

ESPLORAZIONE DELLO SPAZIO: STORIA, SCIENZA E TECNOLOGIE

Autori: Nicola Mirotta e Giuseppina De Felice Proia
con la collaborazione di Barbara Negri, Carlo Di Leo, Marco Restano, Enrico Ferrone, Stefano Coltellacci,
Giorgia Pontetti, Fabio Curti, Giovanni Nicolai
dal Workshop 19 - 26 Giugno 2020 organizzato dalla Commissione Aerospazio
Ordine Ingegneri Provincia di Roma

Generalità

Il Convegno, organizzato dalla Commissione Aerospazio dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma con la collaborazione della Scuola di Ingegneria Aerospaziale SIA dell'Università La Sapienza di Roma, si è svolto nei giorni 19 e 26 giugno 2020 in modalità webinar in considerazione dell'emergenza Covid-19 e ha fornito un ricco excursus storico, scientifico e tecnologico legato sull'esplorazione dello Spazio, affrontando i seguenti argomenti:

- 1) dalle vicende di Tsiolkowsky, Goddard, Oberth e von Braun, pionieri della moderna era spaziale, alle conquiste che si sono succedute fino al primo sbarco umano sulla Luna;
- 2) le missioni spaziali con l'obiettivo di puntare all'esplorazione spaziale per un progresso umano e tecnologico ancora tutto da scoprire; missioni con sonde automatiche che stanno riaprendo l'esplorazione dello spazio (Sole, Marte etc...);
- 3) le «ricadute tecnologiche» che i viaggi spaziali hanno apportato all'intera umanità, dal punto di vista scientifico-culturale ma anche più squisitamente «pratico».



1. L'ESPLORAZIONE DELLO SPAZIO: PROGRAMMI DI RICERCA

Nell'ambito della ricerca orientata all'esplorazione dello Spazio gli sforzi maggiori si concentrano sull'osservazione dell'Universo con i suoi costituenti quali le stelle, le galassie e i buchi neri e sull'esplorazione del Sistema Solare disseminato di pianeti, satelliti, asteroidi e comete. Vengono così perfezionati i dati necessari a raffinare sia il modello cosmologico standard, che quelli di evoluzione stellare, planetaria e galattica. In questo scenario numerose missioni sono state caratterizzate dal coinvolgimento del nostro Paese, grazie soprattutto al ruolo dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) che ha conquistato un importante posizionamento in Europa e nello scenario internazionale.. Recente è l'impegno nella missione ESA *Solar Orbiter* (febbraio 2020) con la realizzazione del coronografo multi-banda *Metis* in grado di produrre, per la prima volta, immagini simultanee dell'intera corona della nostra stella, il Sole, in luce visibile polarizzata (580-640 nm) e ultravioletto a banda stretta HI Ly-alpha (121,6 nm). *Metis* permetterà la misura di nuovi parametri fisici dell'atmosfera solare e dell'eliosfera, quali il campo magnetico e il vento solare, e le proprietà del plasma e delle particelle emesse dal Sole, in funzione del ciclo solare (Figura 1).



Figura 1: Missione ESA Solar Orbiter

Una particolare attenzione è rivolta poi al pianeta Marte, per il quale è previsto il primo sbarco umano entro il 2040 attraverso la *deep space gateway* rappresentato dalla Luna (e dalla presenza di carbonio, idrogeno, ossigeno e fosforo nelle rocce, elementi base per lo sviluppo della vita, di metano, di ghiaccio sia nel sottosuolo a piccole profondità che nell'atmosfera, di vulcani ormai spenti tra i più grandi di tutto il Sistema Solare, di radioattività intensa a causa di una sottile atmosfera che ne impedisce lo schermaggio).

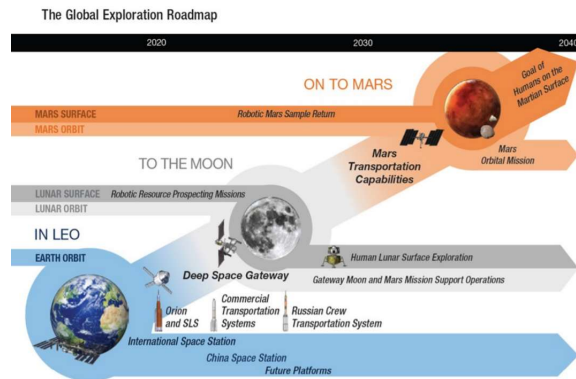


Figura 2). La scelta dell'esplorazione del Pianeta Rosso è dettata da ragioni legate alla sua sorprendente somiglianza con la Terra grazie alla natura stessa della sua superficie e dalla presenza di carbonio, idrogeno, ossigeno e fosforo nelle rocce, elementi base per lo sviluppo della vita, di metano, di ghiaccio sia nel sottosuolo a piccole profondità che nell'atmosfera, di vulcani ormai spenti tra i più grandi di tutto il Sistema Solare, di radioattività intensa a causa di una sottile atmosfera che ne impedisce lo schermaggio.

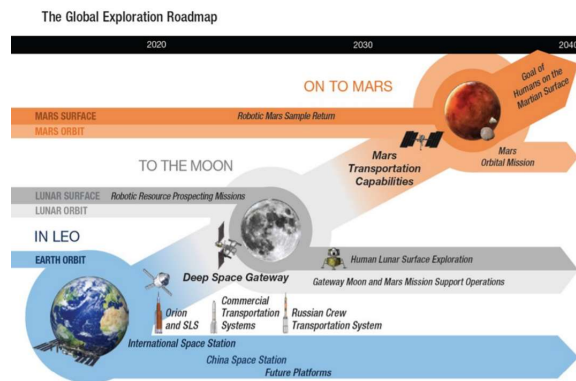


Figura 2: La Roadmap dell'esplorazione di Marte

A causa della pandemia di Covid-19, che ha impedito di completare i test previsti, è stato rinviato a settembre 2022 il lancio della seconda missione ExoMars, realizzata dall'Agenzia spaziale europea (ESA) e da quella russa Roscosmos, la cui partenza era prevista per luglio 2020. L'obiettivo di questa seconda missione consiste nella ricerca di tracce di vita sul pianeta, nel presente attraverso il rilevamento della presenza di marcatori biologici quali amminoacidi, nucleobasi, zuccheri, fosfolipidi e pigmenti, e nel passato mediante il rilievo di residui organici di origine biologica in grado di fornire informazioni chimiche, chirali, spettroscopiche e isotopiche, e di immagini di strutture di organismi fossili quali evidenza morfologica. Allo stesso tempo la missione indaga sulla consegna di materiale organico da parte di meteoriti e comete. Un *drill system* (Figura 3) è progettato per raccogliere campioni fino a 2 metri sotto la superficie di Marte, in quanto a tale profondità non agisce più la sterilizzazione dovuta alle radiazioni. Ma Miss (Mars Multispectral Imager for Sub-Surface Science), uno spettrometro integrato all'interno dello strumento *drill*, consentirà l'analisi durante la raccolta del campione.

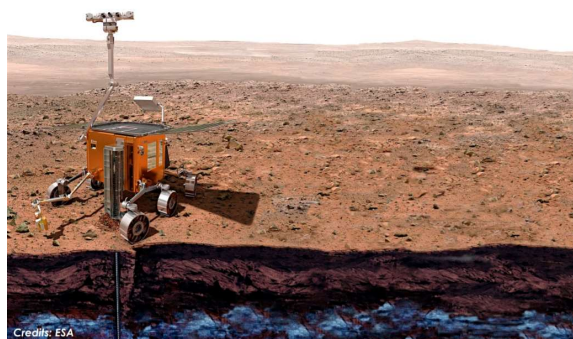


Figura 3: Missione ExoMars: drill system.

Oltre a Marte, esistono altri pianeti simili alla Terra? Sono pianeti rocciosi o gassosi? Come sono le loro atmosfere? E, soprattutto, sono abitabili? Il nostro Sistema Solare è di tipo comune o è particolare tra i sistemi extrasolari? Soltanto al 1995, circa 2300 anni dopo le idee di Epicuro e oltre 400 anni dopo la morte di Giordano Bruno, risale la scoperta, ad opera degli astronomi svizzeri Michel Mayor e Dider Queloz, di un pianeta di massa simile a quella di Giove, in orbita attorno a 51 Peg b, la 51esima stella più brillante della costellazione di Pegaso.

Numerosi sono i programmi delle Agenzie Spaziali che si orientano a cercare nell'Universo pianeti rocciosi che orbitino attorno alla propria stella ad una distanza nota come "fascia di abitabilità": essa corrisponde alla fascia delle possibili orbite per cui, se ci fosse acqua sulla superficie del pianeta, questa si troverebbe allo stato liquido, condizione base per trovare esopianeti simili alla Terra. *CHEOPS*, *small mission* ESA lanciata nel dicembre 2019, osserverà stelle note per ospitare pianeti (Figura 4). Utilizzerà tecniche fotometriche di altissima precisione per migliorare la misura del diametro dei pianeti di cui già si conosce la massa, identificherà obiettivi per missioni future in grado di analizzare la composizione della loro atmosfera. L'Italia è responsabile della parte ottica del telescopio e della sua integrazione nella struttura in fibra di carbonio fornita dalla Svizzera.



Figura 4: Missione CHEOPS.

PLATO, *medium mission* ESA il cui lancio è previsto nel 2026, effettuerà misure fotometriche ad altissima precisione per lunghi periodi alla ricerca di pianeti in orbita attorno a stelle brillanti, condizione quest'ultima fondamentale per determinare la massa dei pianeti attraverso la misurazione delle variazioni di velocità radiale mediante spettrografi ad alta risoluzione al fuoco dei grandi telescopi terrestri, e per poter affrontare poi gli studi sulle loro atmosfere (Figura 5). L'Italia è impegnata nella realizzazione dei 26 telescopi e dell'Instrument Control Unit (ICU).

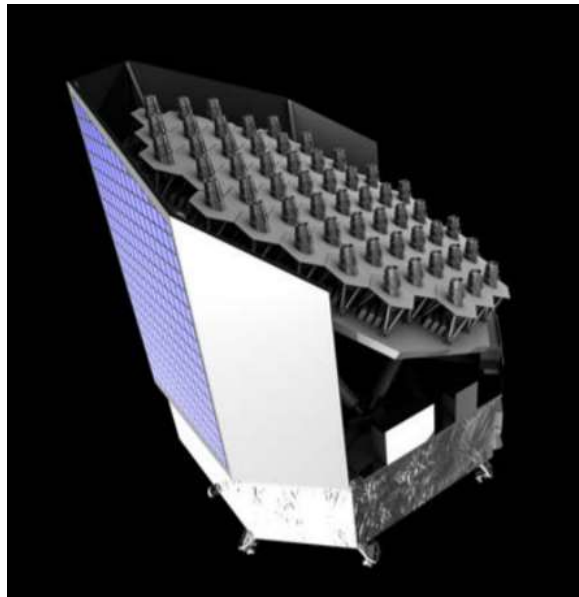


Figura 5: Missione PLATO.

ARIEL, medium mission ESA con lancio previsto nel 2028, studierà le atmosfere di almeno mille pianeti orbitanti intorno a stelle vicine, con l'obiettivo di determinare la loro composizione chimica e le loro condizioni fisiche (Figura 6). Per derivare composizione e temperatura delle atmosfere in modo non ambiguo ARIEL osserverà i pianeti in una larga banda elettromagnetica che include sia il visibile sia il vicino infrarosso. L'Italia è responsabile dell'elettronica di bordo e delle ottiche del telescopio di cui realizzerà la struttura meccanica.

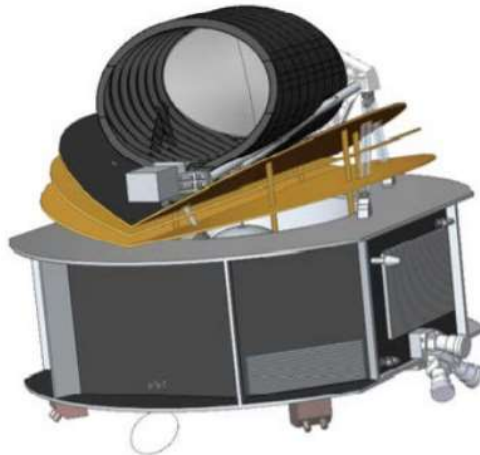


Figura 6: Missione ARIEL.

Accanto all'esplorazione dei pianeti, l'interesse europeo e internazionale è rivolto all'indagine di comete al fine di studiare le origini del nostro Sistema Solare. *Comet Interceptor* rappresenta la prima missione di classe F (Fast e Small) di ESA prevista per un lancio nel 2028 e dedicata all'esplorazione di una cometa che entra nel Sistema solare interno per la prima volta (Figura 7). La missione consiste in un *mother spacecraft*, *SC A*, realizzata da ESA e 2 sonde, *B1* fornita da JAXA e *B2* da ESA. Il suo payload è costituito da 10 strumenti tra i quali ricordiamo *DISC* (*Dust Impact and Counter Sensor*) ed *EnVisS* (*Entire Visible Sky*) che prevedono la partecipazione italiana.



Figura 7: Missione Comet Interceptor.

2. GLI ALBORI DELLA CONQUISTA DELLO SPAZIO E LO SBARCO SULLA LUNA

Oggi, accendendo la televisione ci capita spesso di osservare degli astronauti a bordo della ISS mentre compiono delle riparazioni. Si tratta di immagini ormai familiari e l'impressione è che si tratti di missioni importanti ma ormai ben collaudate, al punto che qualche facoltoso miliardario si è anche permesso il lusso di trascorrere una breve vacanza nello spazio. Ciò ci porta tuttavia a dimenticare come sia stata invece travagliata la corsa verso la conquista di questo quarto ambiente, conquista che ha richiesto un impegno massiccio di uomini e mezzi ed è costata addirittura delle vite umane.

La corsa allo spazio tra Stati Uniti ed Unione Sovietica ebbe inizio nei primi anni Settanta. All'inizio tuttavia le cose non erano andate molto bene per gli Stati Uniti. Dopo la sorpresa dovuta allo Sputnik, primo satellite artificiale lanciato da Mosca nello spazio, gli americani avevano creato in tutta fretta la NASA, utilizzando la tecnologia ed i razzi messi a punto in quegli anni dai progetti militari. Ma il ritardo era notevole e l'Unione Sovietica aveva collezionato altri due record prestigiosi: quello di Yuri Gagarin, primo uomo nello spazio e quello conquistato da Alexei Leonov, che era stato, in assoluto, il primo cosmonauta a compiere un'attività extra-veicolare, il primo cioè a potersi muovere nel vuoto cosmico protetto solo dalla sua tuta. Il volo spaziale suborbitale dell'americano Alan Shepard e poi quello orbitale di John Glenn avevano rincuorato gli americani e i conseguenti successi dei programmi Mercury e Gemini avevano accorciato le distanze nei confronti dell'Unione Sovietica. A quel punto il progetto del presidente Kennedy di giungere per primi sulla Luna aveva entusiasmato l'opinione pubblica e si diffuse la percezione che tutto fosse ormai possibile. In realtà l'annuncio di Kennedy aveva lasciato molto perplessi coloro che credevano di dover realizzare questo sogno. Ma alla fine tutto si concluse con il famoso annuncio di Neil Armstrong: "Qui Mare della Tranquillità, Aquila è allunata".

Naturalmente, prima che ciò avvenisse, gli americani avevano pareggiato i conti con l'Unione Sovietica dapprima facendo volare, come già detto, John Glenn a bordo di una capsula Mercury e, successivamente, facendo compiere la prima passeggiata cosmica ad Ed White nell'ambito del programma Gemini.

Sfortunatamente, la missione Apollo 1 con a bordo Gus Grissom, Ed White e Roger Chaffee, si concluse con una tragedia, ma gli americani non si persero d'animo e riuscirono finalmente a conquistare la Luna per la prima volta nel luglio 1969 con Armstrong, Aldrin e Collins

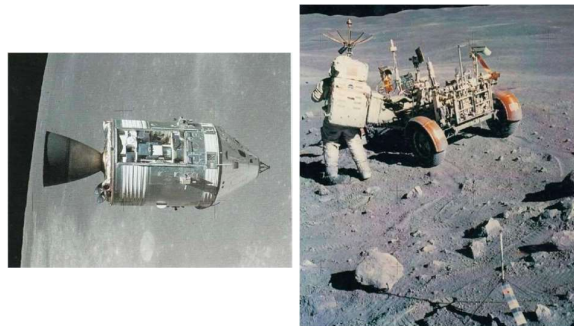


Figura 8: Rover lunare (a sinistra), Modulo di Comando e Servizio (a destra) dell'apollo 14

A questo primo successo ne seguirono altri, fino alla conclusione del programma avvenuta nel 1972 con la missione Apollo 17.

3. LA LUNA DIETRO LE QUINTE

Avveniva la conquista della luna con la famosa esclamazione declamata da Neil Armstrong alle 20:17 del 20 luglio 1969 (di Houston) appena sceso dalla scaletta del LEM Aquila nella distesa basaltica del Mare della Tranquillità, nel nord est dell'emisfero visibile della Luna che ha comportato innegabilmente molte innovazioni, sembra che dalla missione Apollo siano derivati circa 2.000 brevetti significativi dei cui prodotti ancora oggi tutti ne usufruiamo. Henry Ford amava ripetere: "C'è vero progresso solo quando i vantaggi di una tecnologia diventano per tutti".

Ma proviamo ad astrarci da tutto questo e domandiamoci: "Perché si è voluto mandare un uomo sulla Luna?"

Facciamo un passo indietro, il 4 ottobre 1957 l'Unione Sovietica ha lanciato il suo Sputnik; il 12 aprile 1961 un cittadino nato sulle sponde del fiume Dnepr, delle repubbliche socialiste uscirà dallo spazio per 90 minuti - Gagarin.

Kennedy capisce subito che deve inventarsi qualcosa per riprendere il suo paese dall'inferiorità in cui lo aveva trovato. Ma gli studi nella più prestigiosa università americana gli fanno fare un ragionamento molto sottile: non si sapeva che motivo avessero concretamente i russi di accaparrarsi lo spazio sovrastante la Terra. Ma sicuramente se ne era subodorato l'interesse militare.

Per spingersi in un ambiente così diverso da quello terrestre era sicuro che il nemico sovietico si stava dotando della più micidiale delle tecnologie presenti sulla terra: il capitale umano. La Russia aveva tanti ingegneri. Più degli americani. Per questo la Russia andava nello spazio e gli americani no. Che quegli ingegneri fossero utilizzati per scopi pacifici oppure bellici importava poco. E poi diciamocelo chiaramente: un ingegnere è una risorsa per un paese. Chi ha a che fare con gli ingegneri sa che si tratta di un materiale duttile che si trasforma a seconda delle necessità. E Kennedy lo capì bene, che un paese non può avere l'ambizione di essere la guida tecnologica del mondo se non dispone di un capitale umano pari a quello del suo competitor.

Produrre ingegneri ma per fargli fare poi lavori inadeguati ai loro studi? Oppure per formarli e poi mandarli a lavorare all'estero?

In aprile 1961 - dunque tre mesi dopo il suo insediamento- Kennedy si incontrò con l'amministratore della Nasa James Webb e il suo vice Hugh Dryden. Webb era un sociologo, Dryden uno scienziato.

I vice devono parlare sempre per secondi: ma fu Dryden a dare a Kennedy l'idea giusta: "Presidente, mandiamo un astronauta sulla Luna e facciamolo tornare vivo. Entro questo decennio. È così che facciamo il mazzo ai russi".

Kennedy era giovane, era simpatico e gli piacevano le cose belle della vita. Gli piacevano le sfide. Gli piaceva vincere. Accettò il suggerimento del vice della Nasa il 25 maggio 1961 andò a proporsi al Congresso.

"Mandiamo un americano sulla Luna".

Ma nel suo discorso non disse perché. A cose servisse la missione. E in effetti non serviva a niente. Se non a dimostrare la forza della sua nazione.

E nell'immaginario tutti gli americani presero a credere di essere così bravi da poter andare sulla Luna, su Marte, in tutti i pianeti del sistema solare e chi sa dove ancora.

E tutti gli americani sentirono di dar ragione a quel presidente così bello, così convincente. Chi invece aveva le idee più chiare del motivo per il quale sarebbe stato opportuno andare sulla Luna era Wernher von Braun. Lo scienziato trafugato nel 1945 dalla Germania nell'operazione Paperclip. Lui voleva la Luna perché sarebbe stata la più semplice piattaforma per una trasferta su Marte: un pianeta per estendere un nuovo dominio. Come non fare un parallelismo con un passato appena passato?

Il barone von Braun, l'uomo che aveva portato gli uomini americani sulla Luna perde la sua battaglia. Il 4 agosto del 1969 von Braun illustrò alla Commissione spaziale del governo statunitense un progetto per portare un gruppo di astronauti su Marte entro il 1982. Di Marte il Congresso non vuole sentirne parlare e lui nel 1970 - a programma non ancora conclusivo - viene spedito in un ufficetto di Washington a riempire tabelle.

Il 26 maggio 1972 lo scienziato tedesco rassegna le dimissioni dalla Nasa: Apollo 16 sarà lanciato il 16 aprile e Apollo 17 il 7 dicembre seguente. Von Braun diventa vicepresidente delle industrie Fairchild, un'industria di un paese che non gli apparteneva e il 16 giugno 1977 muore all'età di 65 anni per un tumore al pancreas.

Così la Nasa chiude il programma lunare e utilizzerà i suoi moduli per programmi di piccolo cabotaggio.

La Nasa aveva impiegato 500.000 ingegneri per portare una dozzina di persone sulla Luna. Erano tutti professionisti seri abituati a risolvere problemi senza soluzioni da poter testare. Quando il modulo Eagle toccò il suolo lunare c'era il 50% delle probabilità che la missione fallisse.

Falliti il Programma Apollo l'America si è dovuta impegnare in altri programmi scientifici che hanno sicuramente rafforzato le conoscenze e hanno allargato anche la ricerca di nuove alleanze. Una per tutti è la missione Cassini Huygens che ha visto coinvolta l'Italia in partnership con ESA in un programma che ha avuto sicuramente minor visibilità della Luna ma con valenze scientifiche e professionali molto più alte.



Figura 9: Mission to Saturn

La missione umana sulla Luna è stato questo: gli americani avevano bisogno di mostrare la loro capacità tecnologica, il coraggio umano, il sacrificio, lo sprezzo per il rischio. Bisogna ragionare con una maggior razionalità nell'affrontare i grandi temi della conoscenza. L'impiego di macchine automatiche per l'esplorazione dell'universo dovrebbe essere predominante e più fattivo di una serie di platealità che impongono un severo addestramento, un costo molto alto per i lanciatori che devono adeguarsi a rendere compatibili le sollecitazioni del lancio con la sopportabilità umana e la necessità di dover recuperare il prezioso carico, una volta completata la missione, con tutti i rischi e le complicazioni dovute alla lunghezza del viaggio e alle quarantene che ne devono derivare dopo averli inviati in ambienti sconosciuti nei quali può accadere di tutto ed incontrare ogni genere di elemento ostile alla vita te



Figura 10: La Luna del futuro

4. L'ESPLORAZIONE DI MARTE: SHARAD, MARSIS, EXOMARS

Marte è il quarto pianeta del Sistema Solare in ordine di distanza dal Sole e ha due lune, Fobos e Deimos. La sua atmosfera è principalmente costituita da anidride carbonica. Non disponendo più di un forte campo magnetico, l'atmosfera e superficie di Marte sono esposte direttamente al vento solare. L'illuminazione solare comporta un processo di ionizzazione dell'atmosfera che definisce una regione ionosferica costituita su Marte da un singolo strato di gas ionizzato.

Le due missioni attualmente in orbita per lo studio della sotto-superficie marziana sono state motivate da studi geologici indicanti la necessità di verificare la presenza di eventuali riserve sotterranee di acqua allo stato solido o liquido. L'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) ha preso parte nel 2003 alla missione ESA *Mars Express* con la realizzazione del radar MARSIS (Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere sounding) (Figura 11). Questo sorvola il pianeta inviando onde radio ad alta frequenza in 4 bande da 1 MHz (centrate a rispettivamente a 1.8, 3, 4 & 5 MHz) attraverso un'antenna di 40 m.

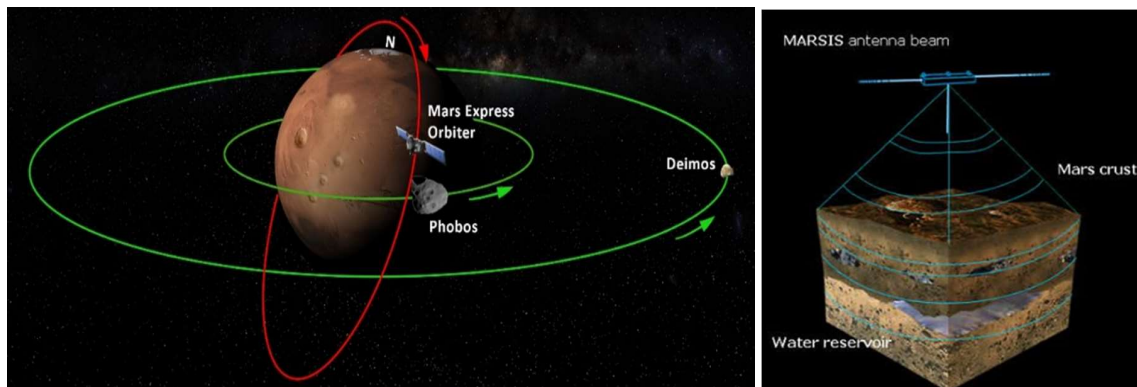


Figura 11: (sinistra) Marte con i suoi satelliti e l'orbita della missione Mars Express. (destra) illustrazione teorica di

Lo strumento è stato in grado di rivelare la presenza di segnale utile fino a 2 km al di sotto del polo sud marziano. Il segnale riflesso dalla superficie ed, eventualmente, dalla sotto-superficie, necessita di un'elaborazione in due fasi: 1) a bordo: un processore ad apertura sintetica permette di produrre *frames* per rappresentare la risposta della crosta marziana nella direzione di volo con un passo di campionamento di 2-5 km; 2) a terra: la compensazione degli effetti ionosferici e la rivelazione degli impulsi completa la produzione del prodotto. Radargrammi di uscita sono costituiti da *frames* acquisiti lungo l'orbita disposti come colonne di una matrice e rappresentano la sezione della crosta marziana osservata (Figura 12).

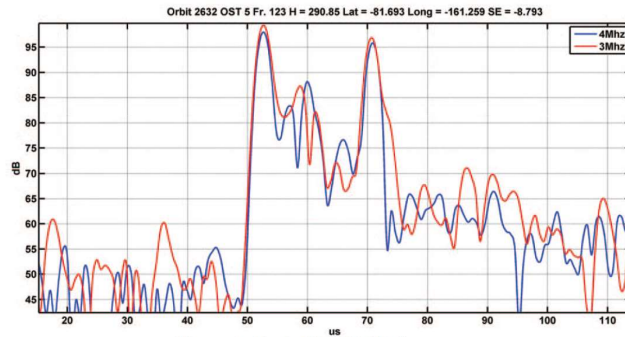


Figure 1. Typical MARSIS frame.

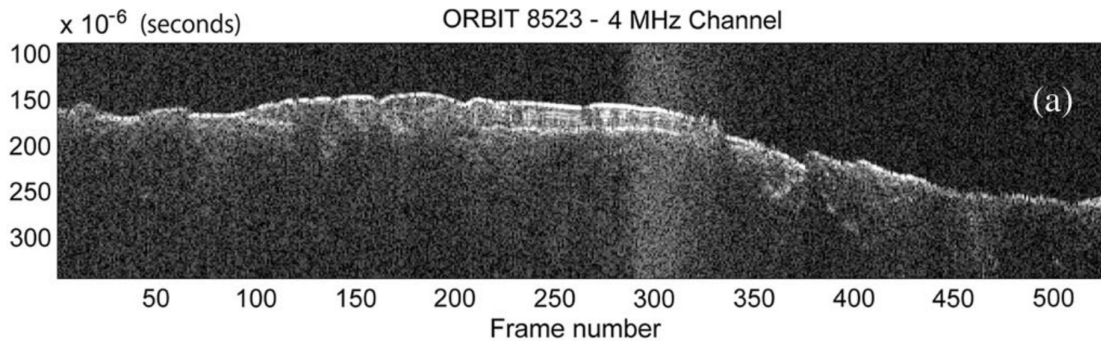


Figura 12: (in alto) Tipico frame MARSIS alle bande 3 & 4 MHz alla fine dell'elaborazione del dato: l'asse x temporale mostra rumore, risposta superficiale, scattering volumetrico, risposta sotto superficiale e rumore in chiusura. (in basso) Tipico radargramma mostrante dall'alto aria, risposta superficiale, scattering volumetrico e risposte di strati sotto superficiali ove presenti (es. frames 240-300). Fonte: Restano M. et al., 2016 (doi: 10.1109/LGRS.2016.2546315.).

Per comprendere come il segnale trasmesso da MARSIS si propaghi nella ionosfera di Marte è necessario considerare che gli strati ionosferici rappresentano entità riflettenti se colpite da segnali aventi frequenza minore della frequenza di plasma dello strato. La frequenza di plasma dipende dalla densità di elettroni ed è tipicamente variabile per Marte fra 0.8 MHz (notte) a 1.5 MHz (giorno). Tale variazione è dettata dall'illuminazione solare che regola la densità elettronica dello strato ionosferico e, di conseguenza, la frequenza di plasma. Questo determina la necessità di: 1) usare frequenze inferiori alla frequenza di plasma per studiare la posizione degli strati ionosferici; 2) usare frequenze superiori alla frequenza di plasma per permettere al segnale di raggiungere la superficie di Marte al prezzo di una attenuazione, distorsione di fase e di un ritardo temporale, dipendenti dalle caratteristiche dello strato ionosferico attraversato, che sono opportunamente compensate durante il processing a terra del dato radar. Queste sono le due modalità operative del radar MARSIS.

Nato per consentire uno studio della crosta marziana a minori profondità (< 1 Km) ma a maggiore risoluzione (Figura 13), il radar SHARAD (SHAlloW RADAR), fornito nel 2005 dall'Agenzia Spaziale Italiana per la missione NASA *Mars Reconnaissance Orbiter* opera a frequenze superiori (20MHz con banda da 10MHz) che risultano meno distorte dalla ionosfera in quanto più elevate della frequenza di plasma rispetto a quelle trasmesse da MARSIS. Il passaggio ravvicinato della cometa C/2013 (*Siding Spring*) ha inoltre fornito un'opportunità unica per osservare l'interazione dei materiali cometari con la ionosfera e atmosfera marziana usando SHARAD & MARSIS: è stato misurato un aumento significativo del contenuto totale di elettroni (TEC) rispetto al valore tipico durante le osservazioni successive al passaggio della cometa (<https://doi.org/10.1002/2015GL064150>).

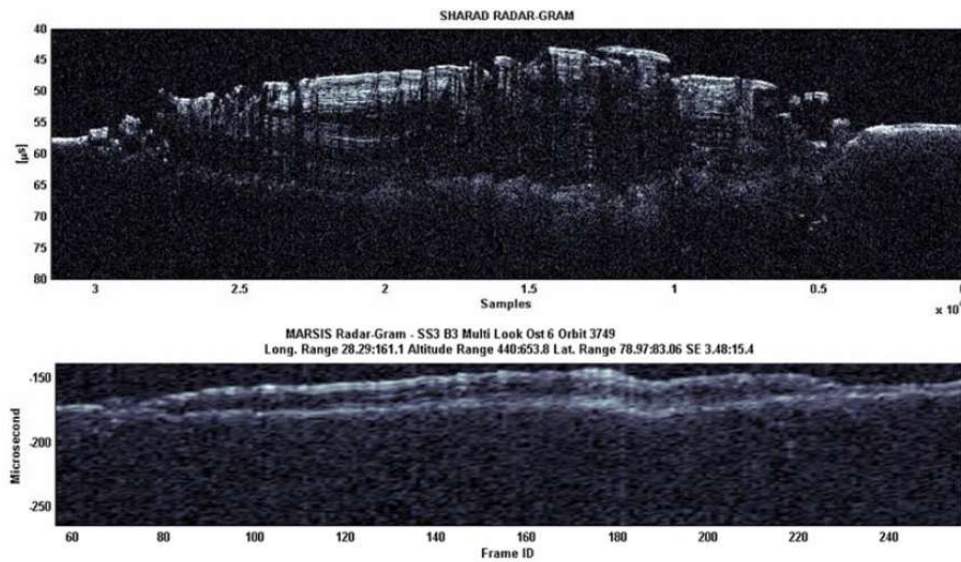


Figura 13: Radargrammi di SHARAD (in alto) e MARSIS (in basso) nella regione del polo nord. La risoluzione è di 15 m per SHARAD contro i 150 m, in aria, di MARSIS. Fonte: Fois F. et al., 2007 (doi: 10.1109/IGARSS.2007.4423256).

Passando dalla ionosfera alla superficie, questa presenta una colorazione rossastra dovuta alla presenza di ossido di ferro e risulta composta principalmente da basalto magmatico con circa 43000 crateri da impatto che ne caratterizzano la fisionomia. Il lander NASA *Phoenix*, operativo nel periodo 2007-2008, ha confermato la presenza di elementi nel suolo marziano necessari alla crescita di piante sulla Terra. La temperatura superficiale media è di -63°C (-143°C ai poli in inverno e 35°C all'equatore in estate). Le calotte polari sono ben definite e costituite per il 70% da ghiaccio d'acqua in quantità sufficiente, se disciolte, a ricoprire l'intera superficie planetaria fino a una profondità di 11 m (Figura 14). Il ciclo delle stagioni ai poli consente inoltre l'accumularsi ciclico di ghiaccio secco di CO_2 alla temperatura di -125°C durante fenomeni nevosi.

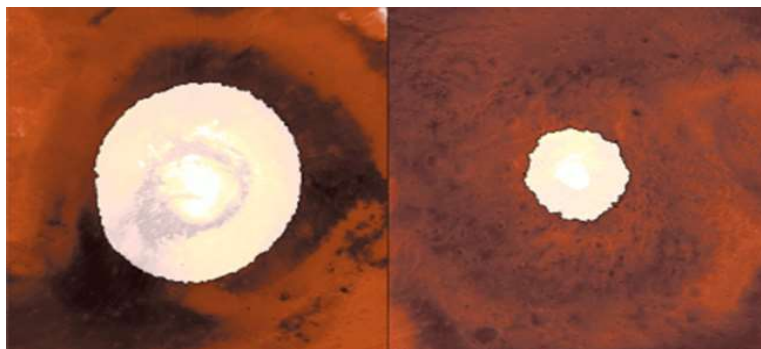


Figura 14: Poli di Marte con diverso accumulo di ghiaccio di CO_2 in relazione alle stagioni (opposte ai due poli). Fonte: MCE/TES (NASA).

Allo stato liquido l'acqua non può esistere permanentemente sulla superficie marziana a causa della bassa pressione atmosferica, che è circa l'1% della pressione terrestre al livello di mare. La presenza di acqua in passato (Figura 15) è stata confermata dalle immagini di canali fornite dal programma NASA *Viking* (1975-1982) e dalla scoperta più recente di zone con presenza di ematite grigia, un minerale indicatore di passata presenza di acqua allo stato liquido.

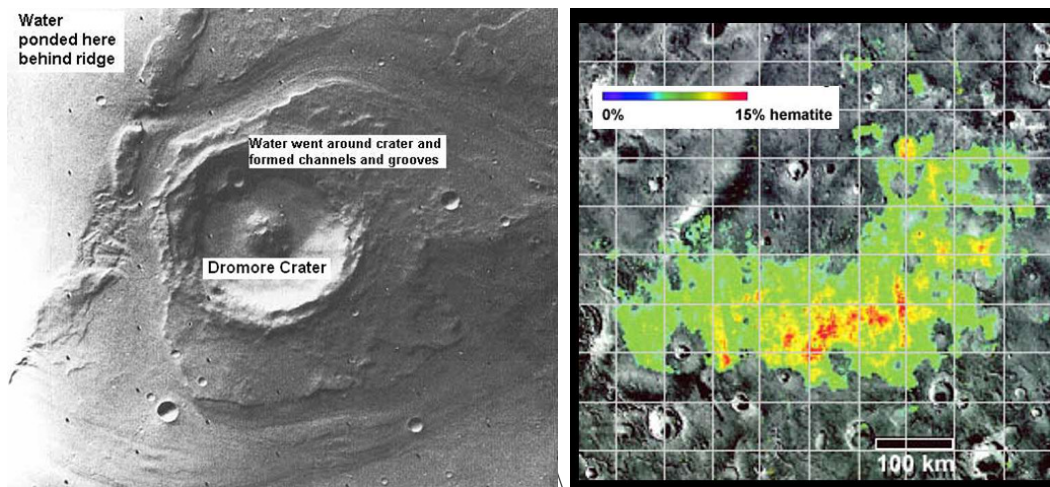


Figura 15: (sinistra) Tracce della presenza di canali. (destra) Tracce della presenza di ematite. Fonte: Viking & TES (NASA).

Il radar MARSIS è in grado di condurre indagini della sotto superficie marziana. Ogni interfaccia (es. aria-superficie, superficie-strato sotto-superficiale) in cui si verifica un contrasto dielettrico produce un picco di ritorno nel frame MARSIS (Figura 12). Accanto al primo picco originato dalla superficie, tipicamente sempre presente, possono originarsi uno o più picchi dovuti a clutter (segnale di disturbo dovuto ad una superficie non liscia) o a riflessioni sotto-superficiali dove è presente un'interfaccia caratterizzata da un diverso contrasto dielettrico. Più alto il contrasto, più forte la riflessione ricevuta dal radar (Figura 16). Nelle regioni polari, il ghiaccio introduce una bassissima attenuazione e la costante dielettrica (circa 3.15 per il ghiaccio in superficie, 4-8 per le rocce nella sotto-superficie) gioca un ruolo fondamentale nel determinare l'intensità del ritorno.

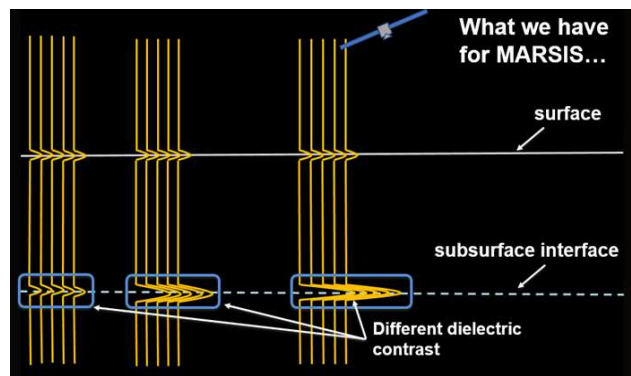


Figura 16: Schematizzazione teorica del processo di riflessione introdotto in **Errore**. L'origine riferimento non è stata trovata.

in funzione di una superficie dielettricamente costante e di materiali sottosuperficiali a crescente costante dielettrica.

Fonte: E. Pettinelli (Univ. Roma Tre).

La scoperta di un lago sotto-superficiale di circa 20 km d'estensione nella regione del polo sud di Marte (Figura 17) è stata annunciata nel 2018: il radar MARSIS lo ha individuato a 1.5 km sotto la superficie rilevando forti riflessioni (Figura 18) associate, dall'analisi del dato radar, alla sua elevata permittività dielettrica relativa (>15) indicante la presenza di materiali che includono acqua liquida.

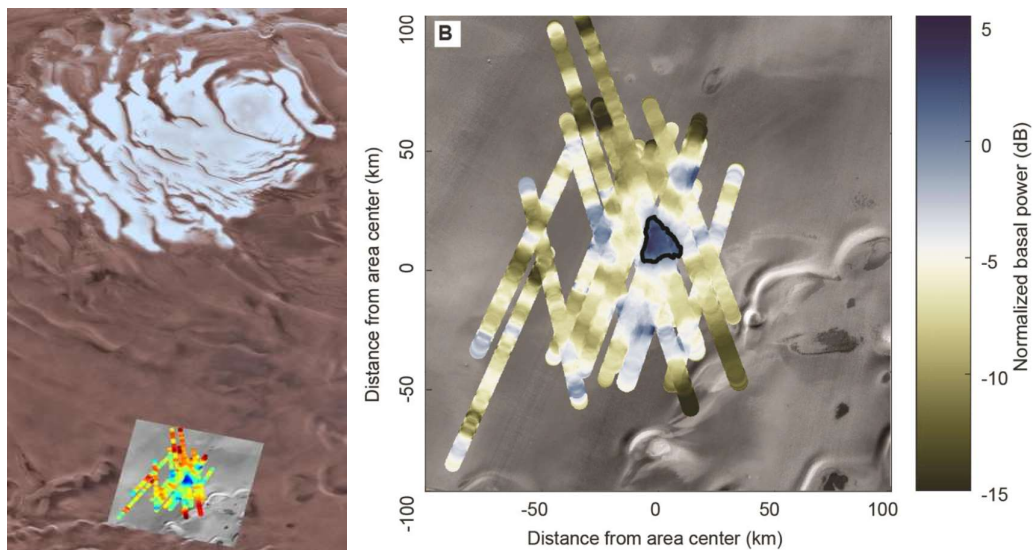


Figura 17: (sinistra) Posizione dell'area di analisi nella regione del polo sud di Marte. (destra) Ingrandimento dell'area di analisi. L'area legata alla maggiore risposta in potenza (5 dB, in blu) è stata associata alla presenza del lago sotto superficiale. Fonte: Orosei R. et al., 2018 (DOI: 10.1126/science.aar7268)

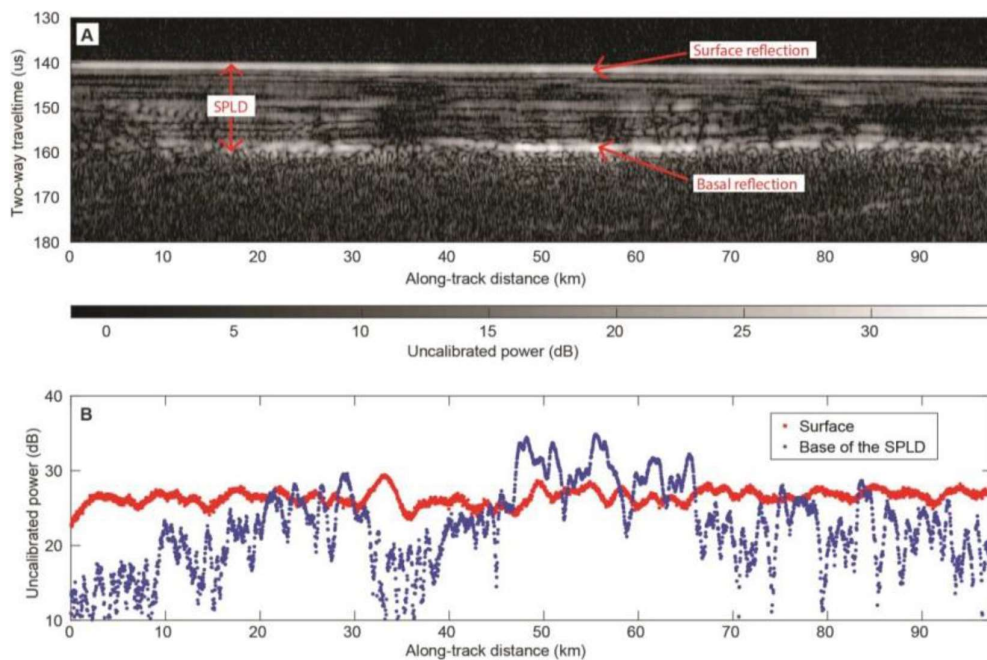


Figura 18: (sopra) Radargramma dell'area di analisi (SPLD: South Polar Layered Deposits), la risposta sotto-superficiale (basal reflection) associata al lago è visibilmente più potente della risposta superficiale come mostrato nel pannello inferiore nella zona compresa nell'intervallo along-track di 20 km fra 45-65 km. Fonte: Orosei R. et al., 2018 (DOI: 10.1126/science.aar7268)

Recentemente è stato concepito il programma ESA *ExoMars* per indagare se la vita sia mai esistita su Marte (Figura 19). *ExoMars* prevede: 1) la mappatura delle sorgenti di metano e di altri gas, indicatori di una possibile attività biologica o geologica sul Pianeta Rosso, tramite il *Trace Gas Orbiter*, lanciato nel 2016, e 2) l'esplorazione e il carotaggio del suolo mediante un *rover* che include un laboratorio di ricerca.



Figura 19: Missione ESA ExoMars.

Il rover è dotato di una vasta gamma di sensori: PanCam, una telecamera panoramica per eseguire la mappatura digitale del terreno; ISEM, uno spettrometro a infrarossi per valutare la composizione mineralogica di *target* di superficie; CLUPI, un sistema di telecamere per acquisire immagini ravvicinate di rocce, affioramenti e campioni prelevati mediante l'operazione di carotaggio con colori ad alta risoluzione; WISDOM, un radar 3D per lo studio della sotto-superficie fino a 3 metri di profondità nel range di frequenze 0.5-3 GHz; Adron-RM, un rilevatore autonomo di radiazioni di neutroni per cercare acqua nel sottosuolo e minerali idratati; Ma_MiSS, un *imager* multispettrale posizionato all'interno della sonda per gli studi di mineralogia e formazione delle rocce al di sotto della superficie; MicrOmega, uno spettrometro di *imaging* a infrarossi per studi di mineralogia su campioni marziani; RLS, uno spettrometro *Raman* per stabilire la composizione mineralogica e identificare i pigmenti organici; MOMA, un analizzatore di molecole organiche orientato all'individuazione di biomarcatori per rispondere a domande relative alla potenziale origine e distribuzione della vita su Marte.

5. I NANO SATELLITI NEI PROGRAMMI SCIENTIFICI

Una tecnologia che sta prendendo piede nell'ultimo ventennio è il cube-sat creato da California Polytechnic State University, San Luis Obispo e da Space Systems Development Lab della Stanford University nel 1999 per facilitare l'accesso allo spazio per gli studenti universitari. I suoi inventori sono Robert J. "Bob" Twiggs, professore della Stanford University Laboratory, Jordi Puig-Suari, professore del California Polytechnic State University.

I cubesat hanno avuto quasi sempre come destinazione l'orbita bassa terrestre (LEO) per due motivi:

1. La costruzione semplice ed economica e la taglia ridotta difficilmente possono ospitare sottosistemi di controllo termico, comunicazione e protezione dalle radiazioni che soddisfino i requisiti dello spazio profondo
2. La possibilità relativamente semplice ed economica di essere payload secondari su un lanciatore che porta in LEO satelliti di taglia più grande come payload primari

Diverse le missioni che negli ultimi anni hanno visto l'utilizzo dei cube-sat: **MarCO (Mars Cube One) – EVE e Wall-e, Artemis-1, EM-1, HERA**; quest'ultima degno di nota poiché è il contributo europeo a una collaborazione internazionale per missioni spaziali accoppiate. La NASA eseguirà dapprima un impatto cinetico sul più piccolo dei due corpi (Didymoon la luna di Didymos), quindi Hera seguirà un dettagliato scan della zona di impatto che trasformerà questo esperimento su larga scala in una tecnica di difesa planetaria ben compresa e ripetibile. La missione di Hera esplorerà i gemelli asteroidi Didymos, ma non ci andrà da sola: servirà anche da nave madre per i primi due cubeSat europei a viaggiare nello spazio profondo oltre la Luna. Juventas sarà un CubeSat a 6U e APEX Asteroid Prospection Explorer di dimensioni simili.

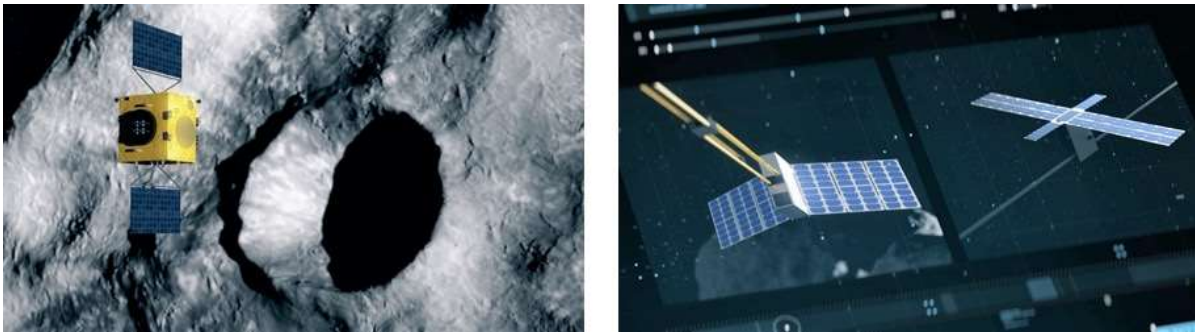


Figura 20: rendering della missione HERA

Mentre Asteroid Prospection Explorer (APEX) eseguirà misurazioni multispettrali delle superfici degli asteroidi, del sistema Didymos per scoprire le loro interazioni con l'ambiente spaziale, effettuerà letture magnetiche che forniranno informazioni sulla struttura interna. Inoltre, guidato da una telecamera di navigazione e da un lidar, APEX effettuerà anche un atterraggio su uno degli asteroidi.

Juventas, sviluppato da GomSpace e GMV in Romania, misurerà il campo gravitazionale e la struttura interna del più piccolo dei due, Didymoon, la Juventas eseguirà con Hera per esperimenti di radio-scienza ISL e radar a bassa frequenza dell'interno dell'asteroide. L'avventura si concluderà con un atterraggio, seguito da diversi giorni di operazioni di superficie.



Figura 21: rendering della missione APEX

6. LE SERRE SPAZIALI

Quando gli astronauti si siedono al tavolo sono limitati ad aggiungere acqua calda o fredda per riportare il cibo allo stato «normale». Gli alimenti sono precotti e disidratati con perdita di vitamine e proteine. L'assenza di peso priva i cosmonauti del senso dell'olfatto e gran parte del gusto.



Figura 22: alimenti liofilizzati

Un bisogno di avere cibi più “normali” per gli astronauti ha portato la creazione di una serra simile ad una sala operatoria – “più pulita di una sala operatoria” – dove si coltiva non solo pomodori ma anche basilico a ciclo continuo da cui poi si ricavano conserve, liquori e composte con caratteristiche davvero ottime. La coltivazione idroponica comporta l'utilizzo di un involucro, una serra appunto, all'interno della quale, estate e inverno, la temperatura è costante. In essa, le radici delle piante si sviluppano in una soluzione acquosa invece che nella terra, metodo che permette l'incremento della resa e il controllo della crescita delle piante, spiega il giornale romano.

L'ambiente sterile quindi favorisce la protezione delle piante dai parassiti e dalle malattie: i pomodori sono garantiti tutto l'anno e il principio dell'economia circolare induce a produrre anche energizzanti dalle bucce e i semi dei pomodori idroponici, ricche di antiossidanti. Questo tipo di produzione in ambiente artificiale si presta perfettamente alla coltivazione in luoghi dove l'agricoltura con una buona resa non è possibile. Questo nuovo approccio porta alla produzione di cibo FRESCO che ha un ruolo positivo non solo sulla dieta, ma anche sul benessere psicologico degli astronauti,

migliorando il morale e diminuendo lo stress.

Coltivare piante senza sole, senza suolo, con condizioni di gravità diverse da quelle sulla Terra è estremamente complesso. Attualmente gli studi si concentrano sulla scelta delle specie vegetali più adatte per essere coltivate in condizioni estreme.

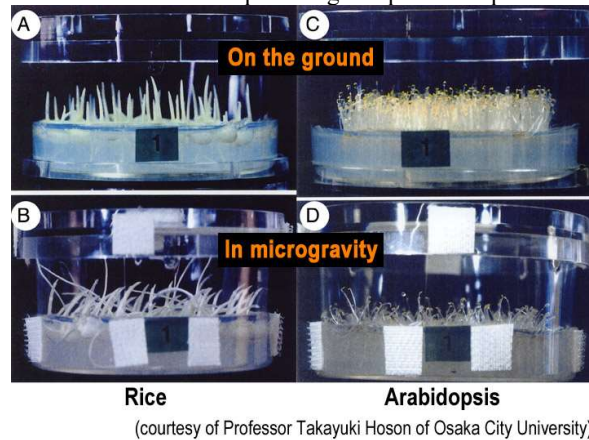


Figura 23: esempio di crescita di germogli in microgravità

La scelta deve coniugare molteplici esigenze e vincoli, quali: alta produzione di parte edibile, cicli di coltivazione veloci, facilità riproduttiva, assenza di competizione fra specie per sistemi multi-coltivazione, fotosintesi efficiente, agilità nell'acclimatarsi ai cambiamenti di luce, temperatura ed umidità.

- Caratteristiche Principali:
- Germinazione Affidabile
- Basso Livello Microbico Nativo
- Ricco di Antiossidanti

Le specie al momento in studio sono: Grano Duro, Grano Tenero, Patate e Soia.

La parola chiave è innovazione: si tratta di un sistema completamente automatizzato, unico in Europa, gestito con un computer all'interno di una sala controllo interconnesso con il cellulare, attraverso il quale il pc segnala le criticità. Il ritorno all'agricoltura, fenomeno di questi tempi, è chiaro che non può avvenire secondo i metodi dei nonni, l'automazione e l'hi-tech nel settore garantiscono meno fatica sui campi e una resa più costante.

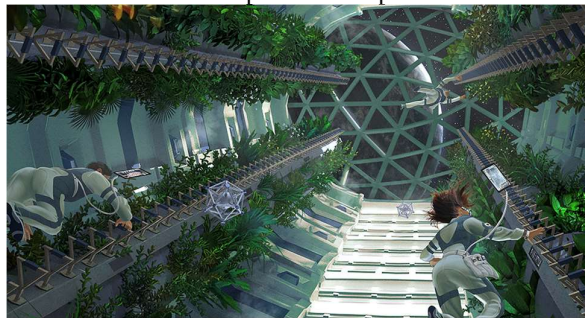


Figura 24: rendering di serra spaziale

7. PROGRAMMI DI COLONIZZAZIONE E INNOVAZIONI TECNOLOGICHE

Gli sviluppi tecnologici delle missioni spaziali come già accennato sono notevoli, diversi centri di ricerca spaziali e aziende private del settore space stanno portando l'avanzamento tecnologico della civiltà ad un livello mai visto anche grazie al programma CONSTELLATION che comporterà:

1. completamento della Stazione Spaziale lunare
2. ritorno sulla Luna non oltre il 2020 con lo scopo ultimo di un volo con equipaggio verso il pianeta Marte.
3. nuova generazione di veicoli spaziali con equipaggio, prevista dal programma Constellation, costituita dai vettori Ares I e Ares V, dalla capsula Orion, l'Earth Departure Stage e dal modulo lunare Altair.

Thales Alenia ed ESA hanno firmato per gli studi di fase di A/B1 di due elementi della LOP-G (lunar orbitplatform – gateway) e stanno lavorando allo studio di fattibilità per I-HAB e ESPRIT.

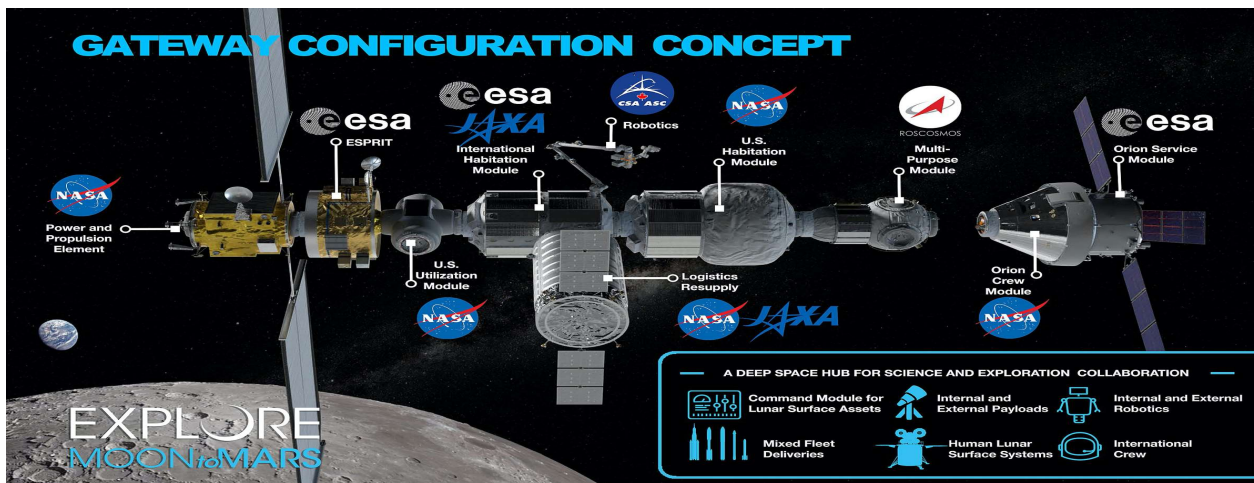


Figura 25: configurazione del sistema per il programma constellation

Per far ciò adesso ci vogliono nuove tecnologie e nuovi materiali che possano cambiare il paradigma e rendere l'obiettivo più alla portata dell'uomo, per esempio le nanotecnologie si candidano a stravolgere la concezione di tecnologie esistenti e prenderanno sempre più piede nel mondo aerospaziale, così come la Stampa 3D e l'additive manufacturing; ma anche i materiali innovativi che infondono proprietà multifunzionali quali:

- Grafene
- Nitruro di boro
- Carburo di tungsteno
- Solfuro di molibdeno

Proprio con la stampa 3D si pensa ad una nuova concezione di palloni aerostatici che possono battere i precedenti limiti, alcuni benefici sono elencati di seguito

1. La produzione annuale di additive manufacturing cresce di circa il 24% ogni anno, con un mercato che dovrebbe raggiungere circa 21 B\$.
2. L'industria aerospaziale beneficia della stampa 3D già nel 1989
3. È un processo con il quale vengono creati oggetti fisici mediante la deposizione di materiale a strati, partendo da un modello digitale. Tutti i processi di stampa 3D richiedono l'utilizzo congiunto di software, hardware e materiali.
4. Secondo EOS, la stampa 3D può essere utilizzata per ridurre il peso di alcuni aeromobili fino al 40-60%.
5. Un singolo componente progettato e realizzato con la stampa 3D potrebbe ridurre la resistenza dell'aria del 2,1%.
6. Può ridurre i costi del carburante del 5,41%.
7. Airbus ha notato, equipaggiando il proprio aereo A350 XWB con oltre 1.000+ parti stampate in 3D.



Figura 26: Stratodyne LLC

Concentrando anche l'attenzione sullo sviluppo di materiali innovativi non si può non fare accenno alla classe di materiali nanostrutturati bi-dimensionali dei quali il più noto e importante è il grafene.

Il grafene è un monostrato di atomi di carbonio disposti in un reticolo esagonale. Grazie alla sua combinazione unica di proprietà intrinseche il grafene è un punto di partenza solido per nuove tecnologie. Si definiscono grafeni una larga tipologia di materiali diversi in funzioni di tre proprietà fisico-chimiche fondamentali:

- Numero di strati (spessore)
- Dimensioni laterali

- Rapporto carbonio-ossigeno (C / O)

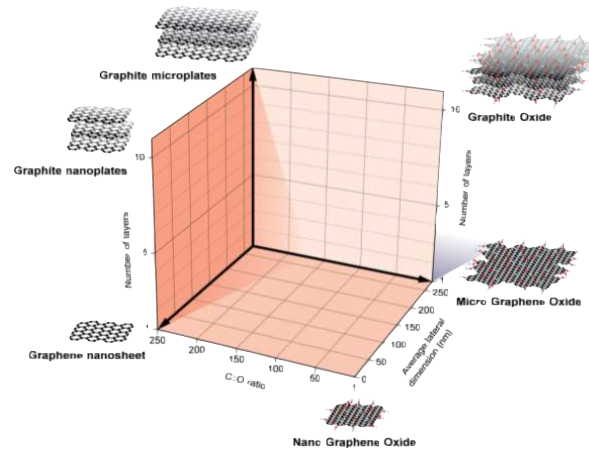


Figura 27: nomenclatura materiali grafenici

Figura 28: definizione dei diversi materiali grafenici in commercio

In base a quanto detto i materiali compositi formati da rinforzi nano-strutturati e matrici di diversa natura (polimerici, ceramici) possono andare ad agire con un comportamento multifunzionale su diverse proprietà finale dei materiali

- Tenacità
- Assorbimento UV e IR
- Stabilità termica
- Proprietà meccaniche
- Indice di rifrazione
- Luminescenza/Riflettanza

Proprio con queste caratteristiche alcune startup sparse in giro per il mondo stanno creando i materiali di prossima generazione, una su tutte: Graphene-XT (www.graphene-xt.com) che sta sviluppando diversi prodotti:

1. vernici conduttive e antiattrito
2. additivi per oli lubrificanti
3. packaging sostenibile per strumenti con elettronica avanzata
4. rivestimenti smart che riescono a condurre il calore e l'elettricità
5. membrane selettive per la separazione dei gas (quali CO₂ e N₂)

Tutto ciò per far capire che i margini di miglioramento sono enormi e che per esempio in campo spaziale le diverse tecnologie con materiali nanostrutturati mostrano miglioramenti significativi e promettenti delle proprietà intrinseche dei materiali stessi.

8. L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE PER LE APPLICAZIONI SPAZIALI

Il mondo dell'Intelligenza Artificiale (AI), uno dei campi più recenti della scienza e dell'ingegneria, ha fatto il suo ingresso anche nelle applicazioni spaziali. Il problema del *landing* su un corpo celeste, quale la Luna, ne è un esempio (Figura 29).

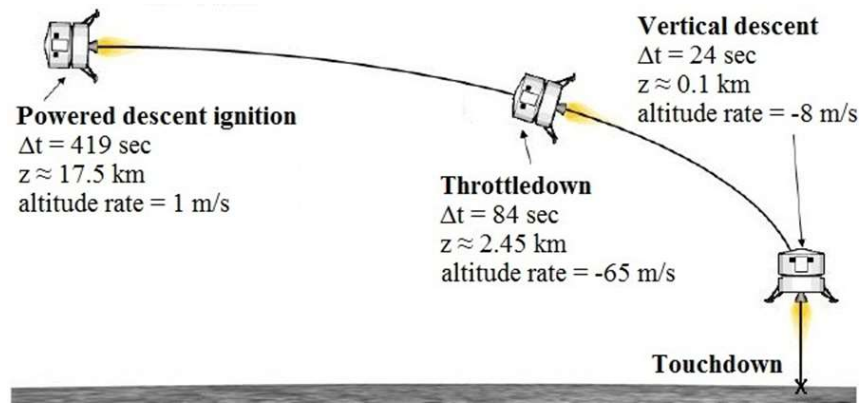


Figura 29: Lunar landing.

La nascita dell'AI risale al secondo dopoguerra e il suo nome fu coniato nel 1956. Famoso è il test ideato dal matematico e crittografo inglese Alan M. Turing nel 1950 per fornire una definizione operativa soddisfacente di intelligenza artificiale: un computer supera il test se un interrogatore umano, dopo aver posto alcune domande scritte, non è in grado di affermare se le risposte provengono da una persona o da un computer. Attualmente l'AI comprende un'enorme varietà di sottocampi, che spaziano dal generale (l'apprendimento) allo specifico, come il gioco degli scacchi, la dimostrazione di teoremi matematici, la composizione di poesie, la guida di un'auto in strade affollate, la diagnosi di malattie e i sistemi spaziali. I principali approcci dell'AI consistono nella *machine learning* e nella metaeuristica. Il primo consiste nella capacità di adattamento a circostanze nuove e nella rilevazione e nella estrapolazione di modelli attraverso un processo di "apprendimento" basato su una elevata quantità di dati rappresentativi del fenomeno (Big Data), come nel caso delle reti neurali per il riconoscimento di elementi caratteristici da immagini (ad esempio forme di oggetti); il secondo si basa su un processo di generazione iterativa che guida un'euristica subordinata, combinando in modo intelligente concetti diversi per esplorare e sfruttare gli spazi di ricerca, in modo da utilizzare strategie di apprendimento per strutturare le informazioni al fine di trovare soluzioni efficientemente quasi ottimali, come l'ottimizzazione con sciami di particelle (*particle swarm*) e algoritmi genetici. In ambito spaziale l'AI è largamente impiegato in applicazioni di guida, navigazione e controllo, in particolare nel *Lunar Landing*, permettendo di trovare una traiettoria ottima per la discesa e, specie nella navigazione ottica, consentendo di individuare ed evitare crateri sulla superficie del corpo celeste (*hazard avoidance*). Il *Lunar Landing Simulator* dell'ARCAlab presso la Scuola di Ingegneria Aerospaziale dell'Università di Roma "Sapienza" dispone di una struttura di $3 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ che riproduce il suolo lunare simulando la regolite con polvere di basalto delle cave laziali, costituita da particelle di 0.2 mm (Figura 30). I crateri da impatto, in scala $1:2000$, sono stati realizzati in gesso e poi ricoperti con polvere di basalto. Un telaio mobile, la cui velocità può variare tra 2 mm/min e 12 m/min , è utilizzato per testare algoritmi per l'atterraggio autonomo di sonde interplanetarie, manovre di rendez-vous e di attracco. Il simulatore è impiegato in attività che riguardano principalmente l'*image acquisition*, la ricostruzione 3D e il *landing*.

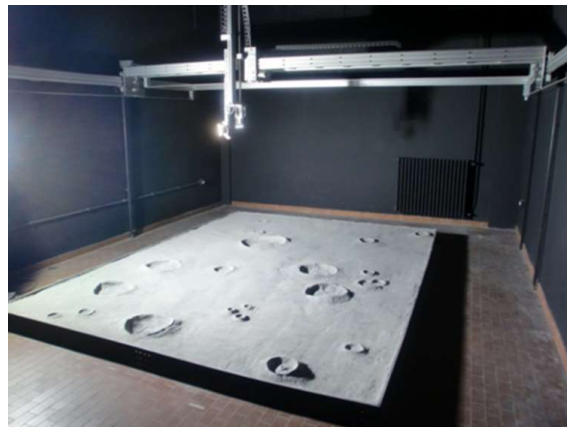


Figura 30: Lunar Landing Simulator dell'ARCAlab presso la Scuola di Ingegneria Aerospaziale dell'Università di Roma "Sapienza".

In relazione alla guida e al controllo, il problema della pianificazione di manovre ottimali in presenza di vincoli, quali la dinamica, viene risolto da ARCAlab utilizzando le tecniche di ottimizzazione offerte dalla metaeuristica. Un esempio è costituito dall'ottimizzazione mediante sciami di particelle, o *Particle Swarm Optimization* (PSO): le particelle sono rappresentate dalle soluzioni che si muovono cooperativamente, come in uno sciame, all'interno di un campo di ammissibilità, chiamato spazio di ricerca fattibile, ognuna con un proprio costo (Figura 31). La soluzione ottima è quella in cui si raggruppano tutte le particelle: essa consiste nel computo della tripla, funzione di stato, funzione di controllo e

tempo finale, che minimizza la funzione di costo (es. il propellente).

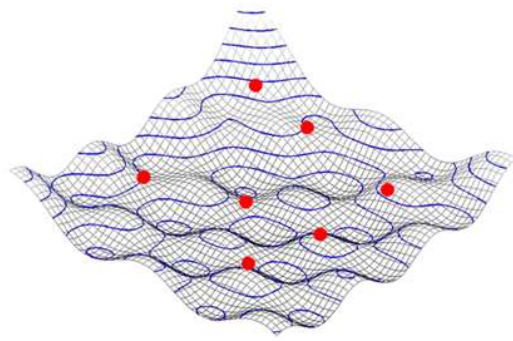


Figura 31: Campo di ammissibilità nel Particle Swarm Optimization.

Nella navigazione, invece, ARCALab, in collaborazione con il Massachusetts Institute of Technology (MIT) e l'Università dell'Arizona, ricorre all'uso delle reti neurali convoluzionali (Figura 32).

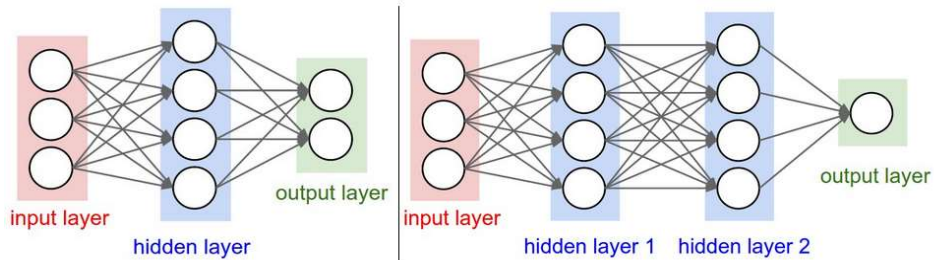


Figura 32: Schema di una rete neurale.

Tale metodologia viene applicata nel problema del riconoscimento delle immagini dei crateri mediante *features*, ovvero i bordi e le ombre originate dalla luce solare (riprodotta con una lampada) (Figura 33).

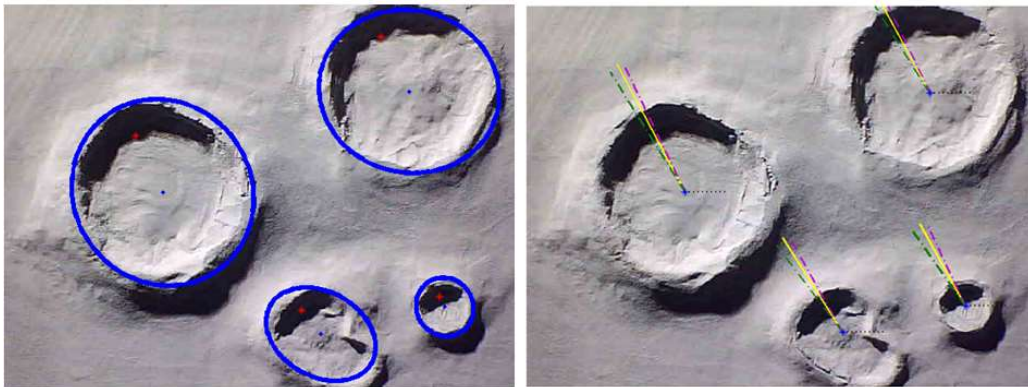


Figura 33: Riconoscimento delle immagini dei crateri: rilevazione dei bordi (sinistra) e delle ombre (destra).

Nelle reti neurali convoluzionali (CNN) un'operazione di convoluzione è realizzata tramite una sottomatrice, *kernel* o filtro, che esegue una moltiplicazione matriciale tra la matrice K e la porzione P dell'immagine sulla quale si trova il *kernel*, generando in uscita una matrice di dimensioni ridotte (Figura 34).

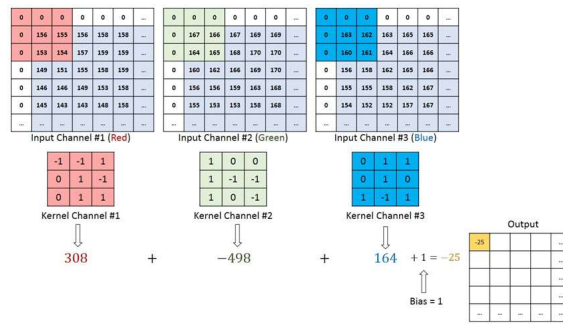


Figura 34: Reti neurali convoluzionali: operazione di convoluzione mediante kernel.

La convoluzione è seguita dal *Pooling*: tramite una finestra si riduce la dimensione spaziale della matrice convoluta in modo da estrarre le caratteristiche dominanti che sono invarianti per posizione e rotazione, mantenendo il processo di addestramento del modello efficace (Figura 35). In particolare, l'operazione di *Max Pooling* restituisce il valore massimo della porzione dell'immagine coperta dal *kernel*, fungendo inoltre da soppressore del rumore.

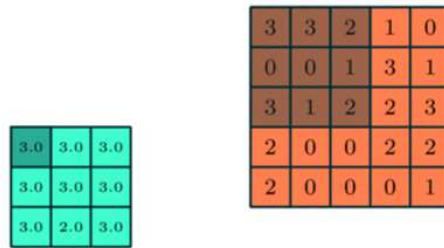


Figura 35: Reti neurali convoluzionali: operazione di pooling.

La struttura più utilizzata è rappresentata dall'U-Net. Si tratta di una rete neurale convoluzionale sviluppata dall'Università di Friburgo, in Germania, e utilizzata in applicazioni spaziali. Essa conduce a una segmentazione rapida e precisa delle immagini. La rete è costituita da un percorso di contrazione e uno di espansione che le conferiscono la forma ad "U" (Figura 36).

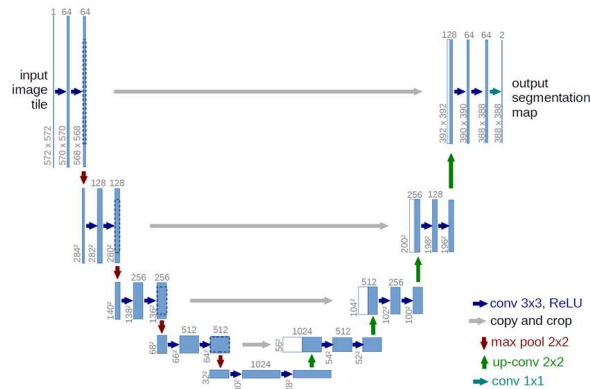


Figura 36: Schema della rete neurale convoluzionale U-net.

Il percorso di contrazione consiste in una tipica rete convoluzionale che applica ripetutamente convoluzioni e svolge un'operazione di *Max Pooling*. Durante la contrazione le informazioni spaziali vengono ridotte, di contro le informazioni sulle *features* vengono aumentate. Il percorso di espansione combina le *features* e le informazioni spaziali attraverso una sequenza di convoluzioni verso l'alto e concatenazioni con *features* ad alta risoluzione provenienti dal percorso di contrazione. Per le applicazioni sperimentali presso ARCALab sull'allunaggio, U-Net viene addestrata utilizzando il *Digital Terrain Model* (DTM) ottenuto dal *Lunar Reconnaissance Orbiter* della NASA, relativo al sito di atterraggio dell'*Apollo 16* (Figura 37).

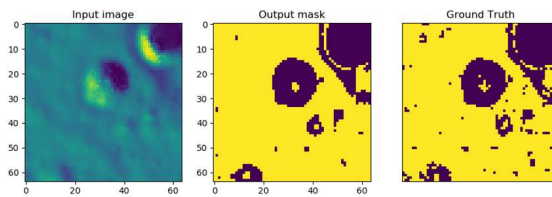


Figura 37: Addestramento di U-net: Digital Terrain Model (DTM) (sinistra); maschera di output (centro); ground truth (destra).

Un particolare tipo di addestramento è rappresentato dal *Transfer Learning*. Si tratta di una tecnica basata sull'utilizzo di una rete precedentemente addestrata su un determinato set di dati per fare previsioni su uno nuovo che può essere simile in termini di dimensioni oppure diverso. In questo caso U-Net è stata addestrata con 30000 immagini DEM (*Digital Elevation Model*) della Luna e poi applicata alle immagini DEM di Mercurio ottenute dalla missione NASA MESSENGER, lanciata nel 2004 (Figura 38).

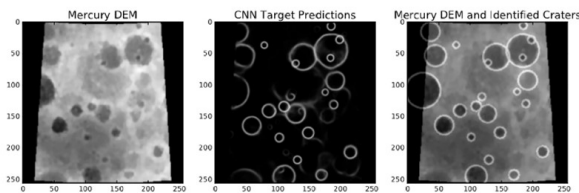


Figura 38: Addestramento di U-net: esempio di Transfer Learning per Mercurio.

CNN e U-Net costituiscono, dunque, degli strumenti essenziali per gestire l'analisi delle immagini e fornire risultati molto accurati, riducendo inoltre il tempo di calcolo del processo di guida, navigazione e controllo. Una possibile futura applicazione di U-Net potrebbe riguardare gli asteroidi: i modelli di elevazione digitale a tutte le latitudini sono disponibili online per asteroidi come *Ceres* e *Vesta*. Ovviamente molteplici risultano le questioni riguardo il *transfer learning* per questi corpi celesti: gli asteroidi sono geologicamente e dimensionalmente molto dissimili da Marte e dalla Luna, per cui l'addestramento di una rete su di essi potrebbe comportare una bassa *accuracy*. Il problema è risolvibile addestrando la rete dapprima sulle immagini DEM della Luna, poi su quelle di Marte e infine su quelle di Marte e Luna insieme, facendo seguire questi tre passaggi da una valutazione sugli asteroidi *Ceres* e/o *Vesta*.

9. I PIANETI EXTRASOLARI

Allontanandoci dal Sistema solare, ci spingiamo ora verso le aree più remote dello Spazio alla volta degli esopianeti per provare a fornire una risposta all'interrogativo che fin dall'inizio dei tempi l'umanità si è posta: siamo davvero soli nell'Universo? Un esopianeta, o pianeta extrasolare, è un corpo celeste che orbita intorno a una stella in sistemi simili a quello solare. Se molto grande, il pianeta è direttamente visibile mediante tecniche coronografiche, in grado di ridurre la luminosità della stella. Con tale tecnica, nota come *direct imaging*, sono stati osservati 4 oggetti in orbita attorno alla vicina e brillante stella HR8799 della costellazione di Pegaso (Figura 39). Misurando lo spettro di questi oggetti, tramite dei modelli è possibile riconoscerne somiglianze con gli spettri delle nane brune.

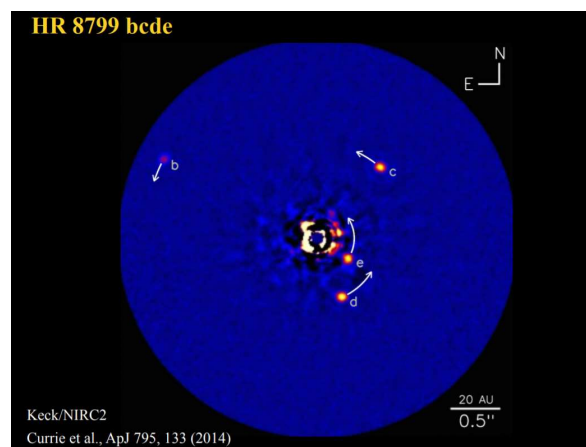


Figura 39: Direct Imaging.

A questi scopi costituiscono fondamentali strumenti i grandi telescopi delle dimensioni di stanze o palazzi, delicati e

molto precisi, dotati di coronografi molto performanti. Nei telescopi spaziali gli schermi coronografici possono essere posti a una distanza di diverse migliaia di km dal telescopio stesso, così da disporre di una più ampia area osservabile intorno alla stella (Figura 40).

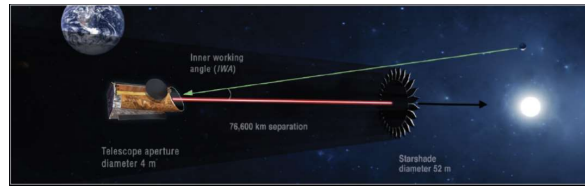


Figura 40: Telescopio spaziale: missione HabEx.

Pochi, molto grandi e molto distanti dalla propria stella sono gli esopianeti individuabili mediante il *direct imaging*. Numerose sono le tecniche impiegate per riconoscere tutti gli altri pianeti extrasolari, ma quelle maggiormente diffuse sono rappresentate dalla tecnica delle velocità radiali e da quella dei transiti planetari (Figura 41). Gli oltre 4000 esopianeti oggi conosciuti sono molto diversi tra loro: accanto ai pianeti “gioviani” è possibile incontrare i “super gioviani”, gassosi e estremamente massicci, o le “super Terre” e i “sub nettuniani”. Questi pianeti si trovano fino a un migliaio di anni luce dal nostro Sole ed orbitano attorno a stelle di classe M, K, G, F ed A, secondo la classificazione di Harvard basata sulla temperatura dell’astro.

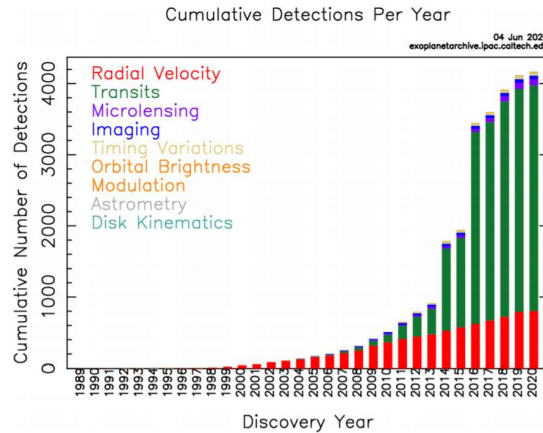


Figura 41: Tecniche impiegate per individuare gli esopianeti.

Il primo esopianeta, 51 Pegasi b, è stato scoperto dai due Nobel svizzeri Mayor e Queloz (Figura 42): si è utilizzato il metodo doppler, o tecnica delle velocità radiali, che permette di conoscere la massa del pianeta misurando la periodicità della velocità radiale di oscillazione della stella attorno al proprio baricentro quando un oggetto le orbita attorno. In prossimità di Proxima Centauri, la stella più vicina al Sole, è stato individuato un pianeta di taglia terrestre.

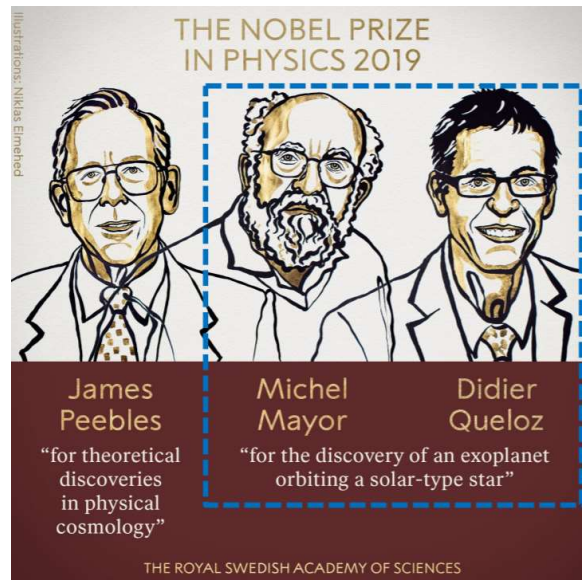


Figura 42 M. Mayor e D. Queloz: Premio Nobel per la fisica 2020

L'altra tecnica dai risultati molto floridi è rappresentata dal metodo dei transiti planetari che studia la curva di luce delle stelle. Essa permette, dal rilevamento della periodicità nella diminuzione di luminosità di una stella (fino all'1%), di derivare la presenza di un corpo orbitante, il suo raggio e quindi la sua densità. L'approccio è del tutto simile a quello usato per determinare i transiti di Mercurio e di Venere, ma attuabile soltanto quando il piano orbitale del pianeta è pari a 90° . La determinazione del periodo di rivoluzione è possibile soltanto se tale tecnica fotometrica riesce a individuare almeno tre transiti (Figura 43).

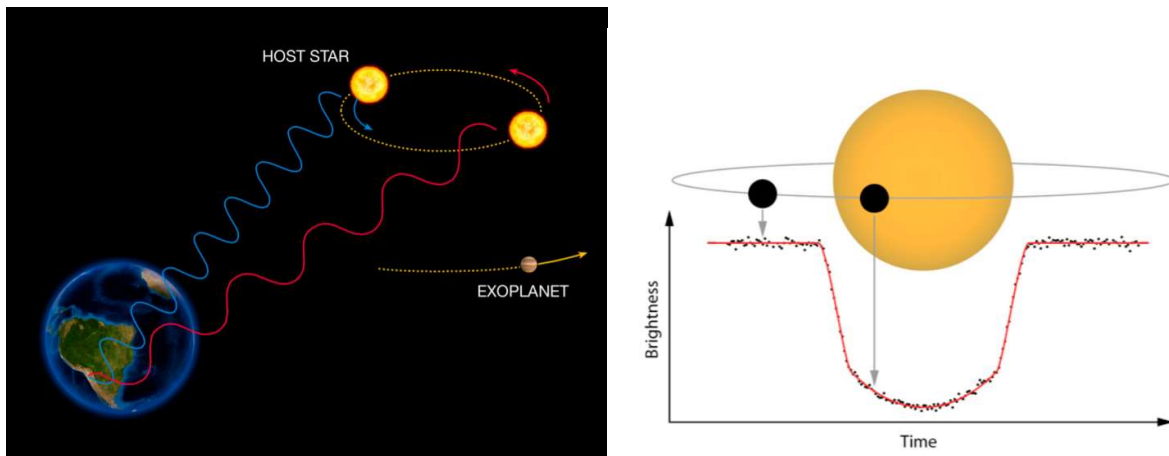


Figura 43 Metodo delle velocità radiali (sinistra). Metodo dei transiti planetari (destra).

Molto impiegati, in tale contesto, sono i telescopi robotici che collezionano una grande mole di dati, elaborata poi mediante computer (Figura 44). Tra questi ricordiamo il telescopio spaziale Kepler, che ha monitorato per quattro anni la luminosità di oltre 145000 stelle scovando 2662 pianeti, tra cui uno orbitante attorno a un sistema binario di stelle, Kepler-16b (Figura 45).

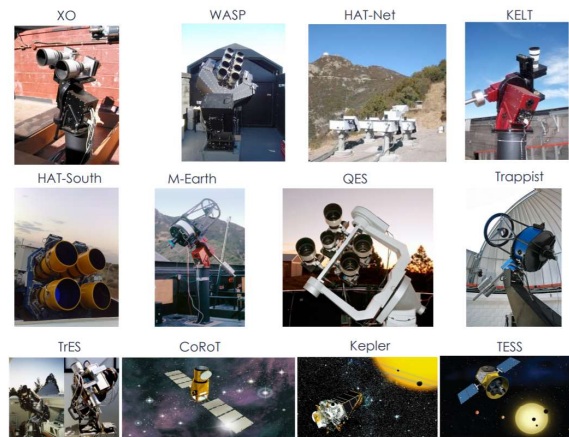


Figura 44 Telescopi robotici.

Queste rilevazioni hanno permesso di stabilire, mediante un approccio statistico, quanti pianeti può ospitare ciascuna stella. Ne consegue che pianeti piccoli orbitano attorno a stelle di piccole dimensioni e che pianeti grandi caratterizzano stelle di grossa taglia e dal contenuto metallico molto alto. Inoltre, in riferimento al raggio, è stato possibile dichiarare come molto comuni nella nostra galassia le Super Terre e i Sub Nettuniani, del tutto assenti invece nel nostro sistema solare.

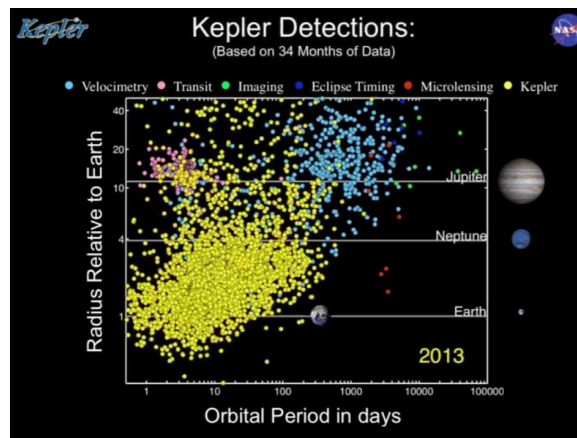


Figura 45 Esopianeti scoperti da Kepler.

A partire dalla seconda metà del secolo scorso gli scienziati hanno definito una regione dello Spazio nota come zona di abitabilità, ovvero la regione circumstellare all'interno della quale un pianeta potrebbe ospitare forme di vita, che, dal punto di vista termodinamico, sono possibili se esiste acqua in fase liquida sulla superficie. La presenza di acqua liquida è infatti uno dei requisiti essenziali per la vita. La zona di abitabilità costituisce uno strumento prezioso per selezionare i migliori candidati ad ospitare vita tra la moltitudine di pianeti extrasolari.