di irraggiamento UV per test di resistenza di materiali da usare in applicazioni spaziali, mostrato nella figura 1.

La sorgente di radiazione UV è co-

stituita da una lampada a vapori di mercurio a media pressione alimentata da una scarica elettrica da 500 W. Il “cuore” della lampada consiste in un bulbo cilindrico posto nel fuoco di un riflettore parabolico di

alluminio e in una sottile finestra di quarzo a protezione del bulbo. Le prestazioni della lampada sono state caratterizzate in termini di spettro di emissione e distribuzione spaziale dell'intensità UV al variare della di-

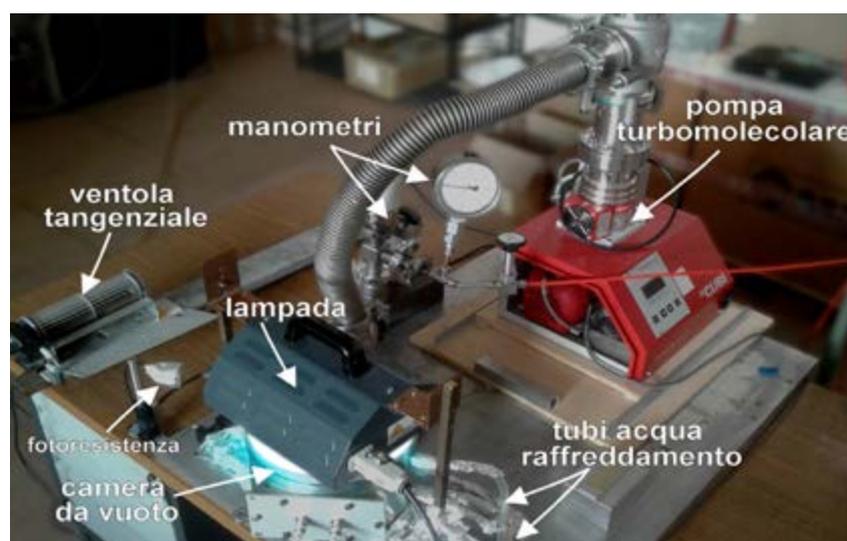


Fig. 1 Apparato di irraggiamento UV per test di resistenza di materiali per lo Spazio

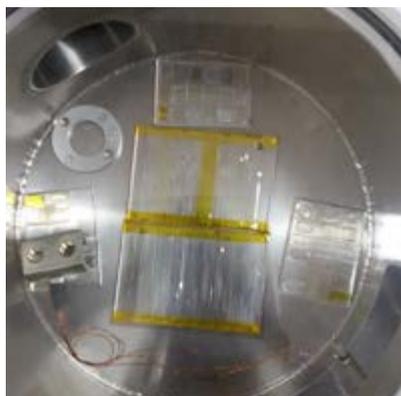


Fig. 2 Pellicole di diversi materiali per rivestimento OSR posizionate nella camera da vuoto prima di iniziare l'irraggiamento UV in atmosfera controllata

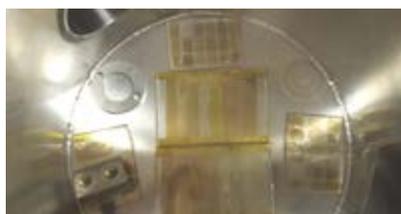


Fig. 3 Le stesse pellicole della figura 2 al termine delle 300 esh di irraggiamento UV in atmosfera controllata

stanza dal bulbo. La lampada è raffreddata da una ventola tangenziale esterna ed è posizionata sopra una camera cilindrica da vuoto, di diametro 18 cm e profondità 12 cm, avente una camicia esterna raffreddata ad acqua. La camera da vuoto è chiusa da una finestra di quarzo che consente una trasmissione del 90% della radiazione UV. I campioni da irraggiare sono posti nella camera che può essere riempita di gas inerte allo scopo di evitare l'ossidazione dei campioni e di trasferire il calore all'intera superficie delle pareti della camera, in modo da limitare a 40 °C la temperatura massima dei campioni, anche per irraggiamenti di lunga durata. La pressione nella camera, l'emissione nell'UV e nel visibile e la temperatura dei campioni sono costantemente monitorati 24/24, 7/7 da un sistema di controllo e acquisizione dati gestito da un *data-*

*logger* dedicato, basato su una scheda Arduino. Il sistema di acquisizione dati è monitorato e gestito da remoto durante l'intera durata dell'irraggiamento.

### I progetti Nano Hybrid Transparent Materials e FIRST-FLEX

L'apparato è in grado di irraggiare i campioni in continua, con controllo in tempo reale della dose rilasciata (energia per unità di superficie) e delle sue eventuali variazioni nel periodo di irraggiamento. Il sistema è stato provato fino a 42 giorni consecutivi, 24/24.

Dalle misure effettuate, il fattore di aumento dell'irradianza emessa dal nostro apparato di irraggiamento nella finestra spettrale UV (200 – 400 nm), rispetto al naturale irraggiamento solare fuori dall'atmosfera terrestre, è pari a 5X, corrispondente a 60 mW/cm<sup>2</sup>. I test di resistenza alla radiazione UV sono stati effettuati in atmosfera inerte nell'ambito dei seguenti progetti:

- **progetto Nano Hybrid Transparent Materials** [2], che si propone di realizzare materiali poliimmide nano-ibridi trasparenti (cioè a bassa assorbanza di luce solare) adatti all'uso come substrati per i Second Surface Mirrors nei telescopi spaziali [3]. I test di resistenza dei materiali sono stati effettuati irrag-

giando una dose complessiva UV pari a 3.000 ore solari equivalenti (equivalent sun hours, esh);

- **progetto FIRST-FLEX** mirante a sviluppare un nuovo tipo di riflettori solari ottici, gli Optical Sun Reflectors (OSR). Si tratta di elementi termici passivi che svolgono un ruolo cruciale nella progettazione termica di un veicolo spaziale. Gli OSR sono infatti usati per migliorare la capacità di smaltimento del calore dei radiatori esterni e per ridurre l'assorbimento del flusso solare. In questo ambito, il nostro apparato è stato usato per irradiare un nuovo tipo di rivestimento inorganico depositato sulla superficie flessibile (metallica o polimerica) degli OSR con radiazioni UV con una dose complessiva pari a 300 esh [4] secondo gli standard ECSS / ESA pertinenti [5, 6].

A titolo di esempio, nelle figure 2 e 3 mostriamo alcuni rivestimenti candidati per gli OSR prima e dopo l'irraggiamento.

In altro ambito, allo scopo di rilevare gli effetti sinergici tra UV e ossigeno atmosferico nel processo di degradazione dei materiali, abbiamo irraggiato alcuni campioni in aria, senza la camera da vuoto, come mostrato nella figura 4.

È allo studio un perfezionamento del sistema che prevede di sostituire la

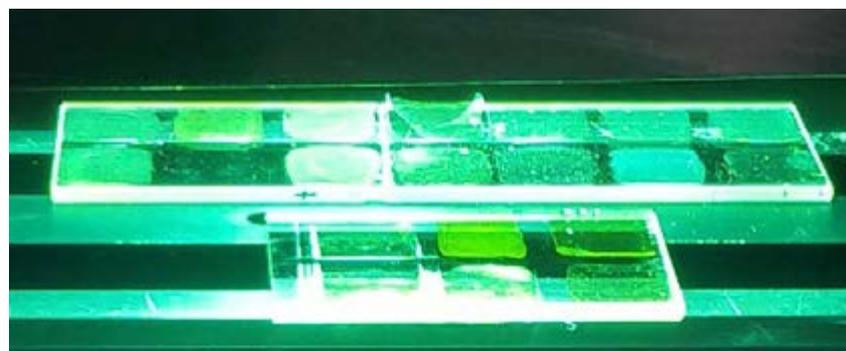


Fig. 4 Pellicole di poliimmide depositate su quarzo fotografate alla ventesima ora di irraggiamento UV in aria (dose corrispondente a 100 esh)

lampada a mercurio con una matrice di LED UV in modo da riprodurre più fedelmente lo spettro solare nel range spettrale 200 nm – 400 nm, e limitare gli effetti termici per consentire irraggiamenti in vuoto, oltre che in atmosfera controllata. Riassumendo, l'impianto di irraggia-

mento UV sviluppato presso il laboratorio Eccimeri del Centro ENEA di Frascati può sperimentare su qualsiasi materiale e in condizioni controllate gli effetti dell'irraggiamento UV che il sole rilascia, fuori dall'atmosfera terrestre, in un periodo di tempo cinque volte maggiore rispetto al test.

L'impianto è già stato sperimentato con successo su vari campioni, ed abbiamo in programma un upgrading per riprodurre ancora più fedelmente lo spettro solare nell'intervallo spettrale 200 nm – 400 nm.

*Per info: [paolo.dilazzaro@enea.it](mailto:paolo.dilazzaro@enea.it)*

#### BIBLIOGRAFIA

1. P. Di Lazzaro, R. De Angelis, G.P. Gallerano, A. Doria: "Tutti i 'colori' dell'ENEA" Energia, Ambiente e Innovazione, n. 6, pagg. 38-54 (2015). DOI: 10.12910/EAI2015-092 <http://www.enea.it/it/seguici/pubblicazioni/pdf-eai/n-6-novembre-dicembre-2015/tutti-i-colori-enea.pdf>
2. P. Di Lazzaro, D. Murra, S. Bollanti, F. Flora, L. Mezi, T. Kaplanoğlu, B. Alpat: "Test di substrati per telescopi spaziali: irraggiamenti nell'ultravioletto di film poliimmide in aria, vuoto e atmosfera controllata" RT/2017/9/ENEA (2017). <https://iris.enea.it/retrieve/handle/10840/8534/526/RT-2017-09-ENEA.pdf>
3. V. Liedtke, L. Bača, N. Stelzer, J. Eck, D. Lavielle, T. Rohr: "Development of nano-hybrid transparent polymer film" Proceedings of the 13th International Symposium on Materials in the Space Environment (At Pau, France, 2015)
4. B. Alpat, M. Gulgun, G. Çorapcioglu, M. Yildizhan, P. Di Lazzaro, D. Murra, et al.: "Testing of substrates for flexible optical solar reflectors: irradiations of nano-hybrid coatings of polyimide films with 20 keV electrons and with 200-400 nm ultraviolet radiation" Journal of Instrumentation, vol. 14, T06003 (2019). DOI <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/14/06/T06003/pdf>
5. Vedi le regole standard in ECSS-Q-ST-70-06C – Particle and UV radiation testing for space materials, available at <http://ecss.nl/standard/ecss-q-st-70-06c-particle-and-uv-radiation-testing-for-space-materials/>
6. Vedi le regole standard in ECSS-E-ST-20-06C – Spacecraft charging available at <https://ecss.nl/standard/ecss-e-st-20-06c-rev-1-spacecraft-charging-15-may-2019/>

# Il Frascati Neutron Generator e i test di resistenza a radiazione

Sempre più attività e servizi anche in ambito di R&S fanno uso di osservazioni da satelliti. Garantire l'affidabilità di questi sistemi progettandoli con test di resistenza è quindi di grande importanza, in particolare per quelli elettronici che possono subire gravi malfunzionamenti per effetto della radiazione cosmica. Presso il Centro ricerche di Frascati, ENEA dispone del Frascati Neutron Generator, una facility unica nel panorama internazionale in grado di svolgere questi test.

DOI 10.12910/EAI2021-091

di Salvatore Fiore - *Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare*

**U**n numero crescente di attività e servizi fanno oggi un uso imprescindibile di satelliti in orbite terrestri. Ricerca e sviluppo in ambiti scientifici, tecnologici, medici, si basano spesso su esperimenti e missioni esplorative svolti nello spazio e osservazioni da satellite. Garantire l'affidabilità di questi sistemi, sempre più numerosi e complessi dal punto di vista tecnologico, nello spazio presenta una difficoltà in più, in particolare per i sistemi elettronici. Questa difficoltà deriva da un fenomeno emerso in tempi recenti, difficile da immaginare prima che se ne vedessero i primi effetti.

Nel 2008, un Airbus 330 della compagnia Qantas entrò improvvisamente in picchiata senza motivo apparente. Fortunatamente non ci furono vittime. La causa fu rintracciata in un errore dell'unità di gestione dei dati inerziali, nella quale il dato sull'altitudine era stato scambiato improvvisamente con quello dell'angolo di attacco dell'aereo. Nel 2003, durante uno spoglio elettorale in Belgio con un sistema di voto elettronico, si ve-

rificò un'insolita incongruenza: una candidata aveva avuto più preferenze personali rispetto a quelle del suo partito, impossibile secondo le regole elettorali in vigore. La differenza era 4096 voti in più: ovvero 2 elevato alla 12. Chi ha familiarità con l'elettronica digitale avrà già immaginato che un errore simile potrebbe essere stato dovuto ad un "bit flip" in un chip di memoria digitale, ovvero un valore che nella memoria è passato da 0 a 1 apparentemente senza motivo.

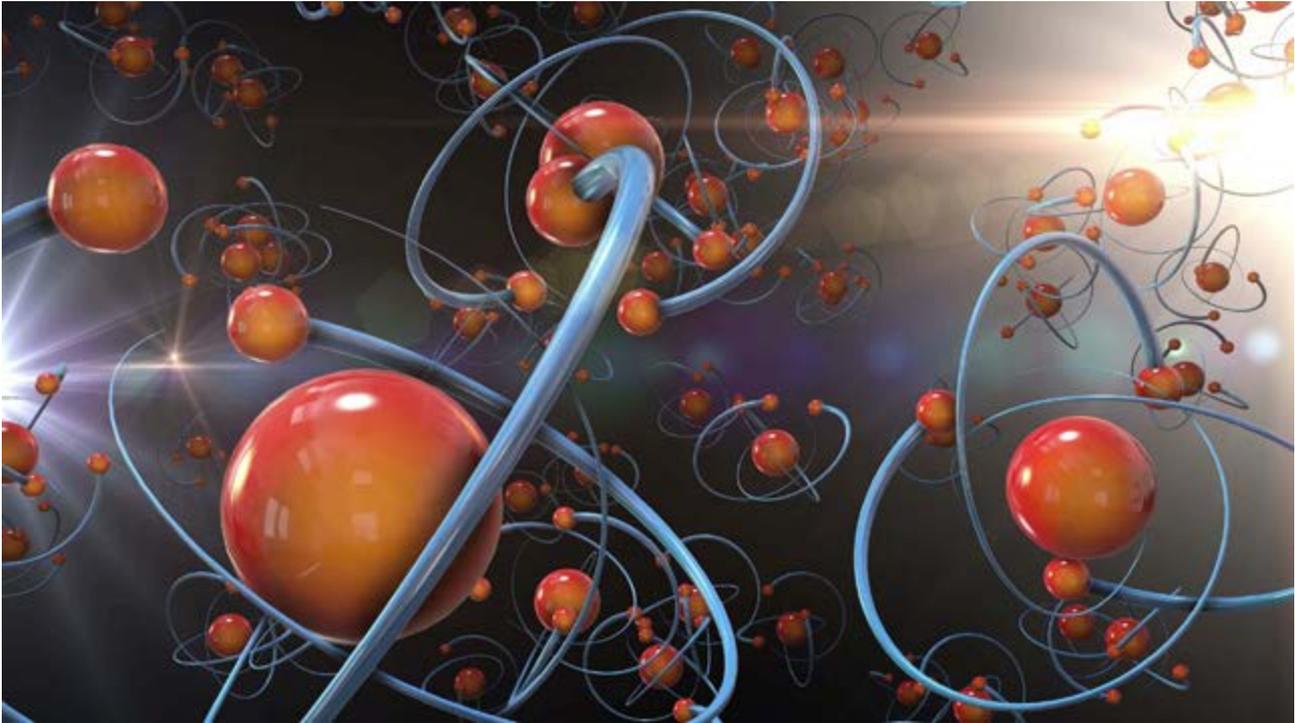
In entrambi questi incidenti, la causa del fenomeno è stata individuata in un effetto, ormai ben noto, della radiazione cosmica sui sistemi elettronici dell'aeroplano e del sistema di voto.

La radiazione che proviene dallo spazio, composta per lo più da particelle come protoni e ioni, interagisce continuamente con l'atmosfera generando cascate di altre particelle diverse. Queste "particelle secondarie", elettroni, muoni e neutroni proseguono il loro cammino verso il suolo attraversando la materia che incontrano. A volte questo incontro è innocuo, ma in una frazione dei casi, quando

il materiale attraversato è un componente elettronico, si possono verificare effetti di vario genere. Sono i cosiddetti "Single Event Effects", eventi singoli che vanno dalla piccola perturbazione del funzionamento



Test su memorie digitali ad FNG in collaborazione con il CERN



del componente, subito ripristinato, al salto di un valore numerico in una memoria digitale, al danneggiamento permanente del componente.

### I test di resistenza a radiazione

I due episodi citati sono certamente eclatanti, ma i sistemi spaziali come satelliti per telecomunicazioni o telerilevamento, la Stazione Spaziale Internazionale e i veicoli che la riforniscono, le sonde delle missioni di esplorazione del sistema solare, sono costantemente soggetti a eventi di questo tipo. Le prime evidenze di questi effetti risalgono agli anni settanta, quando ci si trovò davanti ai primi episodi di perdita di contatto con satelliti in orbita. Da allora, i componenti elettronici utilizzati su sistemi spaziali sono diventati sempre più complessi e numerosi, rendendo necessaria una mitigazione dei Single Event Effects.

**Questo tipo di disturbi o danneggiamenti, nei componenti elettronici,**

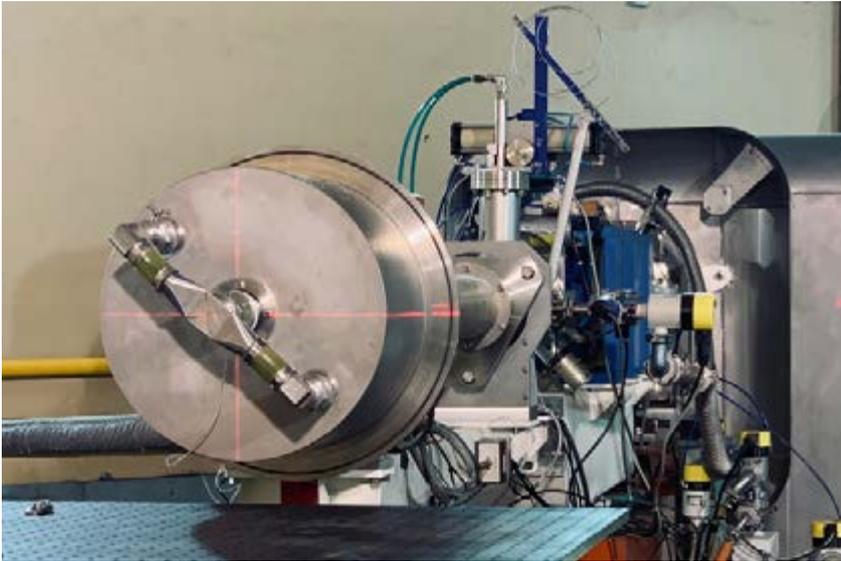
**possono indurre effetti anche gravi sul sistema in cui sono inseriti. Per questo motivo i componenti elettronici più critici vengono oggi progettati includendo dei test di resistenza a radiazione, o Radiation Hardness. Questi test vengono effettuati su campioni dei componenti da utilizzare in missioni spaziali, satelliti, aerei e, sempre più spesso, anche su sistemi critici che funzionano a terra come auto a guida autonoma o droni.**

Ma come si testa un transistor, o un microprocessore, per gli effetti della radiazione cosmica primaria o secondaria in atmosfera? La maniera più efficace è esporre il componente allo stesso tipo e quantità di radiazione che incontrerà nella sua vita su un satellite, o su un jet di linea. Questi effetti sono (fortunatamente) rari: per raccogliere una casistica di eventi, che consenta di fare delle stime sulla probabilità che questi accadono, dobbiamo in qualche maniera “accelerare” i test. Un po’ come accade per una maniglia di automobile, che viene

aperta e chiusa continuamente e velocemente, testandola in poche ore per il numero di volte che verrà utilizzata in anni di vita.

Per accelerare un test di resistenza a radiazione quindi abbiamo due modi. Il primo è testare un gran numero di componenti, pochi dei quali subiranno un danneggiamento; come per la lotteria, però, per vincere con certezza bisognerebbe spendere milioni in giocate e per un test di massa su milioni di componenti il costo diventerebbe proibitivo.

L'altra maniera è **esporre i componenti allo stesso tipo di radiazioni che incontreranno nella loro vita spaziale, ma con una intensità milioni di volte maggiore.** In questo modo, aumenteranno le probabilità di registrare un evento dannoso, e si potrà misurare la probabilità che questo avvenga per stimarne la robustezza. Ciò che serve è, quindi, una sorgente di particelle simili a quelle presenti nello spazio e in atmosfera, con un'intensità tale da emettere in poche



il bersaglio del Frascati Neutron Generator, da cui vengono emessi i neutroni utilizzati nei test sperimentali alt: il bersaglio del Frascati Neutron Generator

ore ciò che colpirebbe i componenti in anni di funzionamento. **Realizzare sorgenti simili è una difficile sfida scientifica e tecnologica, che nel Centro Ricerche ENEA di Frascati è stata vinta con FNG, il Frascati Neutron Generator.**

### **Il Frascati Neutron Generator, una facility unica nel panorama internazionale**

FNG è una facility in cui si conducono test con neutroni di energia pari a 14 Mega elettronvolt (MeV), ovvero quelli che si producono nelle reazioni di fusione nucleare tra nuclei di deuterio e di trizio. Questi sono entrambi isotopi dell'idrogeno, che hanno uno (Deuterio) o due (Trizio) neutroni in

più del loro "cugino". Analogamente a quanto avviene nelle macchine Tokamak, con le quali si studia la fusione nucleare per la produzione di energia, ad FNG le reazioni di fusione necessitano di una quantità di energia iniziale tale da innescare la reazione. A questo scopo, un acceleratore di ioni deuterio porta questi a scontrarsi con un bersaglio contenente trizio, provocando la fusione dei due nuclei con la successiva emissione di neutroni e nuclei di elio. **Il flusso di neutroni raggiunto da FNG è uno dei più intensi al mondo:**

**100 miliardi di neutroni possono essere emessi ogni secondo dal bersaglio, rendendo FNG una facility unica nel suo genere nel panorama internazionale.**

**Per la sua unicità, FNG viene utilizzata per numerose attività di ricerca e sviluppo. Nata per test sui materiali utilizzati nei reattori per l'energia da fusione, la facility viene oggi sfruttata da centri di ricerca ed aziende internazionali anche per test di radiation hardness su componenti e sistemi per lo spazio, aeronautica, per gli acceleratori di particelle di alta intensità e per gli stessi tokamak di futura generazione come ITER.**

FNG è parte di consorzi di ricerca e progetti europei, che consentono l'accesso ai gruppi di ricerca di istituzioni ed aziende attraverso finanziamenti europei. In particolare, FNG fa parte del network ASIF che tramite l'Agenzia Spaziale Italiana promuove l'utilizzo di facility di irraggiamento a livello nazionale tra le aziende dell'aerospazio. FNG partecipa inoltre al progetto H2020 RADNEXT, che ha come obiettivo la creazione di un network europeo di facilities per test di radiation hardness e la semplificazione dell'accesso per gli utenti, in particolare delle imprese dell'aerospazio, finanziando le attività sperimentali presso le infrastrutture del network.

Tramite RADNEXT, nei primi mesi di attività decine di proposte di test su elettronica sono state selezionate per l'accesso alle facilities del network, tra cui anche FNG che sarà anche utilizzata come banco di prova per nuovi sistemi di gestione che semplificheranno e renderanno più efficiente lo svolgimento dei test sperimentali.

*Per info: [salvatore.fiore@enea.it](mailto:salvatore.fiore@enea.it)*

# Navigare tra i pianeti con la bussola ‘marziana’

L'ENEA ha sviluppato una bussola solare, in grado di funzionare –con gli opportuni adattamenti - anche nelle missioni spaziali per navigare tra i pianeti. Questo strumento può avere ricadute di interesse per applicazioni terrestri e, in particolare, per la navigazione su mezzi mobili come navi ed aerei, mezzi speciali, attrezzati per rilevamenti ambientali e mezzi ad intelligenza artificiale, privi di autista. L'Agenzia è aperta a collaborazioni con altri Enti di ricerca o con imprese per sviluppare una bussola ‘marziana’ o, più semplicemente, una bussola per mezzi mobili terrestri.

DOI 10.12910/EAI2021-092

di Francesco Flora<sup>1</sup>, Fabrizio Andreoli<sup>2</sup>, Sarah Bollanti<sup>1</sup>, Paolo Di Lazzaro<sup>1</sup>, Gian Piero Gallerano<sup>1</sup>, Luca Mezi<sup>1</sup>, Daniele Murra<sup>1</sup>, Luca Murra<sup>3</sup> (\*)

**Q**uasi tutti gli escursionisti portano con sé una bussola per orientarsi. Ma se potessero fare una passeggiata su un altro pianeta, ad esempio su Marte, che è privo di campo magnetico, scoprirebbero subito che la loro bussola non è più in grado di funziona-

re, come pure sarebbe inutilizzabile il GPS del loro cellulare (dal momento che su Marte non esiste ancora una costellazione di satelliti di tipo GPS). Come orientarsi allora? La tecnica più semplice, in questo caso, è quella che veniva usata sulla Terra prima dell'invenzione della bussola magnetica:

guardare la posizione del sole nel cielo. Un tempo il sole era il riferimento principale sia per avere un'indicazione approssimata dell'ora e sia per l'orientamento. Tuttavia, per ottenere la direzione del Nord in modo preciso, era necessaria un'intera giornata. Bisognava infatti piantare uno stilo verticale (detto gnomone) su un piano orizzontale e tracciare sul piano, per tutta la giornata, il percorso seguito dall'ombra della punta dello stilo.

Fatto ciò, come mostrato in Fig. 1, si tracciava un cerchio centrato sulla base dello stilo e sufficientemente grande da intersecare il percorso dell'ombra: la retta (rossa in Fig. 1) di congiunzione tra i due punti di intersezione (A e B in Fig. 1) forniva con precisione la direzione Est-Ovest mentre quella che univa la base dello stilo al punto medio (M) tra le intersezioni, detta “linea meridiana” o anche “linea del mezzogiorno”, forniva la direzione del Nord geografico (per essere precisi, tale direzione indicherebbe il Sud geografico se questa stessa operazione

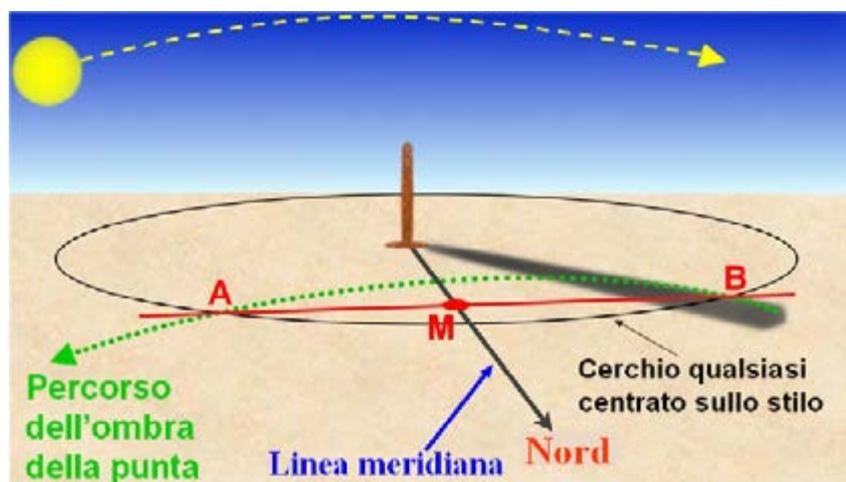


Fig. 1 Antico metodo di orientamento con il sole: uno stilo verticale piantato su una superficie piana orizzontale

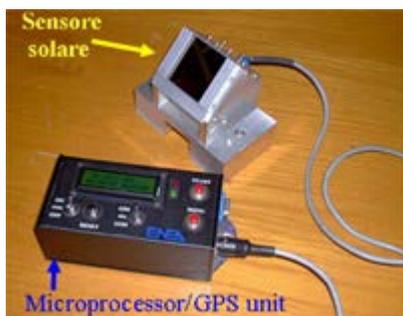


Fig. 2 La bussola solare elettronica di alta precisione brevettata da ENEA

venisse eseguita nell'emisfero australe). Successivamente, quasi due secoli fa, furono inventate le prime bussole solari, strumenti in grado di indicare la direzione del Nord geografico con precisione ben superiore a quella delle bussole magnetiche, attraverso un rilevamento del sole, da eseguire in pochi minuti grazie al mirino dello strumento, e attraverso la consultazione degli almanacchi delle effemeridi che fornivano i valori quotidiani di declinazione del sole ed dell'equazione del tempo, indispensabili per far funzionare la bussola.

A partire dal 2000, con l'avvento della microelettronica e dei rivelatori di immagine (CCD), le bussole solari sono diventate strumenti compatti e funzionanti automaticamente. Quella brevettata da ENEA, qui mostrata in Fig. 2, è tra le più precise e con un alto livello di compattezza ed automazione [1,2]; essa fornisce la direzione del Nord geografico in pochi secondi e con una accuratezza di 1 primo d'arco ( $0.017^\circ$ ), ovvero circa 100 volte migliore di quella consentita dalle bussole magnetiche.

**“Sunpass”, la App che trasforma i cellulari in una bussola smart**

Recentemente è stata creata anche una versione “smart”, ovvero una App, denominata “Sunpass”, che trasforma qualsiasi cellulare in una bussola solare con caratteristiche simili a quella della bussola ENEA brevettata. In

questo caso l'accuratezza raggiungibile, limitata dalle imprecisioni meccaniche dei cellulari, è di circa  $0.1^\circ$ , quindi ben 10 volte migliore di quella delle bussole magnetiche. Nella Fig. 3 è riportato un cellulare mentre è in funzione Sunpass.

Come nel caso della bussola ENEA, anche con Sunpass la direzione del sole si calcola a partire dall'immagine di una riga di luce prodotta da una fenditura posta su una parete laterale di una piccola scatola collocata sotto al cellulare (a destra nella Fig. 3). A differenza di quanto avviene nella bussola ENEA, dove la riga di luce viene direttamente proiettata su un sensore di immagine, in questo caso l'immagine viene catturata dalla fotocamera del cellulare e poi elaborata in tempo reale per l'ottenimento della pendenza della riga di luce (immagine in basso a destra sul display di Fig. 3). Sul display appare la rosa dei punti cardinali indicante il Nord geografico e l'azimut del lato lungo del cellulare (in basso in blu, vedi Fig. 3).

### Una bussola ‘marziana’

Sarebbe possibile modificare la bussola solare ENEA in modo che possa funzionare in un altro pianeta, ad esempio su Marte? La risposta è positiva. La bussola ENEA infatti non utilizza tabulati e non si collega ad internet per poter funzionare. E' completamente autonoma e calcola le effemeridi del sole in tempo reale sfruttando una soluzione analitica approssimata delle leggi di Keplero [3] che sono ovviamente valide in tutto il sistema solare. In linea di principio, sarebbe quindi sufficiente sostituire i parametri astronomici della Terra (inclinazione dell'asse, eccentricità dell'orbita, posizioni del perielio-afelio, ecc.) con quelli di Marte e la bussola sarebbe perfettamente in grado di fornire le coordinate del sole visto dal nuovo pianeta e la direzione del Nord di quel pianeta [4]. Inoltre, per certi aspetti, una bussola solare su Marte godrebbe di alcuni vantaggi naturali rispetto alla sorella terrestre: su Marte c'è sempre il sole (non piove mai ed il cielo non

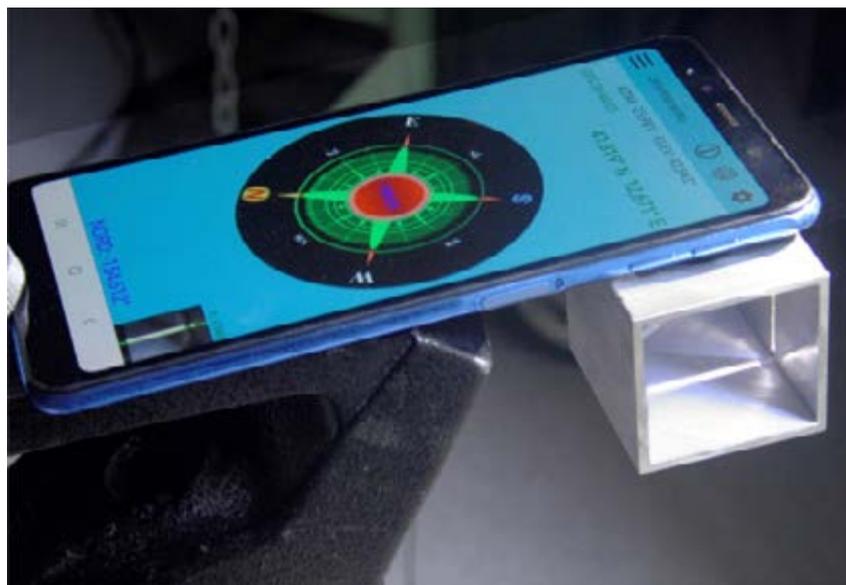


Fig. 3 La versione smart della bussola ENEA: la App Sunpass riconosce la direzione del sole a partire dall'immagine di una riga di luce solare prodotta da una fenditura e proiettata sul fondo di una piccola scatola metallica collocata sotto al cellulare



Fig. 4 La meridiana/bussola solare del rover Spirit su Marte. La foto di destra mostra chiaramente l'effetto delle polveri marziane dopo un solo anno  
 Source: Image Courtesy Nasa/JPL

si annuvola mai) ed il diametro angolare del sole visto dal pianeta rosso è circa 2/3 di quello che abbiamo sulla terra (quindi circa  $0.3^\circ$  anziché  $0.5^\circ$ ) per cui la riga di luce solare che si produce nella bussola sarebbe più stretta. La possibilità di ottenere un discreto funzionamento della bussola anche in condizioni critiche, ad esempio quando il cielo è offuscato da deboli nuvole o da polvere o addirittura parzialmente coperto come durante un'eclissi di sole, è già stata dimostrata [5].

**In realtà, per trasformare la bussola attuale in una bussola marziana servono ulteriori accorgimenti, legati al fatto che l'immediato interesse, emerso anche dal recente convegno dell'Agenzia Spaziale Italiana "Tavolo tematico su Strumentazione Scientifica Spaziale" a novembre 2020, è di avere una bussola che possa funzionare senza un operatore ed ancorata a bordo di un mezzo mobile.**

Questo significa che la bussola deve avere molteplici sensori (almeno 4 a  $90^\circ$  tra loro in modo da coprire contemporaneamente un campo visivo di  $360^\circ$  in cui cercare il sole), una fenditura modificata in modo che possa determinare automaticamente l'altezza del sole ed essere integrata di una base inerziale (detta IMU), ovvero di un dispositivo elettronico che fornisce continuamente la direzione della

verticale del luogo anche in presenza delle forze apparenti che si presentano nei mezzi mobili, come la forza centrifuga (durante una sterzata del mezzo mobile) o la forza di inerzia (durante una frenata).

Altre importanti implementazioni, per ottenere la bussola solare marziana, sono legate alla diversità dell'ambiente marziano rispetto a quello terrestre per cui è necessario:

- Un orologio a tempo medio marziano (l'ora esatta su Marte è diversa da quella sulla terra)
- Un sistema di sincronismo dell'orologio con il mezzogiorno locale (ad esempio prevedendo di mantenere ferma la bussola per un'intera giornata).
- Disponibilità di materiali leggeri indeformabili per l'involucro della bussola.
- Lo studio di un sistema automatico di pulizia delle finestre di ingresso per proteggerle dalla polvere marziana (ad esempio tramite una finestra aggiuntiva lentamente girevole).

L'idea di una bussola/meridiana solare per missioni marziane non è nuova. Già sulla missione del Rover "Spirit" del 2004-2008 era stata installata una bussola solare rudimentale, mostrata in Fig. 4. La bussola solare che emergerebbe dal-

la ricerca sopra descritta presenterebbe un nuovo ed importante vantaggio rispetto a quanto utilizzato fino ad oggi per missioni spaziali: fornirebbe la direzione del Nord geografico di Marte in tempo reale con una accuratezza così elevata (circa  $0.01^\circ$ ) da consentire un'integrazione bidimensionale (x,y) del movimento del mezzo mobile (rover) tale da poterne determinare costantemente le proprie coordinate geografiche, come se avesse a bordo un GPS. In questo modo, il mezzo mobile potrebbe produrre fotografie del territorio marziano con precisi riferimenti geografici (latitudine, longitudine ed orientamento) e rientrare alla base, dopo un viaggio di chilometri, con un errore di pochi metri.

Ovviamente, per poter ottenere questa integrazione del movimento è indispensabile che il rover sia dotato di un dispositivo che misuri con precisione la distanza che viene percorsa.

### Le ricadute industriali

Lo sviluppo di una bussola solare marziana, necessario affinché essa possa funzionare a bordo di mezzi mobili, avrebbe immediate ed importanti ricadute per applicazioni terrestri ed in particolare per:

- navigazione su mezzi mobili terrestri convenzionali (navi ed aerei)
- navigazione di mezzi mobili speciali (mezzi attrezzati per rilevamenti ambientali)
- navigazione di mezzi ad intelligenza artificiale (mezzi privi di autista).

L'ENEA è aperta sin da ora a collaborazioni con altri Enti di ricerca o con imprese per lo sviluppo della bussola marziana o semplicemente di una bussola per mezzi mobili terrestri.

(\*) <sup>1</sup>Laboratorio Sorgenti, Diagnostiche e interazione Laser-materia; <sup>2</sup>Laboratorio Tecnologie Nucleari; <sup>3</sup>Università di Roma Sapienza,

## BIBLIOGRAFIA

1. S. Bollanti, D. De Meis, P. Di Lazzaro, F. Flora, G. P. Gallerano, L. Mezi, D. Murra, A. Torre, and D. Vicca: "Electro-optical sun compass with a very high degree of accuracy", *Optics Letters*, vol. 40, N° 15, pp. 3619-3622, (2015).
2. Brevetto WO2014102841, UIBM # 0001416021
3. S. Bollanti, et al: "Calcolo analitico della posizione ..." RT/2012/24/ENEA (2012).
4. F. Flora, S. Bollanti, D. De Meis, P. Di Lazzaro, G.P. Gallerano, L. Mezi, D. Murra, A. Torre, D. Vicca: "Electronic solar compass for high precision orientation on any planet" *Journal of Instrumentation* vol. 11, C07014 (2016). <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/11/07/C07014>
5. S. Bollanti, D. De Meis, P. Di Lazzaro, F. Flora, G.P. Gallerano, L. Mezi, D. Murra, D. Vicca: "Performance of an electro-optical solar compass in partially-obscured Sun conditions" *Applied Optics* vol. 55, 3126-3130 (2016). <https://doi.org/10.1364/AO.55.003126> and <https://www.osapublishing.org/ao/fulltext.cfm?uri=ao-55-12-3126&id=338922>

# Simulazione numerica e supercalcolo per la propulsione chimica aerospaziale

*Nel Centro di ricerche ENEA della Casaccia opera un gruppo di ricercatori specializzati nella simulazione numerica termo-fluidodinamica di processi reattivi e non, applicabili al comparto della propulsione spaziale sfruttando le potenzialità del supercomputer CRESCO dell'Agencia. Queste capacità sono state utilizzate in un progetto con il CIRA e nel progetto europeo LAPCAT per lo studio delle principali tecnologie di propulsione sia per per lanciatori di satelliti che per il volo ipersonico.*

DOI 10.12910/EAI2021-093

di Eugenio Giacomazzi e Donato Cecere - Laboratorio di Ingegneria dei Processi e dei Sistemi per la Decarbonizzazione Energetica

L'aerospazio è oggi un settore ricco di attività commerciali, che offre nuove opportunità in diversi campi anche ad attori non istituzionali: dalla navigazione accurata all'agricoltura, dalla sorveglianza alle comunicazioni, dal monitoraggio ambientale al turismo spaziale ed al controllo degli asteroidi. Per raggiungere una spinta sufficiente all'immissione in orbita gli attuali lanciatori spaziali utilizzano sistemi di propulsione di tipo chimico, a propellente solido o liquido, basati su tecnologie ormai mature e che hanno registrato solo piccoli miglioramenti negli ultimi 50 anni. Nel frattempo, sul mercato si stanno affacciando compagnie che adottano lanciatori riutilizzabili, sia per ridurre i costi, sia per aumentare il numero dei lanci offerti. In uno scenario a lungo termine sono attesi grossi cambiamenti attraverso lo sviluppo e l'implementazione di tecnologie innovative, come motori a razzo "air breathing" ipersonici, o velivoli di lancio che possano decollare ed atterrare come aerei.

Un altro settore fondamentale per la propulsione chimica è quello dei viaggi atmosferici e trans-atmosferici con velivoli ipersonici e supersonici: questi richiedono adeguati sistemi propulsivi sia per ridurre i tempi per gli spostamenti sulla Terra che per uscire dall'atmosfera e rientrarci (si veda per esempio lo Skylon spacecraft). Mentre proseguono gli studi su tecnologie di combustione già battute, la scoperta di poter stabilizzare una detonazione ha oggi aperto una nuova e promettente strada nel campo della propulsione ipersonica, con possibili ricadute anche per i sistemi di lancio: tuttavia, i tempi per la sua reale applicazione sono ancora lunghi.

**L'Italia ha sia competenze che tecnologie internazionalmente riconosciute nel campo della propulsione di lanciatori per l'accesso allo spazio: Vega ne è la testimonianza pratica (Fig. 1). Vega è il lanciatore spaziale leggero Europeo capace di mettere in orbite diverse un satellite principale ed un certo numero di satelliti più piccoli**

**nella stessa missione ad un costo competitivo. Oggi si sta investendo nel suo sviluppo per aumentarne la competitività, le prestazioni e la sostenibilità. In particolare, l'attenzione è focalizzata sul**



Fig.1 Uno dei lanci di Vega

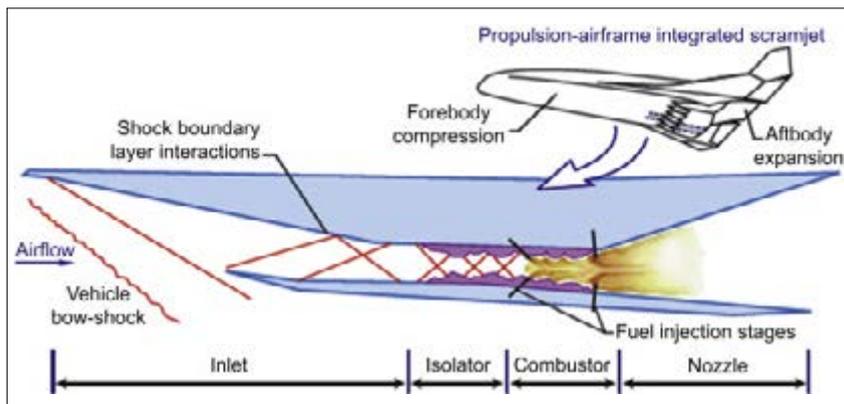


Fig.2 Schematizzazione di un velivolo ipersonico e del suo sistema di propulsione

Vega-E (Evolution), che avrà un ultimo stadio completamente rinnovato con un motore a liquido, criogenico, ossigeno/metano, a basso costo: questo consentirà di aumentare la flessibilità del lanciatore in termini di massa e volume del carico pagante e di ridurre i costi di lancio.

**Le competenze italiane nel settore dei lanciatori spaziali possono essere ulteriormente sviluppate (uso sinergico di simulazione numerica avanzata e metodologie classiche di progettazione, identificazione di nuove tecnologie) mirando alla sostenibilità ambientale dei sistemi di lancio e alla riduzione dei relativi costi anche attraverso nuove tipologie di mini/micro lanciatori.**

L'Italia è anche in grado di contribuire al settore della propulsione per i voli ipersonici suborbitali o trans-atmosferici, per trasporto civile e turismo spaziale, per la messa in orbita di piccoli satelliti, ma anche per scopi di ricerca e difesa. Di fatto, il nostro paese ha ottime competenze scientifiche ed 'applicate' sia sugli aspetti gasdinamici che di combustione; inoltre, la realizzazione di velivoli ipersonici civili consentirebbe l'impiego delle potenzialità degli spazioporti nazionali, come quello di Grottaglie.

### Ruolo e problematiche della simulazione numerica per l'aerospazio

Le applicazioni aerospaziali, ed in particolare i motori ad ossigeno liquido per razzi ed i sistemi di raffreddamento,

hanno da sempre promosso la ricerca nel campo dei fluidi reali, cioè quei fluidi che trovandosi in certe condizioni di temperatura e pressione mostrano un comportamento termodinamico ben lontano da quello dei gas ideali. Negli ultimi dieci anni, la combustione ad alta pressione di reagenti con comportamento di gas reale ha assunto notevole importanza, non solo per un rinnovato e rafforzato interesse nell'accesso allo spazio, ma anche per le sue applicazioni nel settore della generazione elettrica, come nei cicli turbogas avanzati a CO<sub>2</sub> supercritica [1].

La pressione nelle camere di combustione dei sistemi propulsivi a liquido va dai 50 ai 250 bar; alcuni dei propellenti comunemente adottati sono iniettati in condizioni transcritiche, cioè a pressioni maggiori della loro pressione critica ma a temperatura inferiore a quella critica,

e la combustione avviene in condizioni supercritiche<sup>1</sup>. In tali applicazioni, il diverso comportamento termodinamico del fluido deve essere considerato per mezzo di apposite equazioni di stato per gas reali e specifici modelli per le proprietà di trasporto molecolare.

**Le attività sperimentali in tali condizioni di alta pressione possono essere proibitive: a parte il costo delle strutture stesse, che può essere molto elevato, l'uso di diagnostica laser avanzata non è semplice; questo giustifica la scarsa disponibilità di casi test corredati da un ampio ventaglio di misure per la validazione di codici di simulazione fluidodinamica [2,3].** Di conseguenza, la maggior parte della ricerca e della progettazione nel campo della combustione transcritica/supercritica si fonda sulla simulazione numerica.

Tuttavia, anche questo approccio non è affatto semplice. Sorgono diverse problematiche. Alcune riguardano l'accuratezza modellistica delle equazioni di stato, cioè la loro abilità di catturare ampie variazioni delle proprietà del fluido durante il passaggio dalla fase liquida a quella gassosa per pressioni maggiori di quella critica (questo aspetto è fondamentale nei problemi con iniezione transcritica dei propellenti). Altre riguardano l'efficienza computazionale, cioè equazioni di stato molto accurate ma complesse e computazionalmente onerose non possono essere utilizzate in approcci di simulazione fluidodinamica già molto costosi, come la LES (Lar-

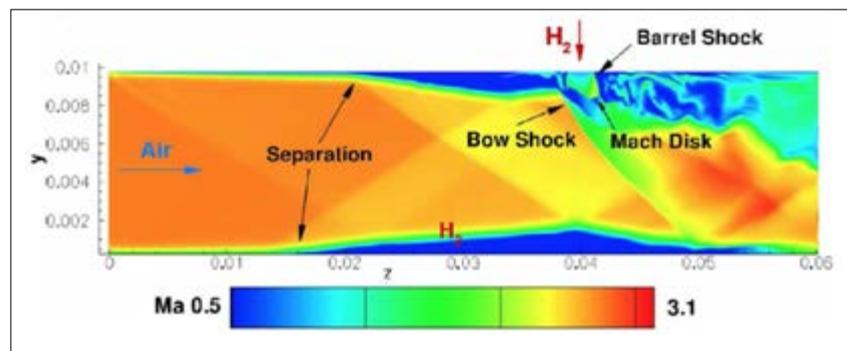


Fig.3 Campo istantaneo del numero di Mach nel propulsore a combustione supersonica studiato nel progetto LAPCAT II

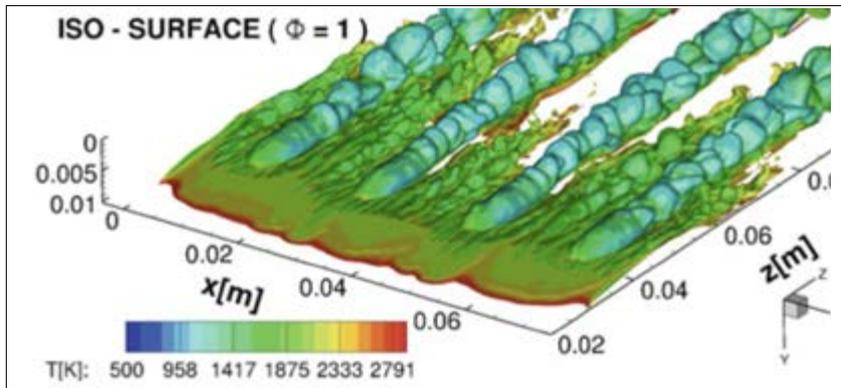


Fig.4 Distribuzione della temperatura sulla iso-superficie con composizione stechiometrica nel propulsore a combustione supersonica studiato nel progetto LAPCAT II

ge Eddy Simulation) o la DNS (Direct Numerical Simulation); in questi casi è preferibile usare equazioni di stato analitiche [4]. Inoltre, gli schemi numerici devono essere sufficientemente robusti per limitare la formazione di oscillazioni numeriche spurie dovute ai forti gradienti di densità (in particolare nei casi con iniezione criogenica) ed alle forti non linearità dell'equazione di stato per gas reali. In letteratura sono stati investigati e suggeriti diversi approcci numerici [5]. Infine, i meccanismi cinetici ad altissime pressioni hanno incertezze ed il ruolo di alcuni meccanismi fisici, come il trasferimento dell'energia radiante, è ancora incognito. A causa della complessità del problema, la maggior parte degli articoli scientifici puntano al confronto delle

**predizioni numeriche con i dati sperimentali disponibili per alcuni casi test di validazione; altri mostrano il confronto di diversi modelli fisici e le lacune da colmare nella modellazione di alcuni fenomeni.**

#### Prospettive ed attività di ricerca e sviluppo in ENEA

I supercalcolatori oggi consentono di simulare complessi fenomeni fluidodinamici con scale di rilevanza applicativa e con risoluzioni spaziali (e temporali, nel caso di processi non stazionari) molto elevate. I risultati che si ottengono hanno quindi un notevole livello di dettaglio e possono dare utilissime informazioni per la progettazione. Un esempio è offerto dalla simulazione della camera di

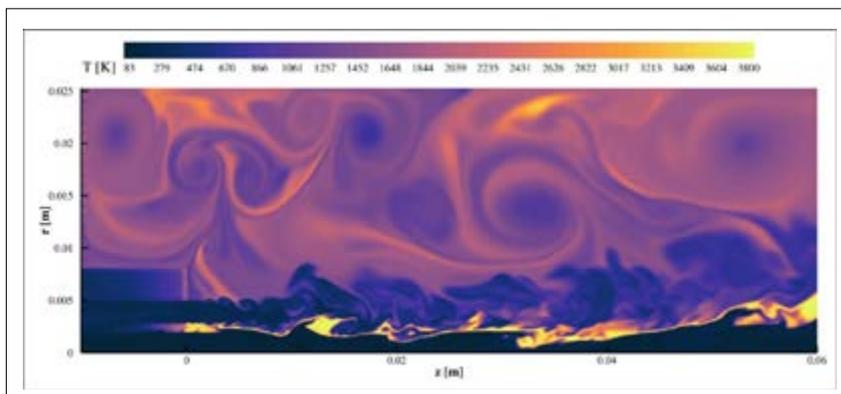


Fig.5 Campo istantaneo di temperatura in un'applicazione per motori a razzo a ossigeno liquido (iniettato dal condotto centrale) ed idrogeno gassoso (iniettato coassialmente)

combustione di un propulsore spaziale criogenico  $H_2/O_2$  [6]: la simulazione eseguita dai ricercatori del CERFACS utilizzando 65536 processori del supercomputer Bluegene Q del CINECA ha consentito di identificare le instabilità di combustione rilevate sperimentalmente presso il DLR. Questo testimonia che la conoscenza accurata di tali fenomeni offerta dalla simulazione numerica ad alte prestazioni è fondamentale per promuovere lo sviluppo di propulsori a metano e ossigeno liquido di nuova generazione. Un altro esempio che dimostra l'importanza della simulazione numerica per capire la fisica di fenomeni complessi e per giungere al loro controllo, è lo studio delle detonazioni. Infatti, la scoperta di poter stabilizzare una detonazione [7] ha aperto nuove ed interessanti possibilità per la propulsione ipersonica, ma la brevissima durata delle detonazioni (da microa millisecondi) pone notevoli difficoltà agli studi necessari per l'implementazione di questa modalità di combustione nelle reali applicazioni: la simulazione numerica ad elevata risoluzione spazio-temporale si pone dunque come un utile strumento.

**Il Laboratorio di Ingegneria dei Processi e dei Sistemi per la Decarbonizzazione Energetica IPSE del Centro di ricerche ENEA della Casaccia vanta un gruppo di ricercatori che lavorano nel campo della simulazione numerica termo-fluidodinamica di processi reattivi e non, utilizzando software sia commerciali che sviluppati internamente.** In particolare, da anni viene sviluppato un codice di calcolo proprietario chiamato HearT (Heat Release and Turbulence), che consente simulazioni di tipo LES o DNS, sfruttando le potenzialità offerte dal sistema HPC (High-Performance Computing) CRESCO [8] dell'ENEA sito in Portici.

Il gruppo di simulazione svolge attività sia per il settore energia che per quello aerospaziale. In tale campo, il codice HearT è stato utilizzato nell'ambito del progetto Europeo LAPCAT II [9] per simulare la combustione supersonica nel

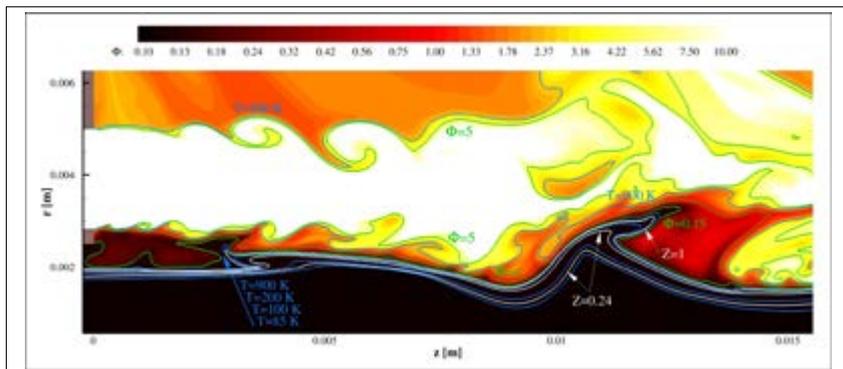


Fig.6 Distribuzione del rapporto di equivalenza  $\Phi$ , con alcune iso-linee di temperatura  $T$  e di fattore di comprimibilità  $Z$ , relative allo stesso istante della Fig. 2 in prossimità dell'iniezione dei reagenti

propulsore di un velivolo da trasporto civile ipersonico (Fig. 2): i risultati hanno avuto un ottimo accordo con quelli sperimentali ed hanno consentito di

definire i dettagli delle complesse strutture d'urto in prossimità dell'iniezione dell'idrogeno usato come combustibile e di capire i meccanismi di stabilizzazio-

ne della combustione (vedi Fig. 3 e 4, a titolo di esempio). HeaRT è stato anche usato come codice pilota nell'ambito di un progetto finanziato dal CIRA [10] per svolgere attività di modellistica fisica e numerica e simulare il mescolamento dei reagenti e la combustione all'interno di motori a razzo a liquido (ossigeno liquido e metano). Attualmente si continuano a svolgere attività di sviluppo competenze in questo settore, in attesa di nuovi progetti nel campo dei lanciatori spaziali e della propulsione supersonica; a titolo di esempio, si riporta in Fig. 5 un campo istantaneo di temperatura relativo alla combustione di ossigeno liquido ed idrogeno gassoso a 60 bar, con un maggior dettaglio di informazione in Fig. 6.

Per info: [eugenio.giacomazzi@enea.it](mailto:eugenio.giacomazzi@enea.it)

#### BIBLIOGRAFIA

1. Crespi F., Gavagnin G., Sanchez D., Martinez, G.S., Supercritical carbon dioxide cycles for power generation: A review. Appl. Energy, 195:152–183, 2017.
2. Foust M., Deshpande M., Pal S., Merkle C., Santoro R., Experimental and analytical characterization of a shear coaxial combustion GO<sub>2</sub>/GH<sub>2</sub> flowfield. In 34th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. AIAA, January 1996.
3. Clauss W., Vereschagin K.A., Klimenko D.N., Oswald M., Smirnov V.V., Stelmakh O.M., Fabelinski V.I., CARS Investigation of Hydrogen Q-branch Linewidths at High Temperatures in a High-Pressure H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>- Burner. J. of Raman Spectroscopy, 33:906–911, 2002.
4. Poling B.E., Prausnitz J.M., O'Connell J.P., Chp. 4.6, The Properties of Gases and Liquids. McGraw-Hill, 5th edition, 2001.
5. Ma P.C., Benuti D.T., Ihme M., On the numerical behaviour of diffusive- interface methods for transcritical real-fluids simulations. Int. J. Multiphase Flow, 113:231-249, 2019.
6. Urbano A., Selle L., Staffelbach G., Cuenot B., Schmitt T., Ducruix S., Candel S., Exploration of combustion instability triggering using Large Eddy Simulation of a multiple injector liquid rocket engine, Comb. And Flame, 169:129-140, 2016.
7. Rosato D.A., Thornton M., Sosa J., Bachman C., Goodwin G.B., Ahmed K.A., Stabilized detonation for hypersonic propulsion, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 118(29):1-7, 2021.
8. Iannone F. et al., CRESCO ENEA HPC clusters: a working example of a multifabric GPFs Spectrum Scale layout. In Proc. Int. Conf. on High Performance Computing and Simulation, volume HPCS 2019, pages 1051–1052, Dublin, Ireland, 2019.
9. FP7-Transport EC Project, Long-Term Advanced Propulsion Concepts and Technologies II (LAPCAT II), <https://cordis.europa.eu/project/id/211485/it>, 2008-2013.
10. Progetto "Statement of Work for an Activity on Large Eddy Simulation for Application on LOx/CH<sub>4</sub> Rocket Engines", RFQ/ITT No. ACQU-0813/CIRA-POO-14-0540, 2015-2018.

1. Il punto critico di una sostanza si riferisce alle condizioni di massima temperatura e massima pressione (dette critiche) in cui quella sostanza può esistere come miscela bifase gas-liquido; le due fasi assumono lo stesso valore di densità e non mostrano un'interfaccia di separazione. Nel diagramma di fase la linea di cambiamento di fase tra liquido e gas termina proprio nel punto critico. Oltre tale punto le fasi liquido e gas sono indistinguibili, e si parla solo di fluido supercritico: questo si comporta come un liquido dal punto di vista della densità, e come un gas dal punto di vista delle proprietà diffusive; inoltre, la tensione superficiale e l'entalpia di vaporizzazione si annullano.



# Il contributo delle osservazioni satellitari degli oceani al monitoraggio del clima

*Le osservazioni dallo spazio sono una componente di rilievo del sistema di sorveglianza climatica e di previsione a varie scale temporali, da quelle sub-diurne a quelle multidecadali. L'analisi dei dati ottenuti può contribuire fattivamente alla definizione del clima attuale ed a quantificare le variazioni più recenti, in particolare attraverso la misura di Temperatura Superficiale del Mare (SST) intesa come indicatore principale, osservabile dallo spazio, dei cambiamenti climatici in atto.*

DOI 10.12910/EAI2021-094

di Salvatore Marullo - Laboratorio di modellistica climatica e impatti e Rosalia Santoleri- Istituto di Scienze Marine, ISMAR-CNR

I dati provenienti dalle osservazioni sperimentali e dalle simulazioni prodotte dai modelli numerici rappresentano, insieme alla nostra cultura scientifica, lo strumento principale per il controllo e la compren-

sione del sistema climatico terrestre. In questo contesto, **le osservazioni dallo spazio rappresentano una componente non secondaria del sistema di sorveglianza climatica e di previsione a varie scale temporali che van-**

**no da quelle sub-diurne fino a quelle multidecadali.**

Recentemente, le serie continuative di dati satellitari di alcune variabili climatiche essenziali (EVC, <https://gcos.wmo.int/en/essential-climate-variables/table>)

sono diventate abbastanza lunghe da soddisfare i criteri previsti dalla World Meteorological Organization (WMO) per la determinazione di medie climatiche. In WMO, 2017 si legge infatti che, come definizione di “Climatological standard normals”, vada usata la media di dati calcolata su periodi consecutivi di 30 anni. Accettando alla lettera la definizione proposta dal WMO per i dati satellitari, solo le serie temporali di temperatura superficiale del mare, o più in generale della superficie terrestre, soddisfano questo criterio ricoprendo con continuità e su scala globale, un periodo che va dal 1981 ad oggi. Altre variabili, come, ad esempio, quelle ricavate da misure del colore del mare o livello del mare, sono comunque abbastanza vicine ad avere 30 anni di dati avendo registrato rispettivamente 23 di acquisizione, dalla missione SeaWiFS fino alle missioni Sentinel, e 29 anni di acquisizioni iniziando dagli altimetri TOPEX/Poseidon fino al “dual-frequency SAR altimeter” tuttora operante su Sentinel-3.

### La misura di Temperatura Superficiale del Mare (SST)

In questa breve nota ci focalizzeremo quindi sulle osservazioni satellitari degli oceani con particolare riferimento alla misura di Temperatura Superficiale del Mare (SST) intesa come indicatore principale, osservabile dallo spazio, dei cambiamenti climatici in atto. La SST rappresenta infatti la più lunga e continuativa serie temporale di dati rilevati, ricoprendo un intervallo temporale che va dal 1981 a oggi; quasi 40 anni di ininterrotte misurazioni. Questi dati sono disponibili presso il Climate Data Store (CDS) gestito dall'European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Altri dati satellitari sono disponibili presso i sistemi di archiviazione e disseminazione di altre entità governative

demandate a servizi operativi per la meteorologia e l'oceanografia. Tra questi va, menzionato il **Copernicus Marine Service (CMEMS)**, (<https://marine.copernicus.eu/>), dedicato alla distribuzione di dati e alla fornitura di servizi marini gratuiti al fine di consentire l'attuazione delle politiche per il mare e per sostenere la crescita blu e l'innovazione scientifica (Schuckmann et al., 2021).

L'insieme di questi servizi operativi, la crescente disponibilità di potenti sistemi calcolo individuali e le immense capacità di “data storage”, inimmaginabili fino a pochi anni fa, hanno reso realisticamente possibile l'analisi delle lunghe serie temporali di dati satellitari ad altissima risoluzione spaziale e temporale fornendo, di fatto, una visione d'insieme dello stato attuale del clima terrestre e quindi una più rigorosa valutazione dei trend climatici e di medie statisticamente significative.

### Analisi di serie temporali, un caso di studio: la temperatura superficiale del mar Mediterraneo

La stima delle variazioni a lungo termine della SST è fondamentale per definire lo stato attuale degli oceani e per valutare correttamente l'impatto del cambiamento climatico anche su scala regionale. La temperatura superficiale del mare rappresenta infatti un parametro essenziale per la stima degli scambi tra oceano ed atmosfera, essendo direttamente coinvolta sia nel calcolo dei flussi turbolenti oceano-atmosfera sia del bilancio netto della radiazione a onda lunga; inoltre, essa è modulata da questi processi e dalla radiazione solare assorbita dalle acque marine.

La variabilità del campo di SST negli ultimi due secoli è stata analizzata utilizzando un'ampia varietà di informazioni basate su misure in situ e, per le ultime quattro decadi, anche su stime satellitari (Rayner et al, 2003, Marullo et al., 2007, Marullo et al., 2011, Huang

et al, 2017). Il set di dati più importante su cui molte delle ricostruzioni complete, ovvero con dati ricostruiti in ogni punto di griglia, si basano è certamente rappresentato dal “International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set” (ICOADS) che comprende medie mensili di dati marini dal 1662 fino ai nostri giorni su grigliato di 2x2 gradi. ICOADS non contiene dati nei punti di griglia dove le osservazioni in situ non sono state sufficienti per il calcolo statistiche mensili significative. La figura 1 dà un'idea della variabilità della disponibilità di dati dal 1850 in poi da cui risulta, con evidenza, che le ricostruzioni che interpolano i dati su grigliato regolare su base mensile vanno comunque trattate con estrema cautela anche per i periodi più recenti.

D'altra parte, focalizzando l'attenzione su gli ultimi decenni, i dati da satellite costituiscono l'unica sorgente di informazione, derivata da misure, uniformemente distribuita nello spazio e nel tempo con sufficiente risoluzione spaziale e temporale. Nel seguito, come caso di studio esemplificativo, ci concentreremo sul Mar Mediterraneo per l'intervallo temporale che va dal 1982 ad oggi.

### Il Mediterraneo come ‘sentinella’ del clima

Su scala regionale il mar Mediterraneo gioca un ruolo di sentinella del riscaldamento globale poiché particolarmente sensibile agli effetti del cambiamento climatico (Giorgi, 2006). Diversi studi hanno infatti mostrato un aumento consistente della SST media del Mediterraneo negli ultimi decenni basandosi esclusivamente sull'analisi di dati satellitari. Inizialmente lo studio delle serie temporali si è basato sui dati dell'Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) Pathfinder SST (Casey et al. 2010), stimando un trend di riscaldamento medio di  $0,030 \pm 0,008$  °C/anno nel Mediterraneo occidentale e di  $0,050 \pm 0,009$  °C/anno nel bacino

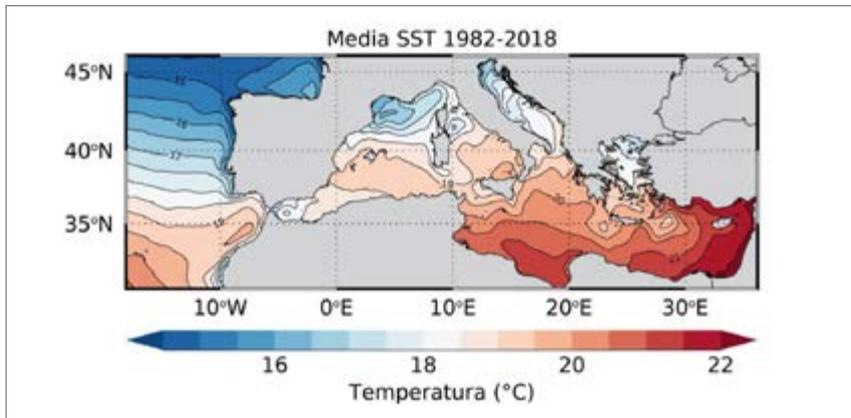


Fig.2 . Temperatura media della superficie del mare (SST) (°C) dal 1982 al 2018 derivata da dati satellitari CMEMS giornalieri

orientale dal 1985 al 2006 (Nykjaer, 2009). Risultati analoghi sono stati ottenuti da Garcia e Belmonte (2011) che hanno stimato un riscaldamento medio di  $0,031 \pm 0,003$  °C/anno nel Mediterraneo occidentale dal 1985 al 2007.

In un recente lavoro, Pisano et al. (2020) hanno fornito una versione aggiornata di queste valutazioni basandosi su una più lunga serie temporale (1982-2018) ed utilizzando una mappatura basata sulla combinazione di più satelliti sia in

orbita polare che geostazionaria. L'aria di indagine è riportata in figura 2 come media del periodo 1982-2018.

La distribuzione spaziale della SST mostra la tipica variazione latitudinale con valori più bassi al nord e più alti al sud. Questa distribuzione è comunque movimentata dalle firme superficiali delle maggiori strutture oceanografiche. Tra le più note risaltano con estrema evidenza il vortice a occidente di Creta e il vortice di Rodi, situato tra le isole di Rodi e di Creta, nel Mediterraneo orientale, entrambe caratterizzate da un minimo locale di temperatura (Marullo et al., 1999). Ad occidente, l'acqua relativamente più fredda del Golfo del Leone segna la zona di circolazione ciclonica caratterizzata da importanti eventi di formazione di acque profonde invernali (1999, Somot et al 2018) mentre in prossimità dello stretto di Gibilterra, nel mare di Alboran, le ac-

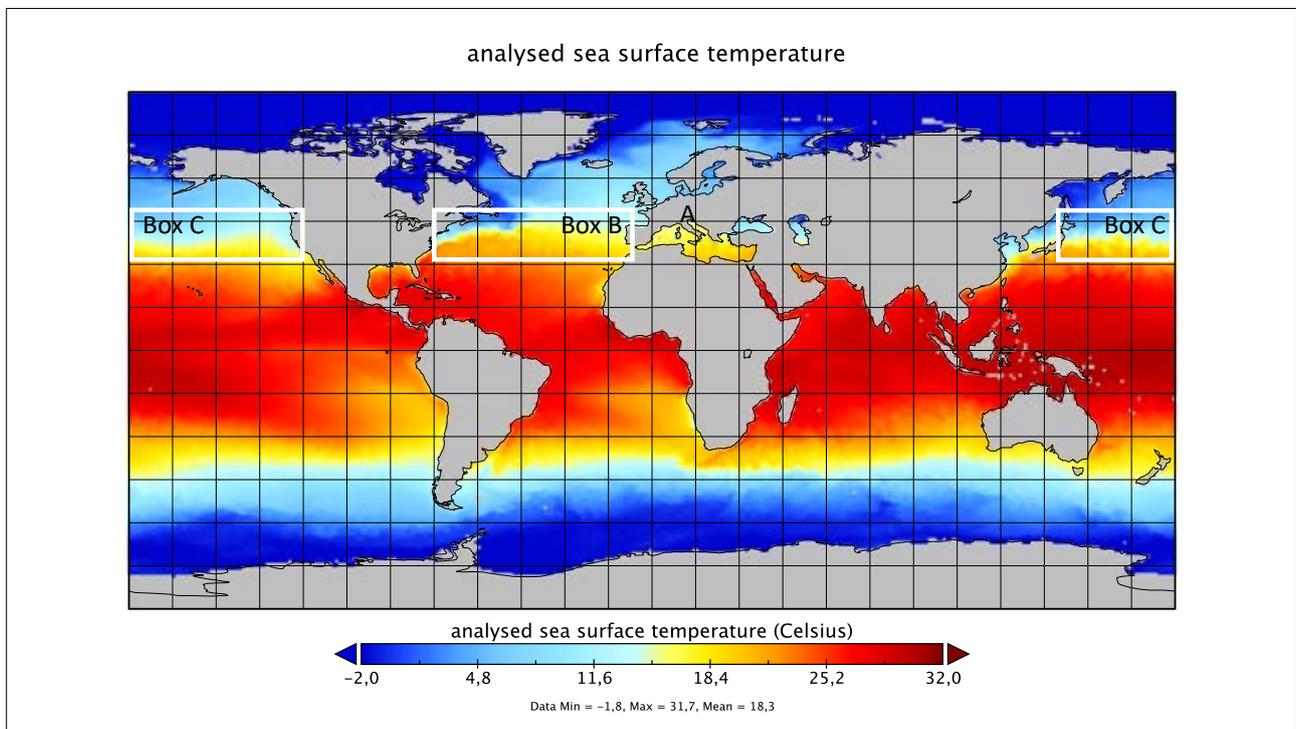


Fig.3 .Temperatura superficiale del mare nel Dicembre 2018. In bianco sono evidenziate le zone di mare utilizzate per il calcolo delle serie temporali riportate in figura 4. Prodotto OSTIA L4 generato utilizzando il sistema di rianalisi OSTIA v3.0 dal MET Office nell'ambito del progetto C3S

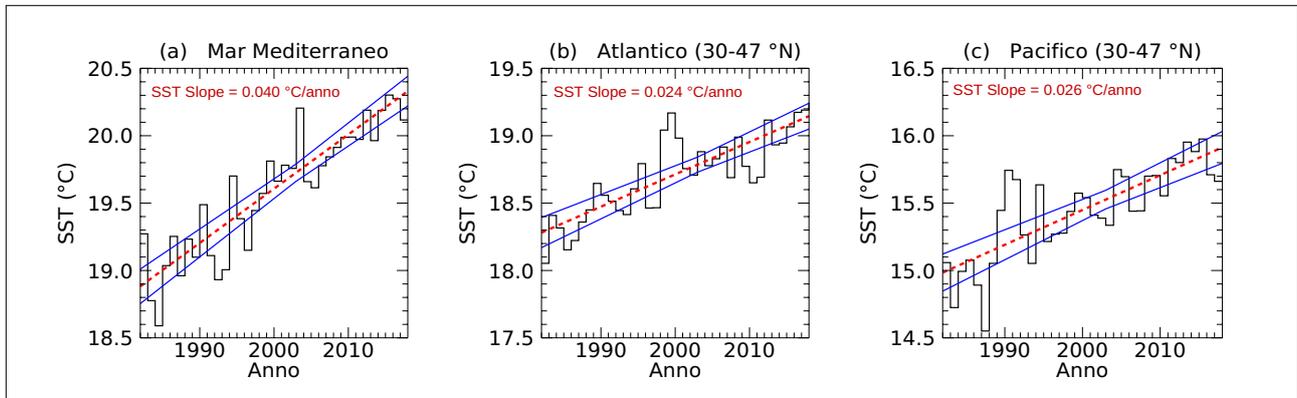


Fig.4. Andamento della media annuale della SST del mar Mediterraneo (a), Atlantico (b) e Pacifico (c) alle stesse latitudini (30–47 °N). La linea tratteggiata in rosso indica il risultato della regressione lineare mentre le due curve in blu definiscono l'intervallo di confidenza risultante da una deviazione standard per la pendenza e per l'intercetta della retta

que più fredde marcano la presenza del vortice di Alboran.

Pisano et al. (2020) hanno già fatto notare la tendenza a una sostanziosa e continua crescita della temperatura superficiale del Mediterraneo, contrapponendola a una situazione di crescita limitata nel box Atlantico, definito dalla zona di mare al di là di Gibilterra in figura 2, e ipotizzando che le tendenze osservate in quella limitata area dell'Atlantico fossero rappresentative dell'intero oceano, almeno alle latitudini del Mediterraneo. In seguito, a valle di una rivisitazione dei calcoli di Pisano et al. 2020 mostreremo la validità della loro ipotesi utilizzando gli stessi dati per il Mediterraneo, allargandosi ad ulteriori set di dati satellitari per il resto degli oceani globali alle latitudini del Mediterraneo (Figura 3).

L'andamento delle temperature medie annuali del Mediterraneo (Figura 4a) mostra infatti una crescita abbastanza continua con una decisa componente lineare che implica una variazione di circa 1.5 °C nell'intervallo temporale considerato dei 37 anni. Discostamenti positivi ed evidenti dalla linearità si osservano negli anni, 1982, 1986,

1990,1994, 1999, 2003 (Marullo e Guarracino, 2003), distribuiti, ad eccezione del 1999, ad intervalli regolari di quattro anni. Dal 2003 in poi discostamenti significativi dalla crescita lineare non sono stati osservati. Discostamenti negativi rispetto alla crescita lineare sono centrati negli anni 1984, 1992 e 1996 e 2005.

#### L'andamento negli oceani Atlantico e Pacifico

È interessante confrontare l'andamento lineare della crescita di temperatura nel Mediterraneo con il corrispondente andamento osservato negli oceani Atlantico e Pacifico (figure 4b e 4c) alle stesse latitudini. Il tasso di crescita della SST dell'oceano Atlantico alle latitudini del Mediterraneo, 0.024 °C/anno, risulta essere circa la metà di quello osservato nel Mediterraneo. Un analogo comportamento si registra anche nell'oceano Pacifico dove il tasso di crescita lineare è pari a 0.026 °C/anno. D'altra parte, se le differenze tra i tassi di crescita del Mediterraneo e quelle delle corrispondenti aree dell'Atlantico e del Pacifico sono

evidenti, l'analisi più dettagliata delle serie temporali rivela anche altri interessanti dettagli. **In particolare, non si può fare a meno di osservare che all'ininterrotta crescita della temperatura Mediterranea (a meno di oscillazioni lunghe pochi anni) non corrisponde un analogo comportamento nei due oceani.** Di particolare rilievo è infatti la pausa nella crescita della SST Atlantica a partire dal 1998 a cui non corrispondono analoghi comportamenti nel Mediterraneo e nel Pacifico.

L'analisi di dati satellitari descritta in questa breve nota, sia pur utilizzando un particolare caso di studio, mostra chiaramente come **le misure dallo spazio dell'oceano possano contribuire fattivamente alla definizione del clima attuale e alla quantificazione delle variazioni più recenti sfruttando la sinotticità delle misure e la continuità garantita dalle esigenze operative dei servizi meteorologici ed oceanografici.**

*Per info: salvatore.marullo@enea.it*

**BIBLIOGRAFIA**

1. Casey, K.S.; Brandon, T.B.; Cornillon, P.; Evans, R. The past, present, and future of the AVHRR Pathfinder SST program. In *Oceanography from Space*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2010; pp. 273–287
2. García, M.L.; Belmonte, A.C. Recent trends of SST in the Western Mediterranean basins from AVHRR Pathfinder data (1985–2007). *Glob. Planet. Chang.* 2011, 78, 127–136.
3. Giorgi, F. Climate change hot-spots. *Geophys. Res. Lett.* 2006, 33.
4. Huang, B., Thorne, P. W., Banzon, V. F., Boyer, T., Chepurin, G., Lawrimore, J. H., ... & Zhang, H. M. (2017). Extended reconstructed sea surface temperature, version 5 (ERSSTv5): upgrades, validations, and intercomparisons. *Journal of Climate*, 30(20), 8179–8205.
5. Marullo, S.; Santoleri, R.; Malanotte-Rizzoli, P.; Bergamasco, A. The sea surface temperature field in the Eastern Mediterranean from advanced very high resolution radiometer (AVHRR) data: Part I. Seasonal variability. *J. Mar. Syst.* 1999, 20, 63–81.
6. Marullo, S., & Guarracino, M. (2003). L'anomalia termica del 2003 nel mar Mediterraneo osservata da satellite. *Energia, ambiente e innovazione*, 6(03), 48-53.
7. Marullo, S., Buongiorno Nardelli, B., Guarracino, M., & Santoleri, R. (2007). Observing the Mediterranean Sea from space: 21 years of Pathfinder-AVHRR sea surface temperatures (1985 to 2005): re-analysis and validation. *Ocean Science*, 3(2), 299-310.
8. Marullo, S., Artale, V., & Santoleri, R. (2011). The SST multidecadal variability in the Atlantic–Mediterranean region and its relation to AMO. *Journal of Climate*, 24(16), 4385-4401.
9. Nykjaer, L. Mediterranean Sea surface warming 1985–2006. *Clim. Res.* 2009, 39, 11–17
10. Pisano, A., Marullo, S., Artale, V., Falcini, F., Yang, C., Leonelli, F. E., ... & Buongiorno Nardelli, B. (2020). New evidence of mediterranean climate change and variability from sea surface temperature observations. *Remote Sensing*, 12(1), 132.
11. Rayner, N. A. A., Parker, D. E., Horton, E. B., Folland, C. K., Alexander, L. V., Rowell, D. P., ... & Kaplan, A. (2003). Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D14).
12. Somot, S.; Houpert, L.; Sevault, F.; Testor, P.; Bosse, A.; Taupier-Letage, I.; Bouin, M.N.; Waldman, R.; Cassou, C.; Sanchez-Gomez, E.; et al. Characterizing, modelling and understanding the climate variability of the deep water formation in the North-Western Mediterranean Sea. *Clim. Dyn.* 2018, 51, 1179–1210.
13. Von Schuckmann, K., Le Traon, P. Y., Smith, N., Pascual, A., Brasseur, P., Fennel, K., ... & Zuo, H. (2018). Copernicus marine service ocean state report. *Journal of Operational Oceanography*, 11(sup1), S1-S142.
14. World Meteorological Organization. (2017). WMO guidelines on the calculation of climate normals.

# Tecnologie satellitari per l'Habitat Mapping nei Paesi in Via di Sviluppo

*L'utilizzo di tecnologie satellitari di telerilevamento come il Remote Sensing (RS) e i Sistemi Informativi Geografici (GIS) è molto efficace per realizzare mappe ad alta risoluzione spaziale per osservare i cambiamenti ambientali e la risposta degli ecosistemi. Nell'ambito di un protocollo con il MITE, l'ENEA sta applicando queste tecnologie per lo sviluppo di una cartografia digitale dell'ambiente marino costiero degli arcipelaghi di Vanuatu e Tonga (Oceano Pacifico), minacciati dall'innalzamento del mare.*

DOI 10.12910/EAI2021-095

di Mattia Barsanti e Ivana Delbono - Laboratorio Biodiversità e Servizi Ecosistemici e Silvia Cocito - Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale (\*)

**L**e barriere coralline e i loro ecosistemi associati, come le fanerogame e le mangrovie, sono minacciati dai cambiamenti climatici (riscaldamento globale, acidificazione degli oceani, innalzamento del livello del mare), dalle perturbazioni naturali (tempeste, cicloni) e dalle crescenti pressioni antropiche (turismo, pesca, ancoraggio, inquinamento, urbanizzazione). La maggior parte della popolazione vive lungo le coste delle isole dove sono presenti habitat di pregio ed il tenore di vita dipende essenzialmente dai servizi che questi ecosistemi forniscono: cibo, materiali da costruzione, protezione costiera, turismo e altri benefici. Ad esempio, le mangrovie, piante legnose sempreverdi tolleranti al sale, sono tra gli habitat più produttivi ed ecologicamente significativi perché forniscono numerosi beni e servizi alle popolazioni, quali la stabilizzazione delle coste, il mantenimento dell'equilibrio ecologico e della biodiversità, e la riduzione della concentrazione di anidride carbonica. Tuttavia, negli ultimi due decenni del XX secolo, circa il 35% delle foreste di mangrovie del mondo è scomparso.

Il futuro scenario climatico prevede che, nei prossimi decenni, la mortalità dei coralli possa raggiungere fino al 60% nelle aree dove sono presenti barriere coralline poco profonde. Inoltre, il fenomeno dello sbiancamento è aumentato in frequenza e in intensità e l'azione degli uragani, la cui energia è aumentata rispetto ai decenni precedenti, sta influenzando la vitalità delle barriere coralline in acque meno profonde. I coralli ermatipici, caratterizzati da uno scheletro di carbonato di calcio, sono i più sensibili agli effetti sinergici del riscaldamento globale, della distruzione degli uragani e dell'acidificazione degli oceani, con conseguenze sulla loro abbondanza e distribuzione (Hoegh-Guldberg et al., 2007).

È quindi evidente che i principali interventi di gestione per contrastare gli effetti del cambiamento climatico devono avere l'obiettivo di proteggere le barriere coralline, preservarne la biodiversità, valutarne la vulnerabilità e monitorare gli effetti dei cambiamenti climatici. È inoltre necessario sviluppare strategie di gestione ed azioni locali e regionali per ridurre le emissioni

di gas serra nell'ottica delle *Nature-Based Solutions*.

## Il Protocollo d'intesa fra ENEA e MITE

Sulla base delle criticità ambientali descritte, con il supporto della Sezione Trasferimento tecnologico verso i Paesi in Via di Sviluppo in ambito cambiamento climatico del Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali (SSPT), è stato siglato un Protocollo di Intesa tra l'allora Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (oggi Ministero della Transizione Ecologica, MiTE) ed ENEA, finalizzato all'attivazione di un programma di collaborazione per la realizzazione di interventi di trasferimento tecnologico e cooperazione verso i Paesi in Via di Sviluppo (PVS). Questo Protocollo di Intesa ha permesso di avviare due distinti progetti con attività di habitat mapping nei centri ENEA S. Teresa (La Spezia) e di Bologna con il Ministero degli Affari Esteri della Repubblica di Vanuatu (MAEV) ed il Dipartimento dell'Ambiente del Ministero della Meteorolo-



gia, dell'Energia, dell'Informazione, della Gestione dei Disastri, dell'Ambiente, dei Cambiamenti Climatici e delle Comunicazioni (MEIDECC) del Regno di Tonga.

In queste attività sono coinvolti i ricercatori ENEA della Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale e della Divisione Modelli e Tecnologie per la Riduzione degli Impatti Antropici e dei Rischi Naturali. L'obiettivo principale di entrambi i progetti è lo sviluppo di una cartografia digitale dell'ambiente marino costiero dei due arcipelaghi (Vanuatu e Tonga) dell'Oceano Pacifico. A tal fine, è in corso l'analisi e la foto-interpretazione di immagini satellitari della famiglia Sentinel-2 del programma Copernicus ([www.copernicus.eu](http://www.copernicus.eu)) per mezzo di tecniche di telerilevamento (Remote Sensing) per la classificazione delle strutture geomorfologiche presenti nelle barriere coralline. I due progetti, entrambi iniziati nel 2019, si concluderanno nell'ottobre del 2022 a

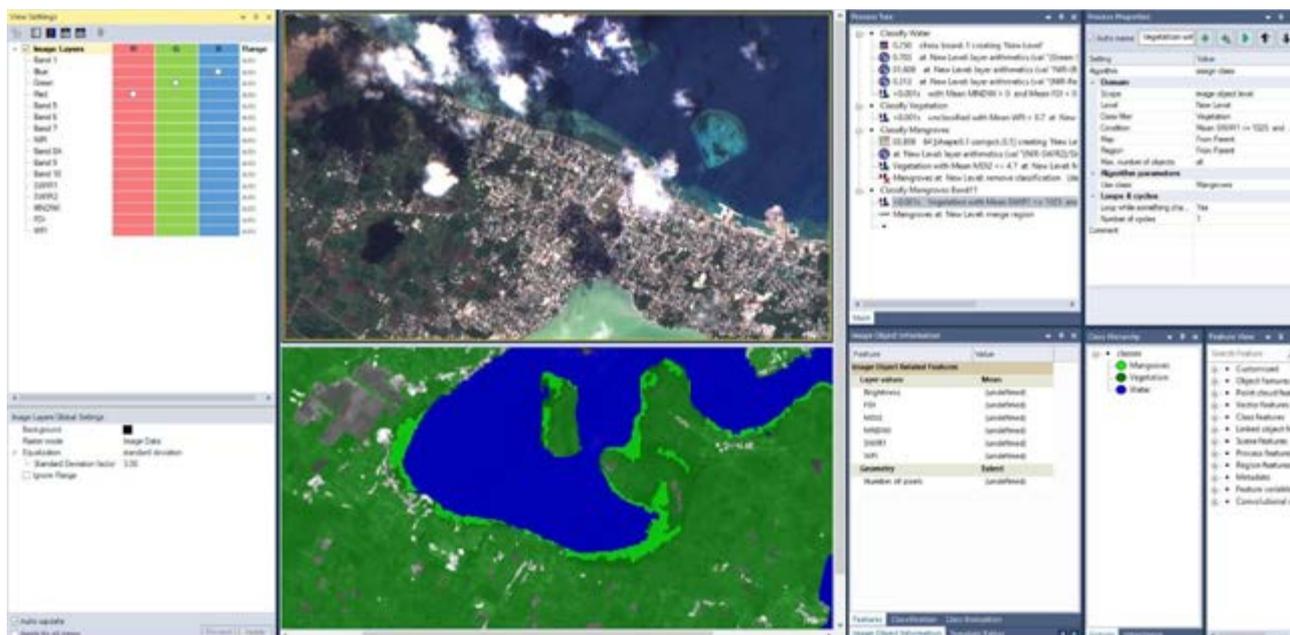
causa di una proroga per la pandemia di SARS-CoV-2.

### Il Remote Sensing per l'individuazione degli ecosistemi corallini

L'utilizzo delle tecnologie di Remote Sensing (RS) e dei Sistemi Informativi Geografici (GIS) si è rivelato negli ultimi anni particolarmente efficace ed economico per produrre cartografie tematiche digitali in vaste e remote aree del pianeta. L'utilizzo delle immagini satellitari permette infatti la definizione di mappe ad alta risoluzione spaziale con un monitoraggio temporale elevato, permettendo così di osservare i cambiamenti ambientali e seguirne la risposta degli ecosistemi. In particolare, la necessità di gestire efficacemente i sistemi di barriera corallina e gli ambienti costieri associati, come mangrovie e fanerogame, richiede la capacità di valutare il loro stato attuale ed i cambiamenti nel tempo, rilevando anche gli effetti che agiscono su piccola scala che

possono essere scongiurati da azioni di gestione locale.

Rispetto al campionamento mediante indagine sul campo, la mappatura degli habitat marino costieri e la valutazione dello stress ambientale per mezzo del RS è altamente conveniente sia in termini economici che cartografici (Andréfouët et al., 2005). Sebbene la mappatura della composizione della barriera corallina da un satellite intrinsecamente non possa fornire il livello di accuratezza e dettaglio che un'indagine sul campo potrebbe fornire allo stesso punto, il potere statistico per estrapolare modelli su larga scala beneficia di una copertura areale completa (Hedley et al., 2016). Inoltre, nel caso degli habitat mangrovie, a causa dello speciale ambiente di crescita e delle loro fitte foreste, è difficile 'entrare' fisicamente in tali ambienti per effettuare rilevamenti e campionamenti estesi. Questa difficoltà è stata superata tramite il RS che fornisce un metodo accurato, efficiente e ripetitivo per mappare e valutare lo stato



Interfaccia del software eCognition Developer (Trimble©) con l'immagine Sentinel-2 dell'isola di Tongatapu (Regno di Tonga). A sinistra: le diverse bande disponibili nell'immagine satellitare. Al centro: in basso la classificazione delle mangrovie dove il verde chiaro indica la copertura di mangrovie, sopra l'immagine satellitare; in alto, l'immagine di Sentinel-2. A destra: l'area di lavoro per la definizione e l'applicazione dell'algoritmo per classificare le mangrovie

di salute di questo habitat importante, sia dal punto di vista ecologico che economico per le popolazioni locali. Le immagini satellitari multispettrali utilizzate appartengono alla coppia dei satelliti Copernicus Sentinel-2, lanciati in orbita nel 2015 (2A) e nel 2017 (2B). I sensori multispettrali montati su questi satelliti permettono di acquisire immagini con 13 bande che abbracciano diverse regioni dello spettro elettromagnetico, nel visibile/infrarosso e nella banda dell'infrarosso

so a onde corte (SWIR). Dal **processamento di queste immagini tramite specifici algoritmi con software dedicati e con tecniche di fotointerpretazione, è possibile classificare i principali degli habitat delle barriere coralline e la copertura delle mangrovie costiere.** Le tecnologie satellitari in acque poco profonde costituiscono un valido contributo negli studi ecologici e nella gestione degli ambienti marino-costieri per monitorare da remoto gli ef-

fetti dei cambiamenti climatici in atto.

(\*) *Elena Candigliota, Francesco Imbordino, Lorenzo Moretti, Laboratorio Tecnologie per la Dinamica delle Strutture e la Prevenzione del rischio sismico e idrogeologico, ENEA; Andrea Peirano, Laboratorio Biodiversità e Servizi Ecosistemici, ENEA.*

Per info: [mattia.barsanti@enea.it](mailto:mattia.barsanti@enea.it)

#### BIBLIOGRAFIA

1. Andréfouët S., Hochberg E.J., Chevillon C., Muller-Karger F.E., Brock J.C., Hu C. 2005. Multi-scale remote sensing of coral reefs. In Remote Sensing of Coastal Aquatic Environments. Har, R.L., Miller, X., Del Castillo, C.E., Mckee, B.A., Eds.; Springer: Dordrecht, the Netherlands, pp. 297-315.
2. Hedley J.D., Roelfsema C.M., Chollett I., Harborne A.R., Heron S.F., Weeks S., Skirving W.J., Strong A.E., Eakin C. M., Christensen T.R.L., Ticzon V., Bejarano S. and Mumby P. J. 2016. Remote Sensing of Coral Reefs for Monitoring and Management: A Review. Remote Sensing 8, 118: 1-40.
3. Hoegh-Guldberg O., Mumby P.J., Hooten A.J., Steneck R.S., Greenfield P., Gomez E., Harvell C.D., Sale P.F., Edwards A.J., Caldeira K., et al. 2007. Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. Science, 318, 1737-1742.

# Il Progetto ESA-INSURE: i satelliti per la messa in sicurezza delle piattaforme energetiche marine

Una cordata pubblico-privata italiana composta da Eni, METAPROJECTS, International Research School of Planetary Sciences, NEXT Ingegneria dei Sistemi, S.R.S. Servizi di Ricerche e Sviluppo e TIM, coordinata da ENEA ha vinto un bando dell'Agenzia Spaziale Europea per uno studio di fattibilità sull'utilizzo di tecnologie satellitari per la messa in sicurezza di infrastrutture energetiche marine come piattaforme petrolifere, del gas e wind farm. Il cuore del sistema è una piattaforma di realtà virtuale aumentata, in grado di integrare i dati provenienti dalle immagini satellitari Earth Observation (radar, ottici ed iperspettrali) e da sensori installati su droni aerei e subacquei, utilizzando i sistemi di navigazione satellitare globale (GSNS), le comunicazioni satellitari (SatCom) e 5G.

DOI 10.12910/EAI2021-096

di Antonio Palucci - Responsabile del Laboratorio Diagnostiche e Metrologia

**A**ll'esaurimento dei giacimenti per l'estrazione di olio e gas, molte delle piattaforme in mare aperto arrivano a fine vita. Si stima che nel prossimo decennio verranno chiusi circa 1.800 pozzi e le loro strutture smantellate. La maggior parte sono localizzate nel Golfo del Messico, nel Mare del Nord, ma anche in altre parti del mondo compreso il Mediterraneo. Lo smantellamento di queste piattaforme coinvolgerà operatori e governi, generando un giro di affari che potrebbe ammontare fino a 100 miliardi di dollari nel solo Mare del Nord e circa 2 miliardi di dollari nel Mar Mediterraneo.

In questo contesto, crescono le opportunità e l'interesse per sistemi innovativi che possano supportare le attività di smantellamento. Una cordata italiana guidata da ENEA e composta da enti

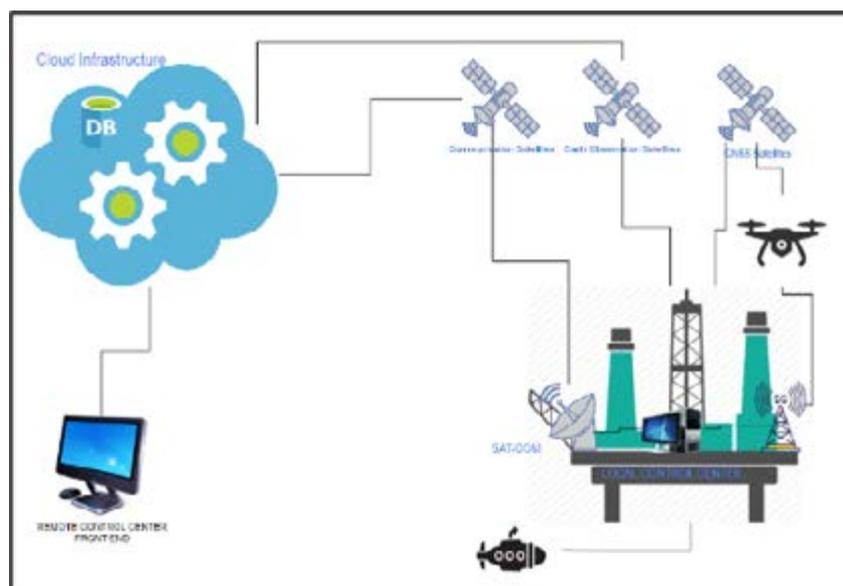


Fig.1 Il sistema integrato di sorveglianza satellitare e terrestre integrato nella rete di comunicazione

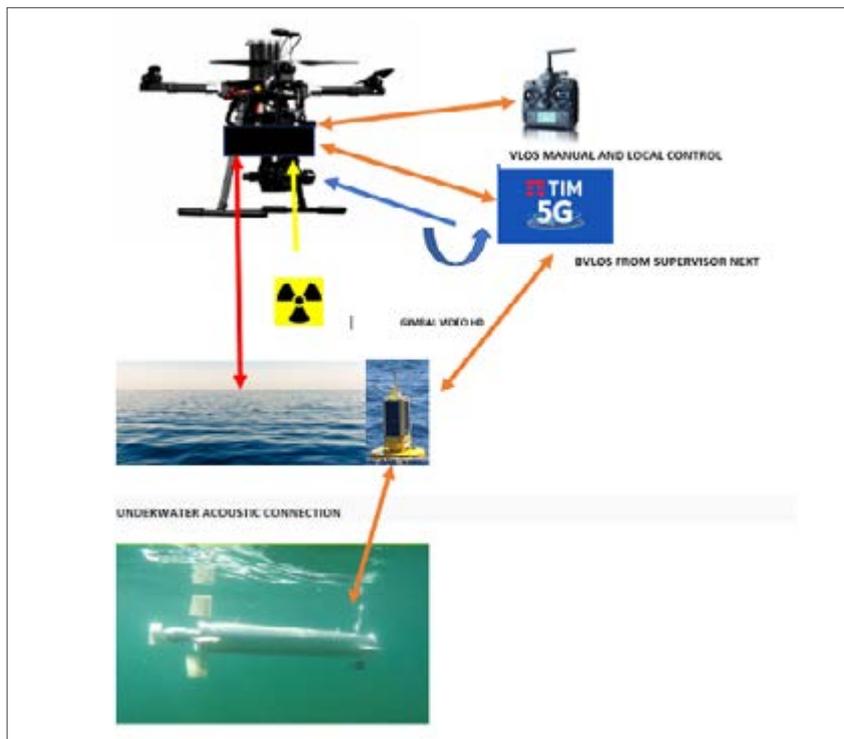


Fig.2 Sensore per il monitoraggio remoto LIF installato su drone

di ricerca pubblici e privati, aziende che riuniscono un mix di know-how tecnologico e scientifico di eccellenza in questo settore quali Eni, META-PROJECTS, IRSPS (International Research School of Planetary Sciences), NEXT Ingegneria dei Sistemi, S.R.S. (Servizi di Ricerche e Sviluppo) e TIM, ha vinto il bando dell'Agenzia Spaziale Europea per un studio di fattibilità particolarmente innovativo.

Il progetto denominato INSURE (INnovation in SUSTainable offshoRe dEcommissioning) si focalizza sull'implementazione di nuove metodologie per lo smantellamento in sicurezza di piattaforme petrolifere, di gas naturale ed olioparchi eolici marini giunti a fine vita e la valutazione delle possibili soluzioni di 'second life'.

### Una piattaforma di realtà virtuale aumentata

INSURE punta sull'utilizzo di tecnologie innovative, droni, sensori,

sistemi IoT (Internet of Things) e di intelligenza artificiale e si incardina nel programma ARTES 4.0 voluto dall'ESA per esplorare nuove opportunità commerciali per l'impiego delle tecnologie satellitari.

L'obiettivo è di mettere insieme queste competenze al servizio dell'industria

e promuovere un approccio innovativo che consenta di migliorare la sicurezza dei lavoratori, di potenziare il monitoraggio ambientale, di ridurre l'impatto e i costi operativi, di incrementare l'efficienza delle operazioni e offrire soluzioni per la sostenibilità di investimenti pubblici e privati.

Il cuore del sistema è una piattaforma di realtà virtuale aumentata (AVRP), sviluppata da NEXT Ingegneria dei Sistemi, in grado di integrare le informazioni provenienti dalle immagini satellitari Earth Observation (radar, ottici ed iperspettrali), dai sensori installati su droni aerei e subacquei, utilizzando i sistemi di navigazione satellitare globale (GSNS), le comunicazioni satellitari (SatCom) e 5G (Figura 1).

A questo insieme tecnologico avanzato si aggiungono infrastrutture di tipo cloud per consentire un accesso rapido e completo ai dati ad altissima risoluzione spaziale e temporale e seguirne in tempo reale gli spostamenti e le movimentazioni in campo. Il progetto mira a portare l'effettivo accesso ai dati e alle informazioni dall'IoT al paradigma dell'Internet of Knowledge. Questo particolare aspetto di comunicazioni viene seguito e supportato da TIM.

ENEA mette a disposizione le tecnologie di monitoraggio ambientale



Fig.3 Portale di accesso al sistema di controllo INSURE.

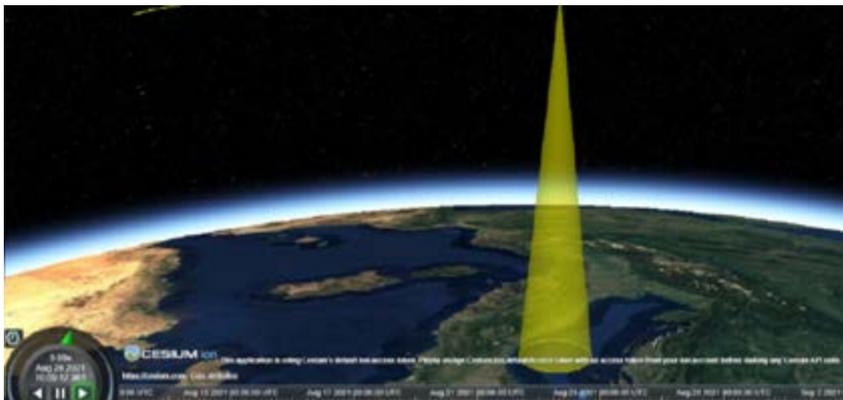


Fig.4 Traiettorie satellitari preimpostate nel sistema INSURE

con strumentazione e strutture di alto contenuto di innovazione; in particolare, sta completando lo sviluppo di un payload LIF (Laser Induced Fluorescence) da installare sui droni realizzati in ambito dell'iniziativa EXADRONE sviluppata con MetaProjects presso il Centro ENEA del Brasimone, sull'Appennino tosco emiliano, in provincia di Bologna (Figura 2). Il drone con il suo payload permetterà di effettuare mappature dello stato di salute delle acque intorno alla piattaforma, monitorando in tempo reale e a distanza l'ecosistema marino e l'eventuale presenza/assenza di sostanze organiche di derivazione naturale o indotta da rilasci. Per la parte sommersa, ENEA dispone di droni sottomarini filoguidati ed autonomi, in grado di operare in sciame e dotati di un'intelligenza artificiale che permette di impostare missioni di monitoraggio e di eseguire operazioni anche complesse in completa autonomia permettendo una comunicazione integrata tra modem acustici e ottici che si collegheranno anche all'esterno. La piattaforma di realtà aumentata, mostrata in Figura 3, è stata realizzata preimpostando una serie di satelliti con le loro rispettive traiettorie e zone di monitoraggio marino, oltre a quelli di comunicazione basati sulle tecnologie SATCOM e 5G, predisponendo già l'acquisizione dei dati dalle

agenzie spaziali (Figura 4). Il partner IRSPS si occupa della selezione delle immagini ottiche e radar e del loro processamento. A questi dati si aggiungeranno quelli provenienti dai sistemi di indagine mobili (droni e sottomarini) (Figura 5), dati ambientali, video. I componenti software saranno ospitati in un'infrastruttura di tipo cloud, con vantaggi quali la scalabilità, la dematerializzazione di server, l'abbattimento dei costi, la velocizzazione nel ciclo di sviluppo e la distribuzione fino all'utente finale. Il front-end del centro di controllo è implementato come una Web-App che integra un GIS 3D (Sistema Informativo Geografico), utilizzato sia per la pianificazione che per il monito-

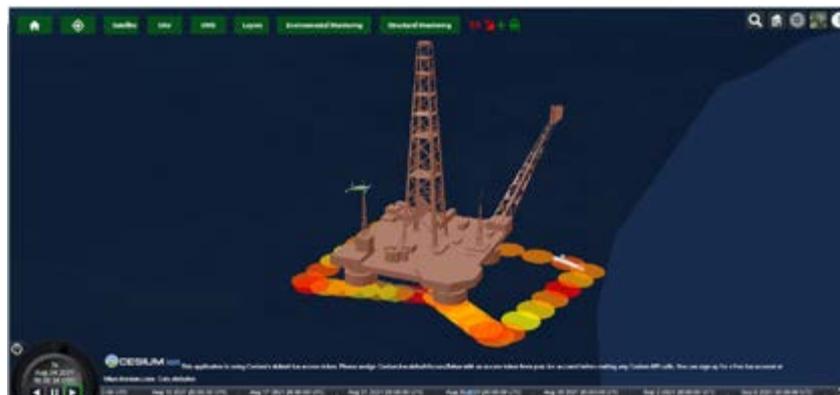


Fig.5 Controllo remoto di droni volanti e sottomarini

raggio delle attività, la presentazione dei dati geografici e l'incorporazione di immagini EO (Figura 6). La Web-App ospitata nell'infrastruttura cloud implica che il sistema INSURE sarà accessibile a tutti gli utenti autorizzati da qualsiasi luogo, ogni volta che è disponibile una connessione Internet.

### 'Fase 2' e blue economy

Fra gli aspetti più complessi dello smantellamento vi sono la definizione delle procedure di intervento, la tracciabilità dei trasporti in mare e a terra, l'identificazione delle modalità di trattamento e gestione dei materiali di risulta, aspetti di cui si fa carico il partner S.R.S..

Tra le richieste che ha posto ESA nel bando, c'è anche quella di approfondire un'eventuale 'Fase 2' del processo, nel momento in cui una piattaforma è stata liberata dalle attrezzature proprie dell'attività estrattiva e si apre la possibilità di un suo futuro riutilizzo nell'ambito della blue economy.

INSURE ha cercato sin dall'inizio di coinvolgere istituzioni (Regioni e Ministero), operatori turistici, di settore energetico e non sul territorio per valutare - attraverso l'invio di uno specifico questionario - le proposte per gli eventuali riutilizzi di queste infrastrutture e, nel caso, i requisiti da

rispettare. Nell'approccio di progetto, INSURE ha deciso di **focalizzare la sua azione nella zona del bacino mediterraneo italiano**, anche se gli incontri avuti con istituzioni e addetti stranieri hanno confermato che le esigenze sono simili e quindi trasferibili nelle diverse parti del mondo.

Gli operatori intervistati hanno sottolineato in particolare l'importanza di conoscere lo stato delle parti emerse/sommerse, le dimensioni, la distanza dalla costa, le connessioni/comunicazioni esistenti, gli aspetti logistici, i regolamenti, i supporti finanziari e i potenziali riutilizzi. Fra questi ultimi prevale l'idea di applicare nuove tecnologie per la produzione di energia eolica e/o solare e di idrogeno 'verde' che potrebbe essere stoccato nel pozzo esausto o inviato a terra con le sue linee di trasporto. Alcune soluzioni hanno riguardato l'installazione di ripetitori di grandi dimensioni, tenuto conto del bassissimo rumore di fondo e che le piattaforme sono lontane dai centri abitati urbani. Gli operatori del territorio sono invece più interessati ad uno sfruttamento commerciale/turistico tipo resort o 'isole' balneari, mentre enti ed organizzazioni culturali sono interessate ad un'applicazione didattico/formativo come laboratori di addestramento in mare



Fig.6 Sistema Informativo Geografico selezionabile da menù

con sviluppo di isole ecologiche sottomarine dedicate (Figura 7).

Grazie quindi a questo coinvolgimento delle imprese operanti nel settore e non, INSURE ha raccolto informazioni utili per realizzare una specifica proposta operativa da sottoporre a valutazione economica per poi essere offerta ad una più vasta platea a livello internazionale. In questo contesto il partner Eni sta eseguendo un'attenta analisi delle proprie infrastrutture marine al fine di individuare la 'candidata' dove testare questo insieme di tecnologie.

In generale, lo studio di fattibilità sta gettando le basi per dare vita ad una solida piattaforma dalla quale partire

per applicare questa metodologia con un progetto pilota in mare.

In conclusione, **INSURE vuole offrire un approccio integrato e un'opportunità per una transizione economica innovativa e sostenibile, al fine di migliorare la gestione dello smantellamento delle strutture in mare aperto arrivate a fine vita, avendo come obiettivi primari il monitoraggio ambientale e gli aspetti socio-economici per la gestione e lo sviluppo di nuove strutture per impianti ad energia rinnovabili e/o sfruttamento turistico rispettoso dell'ambiente.**

*Per info: [antonio.palucci@enea.it](mailto:antonio.palucci@enea.it)*

# Lo sviluppo dei componenti ottici per le applicazioni della Space Economy

*Il gruppo Componenti Ottici dell'ENEA vanta una lunga tradizione nello sviluppo di componenti ottici per un vasto spettro di applicazioni utilizzate in programmi di esplorazione nell'orbita terrestre, ma anche nello spazio interplanetario, il Deep Space. Il Gruppo collabora a progetti dell'Agenzia Spaziale Europea, con numerosi organismi e istituti di ricerca in Italia e in protocolli internazionali come il Progetto di Grande Rilevanza AstroOptElect, nell'ambito del Protocollo di collaborazione scientifica e tecnologica tra l'Italia e la Cina 2019-2022.*

DOI 10.12910/EAI2021-097

di Anna Sytchkova - Laboratorio Ingegneria Processi e Sistemi per l'Energia

**L**o sviluppo degli strumenti ottici per lo spazio, per decenni è stato oggetto di ricerca e studi di ingegneria finanziati dai governi. Nel tempo, il ruolo dell'osservazione della Terra dallo spazio e lo studio dell'Universo dai satelliti si sono evoluti: pur conservando la funzione di propulsori della rivoluzione tecnologica, sono diventati anche uno strumento di uso quotidiano che garantisce un flusso continuo dei dati essenziali per scopi civili e militari. Infatti, la sicurezza e la difesa rimarranno sempre i campi d'interesse strategico, e quindi controllati dagli organismi statali, anche se ormai più di tre quarti di tutti i lanci spaziali vengono effettuati per missioni riferite alla Space Economy e alla New Space Economy.

Il business privato nello spazio, basato sull'uso dei componenti ottici, si occupa non solo delle telecomunicazioni e delle previsioni meteorologiche che costituiscono ancora la gran parte dei ser-

vizi forniti dai satelliti orbitanti attorno alla Terra. Il numero di applicazioni cresce velocemente, insieme all'insorgere dei nuovi modelli di business.

La 'commercializzazione' dello spazio significa, in particolare, che i singoli operatori possono acquistare soluzioni tecnologiche avanzate e tradurre rapidamente le loro idee nella pratica. Per i componenti degli strumenti ottici utilizzati nello spazio questo significa innanzitutto la miniaturizzazione e l'abbattimento dei costi di produzione. Sono i due aspetti per i quali la ricerca può proporre soluzioni efficienti basate sull'expertise acquisita nei progetti realizzati in passato, ma anche investendo nello sviluppo mirato ad uno scopo specifico, su richiesta del committente.

**Il Gruppo Componenti Ottici dell'ENEA**

**Il Gruppo Componenti Ottici dell'E-**

NEA nato all'inizio degli anni '80 vanta una lunga tradizione di sviluppo di componenti ottici per un vasto spettro di applicazioni, dagli specchi per cavità laser ai vetri per la protezione dei beni culturali ai filtri ottici per i programmi spaziali, come quelli dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA), spesso in collaborazione con altri istituti in Italia e all'estero. I programmi come Lightning Imager (Fig.1), per il monitoraggio dei fulmini nell'atmosfera terrestre e le previsioni climatiche, hanno visto l'affinamento delle tecnologie di realizzazione dei rivestimenti ottici a film sottili. Il filtro per il Lightning Imager era un filtro passa-banda spettralmente molto stretto ma uniforme lungo la sua ampia superficie, due qualità difficilmente conciliabili. Questo lavoro ha creato delle basi per la prototipazione e poi la realizzazione industriale del satellite Meteosat della terza generazione, Meteosat Third Generation (MTG).

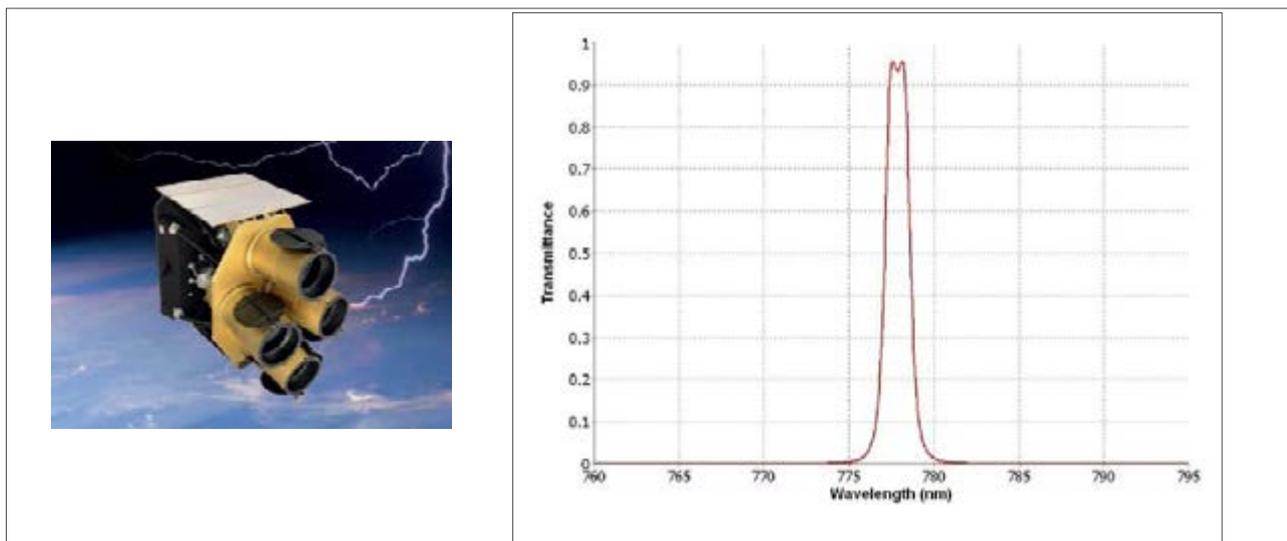
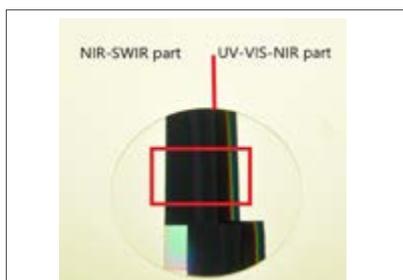


Fig.1 Filtro passa-banda stretto per il monitoraggio dei fulmini nell'atmosfera dallo spazio. A destra: Immagine del satellite portatore dello strumento Lightning imager. A destra: La banda di trasmissione del filtro è centrata sulla tripletta d'emissione d'ossigeno a 777.4 nm



Fotografia di un doppio filtro, vedi dettagli nel testo

**Ancor prima, ENEA ha realizzato progetti mirati allo sviluppo dei mini-spettrometri basati su filtri variabili.** La prestazione ottica varia lungo una direzione sulla superficie del filtro, mentre è costante nella direzione ortogonale alla direzione di variazione. La variazione tipicamente segue una legge lineare a gradiente costante, cosiddetto filtro

variabile lineare (LVF). Il design di alcuni spettrometri, richiede una variazione non lineare e l'ENEA ha nel portfolio anche lo sviluppo dei filtri variabili non lineari (NLVF). Il doppio LVF illustrato nella Fig.2 copre un range spettrale inusualmente vasto, dall'ultravioletto all'infrarosso 440-2500 nm. Inoltre, il suo design ottico innovativo che impiega relati-

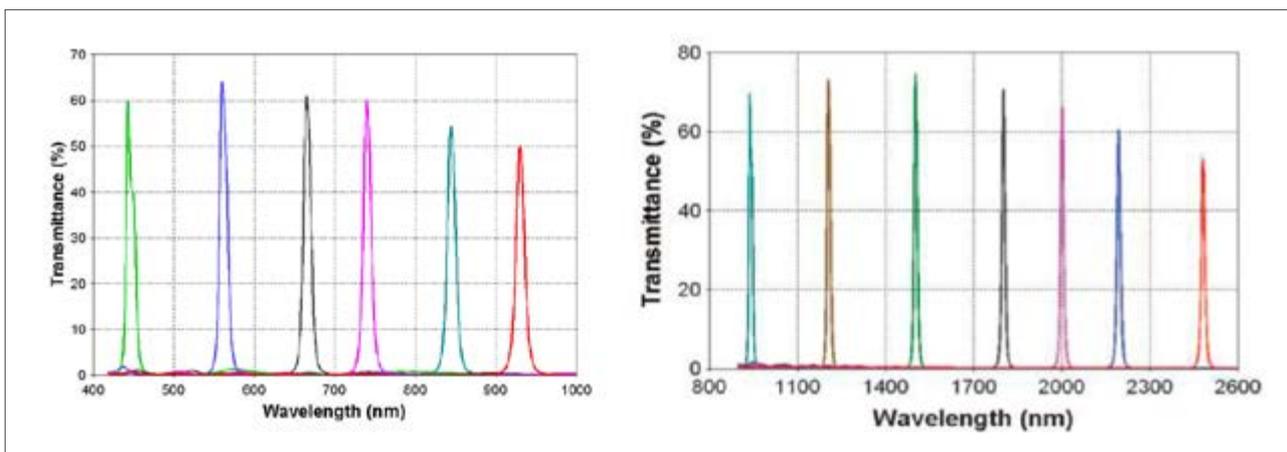


Fig.2 Filtro variabile lineare (LVF). La risposta ottica del filtro varia lungo una direzione sulla superficie del filtro, in un modo continuo e lineare. A sinistra: variazione della posizione spettrale delle bande di trasmissione ottica del filtro "Visible part". A destra: alcune bande di trasmissione ottica nell'infrarosso del filtro "Infrared part". Rif. M. Dami, R. DeVidi, G. Aroldi, F. Belli, L. Chicarella, A. Piegari, A. Sytchkova, J. Bulir, F. Lemarquis, M. Lequime, L. Abel Tibérini, and B. Harnisch "Ultra compact spectrometer using linear variable filters", Proc. SPIE 10565, International Conference on Space Optics – ICSSO 2010, 1056559 (11 January 2018); <https://doi.org/10.1117/12.2309265>

vamente pochi strati, assicura un'elevata stabilità delle prestazioni ottiche del LVF rispetto ad eventuali errori di produzione.

Lo studio dei materiali di cui erano composti i filtri, ha stimato la loro resistenza all'ambiente spaziale per garantire la stabilità della risposta ottica degli spettrometri basati su utilizzo di filtri variabili. Gli spettrometri di questo tipo hanno poi visto l'utilizzo nelle missioni che producono la spettroscopia d'immagine multi ed iperspettrale nell'osservazione della Terra e altri pianeti, come ad esempio la missione FLEX (FLuorescence EXplorer) Eight Earth Explorer dell'ESA, nonché lo studio degli asteroidi come ad esempio OVIRS - OSIRIS-Rex lanciato dalla NASA verso l'asteroide Bennu.

### Competenze ad ampio spettro

**L'attività di sviluppo dei componenti ottici a film sottili richiede delle competenze ad ampio spettro.** Si parte dalla progettazione del dispositivo ottico sulla base delle specifiche tecnologiche, in stretta collaborazione con gli ingegneri che ideano lo spettrometro, il telesco-

pio o altro strumento ottico dove il componente poi sarà utilizzato. Si passa poi alla scelta dei materiali, lo studio della loro compatibilità e resistenza all'ambiente d'esercizio: i componenti non devono compromettere la risposta ottica dello strumento nell'arco della sua vita.

La realizzazione del prototipo si effettua mediante le tecniche di deposizione da vapore fisico, come ad esempio sputtering a radio frequenza. L'operare di impianti di deposizione dei film sottili, quando eseguito a stato d'arte, permette di variare a richiesta le caratteristiche fisico-chimiche dei materiali dei film, imponendo il tal modo la loro risposta ottica e le caratteristiche meccaniche come la durezza, lo stress residuo ecc. Il prototipo innovativo ha poi spesso caratteristiche tali da rappresentare una sfida nel misurare la sua risposta ottica, in quanto non permette l'utilizzo degli strumenti commerciali. Perciò il Gruppo ENEA sviluppa anche le metodologie di misure ottiche ad alta precisione, nonché gli strumenti dedicati alla caratterizzazione specifica dei filtri con proprietà particolari. Ad esempio, i piccoli

filtri variabili o filtri grandi che devono essere molto uniformi, necessitano di banchi ottici di misura spazialmente risolta, Fig. 3. Il primo esempio illustra il caso di quando la caratterizzazione deve tracciare la variazione dello spettro trasmesso dal filtro in ogni punto lungo tutta la sua ampia superficie. Nel secondo caso la luce deve essere concentrata su una zona del filtro di dimensioni molto piccoli (alcuni micrometri) per minimizzare l'integrazione della risposta spettrale la quale varia lungo la superficie del filtro con un gradiente elevato che può essere anche di 200-300 nm/mm.

La metodologia di sviluppo dei componenti ottici a film sottili per applicazioni spaziali necessita anche degli studi sistematici sugli effetti d'esposizione dei singoli strati e dei filtri ottici a multistrato alle condizioni tipiche per l'ambiente spaziale. Se nel passato la maggior parte delle applicazioni sulle quali il Gruppo ha lavorato riguardava le orbite terrestri, ora l'interesse si è spostato verso le applicazioni nello spazio interplanetario, Deep Space, dove possono operare i satelliti per gli studi di astrofisica. L'int-

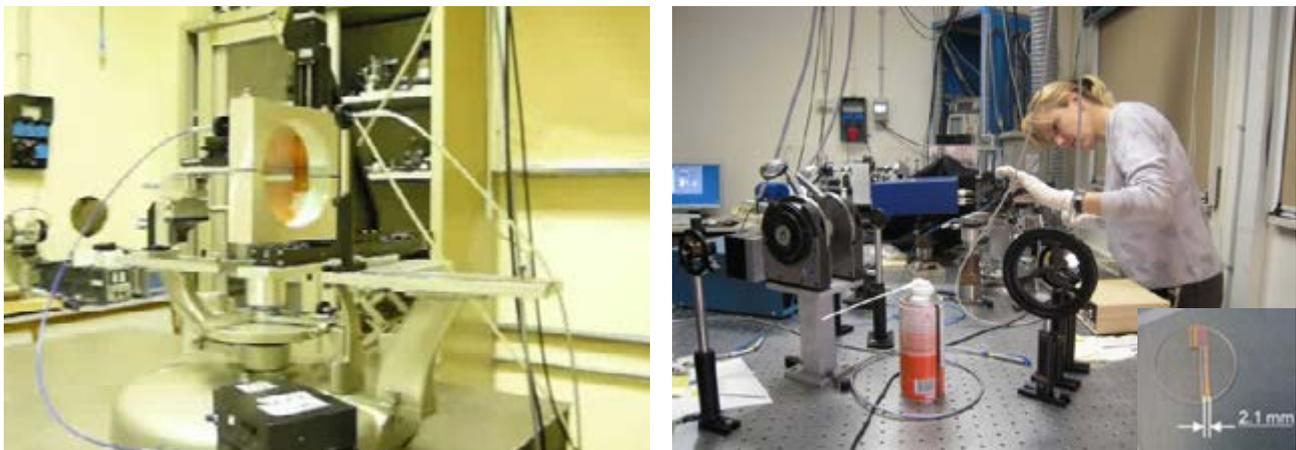


Fig.3 Banchi ad hoc per la caratterizzazione ottica dei componenti a film sottili. A sinistra: Misura di trasmittanza di un filtro uniforme di grandi dimensioni, rif. Fig. 1. A destra: Misura di trasmittanza di un filtro lineare variabile, rif. Fig.2. La zona di variazione è illustrata nell'insero sotto

resse teorico e l'attività sperimentale si concentrano sui fattori come la radiazione dei protoni di bassa energia, dei raggi gamma e quelli cosmici, della radiazione ultravioletta intensa. L'impatto di questi singoli fattori e il loro impatto sinergico sui materiali è l'oggetto dello studio attuale dove l'ENEA è capofila di un consorzio che, dal lato italiano, vede

la partecipazione dell'Università di Torino, dell'Università di Roma Tor Vergata e di una piccola-media industria MITEC s.r.l., mentre dal lato cinese partecipano l'Istituto scientifico Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics e una grande industria che è il Beijing Institute for Space Environmental Engineering.

**Il Progetto di Grande Rilevan-**

**za “Effetti dell'ambiente spaziale sui dispositivi ottici ed elettronici per le missioni spaziali astrofisiche,” *AstroOptElect*, fa parte dell'attuale Protocollo di collaborazione scientifica e tecnologica tra l'Italia e la Repubblica Popolare Cinese per il periodo 2019-2022.**

*Per info: [anna.sytchkova@enea.it](mailto:anna.sytchkova@enea.it)*

# La ricerca ENEA sui piccoli reattori per applicazioni spaziali

*I reattori nucleari per applicazioni spaziali sono stati studiati fin dagli anni '50 come alternativa più affidabile, efficiente e compatta rispetto all'energia solare. A partire dagli anni 2000 il rinnovato interesse per la esplorazione umana della Luna e, successivamente di Marte, hanno contribuito ad accrescere gli investimenti per la progettazione di piccoli reattori per future basi lunari. In questo contesto, ENEA ha dato vita a uno specifico gruppo di ricerca per sviluppare un reattore di piccola taglia per applicazioni spaziali, compatto, leggero, affidabile e sicuro.*

DOI 10.12910/EAI2021-098

di Mariano Tarantino - responsabile Sezione Progetti Innovativi - Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare

**I reattori nucleari per applicazioni spaziali (Space Nuclear Reactor – SNR) sono stati studiati fin dagli anni '50 come alternativa più affidabile, più compatta e di maggior efficienza rispetto all'utilizzo dell'energia solare.** Se nel secolo scorso l'utilizzo di questi reattori è stato limitato ad alcuni prototipi negli Stati Uniti e in Russia, a partire dagli anni 2000 il rinnovato interesse per la esplorazione umana della Luna, e quindi successivamente su Marte, ha contribuito ad incrementare gli investimenti per la progettazione di un reattore di piccola taglia per una futura base lunare. In particolare, la NASA, l'agenzia governativa civile responsabile del programma spaziale e della ricerca aerospaziale degli Stati Uniti d'America, insieme a diverse agenzie di ricerca americane, tra cui il Los Alamos National Laboratory e il Nevada National Security Site, **ha realizzato il progetto Kilopower**, progettando un reattore da qualche kilowatt di potenza raffreddato a tubi di calore con sodio. Kilopower genera energia attraverso una fissione nucleare attiva,

nella quale gli atomi si separano sprigionando energia e può produrre fino a 10 kilowattora di energia elettrica, abbastanza per rifornire un insieme di edifici residenziali per almeno un decennio: l'alimentazione elettrica di una stazione su Marte richiederebbe circa 40 kW, o quattro reattori Kilopower.

## Collaborazione ENEA-ASI per un Space Nuclear Reactor italiano

In questo contesto si inserisce l'interesse di ENEA per lo sviluppo di un reattore di piccola taglia per applicazioni spaziali, compatto, leggero, affidabile e sicuro. A tale scopo ENEA ha costituito un gruppo di progetto presso il Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare, con sede al Centro di ricerche del Brasimone, sull'Appennino tosco-emiliano dove sono stati avviati studi di option-engineering sugli SNRs.

Sfruttando le competenze dell'Agenzia Spaziale Italiana e il know how ENEA nel campo dei sistemi nucleari innovativi, e potenziali collaborazioni con

università e centri di ricerca italiani e industrie del settore, si vuole definire un concetto di SNR "italiano" che possa poi essere successivamente sviluppato attraverso una fase di progetto concettuale, ingegneristico e di proto-



Assemblaggio prototipo SNR per test di qualifica (ref.1)



tipazione con associate le azioni di Ricerca e Sviluppo necessarie.

La prima fase, che vede una collaborazione ENEA-ASI, della durata prevista di 15 mesi, si concluderà con uno studio di fattibilità nel quale si delineano le caratteristiche di un SNR "italiano". I principi di base che guideranno la progettazione sono la modularità, per garantire un facile ampliamento della potenza a disposizione dei coloni lunari, la ridondanza dei sistemi essenziali al corretto funzionamento del

reattore, per garantirne la massima sicurezza, la minimizzazione del peso totale del sistema, per rendere possibile il trasporto a bordo di un razzo cargo, e l'affidabilità dei componenti, privilegiando quindi ove possibile tecnologie mature rispetto a più incerte soluzioni esotiche. In questa prima fase ENEA partecipa in-kind allo studio mentre ASI, oltre al proprio know-how, mette a disposizione fondi per bandire assegni di ricerca dedicati a questi temi. E' inoltre prevista un'analisi costi-benefi-

ci di SNRs in ottica esplorazione della Luna, di Marte ed esplorazione dello spazio profondo.

Nelle fasi successive del progetto sono invece previsti gli studi sulle caratteristiche nucleari dei SNRs, sui sistemi di conversione della potenza e sugli schermaggi necessari.

*Per info: [mariano.tarantino@enea.it](mailto:mariano.tarantino@enea.it)*

#### BIBLIOGRAFIA

1. Gibson, Marc A., et al.: Kilopower Reactor Using Stirling TechnologY (KRUSTY) Nuclear Ground Test Results and Lessons Learned. NASA/TM—2018-219941, 2018. <http://ntrs.nasa.gov>

# I sistemi di mappatura non distruttiva UT

Per le attività di ricerca sui nuovi materiali e componenti utilizzati in campo nucleare ed aerospaziale, l'ENEA ha sviluppato un software di acquisizione ed elaborazione per controlli non distruttivi (non destructive testing) e, in particolare, per la tecnica ultrasonora. I risultati ottenuti stati presentati a vari congressi nazionali, attirando l'attenzione delle ditte operanti nel settore dei controlli non distruttivi, in particolare del comparto aeronautico.

DOI 10.12910/EAI2021-099

di Angelo Tati - Laboratorio Materiali e processi chimico-fisici

**P**er le attività di ricerca sui nuovi materiali e componenti utilizzati in campo nucleare ed aerospaziale, l'ENEA ha sviluppato un software di acquisizione ed elaborazione per controlli non distruttivi (non destructive testing) e, in particolare, per la tecnica ultrasonora<sup>1</sup>. I metodi applicati sono quelli degli esami clinici, quali la radiografia, gli ultrasuoni e diversi altri, più specifici, in grado di garantire l'assenza di difetti che ne compromettano il funzionamento, e allo stesso tempo non "invadano" o distruggano l'oggetto esaminato. Il software

presenti nel materiale.

Tutti i metodi si avvalgono di sistemi automatici che aiutano l'esperto a valutare la 'salute' del componente in modo veloce e ripetibile sollevandolo da un compito certe volte lungo e stancante. L'esame ultrasonoro è un metodo molto efficace se abbinato ad un sistema d'ispezione motorizzato.

## Gli ultrasuoni

Come per tutti i fenomeni ondulatori, è possibile definire per le onde sonore una lunghezza d'onda, un periodo T e una frequenza f, grandezze che

nel quale viaggiare. Ciò spiega perché nel vuoto non si propaga alcun suono. Quando la frequenza di tale onda sonora è compresa nel range tra 20 e 20000 Hz si parla di suoni udibili, mentre laddove il valore di 20 KHz sia oltrepassato si parla di ultrasuoni.

## Sviluppo del software di mappatura ultrasonora

Lo sviluppo di un software di mappatura ultrasonora ha avuto inizio negli anni 90 con l'acquisto di una macchina a 3 assi cartesiani motorizzati e 2 assi rotativi manuali per l'orientazione della sonda ad ultrasuoni. L'acquisto fu realizzato dal laboratorio di Controlli non Distruttivi dell'ENEA Casaccia il cui responsabile era il collega Ing. Franco Imperiali. Questa macchina sviluppata dalla ditta Gilarioni era nata per lo sviluppo e la caratterizzazione delle sonde ad ultrasuoni ed era utilizzata dall'ENEA per la messa a punto di tecniche ultrasonore in campo nucleare e controllo di componenti di grosso spessore. Una seconda macchina, più grande della prima, fu sviluppata a partire dagli anni 90 dalla ditta Contek in collaborazione con l'ENEA Frascati per controlla-

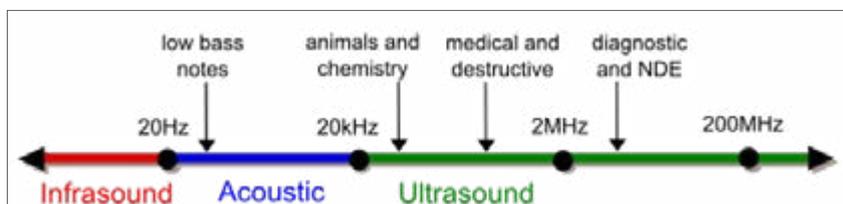


Fig.1 Spettro delle onde sonore

gestisce, tramite computer e schede elettroniche, dei sistemi motorizzati ed acquisisce i segnali provenienti dai sensori relativi al metodo utilizzato. I dati ottenuti sono elaborati per ottenere delle mappature in bianco e nero e falsi colori che evidenziano i difetti

sono legate fra loro dalle relazioni della meccanica ondulatoria, mentre c rappresenta la velocità di propagazione del suono nel mezzo considerato. Tuttavia, a differenza della luce, le onde acustiche necessitano per la loro propagazione, di un mezzo elastico



Fig.2 Vasca Gilardoni

re componenti di grandi dimensioni e geometria complessa. La macchina fu dotata di un braccio portasonda con due assi rotativi motorizzati in grado

di muovere la sonda e inseguire la superficie dei pezzi curvi<sup>2</sup>. Agli inizi degli anni '90 l'acquisto dei primi personal computer nei labora-

tori dell'ENEA permise di utilizzare delle schede di interfaccia hardware per la comunicazione con gli oscilloscopi, per l'acquisizione dei segnali ultrasonori, e con le macchine di movimentazione automatica suddette. La connessione di questa strumentazione al computer e l'uso di ambienti di sviluppo software a partire dal pacchetto ASYST e successivamente con il linguaggio Basic, C ed ASSEMBLER permisero la creazioni delle prime applicazioni automatiche ad ultrasuoni.

La difficoltà iniziale di questi software fu la gestione di grandi quantità di dati, la durata molto lunga delle misure e la presentazione grafica dei risultati che fu risolta nel corso dei 10 anni successivi con la comparsa di computer più potenti dotati di processori multi-thread, schede video con memoria dedicata, RAM di de-

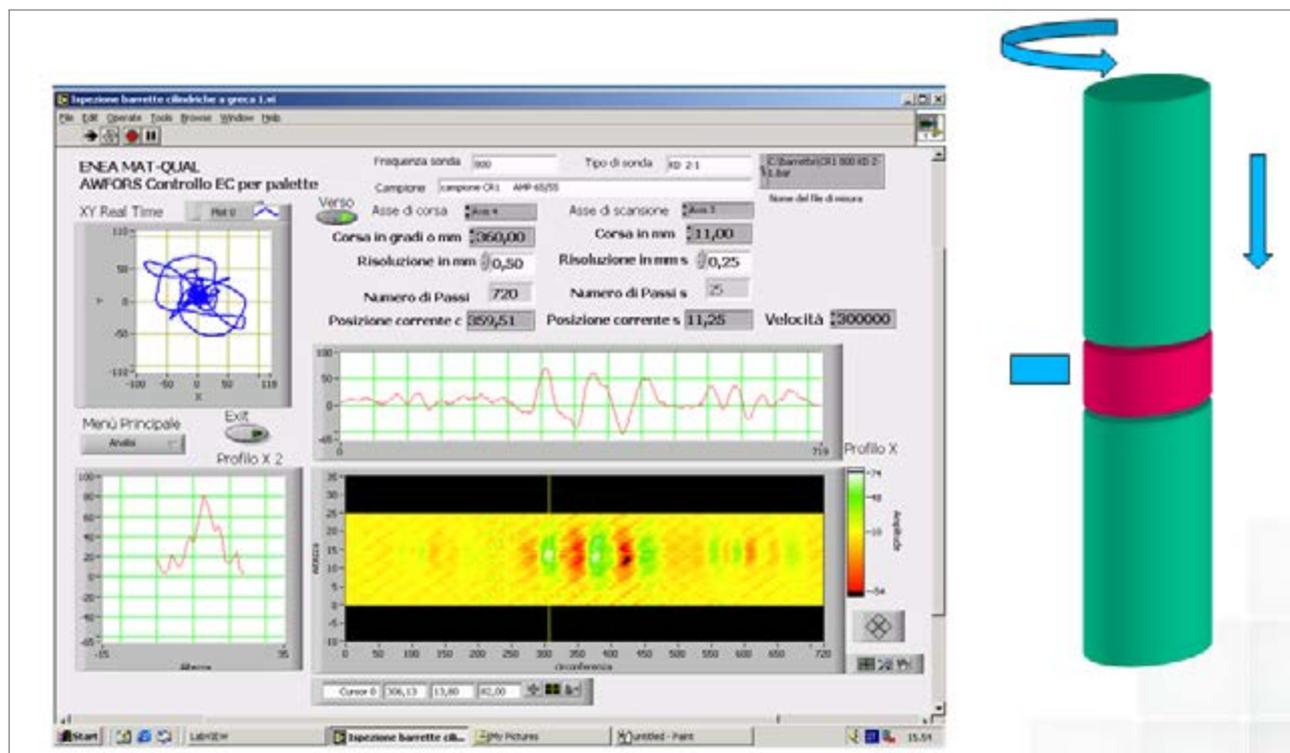


Fig.3 Interfaccia grafica del software di mappatura sviluppato per gli UT e poi applicato alla tecnica Eddy Current (ET) per provini cilindrici saldati in leghe metalliche

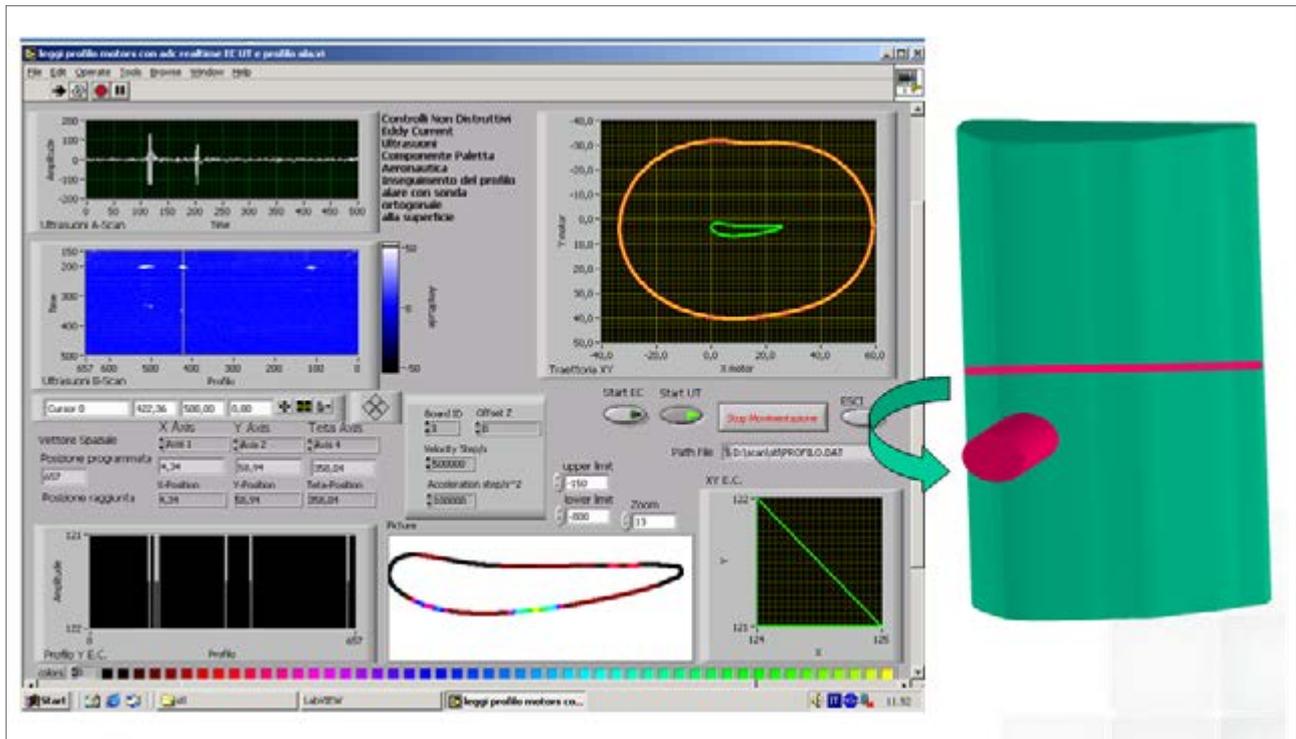


Fig.4 Software di controllo dei provini a forma di paletta di turbina saldati con scarica capacitiva. L'interfaccia grafica mostra i risultati de i metodi UT ed EC

cine di Megabyte e dischi con spazio di memorizzazione di alcune decine di GigaByte.

Negli anni 2000 appare sul mercato l'ambiente di sviluppo Labview che permette di realizzare applicazioni grafiche in modo veloce avendo a corredo diverse librerie (grafica, comunicazione, acquisizione, controllo motori, visione e elaborazione segnali, ecc.). Il vantaggio di questo ambiente di sviluppo è la programmazione tramite icone grafiche e fili di connessioni simili ad un circuito elettrico che permette un rapido sviluppo rispetto ai linguaggi tradizionali supportati da testo e compilatore. La società National Instruments (NI) sviluppatrice del LABVIEW ha inoltre sviluppato delle schede hardware di acquisizione segnali e immagini, controllo motori che integrati insieme al software permettono la creazione di applicazioni molto complesse.

### Applicazioni in campo aerospaziale

Il primo progetto in campo aerospaziale che ha visto l'utilizzo del software di mappatura ad ultrasuoni (Software UT) è stato per il controllo di un disco di turbina in titanio con un anima interna in fibra di carbonio prodotto dalla società AVIO. Questa collaborazione ha permesso poi di realizzare il progetto Europeo AWFORS (Advanced Welding Technologies For Repair and Salvage of high valued engine components on nickel and titanium based alloys) del Quinto Programma Quadro UE (1998-2002) insieme al CSM ed altri pattern europei fra cui il Fraunhofer Tedesco. Il progetto puntava a realizzare un disco di turbina con palette integrate partendo da un unico blocco di metallo opportunamente lavorato di macchina ad asporto di truciolo e senza la calettatura di palette separate. Inoltre prevedeva la messa a

punto di diversi metodi di riparazione/saldatura delle palette tra cui il laser cladding e la saldatura con scarica capacitiva.

La macchina di mappatura ultrasonora è stata utilizzata per il controllo non distruttivo delle barrette a trazione in leghe metalliche di diverso tipo tra cui l'inconel, il titanio, il renè e l'acciaio. Le barrette erano prima divise in due parti, poi saldate tra di loro con i vari metodi e poi sottoposte ai test non distruttivi ed infine ai test meccanici. I controlli non distrutti delle barrette cilindriche sono stati condotti tramite il Software UT utilizzando due assi motorizzati per la scansione. L'asse Z alzava e abbassava la barretta, l'asse rotativo girava la barretta di 360° e la combinazione dei due movimenti permetteva alla sonda fissa su un lato, di scandire l'intera superficie controllandone il volume interno. Analogo software fu realizzato per il metodo a

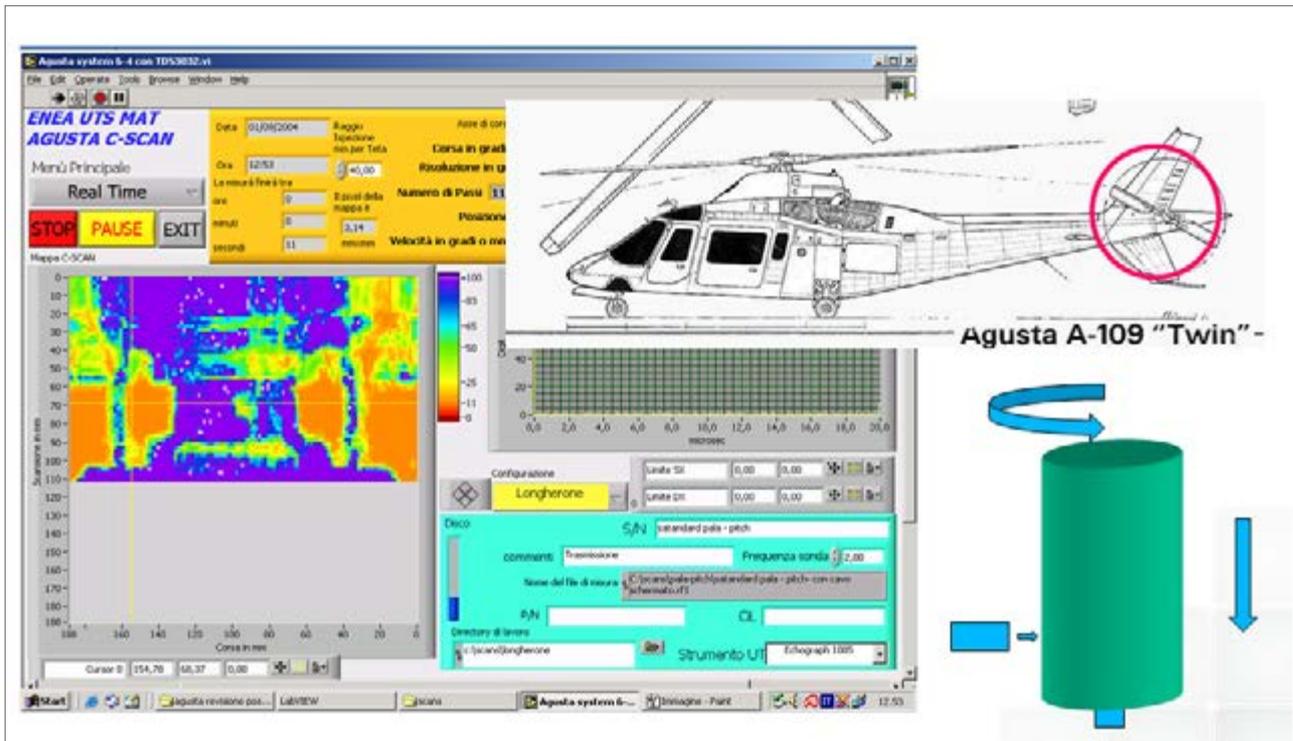


Fig.5 Software UT per controllo del rotore di coda elicottero EH 109 Agusta Westland in materiale composito

correnti parassite o Eddy Current. Il progetto prevedeva la produzione anche di barrette a profilo alare saldate similmente a quelle cilindriche. In questo caso il software UT a 2 assi non fu sufficiente per il controllo non distruttivo, perciò è stato sviluppato un nuovo software a 4 assi motorizzati. La forma alare delle barrette rendeva problematica la loro rotazione rispetto alla sonda fissa perciò l'unica alternativa praticabile era far muovere la sonda intorno al campione fissato ad un supporto. La soluzione fu estrarre il profilo della superficie della barretta, da un file CAD di tipo STL (*Stereo Lithography interface format*), lo stesso file con cui era realizzata meccanicamente tramite le macchine a controllo numerico (CNC). Il file STL consiste in una *mesh* di piccoli triangoli che descrive la superficie esterna del pezzo; questa viene processata da un programma

sviluppato ad hoc estraendo i triangoli relativi ad una determinata quota Z (zona da controllare). I triangoli sono rappresentati dalle coordinate dei 3 vertici e dai 3 coseni direttori che ne determinano l'orientazione nello spazio. Queste informazioni estratte ed opportunamente elaborate vengono poi utilizzate dal software di mappatura per muovere la sonda UT intorno al campione secondo una traiettoria composta dalle coordinate : X , Y e l'angolo della sonda. Questo movimento ha permesso alla sonda di ruotare intorno alla barretta ed essere sempre perpendicolare alla superficie. Il software fu sviluppato per controllare il provino sia con gli ultrasuoni e con l'Eddy Current (EC) mostrando su unica interfaccia grafica i risultati di entrambe le tecniche. Il software passava da un movimento a 2 gradi libertà a 4 gradi libertà e questo traguardo

permise nuove applicazioni sempre più complesse. Questi risultati sono stati esposti a vari congressi nazionali, attirando l'attenzione delle ditte operanti nel settore dei controlli non distruttivi, in particolare del settore aeronautico.

#### La prima applicazione del software all'esterno

La prima applicazione del software all'esterno dell'ENEA fu il controllo di una pala del rotore secondario dell'elicottero A109 dell'Agusta/Westland. Il componente da analizzare, in materiale composito in vetro e carbonio, assicurava la pala al mozzo del rotore. Nelle precedenti applicazioni veniva impiegata la tecnica in riflessione o ecografica (*Pulse-Echo, PE*) ed una sonda unica, mentre in questo caso la tecnica utilizzata si chiama "in trasmissione" (*True Transmission, TT*)

e sfrutta due sonde UT; se il campione da controllare è chiuso si trova tra le due sonde, mentre se presenta una cavità troveremo una sonda esterna o una interna allo stesso. I materiali compositi a differenza di quelli metallici hanno una forte attenuazione dell'onda sonora. Il pezzo da controllare è immerso in acqua per assicurare la trasmissione dell'onda ultrasonora; quest'ultima partendo dalla sonda interna attraversa lo spessore del cilindro giunge alla sonda esterna. L'intensità dell'onda, convertita in un segnale elettrico, determina la qualità del materiale attraversato composto da vari strati di matrice polimerica e da fibre di rinforzo in vetro o carbonio. Il movimento della pala secondo l'asse Z e la sua rotazione permette di controllare lo spessore del cilindro per la sua lunghezza ricostruendo così una mappa in falsi colori. La mappa rappresenta lo sviluppo circonferenziale del pezzo. Il difetto viene rappresentato sulla mappa da una zona rossa indicante, per esempio, una delaminazione (disbonding) di qualche strato del composito. **L'ENEA partecipò al progetto fornendo il software di mappatura, la consulenza alle prove sui campioni con difetti artificiali e naturali e al collaudo finale della macchina.** Il capo commessa fu la ditta del settore CND che ha fornito lo strumento UT, l'oscilloscopio, le sonde. La macchina a 2 assi fu realizzata da ditta di meccanica di precisione ed infine la parte elettrica ed elettronica comprensiva di PLC e joystick a schermo LCD fu realizzata da una ditta di elettronica.

A questo progetto ne seguì un altro più complesso, con l'intento di fornire un sistema che unisse le due tecniche TT e PE per controllare le pale e il mozzo del rotore principale dell'elicottero EH101 (Agusta/Westland). Le pale lunghe 9 metri e il rotore largo circa 2 metri richiesero la realizzazione di una macchina larga 2,5 m, lunga 4 m e alta 2,5 m. Le sonde erano inserite ognuna all'interno di un supporto in plexiglass



Fig.6 Sonda UT inserita nello Squirter e la colonna di acqua che si genera

generanti una colonna d'acqua (*Squirter*) per l'impossibilità di immergere l'intero pezzo in acqua. Il mozzo con profili curvi fu controllato da un software simile a quello sviluppato per il progetto AWFORS con la differenza che la paletta aveva una larghezza di circa 2 cm mentre il mozzo un diametro di più di 2 metri.

**Il progetto successivo in collaborazione nuovamente con AVIO fu il progetto FANTASIA (*Flexible and Near-net-shape generative manufacturing chains and repair techniques for complex shaped aero engine parts*) nel quale l'ENEA mise in atto una campagna di controlli non distruttivi con 5 tecniche diverse:**

- Esami Visivi-VT
- Eddy current-ET
- Liquidi penetranti fluorescenti-PT
- Raggi X-RT
- Ultrasuoni-UT

Per la messa a punto delle tecniche

non distruttive sono stati progettati e costruiti campioni di riferimento con geometrie diverse e aventi all'interno difetti artificiali. Il materiale esaminato era una lega di titanio con cui sono fatte le palette di turbina degli aerei moderni capaci di resistere ad altissime temperature e dotati di un peso specifico basso ( $4\,507\text{ kg/m}^3$ ). Il risultato fu che le prime tre tecniche permisero una ispezione veloce in grado di rilevare difetti molto piccoli sia superficiali che sub-superficiali ma senza determinare le dimensioni dei difetti. Mentre le ultime due tecniche determinarono le dimensioni del difetto nelle tre dimensioni e che per questo vengono chiamate tecniche volumetriche. Gli UT e RT necessitano del supporto del computer per l'elaborazione delle immagini. Per queste ragioni le prime tre tecniche furono utilizzate per l'esame non distruttivo di grandi fogli di lamiera in titanio prodotte tramite laminatura e servirono per delimitare le zone prive di difetti dove estrarre i campioni per le successive lavorazioni.

Mentre le tecniche volumetriche furono utilizzate per l'esame dei campioni prima e dopo le saldature laser.

Seguirono a queste attività di laboratorio lo sviluppo di una macchina ad ultrasuoni per il controllo del radome in materiale ceramico. Trattasi di quel componente aeronautico che contiene il RADAR e che deve essere trasparente alla radiazione elettromagnetica emessa. La macchina e il software di mappatura hanno permesso di controllare l'incollaggio del materiale ceramico ad un anello di lega INVAR.

**Le esperienze scaturite da questi progetti sopra brevemente descritti, sono in realtà risultati fondamentali per la messa appunto dei software di analisi dei dati ultrasonori (BigDATA).**

Il software di mappatura fu utilizzato nel Progetto ELIOS (Progettazione di componenti aeronautici in titanio saldati con impianto laser in fibra) per la verifica delle saldature in titanio di spessore di circa 3 millimetri tramite una tecnica definita TOFD (*Time of Diffraction*) che permette l'analisi della giunzione saldate testa-testa con una singola scansione lungo la saldatura. I risultati vengono esposti al convegno delle prove non distruttive nella sessione AEROSPAZIO tenuto nel 2015 a Milano. Con l'Università UNICUSANO di Roma e la collaborazione del Professor Tiziano Pagliaroli vengono svolte due tesi riguardanti il comportamento di una superficie alare trattata con lavorazioni di microforatura in un regime supersonico. Per questo tipo di controllo vengono utilizzate due sonde ad ultrasuoni con accoppiamento in aria che simulano l'impatto dell'aria sul campione microforato; l'onda ge-



Fig.7 Sistema automatico a 6 gradi libertà sviluppato per Agusta/Westland

nerata dalla sonda viaggia alla velocità del suono in aria pari a 340 m/s corrispondente a 1 235 Km/h corrispondente a Mach 1.

#### Sviluppo del software di mappatura per motori criogenici aerospaziali

Nel 2017 l'ENEA viene contattata da una società che fornisce servizi ad AVIO SPAZIO per la messa a punto di saldo-brasature da utilizzare per la costruzione di camere di combustione per motori criogenici. Dopo il controllo ultrasonoro di un provino piano che simula una piccola porzione della camera cilindrica, si dimostra come la tecnica di mappatura ultrasonora evidenzia la qualità della saldatura. Si avvia così una collaborazione che vede il controllo UT

di un primo prototipo in scala ridotta di una camera di combustione in rame ed Inconel<sup>3</sup> saldo-brasate.

La camera è composta da una parte cilindrica, una convergente e una divergente entrambi con un profilo tronco-conico. Per questo tipo di controllo si sviluppa un software dove la sonda segue il profilo della superficie tramite 2 assi motorizzati X e Z mentre la camera ruota su una tavola rotante. La camera è appoggiata sulla tavola tramite un strato di gomma che funge da guarnizione. La camera in questo modo può contenere l'acqua e la sonda, permettendo così il controllo UT. **La tecnica si rivela vincente per una successiva serie di camere prodotte con la tecnica ALM (Additive Layer Manufacturing).**

Per info: [angelo.tati@enea.it](mailto:angelo.tati@enea.it)

1. I controlli non distruttivi sono gli esami che si eseguono sui materiali e sui componenti costituenti un qualsiasi manufatto per garantire, in termini di affidabilità sia strutturale che prestazionale, l'efficace comportamento del componente stesso.
2. Le macchine sono sempre corredate da una grossa vasca per contenere il pezzo che è immerso in acqua per l'accoppiamento sonda-pezzo.
3. Inconel è un marchio registrato dell'azienda statunitense Special Metals Corporation e fa riferimento alla famiglia delle superleghe a struttura austenitica a base di nichel-cromo

# REX e TOP-IMPLART, due facilities uniche per la ricerca in campo spaziale

*Nel Centro ENEA di Frascati operano due infrastrutture di particolare rilievo per la ricerca d'avanguardia nel settore dello spazio e dell'aerospazio, gli acceleratori di particelle REX e TOP-IMPLART, fra le poche facilities in Europa in grado di offrire servizi di Radiation Exposure Tests. Per le loro molteplici applicazioni e grandi potenzialità di impiego REX e TOP-IMPLART sono stati inclusi nel programma dell'Agencia Spaziale Italiana Asi Supported Irradiation Facilities e sono al centro di collaborazioni con istituzioni prestigiose quali ESA, CERN, DIAEE, INAF, CNR, INFN, industrie ed università per studi e ricerche scientifiche e tecnologiche.*

DOI 10.12910/EAI2021-100

di Monia Vadrucci - Laboratorio di sviluppo di acceleratori di particelle per applicazioni medicali

Il potere di innovare e competere è stata la chiave per la crescita economica ed il miglioramento della qualità dello stile di vita. La ricerca nell'ambito delle tecnologie spaziali è stata una parte indispensabile di tale innovazione avendo rivoluzionato la nostra vita quotidiana grazie ai progressi in campi come le previsioni del tempo, la comunicazione globale, la gestione del traffico aereo, l'agricoltura, il monitoraggio del clima e dei cambiamenti ambientali, la telemedicina, l'intelligenza artificiale, la nanotecnologia, la robotica e la produzione ed immagazzinamento di energia. Tutto ciò è reso possibile dalle applicazioni sistematiche di varie discipline scientifiche come la fisica e l'ingegneria inserite in un complesso ecosistema costituito da imprese private, dipartimenti centrali, enti locali, centri accademici ed istituzioni pubbliche.

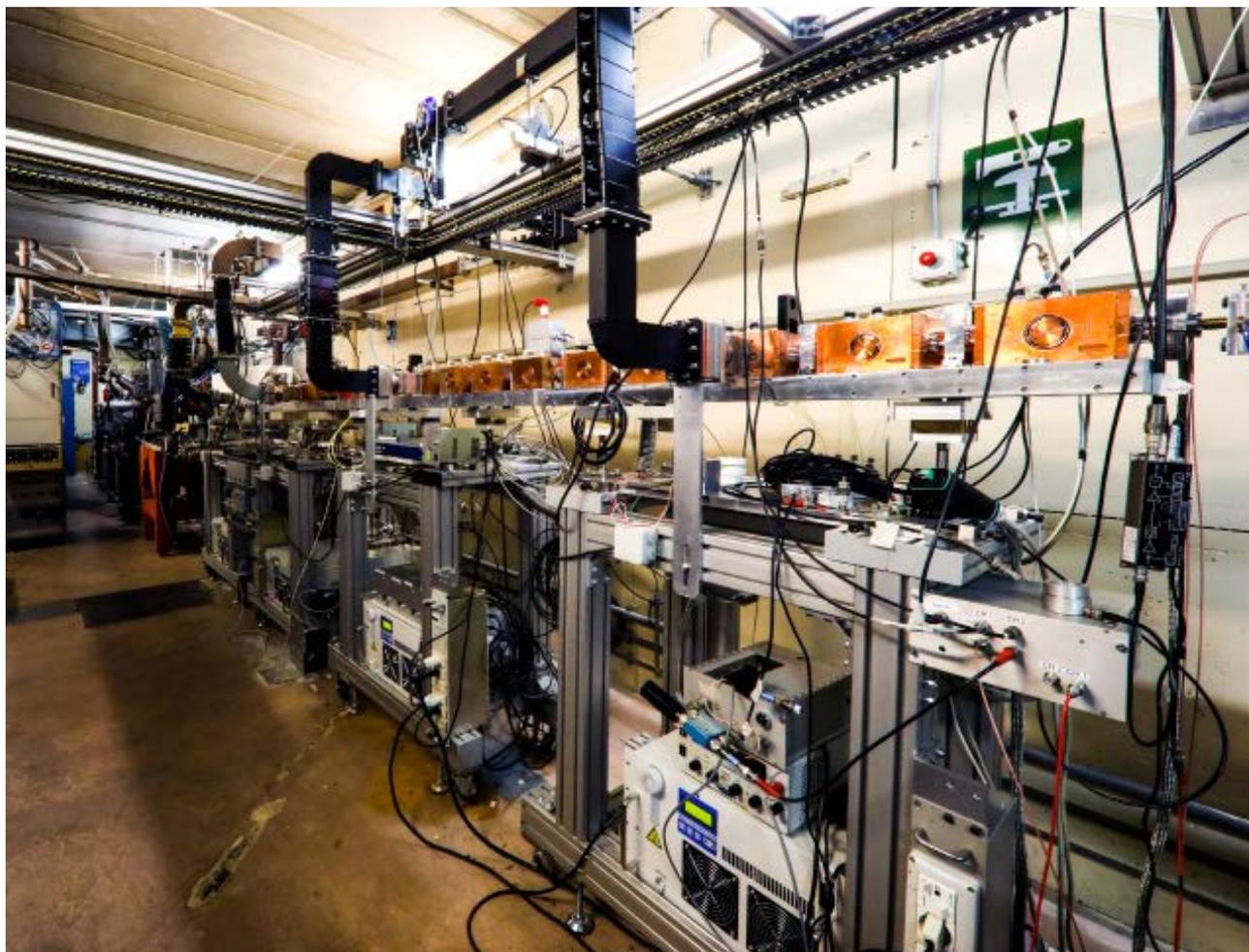
In questo panorama, presso il Centro di ricerche ENEA di Frascati, si svolgono diverse attività tecnologiche avanzate per il settore spazio fra le quali la simulazione della radiazione in ambiente spaziale interplanetario con macchine uniche quali gli acceleratori di particelle REX e TOP-IMPLART, in grado di riprodurre le condizioni del 90% del picco di flusso dei raggi cosmici.

I due impianti operano nel panorama internazionale ed offrono i servizi di Radiation Exposure Tests che solo pochissime altre facilities nel Nord Europa, specificatamente realizzate e destinate a queste finalità, sono in grado di proporre. Nello specifico, questi acceleratori in grado di generare rispettivamente fasci di elettroni/raggi-X e protoni, vengono impiegati per campagne sperimentali nelle quali sistemi biologici, elettronica, materiali e sensori innovativi sono

sottoposti ai campi di radiazione per caratterizzarne il comportamento nei casi di utilizzo in condizioni ostili come ad esempio in ambiente spaziale e nucleare.

**Collaborazioni sinergiche con ASI, ESA, CERN, DIAEE, INAF, CNR, INFN**

REX e TOP-IMPLART fanno capo al Laboratorio di sviluppo di acceleratori di particelle per applicazioni medicali dell'Agencia che ha da tempo solide collaborazioni con ASI, ESA, CERN, DIAEE, INAF, CNR, INFN, industria ed Università per studi e ricerche scientifiche e tecnologiche. La sinergia con queste diverse istituzioni è di grande interesse per l'intera comunità spaziale, anche perché la mutua contaminazione e cooperazione contribuisce alla definizione di nuovi approcci tecnici, oltre che commerciali. Di fatto, i costi di fattibilità per nuove



Vista d'insieme del tratto finale dell'acceleratore lineare TOP IMPLART nell'attuale configurazione

e più impegnative missioni, si basano su vari fattori e, in primis, sulla conoscenza dei meccanismi del danno indotto dalle radiazioni nell'ambiente interplanetario e dell'effetto delle radiazioni sulla sopravvivenza nello spazio di hardware e merci, campi nei quali gli acceleratori di particelle REX e TOP-IMPLART possono dare un apporto fondamentale.

La ricerca condotta con gli acceleratori di particelle REX e TOP-IMPLART in ambito spazio ed aerospazio è rivolta allo studio degli effetti della radiazione ionizzante sia sui sistemi biologici a breve termine per insorgenza di sindrome da radiazioni acute ed a lungo termine per

**degenerazione dei tessuti ed insorgenza di tumori o leucemia, sia sui sistemi non biologici attivi e passivi, materiali e dispositivi, attraverso l'analisi della modifica delle loro proprietà.**

#### **Soluzioni innovative ed orientate al futuro in settori di punta**

La ricerca d'avanguardia condotta con entrambe queste facilities nell'ambito spazio ed aerospazio è direttamente connessa con altri settori di punta e di primato in termini di ricerca, economia e proiezione internazionale: i test riguardano l'interesse verso l'incremento della conoscenza circa il com-

portamento dell'uomo e dell'hardware in ambienti ostili e pertanto sono di fondamentale rilievo nel campo dello sviluppo tecnologico. Ma non solo. La ricerca è rivolta anche ai settori della sicurezza e tutela della salute e delle scienze della vita attraverso lo studio della capacità di sopravvivenza di tessuti vivi, delle attività di rimedio cellulare, di predizione del deterioramento cellulare e della resistenza cellulare per lo studio delle parentele cellulari stesse. Tutto ciò è di notevole importanza sia in astronautica, sia in campo terrestre, nell'ambito della salute con particolare riferimento alle terapie oncologiche e degenerative e nel settore

**degli interventi in emergenze radiologiche e nucleari e, dunque, nel comparto ambientale.**

Di ulteriore e notevole interesse relativamente all'esposizione dei sistemi "in-vivo" sono poi le campagne di irraggiamento di sistemi biotici e lo studio della loro interconnessione, ovvero delle capacità dei microrganismi di colonizzare specifici ambienti e quindi di interesse per la geologia, nonché le campagne di interesse dell'area agro-spazio poi strettamente collegate allo sviluppo di tecnologie agrarie per la soluzione dei problemi di approvvigionamento di sostanze nutritive nello spazio per le missioni lunari ed interplanetarie di lunga durata, con il rilevante impatto nell'ambito del *Global Food Solving* sulla Terra. Gli sforzi e le soluzioni messe a punto in questi settori risultano inoltre

anche di fondamentale importanza nella **scienza dei materiali** dimostrando forti utilità e competitività se rivolti alla capacità di lavorazione delle materie prime Extra-Terrestri. Tutto ciò, per di più, attira ed istruisce persone giovani e di talento, incoraggiandole a partecipare alle attività che possono fornire soluzioni innovative ed orientate al futuro.

**È per tali motivi, per le molteplici applicazioni e le grandi potenzialità di impiego degli acceleratori REX e TOP-IMPLART nel settore spazio ed aerospazio che essi sono stati inclusi nell'Asi Supported Irradiation Facilities.** Questo programma dell' **Agenzia Spaziale Italiana** mira a stabilire un insieme coordinato e interattivo di sistemi di radiazione in tutto il paese, al servizio della comunità spaziale nazionale e internazionale, consentendo il

trasferimento di conoscenze dal campo della ricerca sulle particelle elementari e sui rivelatori di particelle alla comunità scientifica spaziale e all'industria, con innegabili ritorni competitivi sull'industria e sulla stessa ricerca spaziale. Le attività di ricerca finanziata da ASI riguardano i test per lo studio di:

- durabilità dei materiali: degradazione; erosione; modifica delle proprietà termiche, meccaniche, ottiche.
- strumentazione scientifica: rumore o riduzione delle prestazioni.
- elettronica: danno da spostamento; Indurimenti; effetto singolo evento; garanzia del prodotto spaziale; dose ionizzante totale.
- effetti delle radiazioni: effetti dannosi sui sistemi biologici; effetti a lungo termine (tumori, leucemia, degenerazione tissutale a lungo



Vista di una delle postazioni di controllo dell'acceleratore lineare TOP IMPLART. Il sistema di gestione e controllo è interamente realizzato in ENEA come il linac stesso

termine); effetti a breve termine da Solar Particle Event (sindrome da radiazione acuta).

Inoltre, le attività di REX e TOP-IMPLART, nonché le competenze scientifiche coinvolte, sono inclusi nel white-paper "Italian contribution to Moon exploration".

### **Le caratteristiche di REX e TOP-IMPLART**

Presso il centro ricerche ENEA di Frascati, convivono due filoni principali di ricerca: quello legato alla sfida della produzione di energia dal processo di **fusione nucleare** nel quale vengono sviluppate tecnologie all'avanguardia per ogni aspetto del complesso sistema di un impianto di fusione termonucleare controllata, e quello relativo alle **tecnologie fisiche per la produzione e l'utilizzo delle radiazioni**. In quest'area di lavoro sono stati sviluppati gli acceleratori di particelle REX e TOP-IMPLART, di pertinenza del dipartimento Fusione e Sicurezza Nucleare e della divisione Tecnologie Fisiche per la Salute e la Sicurezza, presso il Laboratorio che sviluppa acceleratori di particelle per applicazioni mediche.

Qui vengono progettate e realizzate strutture e impianti per accelerare particelle cariche, principalmente al fine di

sviluppare impianti per trattamenti di terapia oncologica con radiazioni ionizzanti.

L'apparato REX è stato realizzato nell'ambito di un programma di ricerca industriale nel quale sono state realizzate le ormai commerciali macchine IntraOperativeRadioTherapy per trattamenti oncologici con fasci di elettroni accelerati all'energia dei megaVolt. Esso è stato aggiornato con un progetto finanziato dal governo locale della Regione Lazio per le applicazioni delle radiazioni ionizzanti alla scienza dei materiali ed alla conservazione del patrimonio e dei beni culturali.

REX è stato il dimostratore tecnologico di una sorgente di raggi-X prodotta dalla conversione di elettroni di media energia applicata al trattamento dei beni di interesse storico ed artistico, sia per il trattamento anti-bio-deterioramento, sia per lo studio specifico - in stretta collaborazione con le Università di Roma - delle proprietà dei materiali costituenti e degli effetti radioindotti su di essi. Questo impianto è anche attualmente richiesto per studi relativi ai campi della fusione nucleare volti alla caratterizzazione dei materiali utilizzati per la costruzione dei tokamak.

Fra i progetti più significativi attualmente in corso nel Laboratorio dedicato di Frascati vi è **TOP-IMPLART,**

**per la realizzazione e lo sviluppo del primo prototipo di acceleratore lineare di protoni per terapia clinica,** operante con microimpulsi di carica, a 3 GHz di frequenza di radiofrequenza. Il programma è finanziato interamente dalla Regione Lazio ed è condotto da ENEA in collaborazione con l'Istituto Superiore di Sanità e l'IRCCS IFO con la partecipazione diretta dell'Istituto Tumori Regina Elena di Roma.

L'acceleratore TOP-IMPLART, interamente costruito ed ingegnerizzato da ENEA, è una macchina innovativa: tutte le caratteristiche fisiche del fascio di protoni (energia, intensità, direzione, ...) possono essere modificate in modo rapido e attivo, offrendo precisione e flessibilità nell'erogazione della dose di radiazione al bersaglio. Attualmente eroga fasci di protoni aventi l'energia adatta alla cura delle patologie cancerose più superficiali, quali il melanoma uveale ma, a breve, sarà adatto al trattamento di tumori di media e alta profondità.

Inoltre l'impianto TOP-IMPLART è impiegato per i test sugli effetti della radiazione, già descritti, e anche per diagnostica e studi di fisica delle superfici con i fasci di energia variabile.

*Per info: monia.vadrucchi@enea.it*

# Esplorare lo spazio con le ‘vele fotoniche’

*È possibile immaginare che la luce del sole possa esercitare una spinta che possa perfino condurci oltre i confini del sistema solare? La propulsione solare fotonica rappresenta una sfida per diversi ambiti scientifici e tecnologici e un’opportunità d’innovazione per tutta la filiera dell’industria aerospaziale. ENEA da molti anni contribuisce attivamente allo sviluppo della propulsione solare fotonica, avvalendosi anche di proprie infrastrutture di ricerca che sono uniche in Italia.*

DOI 10.12910/EAI2021-101

di Danilo Zola e Salvatore Scaglione - Laboratorio Ingegneria dei Processi e dei Sistemi per la Decarbonizzazione Energetica

**M**ediante le equazioni di Maxwell che descrivono tutti i fenomeni elettromagnetici di cui la luce è parte, si deduce che una superficie illuminata subisce una pressione nota come pressione di radiazione [1]. Chiunque può constatare quanta poca farina occorra per averne 1 grammo usando una bilancia domestica, ma la pressione che un grammo di farina esercita sul piatto della bilancia è circa un milione di volte superiore a quella che eserciterebbe la luce sullo stesso piatto se questo fosse esposto al sole in una bella giornata. Ci vuole una mente speculativa e una buona dose di fantasia per capire e credere che una pressione dell’ordine di  $10^{-4}$  g/cm<sup>2</sup> possa essere utilizzata per la propulsione di veicoli spaziali. Enormi razzi trasportano satelliti e sonde nello spazio. Maggiore è la distanza dell’orbita da raggiungere tanto più enormi sono i razzi che li trasportano. Infatti, non è sufficiente vincere la forza di gravità della terra raggiungendo la velocità di fuga, ma è necessario spingere i veicoli a una velocità

sufficiente per raggiungere in tempi ragionevoli l’obiettivo. Ad esempio, i razzi utilizzati per lanciare in orbita i veicoli spaziali con massa di soli 500 kg, possono arrivare a pesare centinaia di tonnellate, dei quali buona parte è costituita dal combustibile. Anche parte della massa della sonda è costituita dal combustibile necessario a correggerne l’assetto. **La messa in orbita dalla terra di satelliti e sonde non può essere effettuata con la propulsione fotonica. Tuttavia, una volta che la sonda è nello spazio, questa può essere spinta dalla sola luce del sole senza la necessità di avere carburante a bordo.**

**La propulsione fotonica, un cambio di paradigma**

**La propulsione fotonica comporta un cambio di paradigma; alla spinta potentissima e per un tempo breve si sostituisce la spinta piccolissima della luce solare per un periodo paragonabile alla durata della missione.** Ad esempio, nella missione New Horizons [2] che ha raggiunto Plutone il

14 Luglio 2015, **la velocità finale della sonda era dovuta in larga parte alla spinta del razzo Atlas V - 575 tonnellate a tre stadi - raggiungendo la velocità di 16 km/s (57600 km/h) mai raggiunta prima.** New Horizons ha ricevuto la spinta dal razzo ATLAS per circa 20 minuti subendo un’accelerazione media di circa 13400 mm/s<sup>2</sup>. Solo venti minuti di spinta per 9 anni di viaggio. Mentre per la propulsione fotonica, la velocità finale non viene raggiunta dopo pochi minuti dal lancio, ma costruita durante tutto il viaggio secondo una traiettoria che consente di aumentare costantemente la velocità della sonda. Una piccolissima accelerazione dell’ordine di 1 mm/sec<sup>2</sup> consente di raggiungere la velocità di 30 km/s in un anno. Utilizzando orbite che hanno un perielio molto vicino al Sole, la propulsione a fotoni solari permetterebbe di raggiungere velocità dell’ordine delle centinaia di chilometri al secondo, sfruttando l’effetto combinato dei fotoni e della gravità del sole. La propulsione solare fotonica è stata proposta già nei primi anni del seco-

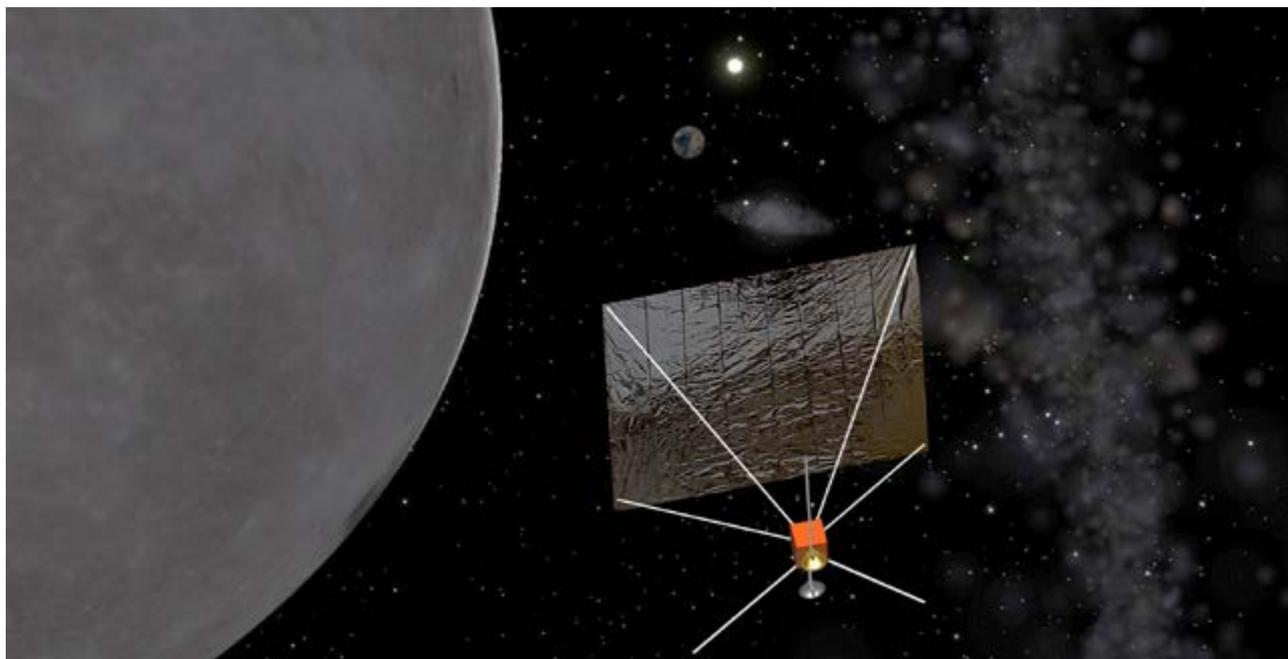


Fig.1 Illustrazione di una sonda spinta da una vela solare fotonica

lo scorso da menti visionarie come i sovietici Tsiolkovsky (1857-1935) [3] e Tsander (1887 -1933) [4]. Il primo articolo scientifico sull'argomento è stato pubblicato sulla rivista *Jet Propulsion* [5] nel 1958 da Richard Garwin dell'IBM Watson Laboratory della Columbia University. Da allora, sono stati pubblicati un numero significativo di articoli e libri scientifici sull'argomento (si veda ad esempio i riferimenti 6,7,8). Tra i più prolifici autori italiani, con due libri pubblicati e più di 120 articoli, non possiamo non citare il Dr. Giovanni Vulpetti che nei suoi lavori ha investigato i diversi aspetti della propulsione solare fotonica scoprendo e calcolando traiettorie innovative per missioni con grandi velocità di fuga [9-10]. Egli ha recentemente analizzato una missione che prevede la messa in orbita di un satellite innovativo che segnali con maggior anticipo, rispetto ai tempi di preavviso attuali (30 minuti), l'arrivo di una tempesta magnetica la cui intensità possa causare un black-out elettrico planetario [11].

### IKAROS e la missione spaziale giapponese

Il primo tentativo di una missione spaziale con l'uso della propulsione fotonica risale al 1976, con una missione della NASA per il rendez-vous al perielio della cometa di Halley, previsto per il dicembre del 1985. Grazie ai calcoli di Jerome Wright, una sonda spinta dai fotoni solari avrebbe impiegato solo 4 anni per il rendez-vous. La NASA fece decadere il progetto in quanto ritenuto prematuro rispetto alle tecnologie allora a disposizione per la realizzazione della vela [6-7]. Negli anni successivi, studi, esperimenti in laboratorio e dimostrazioni nello spazio si sono susseguiti senza mai arrivare ad una vera e propria missione operativa. La prima vera dimostrazione si è avuta nel 2010, quando l'Agenzia Spaziale Giapponese (JAXA) è riuscita a portare in orbita terrestre IKAROS (Interplanetary Kite-craft Accelerated by Radiation Of the Sun) un veicolo spaziale dotato di una vela solare fotonica di 200 m<sup>2</sup>.

La vela è stata dispiegata con successo e sono state effettuate le manovre necessarie per metterla su una traiettoria verso Venere [8,12]. **IKAROS ha dimostrato che si può considerare concreta la possibilità che la propulsione solare fotonica possa essere utilizzata in una missione spaziale.**

### Le missioni a propulsione solare fotonica

**Il fascino della propulsione solare fotonica risiede soprattutto nella possibilità di realizzare, un giorno non troppo lontano, una missione interstellare [8].**

Uno dei parametri più importanti per la propulsione fotonica è  $\sigma^* = 1.57 \text{ g/m}^2$  che rappresenta il valore critico al di sotto del quale la forza di gravità locale è inferiore alla spinta dei fotoni solari. Il valore di  $\sigma^*$  non dipende dalla distanza dal Sole poiché la forza di attrazione gravitazionale e la spinta generata dai fotoni diminuiscono con il quadrato della distanza. Di conseguenza, anche allontanandosi molto

dal sole, la vela produrrà comunque una spinta. Il valore di  $\sigma^*$  va confrontato con il parametro  $\sigma = m_v/A$  dato dal rapporto tra la massa della vela  $m_v$  e la superficie dello specchio  $A$ . Nell'ipotesi in cui lo specchio di  $1 \text{ m}^2$  fosse costruito con un materiale denso come l'acqua ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ), per avere  $\sigma = \sigma^*$  lo strato dovrebbe avere uno spessore di soli 1.57 micrometri. Attualmente, i materiali più idonei sono polimeri simili al Mylar utilizzato per avvolgere gli alimenti, che hanno una densità tra  $1200 - 1800 \text{ kg/m}^3$  e con i quali si possono produrre grandi superfici con spessore dell'ordine di qualche micrometro. Depositando un film di alluminio spesso  $80 - 100 \text{ nm}$ , tali superfici diventano riflettenti e in analogia con le vele spinte dal vento, vengono chiamate *vele solari fotoniche*.

Un veicolo spaziale a propulsione fotonica è costituito dalla vela (il propulsore) e il carico utile che contiene gli strumenti scientifici e i sistemi di bordo (vedi l'illustrazione in figura 1). Si deve quindi tener conto di tutta la massa del veicolo spaziale e non solo della vela. In questo caso  $\sigma = (m_v + m_U)/A$ , dove  $m_U$  è la massa totale della sola sonda. In una missione che voglia superare i confini del sistema solare, la superficie della vela dovrebbe essere tale da compensare la massa aggiuntiva del carico utile. Ad esempio, se il carico utile pesasse  $100 \text{ Kg}$ , per avere un  $\sigma = \sigma^*$  la superficie della vela dovrebbe essere circa  $100$  ettari. Tuttavia, missioni all'interno del sistema solare quali ad esempio: un sistema cargo Terra-Marte, una missione per l'esplorazione delle miriadi di asteroidi potenzialmente pericolosi per la Terra o sfruttabili per le materie prime contenute, non necessitano di vele di tali dimensioni [8]. Per missioni di questo tipo non è necessario avere un  $\sigma$  per il quale la spinta sia maggiore della forza di attrazione del Sole. Potrebbero essere sufficienti valori di  $\sigma$  compresi tra  $10$  e  $100$ , per le quali basterebbe una vela di  $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$  a patto di avere un carico utile di massa piccola.

## La propulsione solare fotonica come traino per lo sviluppo tecnologico

Come già scritto, un veicolo spaziale spinto dalla luce del Sole ha una grande vela riflettente, generalmente realizzata con una membrana polimerica, sulla quale è depositato uno strato di alluminio di spessore dell'ordine di  $80-100 \text{ nm}$ . Considerando le condizioni operative della vela, la sintesi di nuovi polimeri con spessore sempre più piccolo, con un carico di rottura sempre maggiore e che non si degradino per effetto della radiazione UV è la sfida che renderà possibili le missioni descritte. L'impacchettamento a terra e il dispiegamento della vela nello spazio sono punti cruciali per questo sistema propulsivo. Alla vela devono essere quindi aggiunte delle strutture che non comportino un aumento significativo della massa totale. In tal senso, una soluzione potrebbe essere nell'utilizzo di fili o membrane polimeriche a memoria di forma ovvero materiali che opportunamente attivati siano in grado di riprendere la forma iniziale.

La propulsione fotonica impone di usare poca massa e sfruttare poca energia, un punto di vista simile alla richiesta di sostenibilità che si deve realizzare in ambito terrestre. In questa ottica, grazie a soluzioni progettuali originali, ogni componente può concorrere a ridurre le dimensioni della vela e diminuire il valore di  $\sigma$ . In questo contesto, si potrebbero integrare nella vela altre funzionalità utilizzando dispositivi optoelettronici a larga area realizzati mediante multistrati a film sottile. Tali dispositivi potrebbero migliorare l'equilibrio termico della vela e consentire il controllo di assetto, ottenuto ad esempio, variando la riflettanza di alcune aree della vela.

In generale, nell'ambito dello sviluppo tecnologico, la pianificazione di missioni spaziali a propulsione fotonica, avrebbe il vantaggio di cre-



Fig.2 Una vela dispiegata nel laboratorio del DIAEE dell'Università la Sapienza di Roma

are collaborazioni fortemente correlate tra i diversi gruppi di ricerca operanti nell'ambito delle scienze di base e dell'ingegneria, favorendo il coinvolgimento anche dell'industria e delle piccole e medie imprese. Di tale approccio può beneficiare non solo l'industria aerospaziale per applicazioni convenzionali - trasportare nello spazio del materiale costa circa  $5000$  euro al  $\text{kg}$  - ma anche settori che nulla hanno in comune con l'ambito che stiamo trattando.

Grazie al successo di IKAROS, c'è un rinnovato interesse nello sviluppo delle vele solari fotoniche da parte delle maggiori Agenzie Spaziali. La NASA ha ripreso con maggior vigore a destinare risorse a questo settore con le missioni NEA Scout (Near Earth Asteroid Scout) e soprattutto ACS3 (Advanced Composite Solar Sail System) che partiranno nel prossimo anno. In questa direzione, l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) sta incoraggiando e supportando attività di ricerca su nuovi sistemi di propulsione spaziale consentendo che si sviluppino in Italia tale tecnologia (vedi riquadro).

### La ricerca sulle vele spaziali in ENEA

La ricerca sullo sviluppo della propulsione a fotoni solari in Italia ha

inizio grazie a **Giovanni Vulpetti** membro dell'International Academy of Astronautics (IAA) e del **professor Gregory Matloff** del New York City College of Technology. Un gruppo di ricerca su base volontaria si incontrava regolarmente per discutere la possibilità di una missione a propulsione fotonica che portasse una sonda al di fuori del sistema solare [8]. Tale gruppo prese il nome di "Aurora project" dove Aurora rimandava alla più bella delle sorelle del dio Sole nella mitologia greca. Vi parteciparono ricercatori prevalentemente italiani appartenenti non solo alle Università ed Enti di Ricerca ma anche a industrie private del settore aerospaziale.

Al gruppo ha partecipato uno degli autori (**Salvatore Scaglione**) occupandosi della realizzazione e caratterizzazione di una vela "selfstanding" di alluminio e cromo [14]. La vela, delle dimensioni di qualche centimetro quadrato, è stata realizzata depositando un doppio strato di alluminio e cromo, dello spessore complessivo di circa 110 nm, su di un polimero colloidale che aveva la funzione di supporto temporaneo. Una vela così concepita avrebbe permesso il distacco del film nanometrico di alluminio/cromo dal substrato polimerico sfruttando i raggi ultravioletti nello spazio. In questo modo, il  $\sigma$  della sola vela sarebbe potuto arrivare a valori dell'ordine di  $10^{-3}$  g/m<sup>2</sup>. Tale valore avrebbe consentito viaggi verso l'elio pausa (ovvero è il confine presso il quale il flusso di particelle emesso dal Sole – il vento solare - è bloccato dal flusso analogo proveniente dallo spazio profondo) in circa dieci anni, brevi in confronto ai 35 anni necessari alla sonda Voyager I (lancio 5 Settembre 1977 ed eliopausa superata il 12 Agosto 2012).

Gli esperimenti hanno dimostrato la fattibilità dell'idea di partenza anche se la fragilità meccanica del solo strato metallico suggeriva la necessità di ulteriori attività di ricerca. Comunque, le caratteristiche ottiche della

vela prodotta nei laboratori ENEA sono state utilizzate per lo sviluppo di un modello di spinta più accurato di quello allora a disposizione [14].

La realizzazione di strati nanometrici di alluminio e la caratterizzazione ottica delle vele è ancora l'attività principale che i due autori svolgono nel campo della propulsione solare fotonica. Rispetto alla fase iniziale, la strumentazione a disposizione in ENEA ha permesso di affinare ancor di più le tecniche di misura e l'analisi dei dati sperimentali. Inoltre, i sistemi di deposizione e la strumentazione per la caratterizzazione ottica e topografica della superficie, hanno permesso di produrre e caratterizzare campioni dell'ordine della decina di centimetri quadrati. Tale scala è significativa per stimare le proprietà microscopiche e macroscopiche di una vela di grandi dimensioni. La modellizzazione delle proprietà ottiche della vela, essenziali per il modello di spinta, si avvale di algoritmi sviluppati dagli autori. Il relativo software sfrutta le risorse di calcolo di CRESCO di ENEA (<https://www.eneagrid.enea.it/CRESCOportal/>). Tali algoritmi calcolano le proprietà ottiche della vela tenendo conto anche della topografia su scala microscopica. In questo modo, è possibile analizzare gli effetti che la morfologia reale della superficie ha sulla diffusione dei fotoni incidenti [15-16].

### Infrastrutture di ricerca uniche

Attualmente le attività sulle vele fotoniche solari in ENEA si svolgono nell'ambito di un progetto finanziato da ASI e che coinvolge 9 gruppi di ricerca italiani. Di fatto, l'Agenzia possiede alcune infrastrutture di ricerca uniche in Italia per simulare alcune delle condizioni dell'ambiente spaziale. In particolare, è possibile esporre le vele al flusso di neutroni e raggi gamma utilizzando rispettivamente il reattore di ricerca TAPIRO e l'impianto CALLIOPE. La caratte-

rizzazione ottica anche a temperature criogeniche, consente di valutare il degrado delle caratteristiche della vela a seguito dell'esposizione simulata a condizioni ambientali simili o peggiori di quelle presenti nello spazio.

In anni più recenti, un nuovo impulso alla ricerca in questo ambito è stato dato dalla collaborazione, ancora in corso, tra gli autori e il gruppo di ricerca del professor **Christan Circi** del Dipartimento di Ingegneria Astronautica Elettrica ed Energetica (DIAEE) dell'Università La Sapienza di Roma. In figura 2 è mostrata una delle vele presenti presso i laboratori di ricerca del DIAEE. Grazie a questa collaborazione sono state svolte diverse tesi magistrali che hanno coinvolto brillanti studenti del corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale.

### Conclusioni

Fino ad oggi, la propulsione spaziale è stata dominata dalla propulsione chimica ed elettrica mentre la propulsione solare fotonica viene ancora considerata una tecnologia prematura. La necessità di effettuare missioni interplanetarie non convenzionali (orbite retrograde, al di sopra dell'eclittica, etc) potrà rendere concreta la realizzazione di una missione, non solo dimostrativa, che utilizzi le vele. Attualmente, la ricerca in Italia in questo ambito viene svolta principalmente a livello accademico mentre nel prossimo futuro ci si aspetta un coinvolgimento delle imprese nello sviluppo di tale tecnologia. Dall'integrazione tra ricerca pubblica e privata si potrebbero avere dei benefici nella progettazione di sottosistemi satellitari più leggeri, compatti e meno energivori così come nelle tecniche di produzione e realizzazione di materiali resistenti, leggeri e multifunzionali.

Tali tecnologie possono avere un impatto positivo nello sviluppo di satelliti di nuova generazione di cui i micro e nano satelliti sono un esempio. Di

conseguenza, la propulsione solare può essere uno dei vettori per tecnologie originali utilizzabili sulla Terra in accordo con le sempre più pressanti esigenze di risparmio energetico e sostenibilità nell'uso delle risorse.

La propulsione solare fotonica conti-

nuerà la sua strada e difficilmente le idee che ne sono alla base potranno essere abbandonate. L'entusiasmo mostrato da molti dei ricercatori coinvolti in tale attività anche da più di 40 anni è animato dallo stesso spirito che ci spinge ad osservare l'oriz-

zonte nell'intimo desiderio, innato nell'uomo, di voler raggiungere quel luogo lontano per poi poter guardare oltre.

Per info: danilo.zola@enea.it

## Le attività di ASI per i sistemi propulsivi del prossimo futuro

**Rocco Carmine Pellegrini**, Responsabile dell'Ufficio Programmi di Trasporto Spaziale ASI

Nell'ambito dei Programmi dell'Unità di Trasporto Spaziale, l'Agenzia Spaziale Italiana supporta attività di ricerca e sviluppo tecnologico altamente innovative e lo sviluppo prototipale di sistemi con lo scopo di anticipare le necessità evolutive nel settore dell'accesso allo spazio e per preparare la filiera nazionale (industriale e di ricerca) agli sviluppi di lungo termine, consolidandone le competenze e la competitività, in particolare in ambito propulsivo vista la centralità di questo tema per l'accesso allo spazio.

In particolare, ASI è da tempo impegnata nella promozione e sviluppo delle tecnologie connesse alla propulsione liquida ossigeno – metano, principalmente con il Programma Lyra e con l'evoluzione del lanciatore VEGA, in ambito ESA verso la configurazione VEGA-E dotata di un'upper stage a metano.

Più di recente, sulla scorta dell'esperienza maturata nel programma THESEUS, l'Agenzia ha avviato un programma di ricerca e sviluppo sulla propulsione ibrida basata su propellenti paraffinici che prevede la realizzazione di un dimostratore tecnologico in scala significativa da sottoporre a test, con particolare attenzione alle caratteristiche di riaccendibilità e regolazione della spinta.

ASI è interessata e promuove anche lo sviluppo di sistemi di propulsione innovativa che possano abilitare nuovi tipi di missioni spaziali, sebbene presentino, al momento, un minore livello di sviluppo tecnologico. In tale ambito, è di sicuro interesse la propulsione solare fotonica che risulta vantaggiosa per molti tipi di missioni interplanetarie ed in alcuni casi è anche l'unica in grado di consentire lo svolgimento della missione stessa. È stata, perciò, avviata un'iniziativa di ricerca che mira a creare competenze altamente specialistiche in varie aree afferenti le tematiche della propulsione solare, in collaborazione con alcuni Dipartimenti Universitari e con laboratori specializzati presso Istituti di Ricerca fra i quali ENEA/Casaccia dove verranno realizzati e caratterizzati campioni di vela solare in scala di laboratorio.

### REFERENCES

1. Jackson, John David "Elettrodinamica Classica", seconda edizione italiana (2001) Zanichelli
2. [https://www.nasa.gov/pdf/139889main\\_PressKit12\\_05.pdf](https://www.nasa.gov/pdf/139889main_PressKit12_05.pdf)
3. Tsiolkovsky K. E. "Extension of Man into Outer Space", 1921
4. Tsander, K. "From Scientific Heritage", NASA Technical Translation TTFT-541 1967
5. Garwin R. L. "Solar Sailing – A practical method of propulsion within the solar system" Jet Propulsion 28, (1958) pp.188-190
6. Wright J. L. "Space Sailing" Gordon and Brach Philadelphia 1992
7. McInnes C. L. "Solar Sailing" Springer-Verlag London 1999
8. Vulpetti G., Johnson L., Matloff G. L., "Solar Sails - A novel approach to Interplanetary Travel" Springer, New York, NY 2015

9. Vulpetti G. "Sailcraft at high speed by orbital angular momentum reversal" *Acta Astronautica* 40 (1997), pp. 733-758
10. Vulpetti G. "Fast Solar Sailing: Astrodynamics of Special Sailcraft Trajectories" Springer Dordrecht 2013
11. Vulpetti G, Circi C., Pino T. "Coronal Mass Ejection early warning mission by solar-photon sailcraft" *Acta Astronautica* 140 (2017) pp. 113-125
12. Yuiki Tsuda et al. "Achievement of IKAROS — Japanese deep space solar sail demonstration mission" *Acta Astronautica* 82 (2012) pp. 183-188
13. Scaglione S. and Vulpetti G. "Aurora project: removal of plastic substrate to obtain an all-metal solar sail" *Acta Astronautica* 44 (1999) pp. 147-150.

# Il volo parabolico: l'ENEA a zero-G

*La ricerca in condizioni di microgravità può dare un contributo essenziale alla realizzazione di applicazioni innovative, di esperimenti scientifici e allo studio di fenomeni fisici, chimici e biologici che potrebbero essere mascherati o modificati dalla gravità terrestre. ENEA svolge attività a zero-g dal 2004, nell'ambito della ricerca sulla trasmissione di calore per applicazioni spaziali, in particolare per la strumentazione elettronica di veicoli spaziali, satelliti e stazioni orbitanti. Per la grande esperienza maturata con i voli parabolici e l'analisi dei dati raccolti durante le 10 campagne sperimentali effettuate nell'ambito di progetti ESA, la ricerca ENEA in questo campo può essere considerata tra le più importanti e all'avanguardia a livello mondiale.*

DOI 10.12910/EAI2021-102

di Luca Saraceno, Giuseppe Zummo - Laboratorio Ingegneria dei Processi e dei Sistemi per la Decarbonizzazione Energetica

**D**a sempre lo spazio rappresenta quella frontiera dove la ricerca scientifica e lo sviluppo tecnologico hanno trovato, forse, il migliore degli habitat possibili. Enormi risorse economiche e umane profuse nel corso degli anni; migliaia di progetti scientifici portati a compimento; centinaia di tecnologie di derivazione spaziale sviluppate per poi arricchire il nostro quotidiano vivere da "terrestri". Ma non tutte le innovazioni tecnologiche sviluppate per lo spazio possono essere preventivamente testate in quelle che saranno le reali condizioni di funzionamento. Da qui l'importanza di poter usufruire delle strutture, infrastrutture e informazioni di ricerca spaziale messe a disposizione della comunità scientifica internazionale da parte delle Istituzioni/Agenzie Governative, e non, dei paesi tecnologicamente più avanzati, per far crescere quel know-how, nelle aree dell'ipergravità e della microgravità, necessario per lo sviluppo tecnologico in ambito satellitare e per le future missioni nello spazio profondo.

## Sperimentazione a zero-g: il volo parabolico

La microgravità è un ambiente unico per lo studio di alcuni fenomeni fisici, chimici e biologici, che possono essere mascherati o modificati dalla gravità terrestre e per condurre esperimenti in una varietà ampia di settori scientifici. Sperimentare in questo contesto aiuta enormemente gli scienziati a migliorare le conoscenze fondamentali in varie discipline, con la conseguenza di accelerare lo sviluppo di applicazioni innovative nei campi della tecnologia, dei processi industriali e della medicina. Ma se non è realisticamente possibile condurre con continuità una sperimentazione in condizioni di assenza di gravità su stazioni spaziali o veicoli in orbita attorno alla Terra, è tuttavia possibile ricreare condizioni di gravità ridotta in prossimità della superficie terrestre a mezzo di alcune facility che consentono di acquisire dati sperimentali unici, sebbene per un lasso di tempo ridotto. La microgravità, che è la condizione di apparente (quasi) assenza di peso, può essere raggiunta sulla o vicino alla Terra solo po-

nendo un oggetto in uno stato di caduta libera. Razzi sonda e capsule, velivoli che effettuano voli parabolici e le torri di caduta rappresentano quindi le cosiddette "microgravity platforms", ognuna delle quali offre un diverso livello di qualità e durata della microgravità (Tab.1).

Tra di esse, il volo parabolico è l'unica piattaforma, insieme alla Stazione Spaziale Internazionale (ISS), in cui gli scienziati (ovvero gli astronauti) possono partecipare alle fasi di sperimentazione, intervenire sull'apparato strumentale, seguire direttamente l'andamento delle misure. In pratica, i voli parabolici prevedono l'esecuzione da parte di un aeromobile di un profilo di volo che alterna manovre ascendenti e discendenti, da cui appunto il termine "parabola". Ognuna di queste manovre permette di ottenere fino a circa 22 secondi di assenza di peso.

Per le sue campagne di volo parabolico l'ESA<sup>1</sup> utilizza un Airbus A-310 della compagnia francese Novespace, presso l'aeroporto di Bordeaux-Mérignac. L'Airbus Zero-G (Fig.1), un aereo di linea opportunamente modificato, esegue nei tre giorni della campagna poco

Tab 1 Caratteristiche delle "microgravity platforms"

Fonte: www.embopress.org/doi/full/10.15252/embr.201948541

Test facility	Time	Operation	Constraints	g-level	Costs (€)/flight <sup>a</sup>	Flights
Drop tower	5-9 s	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>Brief flight time.</li> <li>5-50 g landing acceleration.</li> <li>30 g start acceleration in catapult mode.</li> </ul>	$10^{-4}$ - $10^{-8}$	6-10 K	2-3 per day
Parabolic flights	15-30 s	A, M, B	<ul style="list-style-type: none"> <li>Low level of microgravity</li> </ul>	$10^{-2}$ - $10^{-3}$	30 K	18 p.a.
Sounding rockets	4-13 min	A, M	<ul style="list-style-type: none"> <li>Increased launch acceleration up to 6 g</li> </ul>	$10^{-2}$ - $10^{-4}$	1-2 M	2 p.a.
Recoverable satellites	Up to 3 month	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>High launch accelerations, long preparation phase</li> </ul>	$10^{-3}$ - $10^{-5}$	> 1 M	< 1 p.a.
International Space Station (ISS)	Up to years	A, M, B	<ul style="list-style-type: none"> <li>Long preparation phase</li> </ul>	$10^{-2}$ - $10^{-5}$	> 1 M	Several p.a.

A = automatic, M = manual, B = manned.  
<sup>a</sup>Costs of space experiments depend on size and weight and can thus only be estimated roughly.

più di novanta parabole nei cieli antistanti la costa di Bordeaux: grazie alle particolari manovre compiute dai quattro piloti, nel corso di ciascuna parabola è possibile ottenere, per circa 20 secondi, condizioni di gravità ridotta o *appesanteur*, durante la quale i ricercatori europei effettuano i loro test sugli impianti sperimentali montati a bordo dell'aereo, fluttuando nell'aria come astronauti. Il termine microgravità si riferisce al fatto che non è mai possibile raggiungere la condizione di perfetta assenza di peso: alcune forze esterne residue continuano ad esercitare la loro influenza, come ad esempio la resistenza dell'aria o turbolenze locali, o piccole oscillazioni, cambi di direzione, dovuti alle manovre dei piloti e alle turbolenze che fanno discostare il valore dell'accelerazione di gravità da quello ideale.

Prima di iniziare la manovra parabolica, l'Airbus Zero-G vola orizzontalmente ad una quota di 6.000 metri, raggiungendo una velocità di circa 810 km/h (Fig. 2). Comincia poi la fase di salita fino a toccare i 47° a 7600 metri, ovvero alla "fase di ingresso" nella quale i passeggeri avvertono una sensazione di ipergravità poiché il peso di ogni corpo a bordo è circa 1,8 volte maggiore di quello sulla terra. A questo punto i piloti 'annullano' la portanza alare e, contestualmente, lasciano ai motori la sola potenza necessaria per fornire una spinta che possa

controbilanciare la resistenza aerodinamica. Questa fase transitoria dura circa 5 secondi.

Da questo momento l'aeromobile e i suoi occupanti sono in caduta libera per circa 22 secondi nei quali l'aereo segue un arco di traiettoria ellittica nel quale la forza di gravità viene bilanciata dalla forza centrifuga. Il percorso, che raggiunge la quota massima di 8.500 metri, ha la forma di un arco di parabola simile a quella che seguirebbe un oggetto lanciato in aria. Quando l'aereo raggiunge nuovamente i 7600 metri, il pilota lo raddrizza e dopo 20 secondi di ipergravità a 1,8 g si ritorna alle condizioni iniziali di volo livellato. Dopo due minuti circa inizia una nuova sequenza. Trenta volte per ciascuno giorno dei tre previsti da ogni campagna sperimentale.

#### Da ENEA nuove tecnologie per lo spazio

Le attività di ricerca in microgravità dell'ENEA hanno inizio nel lontano 2004, con la prima campagna di volo parabolico nell'ambito del progetto BOILING promosso dall'ESA per investigare i fenomeni relativi alla trasmissione del calore in assenza di gravità. Il gruppo di ricerca dell'allora Istituto di Termofluidodinamica guidato dall'ing. Gian Piero Celata ha proseguito poi tale filone di ricerca par-

tecipando, negli anni successivi, ad altri progetti finanziati dall'ESA (MANBO, INWIP, MANBO-2) dedicati nella fattispecie allo sviluppo di sistemi avanzati di controllo termico bifase per applicazioni spaziali, fino ad arrivare alla decima campagna sperimentale di volo parabolico effettuata nel novembre del 2019 (Fig.3).

In particolare, in quest'ultima campagna, la sperimentazione ENEA ha riguardato lo studio, la progettazione e la realizzazione di sistemi innovativi di raffreddamento a flusso bifase (*Two-Phase Flow Cooling System*) ad alta efficienza, in grado di dissipare il calore generato dalle apparecchiature elettroniche (CPU, GPU, ecc.) durante il loro funzionamento mediante il cambiamento di fase del fluido refrigerante che circola al suo interno (Fig. 4). La trasformazione di un fluido dalla fase liquida a quella vapore, rappresenta, infatti, il meccanismo di trasmissione di calore più efficiente che possa esistere in natura. Efficiente ma assai complesso, la cui piena comprensione rappresenta ad oggi un traguardo da raggiungere, ancor più distante se si parla di applicazioni in ambito aerospaziale dove l'assenza di gravità non consente di utilizzare le correlazioni sperimentali derivanti dal processamento dei dati ottenuti sugli impianti a terra.

La ricerca ENEA in questo ambito si



Fig.1 L'Airbus Zero-G della Novespace (da: [www.esa.int/ESA\\_Multimedia](http://www.esa.int/ESA_Multimedia))

inquadra in un più ampio settore della ricerca scientifica internazionale per nuove tecnologie in grado di assicurare un migliore controllo termico della sofisticata strumentazione elettronica installata a bordo dei veicoli spaziali, satelliti e stazioni orbitanti: obiettivo per il quale è stato necessario mettere a punto sistemi di trasferimento del calore non solo molto efficienti, ma che possano operare in maniera affidabile anche nello spazio. Con il progresso tecnologico, infatti, si stima che nei satelliti di nuova generazione (piccoli e grandi) alcuni componenti possano raggiungere flussi termici da dissipare fino a 200-300 W/cm<sup>2</sup> su piccole superfici di 50-100 cm<sup>2</sup>. Il raffreddamento bifase a convezione forzata è il solo in grado di gestire flussi termici così elevati, trasportando il calore anche lungo grandi distanze, utile in ambienti di grandi dimensioni dove i radiatori possono trovarsi a vari metri di distanza dai sistemi da raffreddare.

### Le dieci campagne del MICRO.BO.

Nel campo della sperimentazione a zero-g è quindi da citare l'impianto MICRO.BO. (MICROgravity BOiling) (Fig.5) dell'ENEA, progettato e realizzato con contributo ASI, è una delle più avanzate facility europee per lo sviluppo e la caratterizzazione di sistemi di trasferimento di calore ad

alta efficienza in applicazioni spaziali. Attualmente, l'impianto è impiegato per le prove sperimentali del progetto MANBO (finanziato dall'ESA, European Space Agency). Si tratta di un impianto sperimentale estremamente sofisticato in termini di sistemi hi-tech di automazione, sistemi di sicurezza, attrezzature tecnologiche (es. telecamere ad alta velocità di ripre-

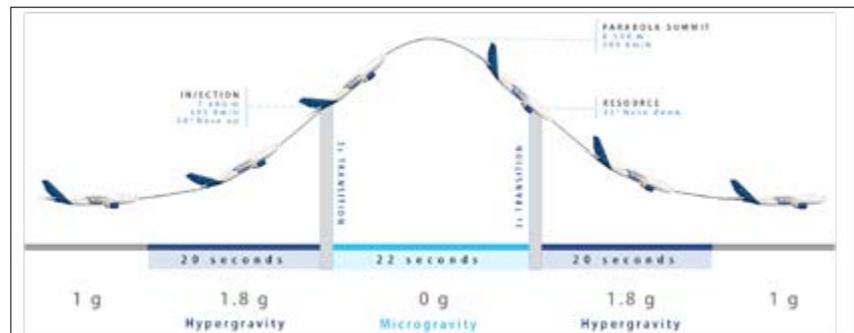


Fig.2 Le differenti fasi di gravità durante una parabola (da: [www.esa.int/ESA\\_Multimedia](http://www.esa.int/ESA_Multimedia))



Fig.3 L'ENEA a Zero-g

sa, sensori miniaturizzati, trattamenti di coating su tubi trasparenti per riscaldamento del fluido e contestuale visualizzazione).

Le campagne sperimentali ENEA nel corso degli anni hanno riguardato inizialmente lo studio di base degli aspetti qualitativi della fenomenologia dell'ebollizione in condizioni di assenza di gravità, con particolare riguardo alla distribuzione delle fasi liquida e vapore durante il movimento del fluido all'interno di piccoli canali. È stato inoltre investigato il ribagnamento di pareti ad alta temperatura susseguente alla totale evaporazione del fluido, la cui conoscenza è fondamentale per la corretta movimentazione del combustibile criogenico dei razzi vettore (attività finanziata dall'industria aerospaziale francese Snecma). L'obiettivo delle successive campagne è stato di ottenere valori quantitativi sul rateo di trasferimento di calore in ebollizione in assenza di gravità utilizzando tubi di tre diversi diametri interni (2, 4 e 6 mm), differenti portate del fluido refrigerante e condizioni termodinamiche specifiche definite sulla base delle precedenti esperienze,

focalizzando l'attenzione nella zona di massima influenza dell'assenza di gravità sull'ebollizione.

L'utilizzo di tubi in pyrex trattati con uno speciale rivestimento metallico in ITO (Indium-Tin-Oxide, ossido di Indio e Stagno) di uno spessore inferiore a 100 nanometri, ha consentito sia il riscaldamento del fluido (FC-72 e perfluoroesano) per provocarne l'ebollizione ed effettuare così misure accurate dei relativi coefficienti di scambio

termico, sia, grazie allo spessore nanometrico di tale rivestimento, la visualizzazione ad alta velocità degli efflussi bifase (liquido/vapore) all'interno del canale (Fig. 6). Questa tecnologia ha consentito di ottenere una dettagliata analisi dei fenomeni caratterizzanti l'ebollizione in regime di convezione forzata in assenza di gravità, con risultati determinanti per la progettazione di scambiatori di calore nelle stesse condizioni di assenza di gravità. La peculiarità della campagna sperimentale del 2014 è consistita nell'applicare artificialmente al fluido refrigerante un campo elettrico, tramite un elettrodo collocato al centro della tubazione, con la funzione di sostituire la forza di gravità assente in condizione di gravità zero con le forze del campo elettrico. Si è trattato di una novità assoluta negli studi sui fluidi in movimento: controllando, tramite il campo elettrico, il fenomeno dell'ebollizione che avviene nel circuito di raffreddamento è infatti possibile "gestirlo" in maniera simile a quanto si riesce a fare a terra. Sono state così acquisite informazioni fondamentali per l'avanzamento tecnologico nella capacità di progettazione di scambiatori di calore per applicazioni spaziali sulla base delle conoscenze derivanti dal loro funzionamento a terra.

Nella campagna 2016 è avvenuta una profonda riprogettazione dell'impianto

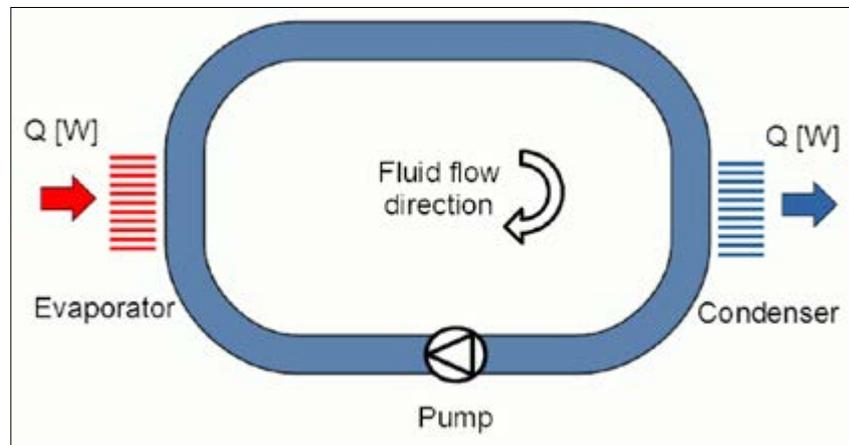


Fig.4 Schema semplificato di un sistema di controllo termico a flusso bifase



Fig.5 Configurazioni di volo del MICRO.BO.

to MICRO.BO, con la suddivisione della struttura originaria in tre rack differenti e la possibilità di avere due differenti circuiti idraulici per la conduzione in contemporanea di altrettanti esperimenti scientifici. Nel primo loop è proseguita la sperimentazione in condizioni di efflusso bifase o *flow boiling* all'interno di canali circolari di diverso diametro: nella fattispecie, sono stati utilizzati tubi d'acciaio da 1, 2 e 4mm, all'uscita dei quali sono stati collegati

dei tubi trasparenti del medesimo diametro per consentire la visualizzazione dei vari regimi di efflusso (*flow pattern*) al variare della portata di refrigerante e della potenza elettrica imposte nonché dei diversi livelli di gravità raggiunti durante le parabole. Particolare attenzione è stata in questo caso rivolta al calcolo dei coefficienti di scambio termico nelle fasi di transizione da iper a microgravità e viceversa.

Il secondo circuito, denominato LECOOL

(Loop for Electronics COOLing) è stato progettato per eseguire esperimenti di trasferimento di calore in *flow boiling* in condizioni di gravità variabile utilizzando un innovativo microevaporatore a multicanali, per investigare gli effetti della gravità su tale sistema e testare sul campo un primo dimostrativo tecnologico del *two-phase pumped loop* sviluppato dai ricercatori ENEA per il controllo termico avanzato dell'elettronica in ambito aerospaziale.

Tale configurazione d'impianto è stata poi mantenuta anche nelle due successive campagne di volo, andando principalmente ad investigare i vantaggi derivanti dall'adozione di nuovi fluidi refrigeranti e di sistemi di regolazione e controllo più sofisticati.

#### Nello spazio ma non solo

Da quanto detto sin qui si evince come la ricerca ENEA nel campo della trasmissione di calore per applicazioni spaziali possa essere considerata tra le più importanti e all'avanguardia a livello mondiale, grazie alla grande esperienza maturata con i voli parabolici e all'analisi dei dati raccolti in condizioni di microgravità durante le dieci campagne sperimentali effettuate nell'ambito dei progetti ESA.

Ma la ricerca ENEA non si è fermata allo spazio. Nel Laboratorio IPSE del Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili vengono attualmente condotte ulteriori campagne sperimentali per l'ottimizzazione del sistema di raffreddamento progettato per lo spazio, sviluppando al contempo soluzioni innovative e prototipi avanzati per un suo utilizzo specifico nel controllo termico dei processori dei computer e dell'elettronica di potenza per applicazioni terrestri, dal raffreddamento di computer ad alte prestazioni (workstation professionali) al controllo termico dei server di un Data Center HPC (High Performance Computing), fino alla gestione termica

dell'elettronica dei veicoli elettrici (IGBT, batterie), solo per citare le principali.

Infatti, nel corso degli ultimi anni a causa dell'impennata delle prestazioni dei componenti elettronici e della loro sempre maggiore miniaturizzazione, il raffreddamento di tali dispositivi è diventato un problema estremamente delicato e critico non solo nel settore aerospaziale ma in svariati ambiti dell'industria mondiale. I sistemi, semplici ed affidabili, finora maggiormente adottati, basati sul raffreddamento ad aria (air cooling) o a liquido (liquid cooling) sono caratterizzati da una forte limitazione in termini di massima potenza termica asportabile, in particolare per le geometrie ridotte. La tecnologia studiata in ambito aerospaziale dall'ENEA consente di superare l'inadeguatezza dei sistemi tradizionali e si pone come la nuova frontiera dei sistemi di controllo termico avanzato, evidenziando ancora una volta l'importanza delle cosiddette "ricadute pratiche" della ricerca spaziale nella vita quotidiana di tutti noi.

### Ringraziamenti

Un enorme e caloroso ringraziamento va a tutto il personale del Laboratorio di Termofluidodinamica dell'ENEA, oggi Laboratorio Ingegneria dei Processi e dei sistemi per la Decarbo-

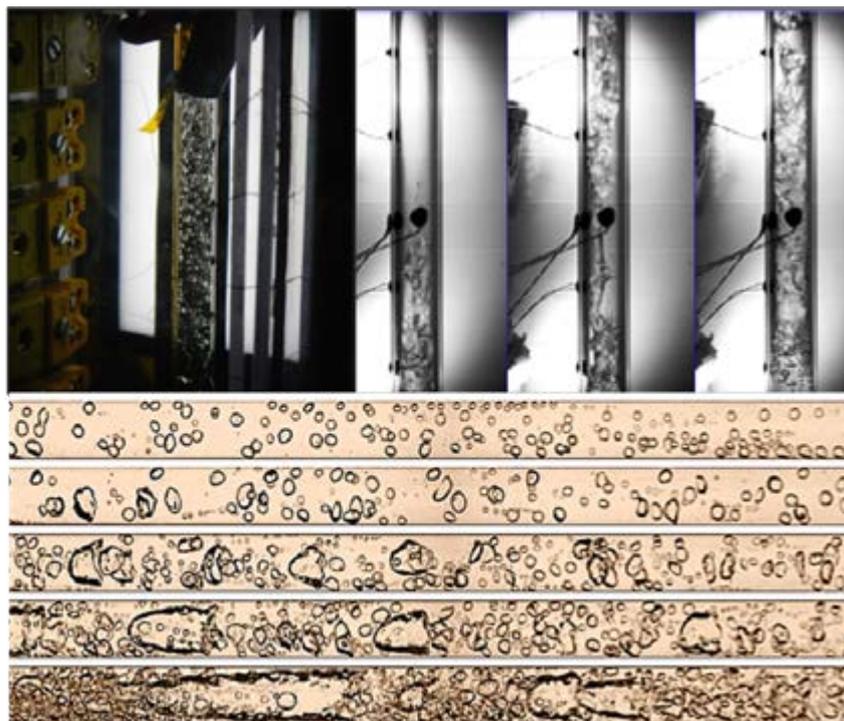


Fig.6 Efflussi bifase in condizioni di microgravità

nizzazione Energetica, per il supporto tecnico e morale alle attività legate ai voli parabolici. Senza di loro le attività sperimentali in microgravità non avrebbero potuto essere portate a compimento con successo. In particolare: Gian Piero Celata, Francesco D'Annibale, Alberto Lattanzi, Mariano Morlacca, Antonio Scotini, Michele Sica, Luca Simonetti. Un grande

ringraziamento va inoltre a coloro che, come assegnisti, dottorandi o tesiisti hanno fattivamente contribuito alla preparazione di alcune delle campagne sperimentali del MICRO.BO, partecipando anche ai voli parabolici: César Valencia Castillo, Marco Gervasi, Daiane Iceri e Giorgia Lancione.

*Per info: giuseppe.zummo@enea.it*

1. [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Human\\_and\\_Robotic\\_Exploration/Research/Parabolic\\_flights](https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Research/Parabolic_flights)

NEL PROSSIMO NUMERO PARLEREMO DI:

## Scienza e tecnologia per la grande bellezza italiana

In un Paese come il nostro, con un patrimonio culturale unico al mondo, le attività di tutela e valorizzazione hanno una valenza inestimabile sotto l'aspetto sociale, economico e delle ricadute per l'occupazione. In questo contesto, ricerca e innovazione possono dare un contributo di grande rilievo rendendo disponibili tecnologie, strumentazioni e metodologie sempre più complesse e avanzate per il monitoraggio, la conservazione, la diagnostica e la messa in sicurezza dei beni artistici e paesaggistici.

L'ENEA opera in questo settore da svariati decenni e dispone di competenze tecnico-scientifiche molto qualificate, di infrastrutture e capacità di offrire soluzioni innovative per l'indagine, caratterizzazione, diagnostica, restauro e sicurezza a supporto di istituzioni pubbliche e imprese. Nei suoi laboratori sono nati il prototipo di laser scanner per monitorare lo stato di conservazione di dipinti e affreschi, i sensori hi tech per l'analisi e il controllo della vulnerabilità di ponti e viadotti di interesse storico-artistico come quello di Spoleto, prodotti bio-based e 'collezioni' di microorganismi per il biorestauro delle statue dei Giardini Vaticani o dei marmi di Michelangelo, le tecnologie per la ricostruire e rendere fruibile in 3D opere ad accesso limitato, o i basamenti anti-sismici per proteggere i Bronzi di Riace dai terremoti. Ma non solo. In ENEA i beni culturali sono una delle sei tematiche strategiche selezionate nell'ambito del Programma di Knowledge Exchange, per la creazione di partnership dedicate fra il mondo della ricerca e il mondo dell'industria.

Per questo insieme di motivazioni abbiamo scelto di dedicare il prossimo numero della rivista a questo comparto che coinvolge tutti i Dipartimenti e alcune Direzioni dell'Agenzia, in modo trasversale e collaborativo. Nel numero 1 del 2022, quindi, racconteremo come l'ENEA opera in questo campo, quali sono le professionalità, i servizi e le infrastrutture disponibili e, più in generale, quali sono le sfide e i possibili traguardi da raggiungere. Tutto ciò, come sempre, con il contributo di esperti, istituzioni, protagonisti del settore, per arricchire ed ampliare i punti di vista da offrire ai lettori.

[eai.enea.it](http://eai.enea.it)

