

LA COMUNITÀ INTERNAZIONALE

Rivista Trimestrale della Società Italiana per l'Organizzazione Internazionale

QUADERNO 17



Il ritorno alla Luna:
Prospettive, collaborazioni
e piani di sviluppo

EDITORIALE SCIENTIFICA
Napoli

LA COMUNITÀ INTERNAZIONALE

RIVISTA TRIMESTRALE DELLA
SOCIETÀ ITALIANA PER L'ORGANIZZAZIONE
INTERNAZIONALE

QUADERNI (Nuova Serie)

COMITATO SCIENTIFICO

*Pietro Gargiulo, Cesare Imbriani,
Giuseppe Nesi, Adolfo Pepe, Attila Tanzi*

SOCIETÀ ITALIANA PER L'ORGANIZZAZIONE INTERNAZIONALE

IL RITORNO ALLA LUNA:
PROSPETTIVE, COLLABORAZIONI E PIANI DI SVILUPPO



EDITORIALE SCIENTIFICA
Napoli

Il presente Report è stato realizzato con il contributo dell'Unità di Analisi,
Programmazione, Statistica e Documentazione Storica
del Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale,
ai sensi dell'art. 23 *bis* del d.P.R. 18/1967.

Le posizioni contenute nella presente pubblicazione sono espressione
esclusivamente degli Autori e non rappresentano necessariamente le posizioni
del Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale.

Proprietà letteraria riservata

Copyright 2020 Editoriale Scientifica srl
Via San Biagio dei Librai, 39
89138 - Napoli
ISBN 978-88-9391-745-2

INDICE

SEZIONE POLITICA E RELAZIONI INTERNAZIONALI

È INIZIATA UNA NUOVA COMPETIZIONE NELLO SPAZIO? (con il coordinamento di Gabriella Arrigo)

GIULIA COSTELLA, GIORGIO GARAGNANI, MARILENA MONTANARI, JAHJAH MUNZER
MARIA FLORENCIA PAOLONI, REGINALDO PONTIROLLI

INTRODUZIONE.....	1
CAPITOLO 1 – Il programma spaziale lunare della NASA e la <i>commercial partnership</i> ..	3
CAPITOLO 2 – Altri programmi spaziali lunari.....	17
CAPITOLO 3 – I retroscena dello sviluppo tecnologico.....	43
CAPITOLO 4 – La cooperazione internazionale come base per l'esplorazione lunare....	53
CONCLUSIONI.....	65

SEZIONE GIURIDICO-ISTITUZIONALE

IL RITORNO ALLA LUNA: QUALE MODELLO PER GLI ASPETTI GIURIDICI? (con il coordinamento di Sergio Marchisio e Viviana Iavicoli)

ANNA CATERINO, GIANCARLO LA ROCCA, ARMANDO LUCIANO, GIANCARLO
MELICCHIO

INTRODUZIONE.....	69
CAPITOLO 1 – Il ritorno alla Luna: possibile interpretazione del modello giuridico dell'Outer Space Treaty (OST) alla luce del diritto romano.....	73
CAPITOLO 2 – L'Accordo sulla Luna del 1969. Un bilancio deludente?.....	85
CAPITOLO 3 – Il regime giuridico della Convenzione di Montego Bay e del Trattato antartico: analogie e comparazione con il diritto spaziale internazionale.....	101
CAPITOLO 4 – Le legislazioni nazionali di Stati Uniti e Lussemburgo: caratteristiche e impatti sui privati e sulla competizione commerciale.....	113
CONCLUSIONI.....	125

SEZIONE INDUSTRIALE E TECNICO-SCIENTIFICA

PROSPETTIVE SCIENTIFICHE E PIANI DI SVILUPPO TECNOLOGICI
DEL FUTURO RITORNO ALLA LUNA*(con il coordinamento di Enrico Flamini, Roberto Somma e Armando Tempesta)*

FRANCESCA CASAMASSIMA, RICCARDO CATTANEO, NICO DALL'OGGIO, MASSIMILIANO DE MARCO, FEDERICO GIULIANI, ANDREA MONTIERI

INTRODUZIONE.....	129
CAPITOLO 1 – Storia dell'esplorazione lunare.....	133
CAPITOLO 2 – Lezioni dal passato.....	151
CAPITOLO 3 – Il contesto geopolitico ed economico attuale.....	165
CAPITOLO 4 – Le motivazioni del ritorno alla Luna.....	179
CAPITOLO 5 – Architetture pubbliche e private.....	195
CAPITOLO 6 – Rischi, minacce e nuove esplorazioni lunari.....	209
CONCLUSIONI.....	227
BIBLIOGRAFIA.....	229
SITOGRAFIA.....	236

SEZIONE SOCIO-ECONOMICA

SPAZIO 3.0: APPROCCI DI NEW SPACE APPLICATI
ALLO SVILUPPO DI UN NUOVO SPAZIO ECONOMICO LUNARE
(con il coordinamento di Delfina Bertolotto)

ROBERTO BERTACIN, MARCO FLORISSI, JONATHAN MORSIA, FRANCESCO PAGNOTTA, ANIELLO VIOLETTI

INTRODUZIONE.....	239
CAPITOLO 1 – Esplorazione e colonizzazione della Luna.....	245
CAPITOLO 2 – L'esperienza della ISS.....	277
CAPITOLO 3 – Analisi, sfide, opportunità, ritorni/ricadute – analisi SWOT.....	291
CAPITOLO 4 – Concept posizionamento Italia.....	303
CONCLUSIONI.....	315
BIBLIOGRAFIA.....	327

SEZIONE POLITICA E RELAZIONI INTERNAZIONALI

È INIZIATA UNA NUOVA COMPETIZIONE NELLO SPAZIO?*

GIULIA COSTELLA – GIORGIO GARAGNANI – MARILENA MONTANARI
JAHJAH MUNZER – FLORENCIA PAOLONI – REGINALDO PONTIROLLI

SOMMARIO: Introduzione. – Capitolo 1. Il programma spaziale lunare della NASA e la *commercial partnership*. – 1.1. Da *Constellation* ad *Artemis*. – 1.2. Il ruolo degli attori privati. – 1.2.1. La *commercial partnership* nel contesto del programma *Artemis*. – Capitolo 2. Altri programmi spaziali lunari. 2.1. Il Programma spaziale dell'ESA. – 2.1.1. Una strategia spaziale per l'Europa. – 2.1.2. Il Programma di esplorazione umana e robotica e l'E3P. – 2.1.3. Analisi del programma lunare dell'ESA. – 2.2. Il Programma spaziale russo. – 2.2.1. La strategia spaziale russa e la cooperazione internazionale per la Luna. 2.2.2. La Russia e l'Europa. 2.3. Programmi spaziali asiatici. 2.3.1. Il Programma spaziale cinese. – 2.3.2. Il Programma spaziale indiano. – 2.3.3. Il Programma spaziale giapponese. – 2.3.4. Alcune riflessioni sui programmi spaziali lunari asiatici. – 2.4. Il Programma spaziale di Israele. – Capitolo 3. I retroscena dello sviluppo tecnologico. 3.1. La strategia politica dietro il programma *Apollo*. 3.2. La tecnologia del programma *Apollo*. – 3.2.1. Gli impatti tecnologici del programma *Apollo*. – 3.3. La strategia tecnologica del programma *Artemis*. – 3.4. La *space dominance* degli Stati Uniti e la competizione con la Cina. – Capitolo 4. La cooperazione internazionale come base per l'esplorazione lunare. – 4.1. Strumenti di cooperazione internazionale bilaterale. – 4.2. Strumenti di cooperazione internazionale multilaterale. – 4.2.1. L'*International Space Exploration Coordination Group* (ISECG). – 4.2.2. L'*International Space Exploration Forum* (ISEF). – 4.2.3. Il COPUOS e l'*Action Team* sull'Esplorazione Spaziale. – 4.3. Quale *governance* per l'esplorazione lunare? – 4.3.1. L'*Outer Space Treaty* (OST). – 4.3.2. Il *Moon Agreement*. – Conclusioni.

Introduzione. - Fin dal lancio del primo satellite artificiale, riuscire a raggiungere la Luna diventò una delle sfide principali sulla quale si sono misurate le due grandi potenze spaziali, USA e URSS, antagoniste durante la Guerra Fredda. La superiorità tecnologica statunitense, unita ad una serie di sfortunati eventi avvenuti in concomitanza nell'Unione Sovietica, portò gli Stati Uniti a conquistare il ruolo di *leader* indiscusso nel settore spaziale. Oggi, a distanza di cinquant'anni dall'allunaggio del 20 luglio 1969, il panorama geopolitico è cambiato radicalmente: il bipolarismo della Guerra Fredda ha lasciato spazio al multipolarismo che caratterizza l'attuale Comunità spaziale internazionale. Con il nuovo Millennio è rinato l'interesse di tornare sulla Luna, sia attraverso missioni robotiche sia, recentemente, anche con gli uomini, come annunciato dal Vice Presidente degli Stati Uniti, *Mike Pence*, il 26 marzo 2019, con scadenza ravvicinata al 2024. Il ventaglio degli attori spaziali negli ultimi decenni si è allargato:

* Il presente lavoro è stato redatto sotto la supervisione della Dottoressa Gabriella Arrigo.

sebbene gli Stati siano ancora i principali promotori e finanziatori delle missioni spaziali, anche i privati stanno gareggiando per acquisire un ruolo sempre maggiore sullo scenario dell'esplorazione spaziale. Il mondo dell'imprenditoria privata sta offrendo, soprattutto negli Stati Uniti, il proprio sostanziale supporto per favorire il ritorno dell'uomo sulla Luna. Per quanto riguarda il settore pubblico, siamo di fronte ad una sorta di "rinascimento lunare"¹: c'è stato, infatti, un moltiplicarsi di agenzie spaziali nazionali che vogliono studiare la Luna, sia con missioni in orbita, che al suolo.

Ma chi sono gli Stati che, anche prima dell'annuncio di *Pence*, avevano già dichiarato di voler andare sulla Luna? Cos'è che ha spinto l'Amministrazione Trump ad accelerare i tempi di realizzazione del programma *Artemis*? E perché tornare sulla Luna dopo così tanto tempo? Quali e per chi sono i vantaggi?

Il presente lavoro ha l'obiettivo di analizzare lo stato dell'arte in seno alla Comunità spaziale internazionale e provare ad avanzare risposte ad alcuni di questi quesiti.

Si analizzerà, pertanto, il programma lunare statunitense e le *partnership* commerciali.

Si passeranno, poi, in rassegna i diversi programmi spaziali lunari nazionali, in particolare, di Russia, Cina, Giappone, India, dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) e di Israele. Il nostro intento sarà quello di comprendere la logica che porta i differenti Paesi a scegliere di investire nel settore spaziale, in generale e sulla Luna, in particolare.

Il terzo capitolo porrà l'accento sui retroscena strategici che stanno alla base dello sviluppo tecnologico dell'esplorazione spaziale, evidenziando l'importanza e il valore geopolitico degli stessi per i Paesi che, in tal modo, possono affermare la propria indipendenza tecnologica e, ove possibile, un accesso autonomo allo spazio.

Il lavoro si concluderà con l'analisi di alcuni degli strumenti di cooperazione internazionale ad oggi esistenti in materia di esplorazione spaziale, per comprendere se una *space governance* dell'esplorazione sia possibile. Un focus particolare sarà riservato all'analisi di come e quanto la *Space Diplomacy* può servire alla Comunità internazionale, per creare convergenza di vedute permettere la realizzazione di piccoli e grandi progetti, a cominciare dall'esplorazione della Luna, e attenuare, ove necessario, tensioni e conflitti tra gli Stati.

¹ P. CARAVEO., *Conquistati dalla Luna*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2019, p. 167.

CAPITOLO 1

IL PROGRAMMA SPAZIALE LUNARE DELLA NASA E LA COMMERCIAL PARTNERSHIP

«Stiamo tornando sulla Luna, ma in modo radicalmente diverso rispetto a quello degli anni '60»². Con queste parole, circa cinquant'anni dopo il successo del programma *Apollo*, che consentì lo sbarco dei primi uomini sulla Luna, l'Amministratore della NASA, *Jim Bridenstine*, ha annunciato che il nuovo programma di esplorazione lunare statunitense si sarebbe chiamato *Artemis*³, traendo spunto dalla mitologia greca che la ricorda come la dea della caccia e sorella gemella di *Apollo*.

1.1. *Da Constellation ad Artemis*.- Il programma *Artemis* include sviluppi scientifici e tecnologici di precedenti missioni NASA di esplorazione, a cominciare da quelli relativi alla Stazione Spaziale Internazionale (ISS), al *Constellation Program* (CxP) e all'*Asteroid Redirect Mission* (ARM). Con riferimento alla prima missione, all'inizio degli anni '80, gli Stati Uniti iniziarono a progettare la realizzazione di una stazione orbitante, denominata *Freedom*, in contrapposizione ai programmi sovietici relativi alle stazioni *Salyut* e *Mir*⁴. Le attività non ebbero successo, sia in forza delle difficoltà economiche cui andò incontro il Governo statunitense, sia a causa della fine della Guerra Fredda che aveva alimentato la competizione tra le due super-potenze spaziali. Fu proprio tale fallimento ad aprire la strada ad una cooperazione tra gli USA e le agenzie spaziali di Europa, Russia, Canada e Giappone, cooperazione che trovò la

² J. WATTLES, R. CRANE, *NASA estimates it will need \$20 billion to \$30 billion for moon landing, administrator says*, in <https://edition.cnn.com/2019/06/13/tech/nasa-budget-moon-mission-artemis/index.html> (cons. 1 luglio 2019).

³ Il 13 maggio 2019, infatti, il Direttore Jim Bridenstine ha annunciato, per mezzo di un tweet, che la NASA ha intenzioni molto chiare per il prossimo futuro: «*We are going to the Moon – to stay*». Si tratta di un obiettivo ambizioso, che prevede il ritorno e l'atterraggio di astronauti sul suolo lunare entro il 2024. Ma non è tutto: il nome *Artemis*, della spedizione, è legata al fatto che l'intenzione precisa è quella di inviare sul satellite terrestre la prima donna astronauta.

⁴ D. M. HARLAND, *The Story of Space Station Mir*, Springer, Vienna 2004.

propria regolamentazione⁵ in un accordo internazionale a carattere intergovernativo, sottoscritto dalle Nazioni coinvolte nel progetto (*Inter-governmental Agreement*, IGA), declinato in diversi *Memorandum of Understanding* incrociati che disciplinano ancora oggi l'utilizzazione della ISS⁶.

La Stazione Spaziale Internazionale svolge principalmente la funzione di laboratorio orbitante di ricerca scientifica⁷, offrendo il vantaggio di essere una piattaforma permanente in ambiente di micro-gravità, in cui possono essere condotti esperimenti anche di lunga durata. La presenza di un equipaggio permanente a bordo della stazione permette, inoltre, di monitorare, intervenire, riparare e sostituire eventuali esperimenti e componenti. Gli scienziati a terra hanno accesso quasi immediato ai dati forniti a bordo e possono modificare esperimenti o fare arrivare nuovi prodotti in breve tempo⁸.

Per quanto concerne il programma *Constellation*, esso aveva come principali obiettivi il completamento della Stazione Spaziale Internazionale (ISS), il ritorno sulla Luna non oltre il 2020 e lo sbarco del primo uomo su Marte⁹. Gli sviluppi tecnologici più significativi di tale programma, che avrebbero garantito il ritorno dell'uomo sulla Luna erano: la capsula *Orion Crew Exploration Vehicle*, composta da un modulo di servizio e da un modulo in grado di trasportare fino a sei astronauti; i veicoli di lancio Ares I, Ares IV e Ares V; il modulo di

⁵ ESA, INT, *International Space Station Legal Framework*, https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/International_Space_Station/International_Space_Station_legal_framework (cons. 19 dicembre 2019).

⁶ I testi dei quattro *Memorandum of Understanding* principali sono reperibili in: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/nasa_csa.html, https://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/nasa_esa.html, https://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/nasa_rsa.html, https://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/nasa_japan.html (cons. 18 dicembre 2019).

⁷ Infatti, all'art. 1.3 dell'Accordo che istituisce la cooperazione per la creazione della Stazione Spaziale Internazionale si legge: «*The permanently inhabited civil international Space Station (hereinafter "the Space Station") will be a multi-use facility in low-earth orbit, with flight elements and Space Station-unique ground elements provided by all the Partners*». Per maggior dettagli, si rinvia all'Accordo tra il Governo del Canada, i Governi degli Stati Membri dell'Agenzia Spaziale Europea, il Governo del Giappone, il Governo della Federazione Russa e il Governo degli Stati Uniti d'America relativo alla cooperazione concernente una stazione spaziale internazionale civile, firmato a Washington il 29 gennaio 1998 ed entrato in vigore il 27 marzo 2001.

⁸ NASA.GOV, *International Space Station*, https://www.nasa.gov/mission_pages/station/main/10th_anniversary.html (cons. 8 luglio 2019).

⁹ Si veda NASA.GOV, *Constellation News and Media Archive*, in http://www.nasa.gov/mission_pages/constellation/orion/index.html (cons. 1 luglio 2019).

accesso alla Luna denominato *Altair* in grado di trasportare un massimo di quattro astronauti e fino a cento tonnellate di carico utile.

Con la missione ARM, proposta nel 2013, invece, la NASA si poneva l'obiettivo di effettuare un *rendez-vous* tra una sonda robotica a propulsione solare elettrica e un asteroide *near-Earth*, da cui sarebbe stato recuperato un masso di 4 metri, trasportato in un'orbita lunare stabile, per essere visitato da una capsula, denominata *Orion*, con due astronauti a bordo¹⁰.

La pianificazione di *Artemis*¹¹ prevede che gli obiettivi da raggiungere saranno realizzati in due fasi: la prima fase, la c.d. "Speed Phase" ha come obiettivo quello di riportare l'uomo sulla Luna attraverso tre elementi: un veicolo di trasporto per viaggiare fino all'orbita cislunare (*Service Module*), la stazione spaziale cislunare, ovvero il *Gateway* e un veicolo di discesa (*landing system*) sulla Luna e risalita al *Gateway*; la seconda fase, la c.d. "Sustainability Phase" sarà quella della permanenza sul suolo lunare e avrà come *target* lo sfruttamento delle risorse presenti *in situ*, lo sfruttamento della vicinanza a Marte, l'abilità di testare il lavoro umano fuori della protezione del campo magnetico della terra e la capacità di sviluppare nuove tecnologie al di là dell'orbita bassa (LEO).

La prima fase sarà realizzata attraverso le seguenti missioni: *Artemis I*, che si prefigge l'obiettivo di testare l'affidabilità del lanciatore denominato *Space Launch System* e l'*Orion Multi-Purpose Crew Vehicle (MPCV)*, veicolo spaziale capace anche di trasportare gli astronauti; *Artemis II*, missione pianificata per lanciare in orbita cislunare uno *spacecraft* con equipaggio; *Artemis III*, finalizzata a riportare l'uomo sul suolo lunare.

Il *Multi-Purpose Crew Vehicle (MPCV)* sarà basato sui disegni costruttivi del veicolo *Orion* che costituiva uno degli sviluppi tecnologici del citato programma *Constellation*¹². Il *MPCV* sarà il primo veicolo utilizzato da NASA per consentire agli astronauti di raggiungere le destinazioni situate oltre l'orbita terrestre, quali asteroidi o Marte e potrà agganciarsi a moduli abitativi spaziali. La NASA ha assicurato

¹⁰ M. WALL, *Inside NASA's Plan to Catch an Asteroid (Bruce Willis Not Required)*, in <https://www.space.com/20612-nasa-asteroid-capture-mission-explained.html> (cons. 1 luglio 2019).

¹¹ Cfr. NASA.GOV, *What is Artemis?*, <https://www.nasa.gov/what-is-artemis> (cons. 19 dicembre 2019).

¹² C. BERGIN, *EFT-1 Orion completes assembly and conducts FRR*, in <https://www.nasaspaceflight.com/2014/10/eft-1-orion-assembly-conduts-frr/> (cons. 1 luglio 2019).

che il vettore sarà dieci volte più sicuro dello Shuttle, anche grazie al meccanismo di espulsione degli astronauti durante il decollo¹³.

Lo sviluppo del programma *Artemis* si inserisce nel più ampio contesto delle politiche di esplorazione spaziale degli USA, i cui principali sviluppi saranno delineati nel prosieguo. Il 30 giugno 2017 il Presidente degli Stati Uniti, *Donald Trump*, ponendo particolare enfasi sugli aspetti commerciali, tecnologici e di sicurezza nazionale che contraddistinguono le missioni spaziali, ha emanato un decreto con cui ha risuscitato il *National Space Council (NSC)*, organo collegiale con il compito di sovrintendere le politiche spaziali statunitensi attraverso la consultazione con diversi attori¹⁴, tra i quali: il Vice Presidente degli Stati Uniti, il Segretario di Stato, il Segretario della Difesa, del Commercio, dei Trasporti e della Sicurezza interna, il Direttore dell' Intelligence, quello dell' *Office of Management and Budget*, l'Amministratore di NASA e altri Consiglieri. A. In data 20 febbraio 2018, il Vice Presidente *Mike Pence* ha annunciato la composizione dello *Users Advisory Group* del NSC¹⁵.

La politica spaziale dell'Amministrazione Trump si può sintetizzare nelle quattro *Space Policy Directives (SPD)* fino ad oggi adottate. In particolare, la SPD 1 è finalizzata a rilanciare il programma statunitense di esplorazione umana¹⁶, si fa riferimento al ruolo di supremazia che gli USA avranno, anche grazie all'instaurazione di *partnership* con altre nazioni e con soggetti commerciali, nella colonizzazione della Luna, da intendersi anche come avamposto per future missioni di esplorazione verso Marte. La SPD 2 individua le caratteristiche che devono avere gli atti di regolazione del settore spaziale che devono promuovere la crescita economica, minimizzare l'incertezza per i contribuenti, proteggere la sicurezza nazionale nonché incoraggiare la

¹³ M. WALL, NASA *Unveils New Spaceship for Deep Space Exploration*, <https://www.space.com/11765-nasa-deep-space-exploration-vehicle-announcement.html> (cons. 1 luglio 2019).

¹⁴ S. CLARK, *Trump signs order reviving long-dormant National Space Council*, in <https://spaceflightnow.com/2017/06/30/trump-signs-order-re-creating-long-dormant-national-space-council/>, (cons. 5 luglio 2019).

¹⁵ Lo *Users Advisory Group* del NSC ha compiti esclusivamente consultivi e deve assicurare che gli interessi degli operatori economici e delle istituzioni attive nel comparto aerospaziale siano rappresentate a livello nazionale

¹⁶ WHITEHOUSE.GOV, *Presidential Memorandum on Reinvigorating America's Human Space Exploration Program*, <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/presidential-memorandum-reinvigorating-americas-human-space-exploration-program> (cons. 9 luglio 2019).

leadership statunitense nel settore commerciale spaziale¹⁷. La SPD 3 è incentrata su un nuovo modello di *Space Traffic Management* (STM) che possa prevenire rischi futuri, allineandosi alle priorità in tema di sicurezza nazionale¹⁸, mentre la SPD 4 indirizza il Dipartimento di Stato a sviluppare una legislazione finalizzata alla creazione della *United States Space Force*¹⁹.

In data 26 marzo 2019, il Vice Presidente *Mike Pence* ha annunciato al *National Space Council* l'intento di riportare l'uomo sulla Luna entro il 2024²⁰, evidenziando, altresì, la necessità per gli Stati Uniti di rimanere *leader* indiscusso nelle politiche di esplorazione spaziale. Tutto ciò, non solo per concretizzare le politiche nazionali economiche e di sicurezza, ma anche per proporsi quale punto di riferimento internazionale nell'elaborazione di una nuova regolamentazione della materia e la conseguente proposizione dei valori fondanti: privilegio riservato solamente "a chi arriva per primo". E proprio questo approccio alla priorità e alla volontà di anticipare gli altri sembra influenzare profondamente la cultura statunitense delle missioni di esplorazione spaziale. Infatti, i successi che le altre potenze spaziali, *in primis* la Cina, stanno conseguendo nello spazio, hanno determinato una vera e propria "nuova corsa allo Spazio".

Le relazioni tra gli Stati Uniti e il governo di Pechino nel campo spaziale meritano alcune riflessioni. Come osservato²¹, negli ultimi anni si è verificata una netta distinzione tra la NASA, che dagli ambienti più conservatori è stata criticata per un atteggiamento eccessivamente favorevole ad un dialogo con la Cina²², e il Congresso USA, il quale sembra temere che la Repubblica Popolare Cinese possa conquistare una posizione di supremazia, non solo nei settori connessi alla ri-

¹⁷ WHITEHOUSE.GOV, *Space Policy Directive-2, Streamlining Regulations on Commercial Use of Space*, <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/space-policy-directive-2-streamlining-regulations-commercial-use-space> (cons. 7 gennaio 2019).

¹⁸ WHITEHOUSE.GOV, *Space Policy Directive-3, National Space Traffic Management Policy*, <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/space-policy-directive-3-national-space-traffic-management-policy> (cons. 7 gennaio 2019).

¹⁹ WHITEHOUSE.GOV, *Text of Space Policy Directive-4, Establishment of the United States Space Force*, <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/text-space-policy-directive-4-establishment-united-states-space-force> (cons. 7 gennaio 2019).

²⁰ Cfr. NASA.GOV, *Vice President Pence to NASA, Nation: "Return Americans to Moon" in Next Five Years*, <https://www.nasa.gov/centers/marshall/about/star/star190327.html> (cons. 18 dicembre 2019).

²¹ M. ALIBERTI, *When China goes to the Moon...*, ESPI/Springer, Vienna 2015, p. 232.

²² G. KULACKI, *US and China need contact, not Cold War*, in *Nature*, vol. 444 (2011), pp. 444-445.

cerca scientifica, tecnologica e del *deep space*, ma anche in quelli più strettamente collegati ai servizi per gli utenti finali (c.d. *downstream*).

Ad esempio, la *National Academy of Sciences* (NAS) statunitense, in un *report* del 2014 denominato *Pathways to Exploration: Rationales and Approaches for a US Program of Human Space Exploration*, ha affermato che il divieto di interloquire con le autorità di Pechino imposto alla NASA ha impedito agli Stati Uniti di cogliere numerose opportunità e che le stesse sono state invece colte da altre potenze spaziali²³. Inoltre, le disposizioni normative che vietano alla NASA di partecipare alle attività bilaterali con le Agenzie Spaziali Cinesi (*China National Space Administration* e *China Manned Space Agency*) hanno indebolito in modo significativo la possibilità di sviluppare programmi di cooperazione internazionale che abbiano come obiettivo l'esplorazione del suolo marziano²⁴.

Anche in uno studio del *National Research Council* del 2012²⁵ è stata posta in evidenza l'importanza dei meccanismi di cooperazione bilaterale e multilaterale in grado di condurre all'instaurazione di *partnership* internazionali in cui tutti i membri possano prendere parte alle decisioni più rilevanti e rappresentare i propri interessi. Con l'avvento dell'Amministrazione Trump, la rivalità tra gli Stati Uniti e la Cina si è fatta più accesa e la dichiarazione di *Mike Pence* del 26 marzo 2019, ben si inquadra in un contesto in cui la "nuova corsa allo Spazio" sembra procedere in modo diverso rispetto agli auspici della *National Academy of Sciences* e del *National Research Council*. Ciò anche in considerazione del fatto che la Cina sta sviluppando, testando e validando, sistemi di difesa spaziali ad una velocità molto elevata, provocando, in tal modo, una reazione da parte del Governo nord-americano²⁶.

1.2. *Il ruolo degli attori privati.*- Gli Stati Uniti, a ragione, possono essere ritenuti il punto di partenza della *New Space*

²³ NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, *Pathways to Exploration: Rationales and Approaches for a US Program of Human Space Exploration*, in https://www.nap.edu/resource/18801/deps_088247.pdf, (cons. 5 luglio 2019).

²⁴ *Ibidem*.

²⁵ NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES, *NASA Strategic Direction and the Need for a National Consensus*, The National Academy Press, Washington 2012, [https://oig.nasa.gov/docs/SpecialReview\(12-5-12\).pdf](https://oig.nasa.gov/docs/SpecialReview(12-5-12).pdf) (cons. 5 luglio 2019).

²⁶ T. HARRISON, *China in Space: a strategic competition*, Statement before the U.S.-China Economic and Security Review Commission, 25 aprile 2019, in <https://www.uscc.gov/hearings/china-space-strategic-competition> (cons. 5 luglio 2019).

*Economy*²⁷ che deve intendersi come un nuovo ecosistema per le attività spaziali sia globali, che locali, basato sui seguenti fattori: nuovi attori nel panorama spaziale in quanto, negli ultimi decenni, si è assistito a un incremento dei *players* sia privati che pubblici che operano nel campo spaziale; la nascita di numerose *start-ups* che hanno avuto un rapido successo e hanno spinto gli imprenditori operanti in settori diversi a creare aziende nel settore spaziale; nuovi modelli di *management*, poiché lo Spazio inizia ad essere considerato una risorsa da cui trarre profitto e nuove aziende si sono impegnate nello sviluppo di tecnologie che consentano di diminuire i costi connessi alle tecnologie abilitanti; nuovo ruolo per gli attori pubblici, dato che l'aumento degli attori coinvolti nel settore spaziale, ha determinato la necessità di adottare atti di regolamentazione che garantiscano la sicurezza e la sostenibilità dell'esplorazione e dello sfruttamento dello spazio extra-atmosferico.

Ripercorrendo a grandi linee l'evoluzione storica che ha contraddistinto il rapporto tra soggetti pubblici e privati nel settore spaziale, deve osservarsi che già nel 1962 gli Stati Uniti, con l'approvazione del *Communications Satellite Act*, hanno iniziato a favorire le compagnie industriali garantendo loro la possibilità di realizzare e operare satelliti²⁸. In seguito, gli operatori economici hanno acquisito anche la capacità di operare servizi di lancio, in forza delle disposizioni del *Commercial Space Launch Act* del 1984²⁹. Nel settore dell'esplorazione spaziale, gli sforzi statunitensi orientati a supportare l'emergere di un'industria privata spaziale sono proseguiti in modo regolare con le Amministrazioni Bush, Obama e Trump.

Nel 2004, infatti, il Presidente *George W. Bush* ha annunciato l'intenzione di creare opportunità commerciali connesse al trasporto spaziale per le missioni legate alla Stazione Spaziale Internazionale e all'esplorazione planetaria³⁰. Il Congresso ha sostenuto tale impostazione adottando, nel 2005, il *NASA Authorization Act*, il quale contie-

²⁷ OECD, *The Space Economy in Figures. How Space Contributes to the Global Economy*, 2019

²⁸ C. IACOMINO, *Commercial Space Exploration. Potential Contribution of Private Actors to Space Exploration Programmes*, ESPI/Springer, Vienna 2019, p. 39.

²⁹ Si veda: sec. 2.11 del *Commercial Space Launch Act* del 2004, Public Law 108-492, 108th Congress in https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ast/media/pl108-492.pdf (cons. 19 dicembre 2019).

³⁰ Cfr. P. MOLONEY FIGLIOLA, C. E. BEHRENS, D. MORGAN, *U.S. Space Programs: Civilian, Military, and Commercial - Updated June 13, 2006*, Congressional Research Service, <https://fas.org/sgp/crs/space/IB92011.pdf>, (cons. 19 dicembre 2019).

ne un esplicito riferimento allo sviluppo di un piano indirizzato agli operatori commerciali per i programmi di esplorazione umana sulla Luna e su Marte³¹.

Con l'Amministrazione Obama, il ruolo dei soggetti commerciali è stato ribadito con vigore, anche sulla base di quanto statuito dal *NASA Authorization Act* del 2010 e dallo *US Commercial Space Launch Competitiveness Act* del 2015, che hanno innovato la legislazione spaziale statunitense ampliando le prerogative delle imprese private³².

Per quanto concerne le politiche del Presidente *Trump*, deve rilevarsi che esse sono state contraddistinte da una discontinuità rispetto a quelle del suo predecessore, anche se l'interesse per la collaborazione tra soggetti pubblici e privati è rimasta immutata³³. Un esempio di quanto sopra si rinviene nel *NASA Transition Authorization Act* del 2017, che enfatizza il ruolo delle imprese in vari settori tra cui, in posizione di primazia, sono ascritti il volo umano nello spazio e l'esplorazione spaziale³⁴. Anche la Stazione Spaziale Internazionale, eccellente esempio di cooperazione tra le diverse Nazioni, inizia ad essere vista come un terreno di opportunità per attività di sviluppo commerciale ed economico in orbita bassa, tanto da poter essere definita come un'infrastruttura gestita non da autorità pubbliche

³¹ Così in sec. 101, (b) del *NASA Authorization Act* del 2005, <https://www.congress.gov/109/plaws/publ155/PLAW-109publ155.pdf> (cons. 19 dicembre 2019).

³² Cfr. M. WALL, *President Obama's Space Legacy: Mars, Private Spaceflight and More*, <https://www.space.com/35394-president-obama-spaceflight-exploration-legacy.html> (cons. 19 dicembre 2019).

³³ Interessante è, a tal riguardo, l'analisi del Prof. Tronchetti e del Dott. Liu pubblicata sul sito dell'Istituto australiano di Affari Internazionali, in cui essi hanno affermato: «*The Trump administration views a combined effort between governmental and non-governmental entities as the key element to maintain and strengthen US leadership in space in the twenty-first century. Accordingly, while NASA should concentrate its work on the exploration of the solar system, the private sector should take over the responsibility to provide low Earth orbit transportation services and to develop the capabilities to undertake "new" activities beyond low Earth orbit*». Per maggiori informazioni: F. TRONCHETTI, H. LIU, *The Trump Administration and Outer Space: Promoting US Leadership or Heading Towards Isolation?*, in <https://www.internationalaffairs.org.au/australianoutlook/trump-administration-outer-space/> (cons. 19 dicembre 2019).

³⁴ Infatti, la sez. 302, let. b), n. 7 del *NASA Transition Authorization Act* del 2017 afferma: «*NASA should build upon the success of the Commercial Orbital Transportation Services Program and Commercial Resupply Services Program that have allowed private sector companies to partner with NASA to deliver cargo and scientific experiments to the ISS since 2012*», mentre la sez. 510 della medesima legge è rivolta alle *partnership* pubblico – private in astrobiologia e la sez. 512 riguarda le cooperazioni pubblico – private con riferimento agli oggetti spaziali lanciati in orbita bassa.

ma da operatori commerciali. Infatti, la decisione del Governo federale statunitense di revocare i finanziamenti alla ISS a partire dal 2025³⁵, non determinerà il *deorbiting* di tale infrastruttura spaziale, ma consentirà alla NASA di realizzare, in collaborazione con industrie private, infrastrutture commerciali in orbita LEO³⁶. Ciò determinerà, con molta probabilità, un cambiamento del ruolo dell'agenzia spaziale statunitense, che potrebbe divenire un *primus inter pares* tra i diversi attori dell'esplorazione spaziale³⁷ americana.

In tale contesto, ben si comprendono le parole di *Mark Albrecht*, Executive Secretary del *National Space Council* dal 1989 al 1992, il quale, facendo riferimento al settore dei lanciatori, affermò la necessità di realizzare una piena complementarietà tra le capacità di lancio possedute dagli operatori commerciali e le attività spaziali governative³⁸. Per favorire le linee strategiche sopra evidenziate, il Governo degli Stati Uniti ha varato numerose iniziative con l'obiettivo di creare e rafforzare il settore spaziale commerciale per mezzo, ad esempio, dell'istituzione dell'*Office of Commercial Space Transportation (OCST)*, che persegue, tra le altre cose, il fine di emettere a favore dei privati le licenze che consentano loro di gestire le operazioni di veicoli di lancio. La NASA ha, inoltre, elaborato un modello di *Commercial Orbital Transportation Services (COTS)*, che costituisce un esempio originale di cooperazione tra l'agenzia spaziale e l'industria³⁹, perché ha consentito alla NASA di ottenere molti vantaggi in termini di riduzione dei costi e di apporto innovativo, grazie

³⁵ Così in BBC.com, *Trump budget cuts US cash for International Space Station*, <https://www.bbc.com/news/world-us-canada-43038329> (cons. 18 dicembre 2019).

³⁶ L'Amministratore della NASA ha recentemente fatto riferimento, a tal proposito, all'intento di *industrializzare* l'orbita bassa attraverso la *commercializzazione* della Stazione Spaziale Internazionale. Questo si rivelerebbe a sostegno non solo dell'industria nord-americana, ma di tutta l'economia federale. Egli ha, infatti, affermato: «*Industrialization builds nations, and if we want to build space, we need to industrialize*» e «*The International Space Station is an amazing tool for that activity*». Si veda J. FOUST, *NASA seeks "industrialization" of low Earth orbit with ISS commercialization strategy*, <https://spacenews.com/nasa-seeks-industrialization-of-low-earth-orbit-with-iss-commercialization-strategy/> (cons. 18 dicembre 2019).

³⁷ M. WALL, *Trump's 2019 NASA Budget Request Puts Moon Ahead of Space Station*, in <https://www.space.com/39671-trump-nasa-budget-2019-funds-moon-over-iss.html> (cons. 4 luglio 2019).

³⁸ SPACENEWS.com, *President Trump reestablishes National Space Council*, in <https://spacenews.com/breaking-president-trump-reestablishes-national-space-council/> (cons. 4 luglio 2019).

³⁹ C. IACOMINO, *Commercial Space Exploration*, p. 44.

alla cooperazione con *partner* commerciali⁴⁰. Infatti, tanto l’obiettivo di migliorare il rapporto costi/benefici quanto quello di condividere i rischi connessi agli sviluppi tecnologici delle diverse missioni hanno fatto sì che la NASA realizzasse un nuovo schema di *procurement* basato su un sistema di *milestones* a prezzi fissi. In questo modo, il committente pubblico eroga all’esecutore della commessa i fondi esclusivamente dopo il raggiungimento degli obiettivi predeterminati e ogni ulteriore costo dovrà essere sostenuto dall’impresa⁴¹. Il successo di tale metodo ha determinato una radicale trasformazione dei rapporti tra la NASA e gli operatori economici che, secondo *Gary Martins*, già Direttore delle relazioni industriali dell’*Ames Research Center*, può essere rappresentato nella seguente tabella⁴²:

Programme characteristic	Early space age approach	Commercial-oriented approach
Owner	NASA	Industry
Contract fee-type	Cost-plus	Fixed price
Contract management	Prime contractor	Public-private partnership
Customer(s)	NASA	Government and non-government
Funding for capability demonstration	NASA procures capability	NASA provides investment via milestone payments
NASA’s role in capability development	NASA defines “what” and “how”	NASA defines “what” industry defines “how”
Requirements’ definition	NASA defines detailed Requirements	NASA defines top-level capabilities needed
Cost structure	NASA incurs total cost	NASA and industry share cost

⁴⁰ Questo è emerso, in particolar modo, dal Rapporto “*Commercial Orbital Transportation Services. A New Era Of Spaceflights*” che è stato pubblicato lo scorso febbraio 2014. Il rapporto si può consultare nel sito: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/SP-2014-617.pdf> (cons. 19 dicembre 2019).

⁴¹ Cfr. M. MAZZUCATO, R. DOUGLAS, *Lost in Space? NASA and the Changing Public-Private Ecosystem in Space*. Working Paper Series (SWPS) 2016–2020, SPRU, University of Sussex, 2016, in <https://www.sussex.ac.uk/webteam/gateway/file.php?name=2016-20-swps-mazzucato-et-al.pdf&site=25> (cons. 18 dicembre 2019).

⁴² Così in G. MARTYN, *New Space, The Emerging Commercial Space Industry*, ISU MSS 2017 Presentation, in <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20170001766.pdf> (cons. 4 luglio 2019).

Sulla scorta del successo legato al metodo COTS, sin dal 2014, l'*Advanced Exploration Systems Division (AES)* dello *Human Exploration and Operations Mission Directorate* della NASA ha elaborato diverse iniziative finalizzate alla realizzazione di collaborazioni pubblico/private. L'obiettivo è quello di realizzare sistemi prototipali e tecnologie chiave per le future missioni di esplorazione⁴³, insieme a soluzioni innovative che incrementino benefici, tra i quali: la diffusione di un modello *cost-sharing* che consenta alle autorità governative e ai soggetti privati di condividere le opportunità e i rischi che derivano dagli investimenti effettuati; l'interazione con le università, in grado di incrementare le conoscenze nei settori tecnologicamente più avanzati di interesse della NASA; il coinvolgimento di piccole e medie imprese nei programmi ad alto contenuto di ricerca e sviluppo⁴⁴.

1.2.1. *La commercial partnership nel contesto del programma Artemis.*- Esplicitata l'importanza che il ruolo degli operatori commerciali riveste nel settore dell'esplorazione spaziale e delineate le caratteristiche di alcuni strumenti che hanno rafforzato la cooperazione tra la NASA e l'industria privata, occorre ora specificare come tali concetti caratterizzino anche lo sviluppo del programma *Artemis*.

Per quanto concerne specificatamente la realizzazione del *Gateway*, ovvero della piattaforma spaziale che orbiterà in orbita cislunare, la NASA ha optato, in un primo momento, per la costruzione di una stazione composta da soli tre elementi: il Modulo pressurizzato abitato (*Utilization Module*), il *Power and Propulsion Element (PPE)*, che trae origine dal sistema di propulsione elettrica solare sviluppato nel corso del programma *Asteroid Redirect Mission* e il *Logistics Service*.

Il ruolo dei soggetti commerciali statunitensi nell'ambito della costruzione della stazione spaziale cislunare risulta particolarmente significativo perché la NASA ha affidato solo a loro la realizzazione della prima parte del programma, che sta avvenendo attraverso una serie di bandi pubblici, a cui possono partecipare, in qualità di *prime contractors*, esclusivamente le aziende USA. Agli operatori economici di altre Nazioni spetterà l'eventuale compartecipazione, sotto una soglia non critica per il mercato USA. A maggio del 2019 la NASA ha

⁴³ NASA.Gov, *AES Overview*, in <https://www.nasa.gov/content/aes-overview> (cons. 4 luglio 2019).

⁴⁴ Si veda NASA.Gov, *Innovative Partnerships with AES*, <https://www.nasa.gov/content/aes-partnerships> (cons. 19 dicembre 2019)-

annunciato⁴⁵ di aver selezionato la società *Maxar Technologies* per lo sviluppo e la realizzazione dei sistemi di alimentazione, propulsione e comunicazione del *Gateway*. Ad avviso dell'Amministratore della NASA, *Jim Bridenstine*, tale sottosistema risulta di fondamentale importanza per disegnare l'intero impianto architettonico e per renderlo sostenibile e riutilizzabile. Le operazioni di validazione del sistema dureranno per circa un anno e, se gli obiettivi saranno raggiunti positivamente, la NASA potrà esercitare l'opzione di acquisto dell'infrastruttura che costituirà il primo elemento del *Gateway*.

Per quanto concerne invece la realizzazione del *Minimal Habitation Module (MHM)*, la NASA ha affidato senza gara il contratto alla società *Northrop Grumman*, considerato unico operatore commerciale in possesso dei requisiti di capacità tecnica.⁴⁶

Il ruolo degli operatori commerciali risulta particolarmente significativo non solo nella realizzazione del *Gateway* ma anche nello sviluppo del *Human Landing System (HLS)*, in grado di trasportare gli astronauti sul suolo della superficie lunare. Il 30 settembre 2019 la NASA ha pubblicato una *call* per invitare le aziende del settore a fornire proposte progettuali per la realizzazione di tale sviluppo tecnologico. Nell'ottobre del 2019 la società *Blue Origin* ha annunciato di voler realizzare, congiuntamente a *Lockheed Martin*, *Northrop Grumman* e *Draper Laboratory* un *lander* denominato *Blue Moon*⁴⁷. Successivamente, nel novembre del 2019, anche la *Boeing*⁴⁸ ha presentato la propria idea di *lander* che non richiederebbe un aggancio con il *Gateway* e potrebbe agganciarsi direttamente a *Orion* per consentire un profilo di missione più semplice.

Le aziende statunitensi risultano altresì coinvolte nell'iniziativa denominata *Commercial Lunar Payload Services (CLPS)*, finalizzato alla realizzazione di servizi di trasporto che consentano di inviare *lander* e *rover* sul suolo lunare per lo svolgimento di esperimenti in

⁴⁵ B. INCLÁN, G. ANDERSON, J. RUSSELL, *NASA Awards Artemis Contract for Lunar Gateway Power, Propulsion*, <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-awards-artemis-contract-for-lunar-gateway-power-propulsion> (cons. 9 luglio 2019).

⁴⁶ J. FOUST, *NASA to sole source Gateway habitation module to Northrop Grumman*, <https://spacenews.com/nasa-to-sole-source-gateway-habitation-module-to-northrop-grumman/> (cons. 19 dicembre 2019).

⁴⁷ BLUEORIGIN.COM, *Blue Origin Announces National Team for NASA's Artemis Human Landing System*, in <https://www.blueorigin.com/news/blue-origin-announces-national-team-for-nasas-human-landing-system-artemis> (cons. 7 gennaio 2019).

⁴⁸ T. MALIK, *Boeing Just Sent NASA Its Moon Lander Idea for Artemis Astronauts. Here It Is*, <https://www.space.com/boeing-human-moon-lander-concept-nasa-artemis.html> (cons. 7 gennaio 2019).

*situ*⁴⁹. Ad oggi sono stati individuati quattordici operatori commerciali in grado di sviluppare tali tecnologie⁵⁰. Tali sperimentazioni apriranno la strada al futuro sbarco degli astronauti previsto per il 2024.

La strategia della NASA appare orientata al rafforzamento delle competenze delle aziende nel settore della costruzione dei *rover* lunari e dimostra come il Governo statunitense abbia particolare fiducia nella capacità delle imprese di soddisfare i bisogni del committente pubblico. Ad oggi, le imprese selezionate sono state: l'azienda *Astrobotic Technology Inc.* di Pittsburgh, che ha ottenuto un finanziamento di 79.5 milioni di dollari e ha proposto di trasportare 14 *payload* verso la zona lunare di *Lacus Mortis*, un vasto cratere situato nella parte più vicina della Luna; l'azienda *Intuitive Machines* di Houston che, con un budget di 77 milioni di dollari, ha in carico il trasporto di *payload* verso il lato oscuro della Luna; infine, l'azienda *Orbit Beyond* che trasporterà i *payload* verso il *Mare Imbrium*, una distesa di lava in un cratere lunare⁵¹. Ciascun operatore economico dovrà garantire lo svolgimento di tutte le attività connesse all'integrazione dei *payload*, alle operazioni di lancio e all'atterraggio sul suolo lunare. Tali sviluppi tecnologici potranno poi essere riutilizzati per future missioni di esplorazione, ivi incluse quelle destinate a raggiungere il suolo marziano. Come ha dichiarato *Thomas Zurbuchen*, Responsabile del Direttorato delle missioni scientifiche della NASA, la costruzione dei *lander* costituisce solamente il primo passo per la realizzazione di una *partnership* pubblico/privata che porterà l'uomo a risolvere i più affascinanti quesiti scientifici relativi alla Luna, al sistema solare e allo spazio più profondo.

⁴⁹ NASA.GOV, *NASA Expands Plans for Moon Exploration: More Missions, More Science*, in <https://www.nasa.gov/feature/nasa-expands-plans-for-moon-exploration-more-missions-more-science> (cons. 4 luglio 2019).

⁵⁰ NASA.GOV, *New Companies Join Growing Ranks of NASA Partners for Artemis Program*, in <https://www.nasa.gov/press-release/new-companies-join-growing-ranks-of-nasa-partners-for-artemis-program> (cons. 7 dicembre 2019).

⁵¹ F. CHOU, R. KRAFT, *NASA Selects First Commercial Moon Landing Services for Artemis Program*, <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-selects-first-commercial-moon-landing-services-for-artemis-program/>, (cons. 19 dicembre 2019).

CAPITOLO 2

ALTRI PROGRAMMI SPAZIALI LUNARI

2.1. *Il Programma spaziale dell'ESA.*- Seppur il menzionato programma statunitense *Artemis* è particolarmente interessante, esso non rappresenta un *unicum* nel panorama dell'esplorazione spaziale lunare. Ci sono altri Paesi, infatti, che già prima dell'annuncio del Vice Presidente *Mike Pence*, avevano esternato dichiarazioni di interesse verso la Luna e avevano avviato programmi nazionali di esplorazione e studio del satellite terrestre.

Nel 2018 la sonda cinese *Chang-e* è scesa, infatti, con precisione sulla parte non visibile della Luna e un *rover* ha passeggiato nei pressi del Polo Sud lunare. La *China National Space Administration* (CNSA) ha dichiarato di voler costruire e completare una base scientifica lunare entro i prossimi dieci anni: per il 2020 è previsto l'assemblaggio dei primi elementi, mentre per il 2030 la base dovrà essere permanentemente abitata.

Anche l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ha l'ambizione di creare un *Moon Village* con tutti i Paesi disponibili a cooperare⁵².

L'Unione Sovietica, nel 1959, fu il primo Paese a far atterrare una propria sonda, *Luna 2*, sulla superficie lunare e oggi ROSCOSMOS dichiara di voler colonizzare il satellite terrestre entro il 2040.

L'India, dopo aver orbitato intorno alla Luna nel 2008, lo scorso 22 luglio, ha lanciato la sonda *Chandrayaan 2* alla volta del suolo lunare, ma il 6 settembre il *lander Vikram* che doveva toccare il suolo in 15 minuti si è schiantato in modo inatteso. Ora ISRO sta già lavorando alla missione *Chandrayaan 3* che sarà lanciata il prossimo novembre 2020. L'allunaggio dovrebbe avvenire nella stessa area in cui è avvenuto l'impatto disastroso della *Chandrayaan 2*. ISRO ha inoltre confermato che la missione finalizzata a portare il primo equi-

⁵² Moon Village Reference Masterplan and Habitat Design, *Georgi I. Petrov, Daniel Inocente, Max Haney, Neil Katz, Colin Koop, Advenit Makaya, Marlies Arnhof, Hanna Lakk, Aidan Cowley, Claudie Haignere, Piero Messina, Valentina Sumini, Jeffrey A. Hoffman*, July 2019, Boston, Massachusetts, 49th International Conference on Environmental Systems; Moon Village: a vision for global cooperation and Space 4.0, *Jian Woerner*, 2016.

paggio indiano in orbita intorno alla Terra non è stata annullata e che anzi si spera di eseguire il lancio entro la metà del 2022. Quindi, sulla base di tali brevi cenni, si evince che anche i Paesi con maggiori capacità spaziali e influenza vogliono fare un nuovo approdo sulla Luna. Ma perché tornare sulla Luna dopo tanti anni?

2.1.1. *Una strategia spaziale per l'Europa.*- In Europa, i programmi spaziali, come quello di esplorazione umana e robotica, sono stati tradizionalmente gestiti dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA), in collaborazione con le agenzie spaziali nazionali dei Paesi Membri. Si tratta di un aspetto, questo, puntualmente codificato nella Convenzione istitutiva dell'Agenzia stessa, secondo la quale: «*The purpose of the Agency shall be to provide for and to promote, for exclusively peaceful purposes, cooperation among European States in space research and technology and their space applications, with a view to their being used for scientific purposes and for operational space applications systems a.) by elaborating and implementing a long-term European space policy [...]; b.) by elaborating and implementing activities and programmes in the space field; c.) by coordinating the European space programme and national programmes [...]; d. by elaborating and implementing the industrial policy appropriate to its programme*»⁵³.

Pertanto, un mezzo attraverso il quale l'ESA raggiunge il suo obiettivo primario di promuovere la ricerca spaziale e lo sviluppo tecnologico è quello di elaborare una strategia spaziale che le permette di pianificare sul lungo periodo la partecipazione degli Stati Membri alle attività spaziali europee e internazionali. Tale strategia, che si basa fortemente sulle ambizioni, le capacità e gli impegni degli Stati membri, nonché sulle opportunità offerte dalla cooperazione con i *Partner* internazionali, si concretizza, di fatto, in numerosi e diversificati programmi spaziali, tra i quali l'esplorazione.

Recentemente, il Consiglio ESA, riunitosi a livello ministeriale nell'ambito della c.d. *Space+19*, che si è tenuto a Siviglia, in Spagna, alla fine di novembre 2019, ha accordato all'Agenzia un *budget* senza precedenti che, con oltre 2 miliardi di euro in più rispetto al passato, si è rivelato il più ambizioso nella storia dell'Agenzia⁵⁴. L'aumento

⁵³ Art. II della Convenzione ESA.

⁵⁴ Così in ESA.INT, *ESA ministers commit to biggest ever budget*, http://www.esa.int/About_Us/Corporate_news/ESA_ministers_commit_to_biggest_ever_budget (cons. 19 dicembre 2019).

del *budget* è stato accompagnato dall'approvazione di una serie di programmi tesi a dare nuovo vigore alla *space economy*, tra i quali, assicurare all'Europa l'accesso indipendente allo spazio, approfondire lo studio del sistema solare, partecipare all'esplorazione umana e robotica, mantenere l'abilità europea sulle comunicazioni e l'osservazione della Terra.

A quanto detto, si aggiunga che in Europa lo sviluppo della strategia spaziale è frutto dell'interazione con l'Unione Europea che, pur non ponendo nello sviluppo tecnologico e nella ricerca spaziale un fine prioritario della sua azione, riserva al settore spaziale ormai un'attenzione sempre più crescente.⁵⁵ La base giuridica di questa attenzione si è rafforzata con la previsione, negli artt. 4 e 189 del Trattato sul Funzionamento dell'Unione europea, firmato a Lisbona nel 2007 ed entrato in vigore nel 2009, relativi ad una politica spaziale europea. In base a tali disposizioni, l'Unione ha una competenza condivisa nelle attività spaziali, nel senso che essa può «condurre azioni, in particolare la definizione e l'attuazione di programmi, senza che l'esercizio di tale competenza possa avere per effetto di impedire agli Stati membri di esercitare la loro»⁵⁶.

Vista la crescente attenzione rivolta allo spazio da parte dell'Unione Europea, è stato necessario, nel tempo, irrobustire la cooperazione tra ESA ed UE, che già trovava il suo fondamento normativo nell'Accordo quadro tra la Comunità Europea e l'Agenzia Spaziale Europea del 27 novembre 2003⁵⁷. È a tal proposito che si ritiene opportuno citare la dichiarazione congiunta ESA-UE del 2016 “*Shared vision and goals for the future of Europe in space*” con cui entrambe le istituzioni sono convenute nell'individuazione di obiettivi comuni, come: massimizzare i benefici dello spazio per la società e l'economia dell'UE; promuovere un settore spaziale europeo competitivo e innovativo a livello mondiale; rafforzare l'autonomia dell'Europa in

⁵⁵ «Le tecnologie, i dati e i servizi spaziali possono sostenere numerose politiche e priorità strategiche fondamentali dell'UE, fra cui quelle concernenti la competitività della nostra economia, le migrazioni, i cambiamenti climatici, il mercato unico digitale e la gestione sostenibile delle risorse naturali», così in COMMISSIONE EUROPEA, *Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni. Strategia spaziale per l'Europa*, Bruxelles, 26.10.2016, COM (2016) 705 final, <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/IT/COM-2016-705-F1-IT-MAIN.PDF> (cons. 19 dicembre 2019).

⁵⁶ Art. 4.3 del Trattato sul Funzionamento dell'Unione europea (TFUE).

⁵⁷ Cfr. ESA.INT, *Spazio: ESA e UE firmano Accordo di Cooperazione*, https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Italy/Spazio_ESA_e_UE_firmano_Accordo_di_Cooperazione (cons. 19 dicembre 2019).

termini di accesso allo spazio e utilizzo di quest’ultimo in un contesto sicuro⁵⁸.

2.1.2. *Il Programma di esplorazione umana e robotica e l’E3P.-*

Le attività di esplorazione umana e robotica di ESA concentrano il loro raggio d’azione in orbita bassa (Low Earth Orbit, LEO), sulla Luna e su Marte. Queste destinazioni sono presentate come parte di un unico piano strategico di esplorazione, che consentirà all’Europa: (1) di attuare una varietà di missioni robotiche e/o umane per costruire una serie completa di capacità per l’Europa, ogni missione basandosi sui risultati raggiunti dai precedenti, (2) fare progressi scientifici sulle questioni di primaria importanza e (3) sviluppare ulteriormente *partnership* internazionali⁵⁹.

Quanto alle *partnership* di cooperazione internazionale, esse sono la modalità precipua con cui le attività di esplorazione spaziale vengono condotte dall’Agenzia. La cooperazione internazionale è, infatti, un elemento imprescindibile per il raggiungimento di traguardi ambiziosi – come la creazione di un *Moon Village*⁶⁰ – o altre missioni con ulteriori potenze spaziali⁶¹.

⁵⁸ Cfr. ESA.INT, *Shared vision and goals for the future of Europe in space*, https://www.esa.int/About_Us/Corporate_news/Shared_vision_and_goals_for_the_future_of_Europe_in_space (cons. 19 dicembre 2019). Si tratta di principi rinvenibili anche nella Comunicazione della Commissione UE del 26 ottobre 2016 per una strategia spaziale per l’Europa e nella successiva Risoluzione del Parlamento europeo del 12 settembre 2017 su una strategia spaziale per l’Europa.

⁵⁹ Cfr. ESA.INT, *Resolution on Europe’s Space Exploration Strategy* (2014), in http://esamultimedia.esa.int/multimedia/publications/ESA_Space_Exploration_Strategy/offline/download.pdf (cons. 19 dicembre 2019) e riconfermato in ESA.INT, *Human and Robotic Exploration*, http://esamultimedia.esa.int/docs/corporate/Space19+flyers_HRE_LR.pdf (cons. 19 dicembre 2019). Questo è stato recentemente ribadito anche al termine della Conferenza Ministeriale *Space+19*, in cui il Direttore generale dell’ESA, Jan Woerner, ha testimoniato che dal *meeting* è emerso che dei 14,4 miliardi a disposizione per lo spazio, 1,953 miliardi sono stati stanziati per l’esplorazione umana e robotica.

⁶⁰ Questa era l’idea emersa dalla Ministeriale ESA 2016, quando il Direttore Generale dell’ESA, Jan Woerner, presentò la “*vision for global cooperation and Space 4.0*”. Per maggiori approfondimenti: ESA.INT, *Moon Village*, https://www.esa.int/About_Us/Ministerial_Council_2016/Moon_Village (cons. 19 dicembre 2019). Tale idea è stata recentemente messa da parte. Dal Consiglio 2019 è emersa, invece, la volontà di partecipare attivamente allo sviluppo del *Lunar Gateway* della NASA.

⁶¹ Per quanto riguarda l’esplorazione lunare, la *partnership* entro l’E3P2 sarà rafforzato e si espanderà. L’ESA sta contribuendo alle missioni di ROSCOSMOS (*Luna-25* e *Luna-27*); sono attualmente in fase di valutazione *partnership* commerciali per altri carichi utili; la cooperazione con CSA (*Canadian Space Agency*) e JAXA (*Japanese Aerospace Exploration Agency*) è valutata per i contributi a HERACLES (missione robotica lunare); con CNSA (Agenzia spaziale cinese) per la scienza lunare; con la NASA per l’esplorazione lunare robotica e umana.

Le *partnership* avvengono anche all'interno della stessa regione europea, dove l'UE aveva già contribuito con proprie attività di ricerca all'esplorazione dello spazio attraverso il programma *Horizon 2020 R&D*⁶² e con il consorzio PERASPERA, che potrebbe proseguire nell'ambito del quadro finanziario pluriennale dell'UE per gli anni 2021-2027⁶³. In tale contesto, la Prima Conferenza Internazionale UE-ESA sull'esplorazione umana dello spazio è stata organizzata a Praga dal Consiglio europeo e dall'ESA nell'ottobre 2009. Durante la conferenza, i Ministri dei 22 Stati membri dell'ESA, dei 7 Stati che con ESA cooperano e dei 28 Stati membri dell'UE si sono incontrati per definire insieme una visione comune e una pianificazione strategica per l'esplorazione dello spazio. Tuttavia, gli avvicendamenti nella complessa *governance* spaziale europea hanno fatto sì che lo stato delle cose cambiasse e l'esplorazione dello spazio non fosse più considerata come una priorità per l'UE. È per tale motivo che non se ne legge traccia nella strategia spaziale per l'Europa adottata nell'ottobre 2016 dalla Commissione Europea, né nella proposta di Regolamento per il quadro finanziario pluriennale 2021-2027.

Diversamente, l'esplorazione spaziale e robotica è rimasta al centro dell'attività e della programmazione di ESA. A tal riguardo, è attivo l'*European Exploration Envelope Program* (E3P), che è uno dei pilastri programmatici dell'ESA per l'esplorazione robotica. Le dinamiche dell'esplorazione spaziale stanno accelerando, soprattutto in relazione alla strategia degli Stati Uniti di riportare gli uomini sulla Luna entro il 2024 e l'Europa non sembra voler rimanere a guardare, visto il recente aumento di *budget* che i Ministri europei hanno affidato all'ESA.

L'*European Exploration Envelope Program* (E3P) venne creato nel 2016 e, inizialmente, attraverso esso si è giunti ad una razionalizzazione dei programmi esistenti in un unico "portafoglio".

Pertanto, nell'ambito dell'E3P ci sono attività connesse al programma di sfruttamento della ISS, al programma ELIPS (*European Programme for Life and Physical Science and Application in Space*), al programma europeo di esplorazione spaziale *Aurore*, nonché al programma europeo di attività per il trasporto e l'esplorazione umana⁶⁴.

⁶² Iacomino sottolinea, a tal riguardo, come nel 2014 e nel 2015 fossero stati erogati circa 30 milioni di EUR per R & D, in C. IACOMINO, *Commercial Space Exploration*, p. 9.

⁶³ C. IACOMINO, *Commercial Space Exploration*, p. 10.

⁶⁴ C. IACOMINO, *Commercial Space Exploration*, p. 10.

La seconda fase della E3P (E3P2) è completamente in linea con il piano a lungo termine dell'ESA 2019-2028, presentato alla Ministeriale intermedia dell'ottobre 2018⁶⁵. La E3P2 continuerà ad integrare gli sforzi di esplorazione spaziale esistenti dell'ESA e farà avanzare la competenza dell'Europa nell'esplorazione robotica e umana, basandosi sui risultati raggiunti dai programmi *Columbus*, gli ATV (*Automated Transfer Vehicle*) e *ExoMars TGO* (*Trace Gas Orbiter*), producendo un impatto positivo sul comparto industriale europeo nonché sulle attività di ricerca delle comunità accademiche e venendo strutturato in quattro settori fondamentali:

- Missioni umane in orbita LEO
- Missioni umane oltre l'orbita LEO
- Esplorazione robotica lunare
- Esplorazione robotica marziana

Tutti e quattro i settori consentiranno attività scientifiche complete, come *Science in Space Environment* (*SciSpace*) e saranno supportati da attività di innovazione preparatoria, come *Exploration Preparation, Research and Technology* (*ExPeRT*).

Essi, inoltre, consentiranno la conduzione ulteriore di ricerca scientifica dedicata all'esplorazione e promuoveranno l'esplorazione umana attraverso la programmazione di un volo sulla ISS di lunga durata all'anno e la preparazione di un volo sulla Luna con *Orion*. Inoltre, si proseguirà nella discussione sul *Gateway*, essendo la Luna un punto di sosta orbitale per Marte e un obiettivo per cui l'ESA ha investito delle risorse (con *ESPRIT*, *Infrastructure*, and *Telecommunications components* e la *International Habitation Module* (I-HAB)). In più, l'esplorazione robotica lunare consentirà di effettuare scoperte scientifiche e di sperimentare nuove capacità tecniche⁶⁶.

2.1.3. *Analisi del programma lunare dell'ESA.* - Lo sforzo globale che sottende l'esplorazione lunare in cui l'Agenzia Spaziale Europea è costantemente coinvolta insieme agli attori statali e commerciali, può

⁶⁵ Cfr. ESA.INT, *I ministri approvano la visione per il futuro dell'Europa nello spazio*, https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Italy/I_ministri_approvano_la_visione_per_il_futuro_dell_Europa_nello_spazio (cons. 19 dicembre 2019).

⁶⁶ Prendendo a riferimento i Progetti PROSPECT, con lo scopo di valutare le potenziali risorse presenti sulla luna in modo da supportare lo sviluppo di tecnologie che potrebbero essere utilizzate per estrarre queste risorse in futuro, e PILOT, con il fine di trasportare la tecnologia europea per atterrare in modo preciso e sicuro sulla Luna. Entrambi i programmi sono condotti in cooperazione con ROSCOSMOS.

essere identificato con un programma di esplorazione basato su quattro missioni principali.

La prima è *Luna Resurs*, una *partnership* con l'agenzia russa ROSCOSMOS, grazie alla quale la tecnologia europea verrà utilizzata sia per atterrare sulla Luna in modo preciso e sicuro, che per estrarre e analizzare campioni del terreno lunare. La seconda missione è, invece, focalizzata sul trasporto spaziale umano che, grazie alla nuova tecnologia di *Orion*, il veicolo spaziale della NASA e dell'*European Service Module (ESM)*, sarà più sicuro e confortevole. L'ESA sta, infatti, munendo i moduli di servizio che forniranno propulsione, supporto vitale, energia, aria e acqua, oltre a controllare la temperatura nel modulo dell'equipaggio. La missione ISRU (*in-situ resource utilization*), poi, mira ad estrarre ed elaborare risorse sulla Luna in prodotti e servizi utili – una missione per esplorare le risorse lunari potrebbe essere una realtà dal 2025; l'obiettivo è quello di produrre acqua potabile o ossigeno respirabile sulla Luna. Infine, la missione *Heracles* avrà lo scopo di affinare le conoscenze in merito all'interazione robotica umana durante l'atterraggio di un veicolo spaziale sulla Luna e di rendere possibile la raccolta di campioni con un *rover* controllato dal *Gateway* lunare, con il conseguente invio di quegli stessi campioni sulla Terra⁶⁷.

L'esplorazione lunare rimane, anche a seguito della Ministeriale *Space+19*, un ambito importante di azione per l'ESA. Essa, infatti, parteciperà al Programma ARTEMIS, grazie alla realizzazione di un modulo per il *Gateway* dopo il 2024. NASA verso *y*⁶⁸.

ESA ha cercato collaborazioni anche con soggetti privati⁶⁹. Si cita, a titolo di esempio, il contratto concluso tra ESA e *ArianeGroup*, per dare vita a una missione lunare con il preciso scopo di studiare la regolite, ossia il suolo che ricopre la superficie del nostro satellite. Questo accordo ha incontrato una volontà molto ben disposta dell'industria: *ArianeGroup*, quale maggiore fornitore di servizi di lancio

⁶⁷ Si veda, ESA.INT, *Lunar Exploration – ESA's missions* https://www.esa.int/Education/Teach_with_the_Moon/Lunar_Exploration_ESA_s_missions (cons. 9 gennaio 2020).

⁶⁸ Si veda, NASA.GOV, *NASA Gains Broad International Support for Artemis Program at IAC* <https://www.nasa.gov/feature/nasa-gains-broad-international-support-for-artemis-program-at-iac> (cons. 21 dicembre 2019) ed ESA.INT, *Gateway to the Moon*, https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Ireland/Gateway_to_the_Moon (cons. 21 dicembre 2019).

⁶⁹ Cfr. J. FOUST, *ArianeGroup and PTScientists to study lunar lander mission for ESA*, <https://spacenews.com/arianegroup-and-ptscientists-to-study-lunar-lander-mission-for-esa/> (cons. 19 dicembre 2019).

nello Spazio in Europa, non aveva mai nascosto il suo interesse per la Luna. In più, *PTScientists*, una compagnia tedesca che ha iniziato ad interessarsi all'esplorazione lunare con il *Lunar XPrize*, sarà responsabile del veicolo lunare, mentre la società belga *Space Applications Services* fornirà servizi di controllo e comunicazione a Terra. *PTScientists* sta inoltre costruendo, in collaborazione con *Audi*, *Vodafone* e *Red Bull*, un *lander* che avrà come destinazione la regione lunare Taurus-Littrow, vicino al luogo in cui atterrò l'*Apollo 17*⁷⁰. La sonda dovrebbe portare due piccoli *rover* e dimostrare l'affidabilità dei sistemi. Il grande interesse per la Luna da parte dell'ESA comprende anche alcune curiosità, come le strutture abitative pensate per la Luna, prodotte con elementi modulari stampanti in 3D a partire dalla regolite⁷¹.

2.2. *Il Programma spaziale russo.*- L'Unione delle Repubbliche Socialiste Sovietiche è stata, nei primi decenni della corsa allo spazio, *leader* nell'esplorazione spaziale con diversi primati raggiunti: il primo essere umano nello spazio (*Yuri Gagarin*); i primi atterraggi lunari e marziani senza equipaggio (*Luna-1*; *Marte-3*), la prima stazione spaziale (*Salyut*), la prima attività extra-veicolare di un essere umano (il cosmonauta Alexey Leonov su *Voskhod-2*), il primo impatto con la superficie lunare (*Luna-2*), la prima immagine del lato nascosto della Luna (*Luna-3*), l'atterraggio morbido lunare senza equipaggio (*Luna-9*) e il primo *rover* spaziale (*Lunokhod-1*)⁷². Con la dissoluzione dell'URSS, i Russi hanno progressivamente condiviso la *leadership* spaziale con altri attori emergenti, seppur abbiano conservato un *know-how* di fondamentale importanza, che oggi confluisce nella realizzazione di strumenti necessari per agevolare le iniziative di esplorazione spaziale e lunare. In agosto 2019 ROSCOSMOS ha inviato a bordo della ISS il robot F-850, chiamato anche *Fyodor*, il primo automa dalle fattezze umanoidi, costruito a Mosca. *Fyodor* è

⁷⁰ Cfr. J. FOUST, *PTScientists acquired, to continue lunar lander work*, <https://spacenews.com/ptscientists-acquired-to-continue-lunar-lander-work/> (cons. 19 dicembre 2019).

⁷¹ Per maggiori informazioni, ESA.INT, *ESA Strategy for Science at the Moon*, https://sci.esa.int/documents/34161/35992/1567260389633-ESA_Strategy_for_Science_at_the_Moon.pdf (21 dicembre 2019).

⁷² Per maggiori informazioni, U. TRAMBALLI, *La corsa alla luna e la geopolitica Usa-Urss negli anni della guerra*, <https://www.ilsole24ore.com/art/la-corsa-luna-e-geopolitica-usa-urss-anni-guerra-ACxbOCZ> (cons. 19 dicembre 2019).

stato pensato come strumento per facilitare le attività extra-veicolari ed esplorare lo spazio profondo, la superficie della Luna e di Marte⁷³.

2.2.1. *La strategia spaziale russa e la cooperazione internazionale per la Luna.*- La politica di esplorazione in orbita bassa della Federazione Russa si è concretizzata nella presenza costante ed influente nella realizzazione della Stazione Spaziale Internazionale e nell'utilizzazione della stessa. La Russia, infatti, ha iniziato a partecipare all'opera di realizzazione di una stazione spaziale internazionale nel 1993 e il suo coinvolgimento ha condotto alla riapertura dei negoziati internazionali che avevano coinvolto USA, Canada, Giappone ed ESA da dieci anni e concluso l'accordo del 1988⁷⁴.

Per quanto riguarda l'esplorazione del satellite naturale della Terra, l'URSS fu presente con missioni senza uomo nel periodo dal 1958 al 1976. Poi, nel tempo, nonostante il paese abbia messo da parte l'esplorazione lunare con la fine della corsa lunare a metà degli anni '70, gli scienziati russi hanno contribuito a vedere la Luna come un importante campo per la ricerca. Durante gli anni '80, una missione lunare in orbita polare, *LSN (IL)*, fu una delle numerose missioni spaziali proposte per una piattaforma spaziale orbitante di nuova concezione sviluppata presso l'*NPO Lavochkin*. Tuttavia, a quel tempo, la missione lunare perse la priorità rispetto ad altri progetti legati all'esplorazione di Marte.

Oggi giorno, anche la Russia cerca *partner* per la propria strategia di esplorazione, sia lunare, che marziana. Già dal 1999, la missione *Phobos-Grunt* prevedeva il ritorno sulla Terra di campioni raccolti su *Phobos*, uno dei due satelliti naturali marziani⁷⁵. Il 26 marzo 2007, la Russia e la Cina firmarono un accordo di cooperazione sull'esplorazione di Marte che includeva il lancio congiunto con *Phobos-Grunt* della prima sonda interplanetaria cinese, la *Yinghuo-1*, focalizzata sullo studio del pianeta rosso. La guida nella fase di crociera sarebbe stata affidata a *Phobos-Grunt* che avrebbe infine rilasciato la *Yinghuo-1* in orbita marziana. Nonostante l'ambizioso progetto, la missione è fallita il 15 gennaio 2012, con la caduta della sonda sull'oceano Paci-

⁷³ P. MAURI, *La nuova corsa della Russia verso la Luna*, <https://it.insideover.com/politica/la-nuova-corsa-della-russia-verso-la-luna.html> (cons. 24 dicembre 2019).

⁷⁴ Cfr. A. FARAND, *The Space Station Cooperation Framework*, ESA Bulletin 94 (1998), <http://www.esa.int/esapub/bulletin/bullet94/FARAND.pdf> (cons. 20 dicembre 2019).

⁷⁵ Per maggiori informazioni: RUSSIANSPEACWEB.COM, *Why Phobos?* http://www.russianspaceweb.com/phobos_grunt.html (cons. 20 dicembre 2019).

fico⁷⁶. In realtà, ROSCOSMOS è pronta a lanciare un'altra sonda *Phobos-Grunt 2* sul pianeta marziano verso il 2022⁷⁷. Quanto all'esplorazione lunare, invece, Russia e Cina prevedono di condividere dei *payload* scientifici sulle rispettive sonde *Luna-26* e *Chang'e-7*, oltre che di stabilire un centro congiunto per la raccolta dei dati relativi alle missioni lunari e a quelle dello spazio profondo. I due Paesi, infatti, hanno stipulato accordi lo scorso 17 settembre 2019, al margine degli incontri governativi tenutisi a San Pietroburgo.⁷⁸

2.2.2. *La Russia e l'Europa.* - I rapporti Europa-Russia si stanno espandendo anche nel settore dell'esplorazione spaziale con una serie di progetti ambiziosi che, grazie al ri-orientamento della politica spaziale russa, riguarderanno anche l'area delle applicazioni spaziali a fini scientifici e commerciali.

Uno sviluppo degno di nota, tuttavia, è offerto dalle attività di cooperazione riguardanti il satellite lunare, come⁷⁹:

- *Luna-Globe (Luna-25): Simple Lunar Lander (2019);*
- *Luna-Resurs-1 (Luna-26): Lunar Orbiter (2021);*
- *Luna-Resurs-PA (Luna-27): Advanced Lunar lander (2022);*
- *Phobos-Grunt-2: Phobos Samples Return Mission (2024);*
- *Bion-M3: Satellite di ricerca biologica (2025);*
- *Lunar-Grunt: Lunar Soil Return Mission (2025+).*

Oltre alla collaborazione con la Cina, ROSCOSMOS ha attivato un'altra cooperazione con ESA per lo sviluppo del Programma *ExoMars*⁸⁰. La prima parte è stata lanciata nel 2016, con l'invio di un rilevatore di gas, un satellite di comunicazione nell'orbita marziana e il rilascio del *lander* sperimentale. La seconda parte, prevista per il 2020, prevede l'atterraggio di un *rover*, in grado di perforare il suolo alla scoperta di altra acqua o altri minerali. La Russia ha anche piani

⁷⁶ Cfr. ANSA.IT, *Phobos Grunt rientrata sul Pacifico. La conferma ufficiale da fonti russe, europee e americane*, http://www.ansa.it/web/notizie/specializzati/scienza/2012/01/15/visualizza_new.html_45064472.html (cons. 19 dicembre 2019).

⁷⁷ Cfr. RUSSIANSPEWEB.COM, *Possible Phobos-Grunt 2*, http://www.russianspaceweb.com/phobos_grunt2.html (cons. 19 dicembre 2019).

⁷⁸ L. FRIGERIO, *Cina e Russia collaborano per la Luna*, <https://www.astronautinews.it/2019/09/cina-e-russia-collaborano-per-la-luna/> (cons. 24 dicembre 2019).

⁷⁹ M. ALIBERTI, K. LISITSYNA, *Russia's Posture in Space: Prospects for Europe*, Executive Summary, ESPI 2018, p. 8, <https://espi.or.at/publications/espi-public-reports/category/2-public-espi-reports> (cons. 19 dicembre 2019).

⁸⁰ Cfr. RUSSIAN SPACE RESEARCH INSTITUTE, *ExoMars: Russian part*, <http://www.iki.rssi.ru/eng/exomars.htm> (cons. 20 dicembre 2019).

per missioni lunari robotiche, tra cui un *lander* e una navicella spaziale di *sample return*. Nel 2015 ROSCOSMOS ed ESA hanno annunciato piani congiunti, volti ad unire le forze per costruire un insediamento umano permanente sulla Luna. Il programma congiunto, denominata *Luna 27*, dovrebbe lanciare la sua prima missione entro la metà del 2020⁸¹.

2.3. *Programmi spaziali asiatici.*- Come già accennato, da qualche anno, si è cominciato a parlare di una nuova corsa allo spazio, in particolare, tra Cina e Stati Uniti. Quale potrebbe essere il significato di un simile confronto? Per provare a rispondere a questa domanda, nel presente paragrafo si tenterà di presentare brevemente i programmi lunari della Cina, dell'India e del Giappone, con i loro obiettivi e le possibili ragioni sottese alle attività di esplorazione spaziale.

2.3.1. *Il Programma spaziale cinese.*- Il programma spaziale cinese ha inizio con la nascita della Repubblica Popolare Cinese. Fin dagli anni '50, infatti, il Paese ha investito in modo costante in tecnologie e scienze spaziali, per ragioni che inizialmente erano legate alla sicurezza⁸². Nel 1958 fu realizzato il centro di lancio di *Jiquan* e nel 1970 la Cina riuscì a sviluppare e lanciare il suo primo satellite, con il simbolico nome di *Dongfanghong I* o "L'Est è Rosso".

Fu durante gli anni '90 che, nel contesto della Guerra del Golfo, la Cina capì che le tecnologie spaziali erano diventate fondamentali per le guerre moderne: il bombardamento "erroneo" della NATO all'Ambasciata cinese di Belgrado⁸³, il rischio che gli Stati Uniti si alleassero a Taiwan⁸⁴ e la constatazione della dipendenza dai sistemi satellitari delle forze armate statunitensi⁸⁵ erano delle motivazioni

⁸¹ M. ALIBERTI, K. LISITSYNA, *Russia's Posture in Space: Prospects for Europe*, ESPI/Springer, Vienna 2018, pp. 95 ss.

⁸² D. CHENG, K. MURRAY, *Orbital Dragons: Implications of Chinese Access to Dual-Purpose Space Technologies*, in R. A. WILLIAMSON, *Dual-Purposes Technologies: Opportunities and Challenges for US Policymaking*, Space Policy Institute, Washington DC 2001, p.72.

⁸³ Cfr. I titoli di cronaca del tempo, come ad esempio: V. VANNUCCINI, *Belgrado, pioggia di missili*, Repubblica.it del 18 maggio 1999, <https://www.repubblica.it/online/fatti/cina8/cina8/cina8.html> (19 dicembre 2019).

⁸⁴ Si veda S. PELAGGI, *L'impegno USA al fianco di Taiwan* del 30 ottobre 2018, <https://www.geopolitica.info/impegno-usa-taiwan/> (cons. 19 dicembre 2019).

⁸⁵ Cfr. V. BRIANI, *La sicurezza nello spazio: risvolti italiani e internazionali*, Osservatorio di politica internazionale n. 29 – luglio 2011, https://www.iai.it/sites/default/files/pi_n_0029.pdf (19 dicembre 2019).

formidabili per promuovere l'interesse crescente per lo spazio⁸⁶. La Cina dichiarò il suo interesse specifico per la Luna già nel 2000 con il primo *White Paper* pubblicato dall'Ufficio Informazione del Consiglio Nazionale Cinese⁸⁷. Questo primo *White Paper* (WP), in cui erano enumerati i successi spaziali cinesi dei precedenti 45 anni di attività e le linee guida per i 5 anni seguenti, è stato seguito da altri 3 documenti dello stesso tipo negli anni 2006⁸⁸, 2011⁸⁹ e 2016⁹⁰, consentendo alla Comunità internazionale di venire a conoscenza del complesso programma spaziale cinese. Peraltro, il *White Paper* ha avuto il merito di testimoniare – almeno nell'enunciato letterale – che lo scopo delle attività spaziali cinesi fosse quello di «esplorare lo spazio extra atmosferico e di conoscere il Cosmo e la Terra; utilizzare lo spazio per scopi pacifici, promuovere la civiltà umana e il progresso sociale a beneficio dell'intera umanità; soddisfare le crescenti esigenze di crescita economica, sicurezza nazionale, sviluppo della scienza e della tecnologia, nonché proteggere gli interessi nazionali e costruirne la sua potenza globale»⁹¹. Certamente il *White Paper* non dice nulla – né lo diranno i successivi – del test anti-satellitare cinese (ASAT) del 2007, di cui hanno invece riportato il commento numerosi esperti⁹².

⁸⁶ A. LELE, G. SINGH, *China's White Papers on Space: An Analysis*, IDSA Issue brief, in [http://epizodsspace.airbase.ru/bibl/inostroyazyki/Lele_Singh_China's_White_Papers_on_Space_An_Analysis_IDSA_Issue_Brief_\(20-01-2012\).pdf](http://epizodsspace.airbase.ru/bibl/inostroyazyki/Lele_Singh_China's_White_Papers_on_Space_An_Analysis_IDSA_Issue_Brief_(20-01-2012).pdf), (5 luglio 2019).

⁸⁷ STATE COUNCIL INFORMATION OFFICE, *China's Space Activities White Paper 2000*, <http://www.china.org.cn/e-white/8/index.htm> (cons. 19 dicembre 2019).

⁸⁸ Si veda: CENTRAL PEOPLE'S GOVERNMENT OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA, *China's Space Activities in 2006*, <http://www.china.org.cn/english/2006/Oct/183588.htm> (cons. 19 dicembre 2019).

⁸⁹ CENTRAL PEOPLE'S GOVERNMENT OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA, *China's Space Activities in 2011*, http://english.www.gov.cn/archive/white_paper/2014/08/23/content_281474983043142.htm (cons. 19 dicembre 2019).

⁹⁰ Cfr. CENTRAL PEOPLE'S GOVERNMENT OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA, *Full text of white paper on China's space activities in 2016*, http://english.www.gov.cn/archive/white_paper/2016/12/28/content_281475527159496.htm (cons. 19 dicembre 2019).

⁹¹ CENTRAL PEOPLE'S GOVERNMENT OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA, *China's Space Activities in 2000*, in http://www.gov.cn/english/official/2005-07/27/content_17656.htm (cons. 5 luglio 2019).

⁹² A titolo d'esempio, si cita il lavoro di sintesi prodotto dalla *Secure World Foundation*, che ha evidenziato i tratti salienti della procedura attuata. Cfr. B. WEEDEN, *2007 Chinese Anti-Satellite Test Fact Sheet*, in https://swfound.org/media/9550/chinese_asat_fact_sheet_updated_2012.pdf (cons. 19 dicembre 2019).

Nel *White Paper* del 2000 uno degli obiettivi stabiliti fu orientato allo «svolgimento di uno studio preventivo per l'esplorazione dello spazio extra-atmosferico incentrato sull'esplorazione della Luna»⁹³, nel *White Paper* del 2006 vi era già l'obiettivo di «fare passi avanti nello sviluppo di tecnologie di base per l'esplorazione lunare e sviluppare e lanciare la prima sonda cinese *Chang'e 1* per l'esplorazione delle risorse lunari»⁹⁴. Prima della pubblicazione del terzo *White Paper*, due sonde lunari sono state lanciate con successo: nel 2007, *Chang'e 1* riesce a fare il trasferimento orbitale, così come a recuperare dati scientifici e a fare una mappa della Luna⁹⁵; nel 2010 *Chang'e 2* crea una mappa a più alta risoluzione e ottiene una immagine ad alta risoluzione di *Sinus Iridum*⁹⁶; cinque anni dopo, nel WP del 2011 vengono stabiliti, tra gli obiettivi per il quinquennio 2011-2016, quelli di continuare il progetto della sonda lunare di tre fasi: orbitare, atterrare e rientrare⁹⁷.

A questo punto, occorre chiederci se sono stati la sicurezza, la difesa e la concorrenza con gli Stati Uniti i veri motivi che hanno promosso la creazione di un programma lunare cinese (ovvero il *Chinese Lunar Exploration Program* – CLEP). Come afferma il ricercatore dell'*European Space Policy Institute* (ESPI) di Vienna, *Marco Aliberti*, nel suo studio “*When China goes to the Moon...*”, il nutrito paniere di attori che partecipano alla *governance* spaziale cinese crea una rete molto complessa di rapporti e processi decisionali tale da non rendere possibile un definito inquadramento dei programmi cinesi nelle categorie del programma civile, commerciale o militare.

Per quanto riguarda specificamente le missioni lunari, difficilmente esse sembrano avere una rilevanza militare, ma è anche vero che gli sviluppi tecnologici fatti in tale contesto potrebbero avere un'applicazione di natura duale. Per tale ragione, il “perché la Luna”

⁹³ *Idem*.

⁹⁴ CENTRAL PEOPLE'S GOVERNMENT OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA, *China's Space Activities in 2006*, in http://www.gov.cn/english/2006-10/12/content_410983_3.htm, (cons. 5 luglio 2019).

⁹⁵ Cfr. CHINADAILY.COM, *Lunar probe Chang'e 1 completes 1st orbital transfer*, http://www.chinadaily.com.cn/china/2007-10/25/content_6207541.htm (cons. 21 dicembre 2019).

⁹⁶ Cfr. T. MALIK, *China Unveils Best Moon Map Yet from Lunar Orbiter*, <https://www.space.com/14536-china-moon-map-change-2-images.html> (cons. 21 dicembre 2019).

⁹⁷ CENTRAL PEOPLE'S GOVERNMENT OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA, *China's Space activities in 2011*, in http://www.gov.cn/english/official/2011-12/29/content_2033200_4.htm (cons. 5 luglio 2019).

potrebbe celare una motivazione più complessa e prospettica del semplice voler affermare un sorpasso sugli Stati Uniti o del voler mettere in mostra la capacità militare. Infatti, secondo alcuni esperti, una delle spiegazioni sottese alla reazione del CLEP potrebbe derivare dall'interno del Paese più che dalla concorrenza estera: promuovere l'orgoglio nazionale e tornare a essere la grande nazione di secoli fa, favorendo il "grande ringiovanimento", che dovrebbe avvenire attraverso la creazione di imponenti opere e infrastrutture e l'equiparazione alle grandi potenze mondiali, traendo spunto, se necessario, anche dalla leggenda più amata del popolo cinese: la bella *Chang'e* che, dopo essere diventata immortale, scappa verso la Luna con *Yuru*, il Coniglio di giada⁹⁸.

A livello concreto, tuttavia, il CLEP sarà promotore di iniziative innovatrici e test per nuove tecnologie che potranno avere un impatto rilevante sull'economia cinese e sul suo sviluppo⁹⁹. Allo stesso tempo, il programma lunare potrebbe servire d'ispirazione ai giovani nel momento in cui dovranno scegliere il percorso universitario, promuovendo una crescita della popolazione altamente qualificata. Altro motivo per cui il CLEP appare importante è il suo aspetto industriale, che riguarda la possibilità di sfruttamento delle risorse minerarie della Luna¹⁰⁰.

Per quanto riguarda il contesto delle relazioni internazionali, sembra ragionevole sostenere, come afferma Marco Aliberti, che «[...] lo scopo non è mai stato quello di raggiungere o superare le principali potenze spaziali, ma evitare di restare indietro»¹⁰¹. La Cina è ormai entrata nel gruppo dei Paesi con più lanci effettuati, insieme agli Stati

⁹⁸ Cfr. A. SONATO, *La conquista della Luna da parte della Cina. Tra cultura, programmi e obiettivi*, <https://ilbolive.unipd.it/it/news/conquista-luna-parte-cina-cultura-programmi> (cons. 21 dicembre 2019).

⁹⁹ Cfr. V. SAGAR REDDY, *China's Manned Lunar Ambitions: Strategic Imperatives and Implications*, Observer Research Foundation 162 (2016), https://www.orfonline.org/wp-content/uploads/2016/11/ORF_IssueBrief_162_ChinaLunar.pdf (cons. 21 dicembre 2019).

¹⁰⁰ Il Progetto *Lunar Probe* sostiene che ci siano circa un milione di tonnellate di Elio-3 sulla superficie della Luna che potrebbero soddisfare la domanda di energia dell'umanità. Sulla Terra sono disponibili solo poco più di 10 tonnellate di Elio-3. [...] Sembra che la Cina, oltreché l'India e il Giappone, abbiano avviato il processo di identificazione, sperimentazione e analisi dell'efficacia dell'estrazione di risorse sulla Luna. Tuttavia, potrebbero essere necessarie altre tre o quattro decadi per trasportare effettivamente questa risorsa dalla Luna alla Terra. In A. SONATO, *La conquista della Luna da parte della Cina. Tra cultura, programmi e obiettivi*, <https://ilbolive.unipd.it/it/news/conquista-luna-parte-cina-cultura-programmi> (cons. 21 dicembre 2019).

¹⁰¹ M. ALIBERTI, *When China goes to the Moon...*, Springer, New York Dordrecht London 2015, p. 56.

Uniti e alla Russia e si trova ben avanti rispetto a “colleghi” asiatici, quali India e Giappone, facendo capire che è più interessata a promuovere la cooperazione nello spazio che a partecipare alla *space race*. La cooperazione spaziale potrebbe servire, non solo per condividere i costi del programma lunare, ma anche per far sì che la Cina si presenti come un affidabile *partner* economico, commerciale e politico. Una dimostrazione di questo atteggiamento pro-cooperazione è stata la creazione nel 1992, a Pechino, della APSCO (*Asia Pacific Space Cooperation Organisation*), un’organizzazione intergovernativa composta da Bangladesh, Indonesia, Iran, Mongolia, Pakistan, Perù e Thailandia. Organizzazione, in cui, tuttavia, vi sono due grandi assenti della regione: India e Giappone.

Un altro esempio di cooperazione vincente della Cina è stata la missione *Chang’e-4* nel 2018, alla quale hanno partecipato tre Paesi dell’ESA e l’Arabia Saudita, al fine di trasportare un carico utile di 10 kg. «La cooperazione internazionale è il futuro dell’esplorazione lunare, i Paesi partecipanti divideranno costi, rischi e risultati e impareranno gli uni dagli altri, speriamo di avere più cooperazione internazionale» ha affermato Wu Weiren, Chief Designer del CLEP¹⁰².

Vi è stato anche un tentativo di collaborazione tra CNSA e NASA per la missione *Chang’e-4*¹⁰³, in cui l’Agenzia Spaziale Italiana (ASI), ha giocato un ruolo di mediazione per portare a bordo un retro-riflettore italiano. Purtroppo, l’accordo non si è mai concluso perché alla NASA non è stato permesso di collaborare con la Cina.

Sulla base di quanto riportato fin qui, sembra proprio che, sia Stati Uniti che Cina, vogliano affermare la rispettiva *leadership* nello spazio, pur con modalità diverse: mentre l’approccio statunitense è per certi versi muscolare¹⁰⁴, quello della Cina appare più diplomatico perché più aperto alla collaborazione con tutti i paesi, in particolare

¹⁰² CHINA NATIONAL SPACE ADMINISTRATION, *China welcomes world's scientists to collaborate in lunar exploration*, 15 gennaio 2019, in <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6805232/content.html> (cons. 5 luglio 2019).

¹⁰³ E. RICCI, *La Cina sulla Luna, tra esplorazione, tecnologia e politica*, in *Le Scienze*.it del 4 gennaio 2019, http://www.lescienze.it/news/2019/01/04/news/chang_e-4_luna_sbarco_cina_politiche_spaziali_usa_russia-4246110/ (cons. 21 dicembre 2019).

¹⁰⁴ Si veda, ad esempio, quanto sta avvenendo in tema di politica immigratoria negli Stati Uniti. Cfr. THE GUARDIAN, *Rumors of Trump green card rule impact benefits for immigrant families*, <https://www.theguardian.com/us-news/2019/aug/16/rumors-of-trump-rule-forced-thousands-of-immigrants-to-cancel-vital-benefits> (cons. 19 dicembre 2019).

con i Paesi emergenti ¹⁰⁵. In tale direzione, la Cina ha recentemente firmato un accordo con l'Ufficio degli Affari Spaziali delle Nazioni Unite (UN-OOSA), al fine di permettere ai Paesi in via di sviluppo di accedere all'esplorazione spaziale, cominciando con l'ospitare *payload* a bordo della Stazione spaziale cinese. ¹⁰⁶

A prescindere dalla concorrenza tra Cina e Stati Uniti, comunque, i programmi spaziali cinesi e i loro rapidi sviluppi non sono passati inosservati ai vicini regionali, come India e Giappone, che hanno dovuto modificare le loro strategie, a fronte della significativa avanzata del colosso cinese.

2.3.2. *Il Programma spaziale indiano.*- La politica spaziale indiana, sin dagli anni '70, è sempre stata orientata allo sviluppo di infrastrutture per scopi socioeconomici, contro ogni interesse apparente all'esplorazione. A tal riguardo, *Vikram Ambalal Sarabhai*, considerato il padre fondatore del programma spaziale indiano, affermava: «*There are some who question the relevance of space activities in a developing nation. To us, there is no ambiguity of purpose. We do not have the fantasy of competing with the economically advanced nations in the exploration of the moon or the planets or manned spaceflight. [...] But we are convinced that if we are to play a meaningful role nationally, and in the community of nations, we must be second to none in the application of advanced technologies to the real problems of man and society*»¹⁰⁷. Tuttavia, dopo la messa in orbita del primo taikonauta cinese nel 2003 e del test anti-satellitare cinese nel 2007, la politica spaziale indiana ha subito un cambiamento sostanziale, mettendo in evidenza che gli Stati Uniti

¹⁰⁵ Cfr. THE WASHINGTON POST, *Another front in the tensions between the US and China: Space*, <https://www.washingtonpost.com/technology/2019/07/26/another-front-tensions-between-us-china-space/> (cons. 19 dicembre 2019), G. AUTRY, S. KWAST, *America Is Losing the Second Space Race to China*, <https://foreignpolicy.com/2019/08/22/america-is-losing-the-second-space-race-to-china/> (cons. 19 dicembre 2019).

¹⁰⁶ L'*Announcement of Opportunity* fu aperto nel maggio 2018 e vennero presentate 42 proposte di cui 9 superarono la selezione: 6 in modo totale e 3 in modo condizionale. Hanno partecipato alla concretizzazione delle proposte la Svizzera, la Polonia, la Germania, l'India, la Russia, il Belgio, il Giappone, la Norvegia, i Paesi Bassi, il Perù, la Spagna, il Messico, l'Arabia Saudita, l'Italia, il Kenia. Si veda, UNOOSA, CMS, *Selected Experiment Projects to be executed on board the CSS for the 1st Cycle*, in http://www.unoosa.org/documents/doc/psa/hsti/CSS_1stAO/1stAO_FinSelResults.pdf (cons 8 luglio 2019).

¹⁰⁷ INDIAN SPACE RESEARCH ORGANIZATION, *Dr. Vikram Ambalal Sarabhai (1963-1971)*, in <https://www.isro.gov.in/about-isro/dr-vikram-ambalal-sarabhai-1963-1971> (cons. 5 luglio 2019).

non sono l'unica nazione per la quale l'entrata della Cina nel *club* dei Paesi spaziali rappresenta un motivo di competizione e una sfida, oltre che suscitare grandi preoccupazioni.

Pertanto, la politica spaziale indiana ha subito un'accelerazione e un'importante riorganizzazione, con un aumento rilevante di lanci programmati e di *budget* assegnato, così come una differenziazione nelle applicazioni e nelle tecnologie, al fine di realizzare programmi orientati a beneficio della società civile, ma anche a scopi di sicurezza militare¹⁰⁸.

Non a caso, nel suo discorso per la festa dell'Indipendenza del 2018, il Primo Ministro, *Narendra Modi*, ha affermato che l'India «ha deciso di inviare nello spazio un veicolo spaziale con equipaggio entro il 2022. L'India sarà il quarto Paese a farlo»¹⁰⁹ e ancora nel Marzo 2019 l'India è riuscita a fare un test anti satellite che l'ha inserita tra i 4 paesi al mondo a possedere questa capacità, dopo Stati Uniti, Russia e Cina¹¹⁰. Per un Paese molto attento a presentarsi come una nazione pacifica e responsabile, il test ASAT segna un significativo cambiamento nella politica indiana¹¹¹.

Un'importante area di nuovo interesse indiano, nell'ultimo decennio, è stata l'esplorazione spaziale, ed essendo la Luna il corpo celeste più vicino al pianeta Terra, serve da «banco di prova per dimostrare le tecnologie necessarie per le missioni nello spazio profondo»¹¹². Inoltre, una spedizione sul suolo lunare permetterebbe di studiare gli inizi della Terra e le origini del satellite terrestre.

Ad oggi, il programma lunare indiano si è sostanzialmente in due missioni: *Chandrayaan-1* e *Chandrayaan-2*. *Chandrayaan-1*, la prima missione lunare dell'India, è stata lanciata con successo il 22 ottobre

¹⁰⁸ M. ALIBERTI, N. PRASAD, *Europe-India Space cooperation: Policy, Legal and Business Perspectives from India*. ESPI/ORF. Report 69, April 2019, p. 6, in <https://espi.or.at/publications/espi-public-reports/category/2-public-espi-reports> (cons. 5 luglio 2019).

¹⁰⁹ PRESS INFORMATION BUREAU, GOVERNMENT OF INDIA, PRIME MINISTER'S OFFICE, *PM's Independence Day Speech 2018- Highlights in English*, in <http://pib.nic.in/newsite/PrintRelease.aspx?relid=181918>, (cons. 5 luglio 2019).

¹¹⁰ B. WEEDEN, V. SAMSON, *Op-ed | India's ASAT test is wake-up call for norms of behavior in space*, <https://spacenews.com/op-ed-indias-asat-test-is-wake-up-call-for-norms-of-behavior-in-space/> (cons. 19 dicembre 2019).

¹¹¹ N. GOSWAMI, P. GARRETSON, *Critical Shifts in India's Outer Space Policy*, in *The Diplomat*, 16 aprile 2019, in <https://thediplomat.com/2019/04/critical-shifts-in-indias-outer-space-policy/>, (cons. 5 luglio 2019).

¹¹² DEPARTMENT OF SPACE. INDIAN SPACE RESEARCH ORGANIZATION, *Chandrayaan 2, Expanding the boundaries of human knowledge*, in <https://www.isro.gov.in/chandrayaan2-home-0>, (cons. 5 luglio 2019).

2008. Il satellite ha orbitato intorno alla Luna ad un'altezza di 100 km dalla sua superficie per la mappatura chimica, mineralogica e fotogeologica del satellite terrestre. La sonda ha trasportato undici strumenti scientifici costruiti in India, Stati Uniti, Regno Unito, Germania, Svezia e Bulgaria. Dopo il completamento con successo di tutti i principali obiettivi della missione, l'orbita è stata portata a 200 km nel maggio 2009. Il satellite ha fatto più di 3400 orbite intorno alla Luna e la missione si è conclusa quando la comunicazione con il veicolo spaziale è stata persa il 29 agosto 2009¹¹³.

Chandrayaan-2, invece, è stato lanciato il 22 luglio 2019. L'obiettivo della missione era quello di posarsi sulla superficie lunare, dopo il sovietico *Luna 1* che aveva toccato il suolo lunare nel 1959, l'americano *Ranger 4* che lo aveva fatto nel 1962 e la missione cinese *Chang'e 3*, arrivata sulla Luna nel 2013. Con questo intento il *lander Vikram*, chiamato così come il padre del programma di ricerca spaziale indiano, avrebbe portato con sé il *rover Pragyan*, dalla parola in sanscrito che significa "saggezza", destinato a esplorare la zona intorno al sito dell'allunaggio per 14 giorni terrestri. La manovra decisiva per la discesa sul suolo lunare è avvenuta come previsto e la discesa sembrava procedere secondo i programmi, quando il centro di controllo della missione a *Bengaluru* ha improvvisamente perso i contatti con il *lander*. Purtroppo, sebbene la discesa del *lander Vikram* è iniziata come pianificato, le animazioni basate sulla telemetria proiettate nella sala di controllo hanno mostrato che il *lander* ruotava su sé stesso e si allontanava in modo significativo dalla traiettoria prevista¹¹⁴: *Chandrayaan 2* si è schiantato al suolo. Ora ISRO sta già lavorando alla missione *Chandrayaan 3* che sarà lanciato il prossimo novembre 2020. L'allunaggio dovrebbe avvenire nella stessa area in cui è avvenuto l'impatto disastroso della *Chandrayaan 2*.

Dunque, come si presenta l'India sullo scenario internazionale? Dalla prima missione lunare *Chandrayaan-1*, la sonda indiana ha imbarcato *payload* di altri Paesi (Stati Uniti, Regno Unito, Germania, Svezia e Bulgaria), dimostrando la capacità di realizzare un progetto sostenibile di cooperazione internazionale. Per quanto riguarda il suo rapporto con la Cina, ISRO e CNSA hanno un accordo sottoscritto nel

¹¹³ Cfr. DEPARTMENT OF SPACE, INDIAN SPACE RESEARCH ORGANISATION, *Chandrayaan-1*, <https://www.isro.gov.in/Spacecraft/chandrayaan-1> (cons. 19 dicembre 2019).

¹¹⁴ R. MASTRI, *Fallito l'allunaggio del lander della missione indiana Chandrayaan-2*, <https://www.astronautinews.it/2019/09/fallito-lallunaggio-del-lander-della-missione-indiana-chandrayaan-2/> (cons. 19 dicembre 2019).

2015 con il quale si impegnano a condurre congiuntamente studi di esplorazione lunare e di spazio profondo, così come la possibilità di ospitare *payload* indiani a bordo della missione lunare cinese *Chang'e-4*¹¹⁵. Peraltro, l'India potrebbe essere ospitata a bordo anche della stazione spaziale cinese per eventuali studi e ricerche.

2.3.3. Il Programma spaziale giapponese. - La storia spaziale del Giappone inizia nel 1954, quando un gruppo di ricercatori dell'Università di Tokyo inizia a lavorare alla costruzione di un razzo "matita" (di soltanto 200 grammi e 23 cm di lunghezza)¹¹⁶. Questo gruppo di ricerca divenne il primo nucleo dell'Istituto di Scienze aeronautiche e spaziali (ISAS), fondato poi nel 1964 presso la stessa Università e, nel 1970, contribuì al lancio del primo satellite giapponese. È utile notare che fin dalle sue origini, la politica spaziale giapponese, per motivi legati agli esiti del secondo conflitto mondiale, ha avuto un programma spaziale esclusivamente civile, lontano dagli usi militari. Nel 1969, infatti, la Dieta Nazionale adottò una risoluzione in cui affermava che lo sviluppo spaziale sarebbe stato usato per soli scopi pacifici, assimilando l'interpretazione della parola "scopi pacifici" a quella di "non militari", invece di "non aggressivi", come l'interpretazione della maggior parte degli altri Paesi¹¹⁷. Questo è stato anche il motivo per cui la politica spaziale giapponese, a partire dagli anni Novanta, si è concentrata sul programma di ricerca e sviluppo, nonché sulle missioni scientifiche e di esplorazione.

L'Agenzia giapponese di Esplorazione Aerospaziale (JAXA) è nata nel 2003 dall'unione di ISAS, del Laboratorio Nazionale Aero-spaziale (NAL) e dell'Agenzia Nazionale di Sviluppo Spaziale (NASDA), allo scopo di fornire un supporto generale al Governo giapponese nello sviluppo e nell'uso dello spazio extra-atmosferico. Cinque anni dopo, nel 2008, la Dieta approvò la *Basic Space Law* che stabilì i seguenti indirizzi che avrebbero caratterizzato le politiche spaziali nipponiche: 1) l'uso pacifico dello spazio, 2) il miglioramento

¹¹⁵ MINISTRY OF EXTERNAL AFFAIRS, GOVERNMENT OF INDIA, *2015-2020 Space Cooperation Outline between the Indian Space Research Organisation of the Republic of India and the China National Space Administration of the People's Republic of China*, <http://www.mea.gov.in/Portal/LegalTreatiesDoc/CH15B2096.pdf> (cons. 8 luglio 2019).

¹¹⁶ Cfr. K. FURUKAWA, *Ma il Giappone non decolla*, <http://www.limesonline.com/cartaceo/ma-il-giappone-non-decolla?prv=true> (cons. 20 dicembre 2019).

¹¹⁷ Cfr. R. ROSANELLI, *Le attività spaziali nelle politiche di sicurezza e difesa*, in Quaderni IAI, Ed. Nuova Cultura, Roma 2011, p. 119-120.

della vita quotidiana dei cittadini giapponesi, 3) lo sviluppo dell'industria spaziale; 4) l'accrescimento delle conoscenze scientifiche, 5) la promozione della cooperazione internazionale, 6) l'attenzione per le politiche ambientali¹¹⁸. Sulla scorta di tale atto normativo, è stato poi approvato lo *Space Basic Plan* del 2009, aggiornato nel 2013 e nel 2015.

Attualmente, tuttavia, uno dei principali problemi politici giapponesi è il deterioramento della situazione di sicurezza legata alla penisola coreana¹¹⁹, così come l'avanzata della Cina nel Mar Cinese Meridionale¹²⁰. Questi nuovi eventi hanno avuto un impatto rilevante anche sul programma spaziale nazionale al punto che, nel dicembre 2017, il Ministero della Difesa ha annunciato la creazione di un Centro di comando per affrontare le minacce nello spazio, del *cyberspazio* e della guerra elettronica¹²¹.

Un esempio della crescente preoccupazione relativa alla sicurezza regionale è dato dal rafforzamento dell'alleanza del Giappone con gli Stati Uniti, tramite la sicurezza integrata (aerea, marittima, terrestre e spaziale) con la condivisione di infrastrutture spaziali – come la piena interoperabilità e la compatibilità tra il sistema di navigazione satellitare giapponese *Quasi-Zenith Satellite System* (QZSS) e quello USA GPS – e la condivisione dei dati di osservazione della Terra dei satelliti giapponesi della costellazione *Information Gathering Satellites* (IGS): nel corso del 2018 il Giappone ha lanciato i satelliti *IGS Radar-6* e *IGS Optical-6*¹²².

¹¹⁸ Cfr. Y. KOMIZO, *Japanese Space Policy – Basic Space Law*, COPUOS Lega Subcommittee 48th Session, <https://www.unoosa.org/pdf/pres/lsc2009/pres-09.pdf> (cons. 21 dicembre 2019).

¹¹⁹ Cfr. A. PANDA, analista esperto di cose asiatiche, ha scritto sul *South China Morning Post* che «*What we are witnessing today in northeast Asia is the possible origin of a new reality where South Korea and Japan begin to openly see each as adversaries [...] They're not quite enemies, but they're certainly not friends*». Si veda A. PANDA, *Can China take advantage of rift between South Korea and Japan?*, <https://www.scmp.com/news/china/diplomacy/article/3026208/can-china-take-advantage-rift-between-south-korea-and-japan> (cons. 21 dicembre 2019).

¹²⁰ Per un'analisi puntuale sulle pretese della Repubblica Popolare Cinese nel Mar Cinese Meridionale, si veda L. TERMINE, *La dottrina militare di Pechino nel Mar Cinese Meridionale*, Mondopoli. Sguardi sul mondo. Portale di geopolitica ed economia internazionale, 24 gennaio 2019, <http://www.mondopoli.it/2019/01/24/la-dottrina-militare-di-pechino-nel-mar-cinese-meridionale/> (cons. 21 dicembre 2019).

¹²¹ Cfr. THE JAPAN TIMES, *Japan to set up command centre to address threats in space and cyberspace*, <https://www.japantimes.co.jp/news/2017/12/18/national/japan-set-command-center-address-threats-space-cyberspace/#.XgY2qkdKjIU> (cons. 21 dicembre 2019).

¹²² Cfr. V. LA REGINA, *Rischi, minacce e tendenze evolutive nell'uso militare dello spazio: aspetti di interesse per l'Italia*, Centro Militare Studi Strategici, Roma 2017, p. 22.

Sulla base di quanto detto, giova osservare che il sistema spaziale giapponese e la relativa *governance* sono profondamente cambiati nell'ultimo decennio. L'indirizzo strategico per le attività spaziali è dato da uno *Strategic Headquarters for Space Policy* sotto il coordinamento del Primo Ministro a cui fanno riferimento i diversi Ministeri interessati alle attività spaziali¹²³.

La trasformazione ha riscontrato un tentativo di adeguamento del sistema spaziale giapponese, da un lato, alle esigenze derivanti dalla difesa nazionale, dall'altro, al necessario sviluppo economico, attraverso una massiccia promozione dell'industria nazionale per il raggiungimento di uno sviluppo tecnologico autonomo, anche per mezzo della creazione di nuove applicazioni IT atte a migliorare la qualità della vita.

Per quanto riguarda, nello specifico, l'esplorazione lunare, il Giappone ha lanciato il suo programma "*SELenological and ENGINEERING Explorer -KAGUYA- (SELENE)*" nel 2007, mettendo in orbita una coppia di piccoli satelliti che hanno affiancato l'*orbiter* principale, contribuendo così notevolmente alla mappatura delle anomalie gravitazionali della Luna¹²⁴. La missione SELENE – KAGUYA ha contribuito allo studio dell'intera superficie lunare per ottenere informazioni sulla sua composizione elementare e mineralogica, la sua geografia, la sua superficie e la sua struttura sub-superficiale, il resto del suo campo magnetico e il suo campo di gravità. Il Giappone considera la cooperazione internazionale un obiettivo di grande importanza, come previsto dalla *Basic Space Law*. È inoltre importante ricordare la lunga collaborazione tra il Giappone e gli Stati Uniti¹²⁵: nel 1984 il Giappone ha deciso di partecipare al programma della stazione spaziale *Alpha* ed è stato l'unico Paese asiatico a partecipare alla Stazione Spaziale Internazionale (ISS) con lo sviluppo del laboratorio sperimentale giapponese, KIBO¹²⁶. Il 18 ottobre 2019 l'ufficio del Primo Ministro, *Shinzō Abe*, ha dichiarato che il governo aveva deciso che il paese avrebbe aderito al Programma ARTEMIS della NASA. Nello

¹²³ Cfr. Y. KOMIZO, *Japanese Space Policy – Basic Space Law*, COPUOS Lega Subcommittee 48th Session, <https://www.unoosa.org/pdf/pres/lsc2009/pres-09.pdf> (cons. 21 dicembre 2019).

¹²⁴ Cfr. Introduzione sull'analisi storica della corsa alla Luna di E. SALGARI, *Alla conquista della Luna*, CliQuot, Roma 2014.

¹²⁵ Cfr. R. ROSANELLI, *Le attività spaziali nelle politiche di sicurezza e difesa*, p. 118.

¹²⁶ Si veda JAXA.JP, *Japanese Experiment Module (Kibo)*, <http://iss.jaxa.jp/en/kibo/> (cons. 21 dicembre 2019).

stesso mese a Washington, la JAXA ha firmato un accordo con la NASA per collaborare alla realizzazione del *Gateway*.

Il Giappone è stato anche uno dei promotori del Forum Regionale delle Agenzie dell'Asia-Pacifico (APRSAF), a cui partecipano anche Cina e India¹²⁷. Nel 2018 la JAXA ha annunciato la firma di accordi con il CNES francese e il Centro aerospaziale tedesco (DLR) per il programma *Mars Moon eXploration (MMX)*¹²⁸, ancora in fase di studio. Infine, nel 2018 il Giappone ha ospitato, dopo l'Italia e gli Stati Uniti, l'*International Space Exploration Forum (ISEF)* a livello governativo per approfondire le tematiche relative all'esplorazione spaziale.

2.3.4. *Alcune riflessioni sui programmi spaziali lunari asiatici.* - I tre Paesi fin qui esaminati hanno iniziato a condurre le loro prime attività spaziali quasi dagli inizi dell'era spaziale: la Cina nel 1958 inaugurò il suo primo Centro di lanci, nel 1955 in Giappone venne sviluppato il primo razzo, nel 1969 l'India fondò la sua Agenzia per la ricerca spaziale. Mentre il Giappone e l'India svilupparono i loro programmi spaziali a scopi non-militari e focalizzati sul benessere da apportare alla società civile, la realizzazione del programma cinese è avvenuto in modalità duale, nella compresenza di finalità scientifiche e commerciali con quelle militari e di sicurezza.

È già stato evidenziato come la Cina, spesso percepita quale diretta rivale degli Stati Uniti, abbia assunto, invece, un atteggiamento diverso nell'elaborazione del suo programma lunare: non volto a prendere parte ad una corsa spaziale con gli americani, ma teso a non rimanere indietro rispetto ai vicini di casa dell'Asia e del Pacifico.

Pertanto, cosa sta accadendo tra i Paesi asiatici con programmi lunari? Possiamo affermare con sufficiente sicurezza che sia in atto tra di loro una corsa allo spazio?

Come affermato da *Kazuko Suzuki*, Professore della Hokkaido University Public Policy School: «It can be said that the planetary exploration programs in Asia are driven by their own internal policy logics rather than the aspiration of winning the space race. The name of the game for planetary exploration is not who reaches the Moon or

¹²⁷ Cfr. OBSERVER RESEARCH FOUNDATION, *Asia in space: Cooperation or conflict?* <https://www.orfonline.org/research/asia-in-space-cooperation-or-conflict-44890/> (cons. 21 dicembre 2019).

¹²⁸ Si veda K. HEBDEN, *JAXA, DLR to cooperate on Martian moons mission*, <https://room.eu.com/news/jaxa-dlr-to-cooperate-on-martian-moons-mission> (cons. 21 dicembre 2019).

Mars orbit first, but to satisfy space community while pursuing different sets of goals based on their national policy logics»¹²⁹.

Da un altro lato, *Marco Aliberti*, riprendendo l'analisi effettuata da Suzuki, ha osservato come l'attuale contesto intra-asiatico sia molto diverso dall'antagonismo che imperava tra gli Stati Uniti e la Russia all'inizio dell'era spaziale: questi ultimi, infatti, hanno portato nello spazio uno scontro geopolitico "terrestre" e si sono affrontati in tre campi specifici e interconnessi: 1) il prestigio e la superiorità ideologica; 2) lo sviluppo di un *hard power*, ovvero di tecnologie e di capacità che danno una reale superiorità strategica e tattica; 3) la fornitura di servizi e di applicazioni spaziali ai civili e agli alleati¹³⁰.

Possiamo, dunque, affermare che lo scopo dell'esplorazione lunare cinese risponde ad una logica di autonomia/orgoglio nazionale verso un primato scientifico, mentre il programma spaziale indiano sembra essere guidato da logiche di sviluppo tecnologico infrastrutturale, oltre che da obiettivi scientifici; il programma giapponese, invece, risponde ormai sempre più a motivi di sicurezza¹³¹, al di là degli impatti scientifici ed economici.

Chiaramente, l'attuale realtà geopolitica è molto differente dallo scenario della Guerra Fredda e non avrebbe senso cercare di applicare il vecchio modello della corsa allo spazio, al presente contesto asiatico. Non solo il bipolarismo ha ceduto il passo al multipolarismo, ma al piccolo *Club* di Paesi con capacità spaziali e al numero esiguo di agenzie spaziali, si sono aggiunti una molteplicità di attori spaziali (non solo statali) e una proliferazione di istituzioni preposte alle politiche spaziali. D'altra parte, l'attuale globalizzazione economica ha diffuso

¹²⁹ 19) K. SUZUKI. *Space Policies of Japan, China and India, Comparative Logic Analysis*, Article of 31 March 2019, p. 63, in https://pdfs.semanticscholar.org/35e5/d868d2b44da3762fc8271ab98a6d5f28b406.pdf?_ga=2.169612897.1957263340.1577472630-970289159.1577472630 (cons. 5 luglio 2019).

¹³⁰ M. ALIBERTI, *When China goes*, p. 196.

¹³¹ SUZUKI parla di sette logiche politiche diverse per spiegare i motivi sottesi alle politiche spaziali: 1) la logica della scienza, ciò è l'impegno che devono avere i governi nell'esplorazione con lo scopo di portare avanti i confini della scienza per tutta l'umanità, 2) la logica della tecnologia, nel senso di sviluppare i razzi, lanciatori e astronavi più avanzati con la consapevolezza che questo porterà a sviluppi tecnologici in altre aree come l'industriale, la commerciale oppure la sicurezza, 3) la logica del commercio e la logica dell'industria dove i principali interessati sono le aziende spaziali, l'industria per gli utenti, gli azionisti, assicurazioni, finanziari, etc; 4) la logica dell'autonomia, ciò è la capacità di essere autosufficiente sia nel campo delle scienze, degli sviluppi tecnologici, competitività commerciale, etc, ed è molto collegata all'orgoglio nazionale, 5) la logica dell'infrastruttura, specialmente rilevante per i Paesi con popolazioni di grande dimensione e bassi livelli di infrastrutture di terra come nel caso della Cina e India, e 6) la logica delle finanze che serve a limitare le spese fatte per gli sviluppi spaziali. K. SUZUKI. *Space Policies of Japan, China and India*, pp. 51 ss.

informazioni, tecnologie e investimenti, favorendo, paradossalmente, la cooperazione internazionale e spaziale. L'attuale comunità spaziale è multinazionale: utilizza tecnologie provenienti da più Paesi e vende i suoi prodotti e servizi in tutto il mondo¹³².

In conclusione, è importante sottolineare che la competizione spaziale può sempre essere un guadagno globale, poiché, come abbiamo visto, i diversi programmi lunari hanno obiettivi diversi (nonostante alcune coincidenze): la Cina è stata il primo Paese ad atterrare sul lato nascosto della Luna, l'India è riuscita a trovare prove dell'esistenza di acqua, mentre il Giappone ha scoperto il luogo che potrebbe diventare la base d'appoggio per i futuri astronauti.

2.4. Il Programma spaziale di Israele. - L'Agenzia spaziale israeliana (ISA) è stata fondata nel 1983 per realizzare i programmi spaziali civili a carattere scientifico e tecnologico che possono avere un reale impatto economico e sociale a beneficio della società, contribuendo anche al posizionamento internazionale di Israele tra i Paesi spaziali¹³³.

Nel 1988 Israele è stato l'ottavo Paese al mondo a lanciare e posizionare con successo un satellite nello spazio, nonostante abbia dovuto affrontare sfide connesse alla sicurezza e alla carenza di risorse finanziarie¹³⁴. Queste necessità hanno portato il Paese a concentrarsi sulla miniaturizzazione della tecnologia e, dunque, sullo sviluppo di satelliti piccoli e leggeri con capacità di telerilevamento ad alta risoluzione. Israele è attualmente considerato un *leader* mondiale in questo settore: un piccolo Paese dotato di un elevato potenziale tecnologico anche nel settore spaziale¹³⁵.

Per quanto riguarda il programma lunare, il caso di Israele è diverso dagli esempi sopra menzionati, in quanto lo sviluppo del programma è stato effettuato da un ente privato e *no profit*, *SpaceIL*, creato nel 2011 con il solo scopo di portare una sonda sulla Luna. *SpaceIL*, infatti, aveva partecipato nel 2011 al concorso promosso da

¹³² Cfr. J. C. MOLTZ, *Asia's Space Race. National motivations, regional rivalries and international risks*, Columbia University Press, Columbia 2012, p. 14.

¹³³ Cfr. ISRAEL SPACE AGENCY. MINISTRY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, *About the Israel Space Agency*, <https://www.space.gov.il/en/About> (cons. 21 dicembre 2019).

¹³⁴ Cfr. D. PAIKOWSKY, R. LEVI, I. BEEN ISRAEL, *Israel's Space Strategy*, in E. SADEH, *Space Strategy in the 21st Century: Theory and Policy*, Routledge ed., Oxon New York 2013, pp. 322 ss.

¹³⁵ Cfr. *Ibidem*, p. 329.

Google Lunar X Prize, creato per promuovere l'accesso alla Luna a basso costo¹³⁶.

Nonostante *SpaceIL* sia riuscito a firmare un contratto di lancio nel 2015 e sia stato tra i 5 finalisti nel 2017, la competizione ha subito una variazione nel 2018, quando Google, il 5 aprile di quell'anno, ha annunciato che l'iniziativa si sarebbe trasformata in una gara senza premio in denaro. Nonostante tale novità, i fondatori di *SpaceIL* decisero di andare avanti nel tentativo di completare la missione ed ispirare le future generazioni, così come fece il programma *Apollo*, grazie anche al sostegno delle *Israel Aerospace Industries (IAI)* e del contributo dell'Agenzia spaziale israeliana.

Il 21 febbraio 2019 *SpaceIL* ha lanciato con successo, tramite un veicolo *Falcon 9* di *Space X*, il suo *lander Bereshit*¹³⁷. La sonda *Bereshit* che trasportava una "capsula del tempo" digitale, contenente più di 30 milioni di pagine di dati, tra cui una copia in inglese di *Wikipedia*, una della Torah, alcuni disegni di bambini, le memorie di un superstite dell'Olocausto, l'inno nazionale israeliano (*Hatikvah*), la bandiera di Israele e una copia della Dichiarazione d'indipendenza israeliana. *Bereshit* avrebbe dovuto allunare nel Mare della Tranquillità l'11 aprile, ma invece di un morbido allunaggio, la sonda si è schiantata sulla superficie del satellite terrestre dopo aver inviato un *selfie* con due frasi: in ebraico "*Am Yisrael Chai*" (il popolo d'Israele vive) e in inglese "*Un piccolo Paese, grandi sogni*"¹³⁸.

La vicenda della sonda israeliana fa riflettere su alcuni elementi. Sul sito *web* della fondazione *XPRIZE*¹³⁹, nella pagina del concorso, c'è il motto dello stesso "*La nuova corsa allo spazio*" – che dà per scontato l'oggetto di questa gara. Altro elemento di riflessione è che la Luna sembrava essere "il regno d'approdo" solo degli Stati e non dei

¹³⁶ Il *Google Lunar X Prize* offriva 30 milioni di dollari di premio alla prima squadra privata che sarebbe riuscita a far atterrare sulla Luna un *rover* a guida autonoma. Il *rover* avrebbe dovuto percorrere almeno 500 metri e trasmettere immagini e video in alta definizione come prova del riuscito allunaggio. Per maggiori informazioni, si veda: GOOGLE LUNAR X PRIZE, *The New Space Race*, <https://lunar.xprize.org/prizes/google-lunar> (cons. 21 dicembre 2019).

¹³⁷ Si veda E. GIBNEY, *Il primo lander privato e la nuova corsa alla Luna*, http://www.lescienze.it/news/2019/02/23/news/primi_lander_privato_corsa_luna-4306148/ (cons. 21 dicembre 2019).

¹³⁸ Cfr. S. LINDE, *Israel's journey to the moon is not over*, The Jerusalem Post, 5 March 2019, <https://www.jpost.com/Jerusalem-Report/Israels-journey-to-the-moon-is-not-over-588592> (cons. 21 dicembre 2019).

¹³⁹ Cfr. XPRIZE.ORG, *XPRIZE Foundation Awards \$1 Million 'Moonshot Award' To SpaceIL* <https://www.xprize.org/articles/xprize-awards-1m-moonshot-award-to-spaceil> (cons. 24 dicembre 2019).

privati, invece, la sonda israeliana è stata la prima sonda ad orbitare attorno alla Luna e la prima ad essere stata realizzata e finanziata da una società privata.

CAPITOLO 3

I RETROSCENA DELLO SVILUPPO TECNOLOGICO

I numerosi programmi lunari fin qui analizzati dimostrano che una certa competizione per raggiungere il nostro satellite naturale è ormai in corso. Abbiamo visto quali sono i Paesi che si contendono il primato di arrivarci e cosa li spinge a fare ciò. Nel presente capitolo verrà analizzato ciò che c'è a monte della capacità tecnologica che rende possibile la realizzazione e la sostenibilità di tali programmi.

La prima corsa allo spazio è nata dall'ambizione di Stati Uniti e Unione Sovietica di affermare la propria superiorità tecnologica e militare e, dunque, ideologica, ma dopo 50 anni, in un mondo dove sempre più attori vogliono dimostrare le loro capacità tecnologiche, lo spazio è diventato più che mai «un centro di gravità economico, politico, militare e culturale»¹⁴⁰. Essere tecnologicamente indipendenti, ovvero possedere un sistema spaziale il più possibile completo, è sinonimo di grande prestigio nazionale e determinazione per affermare la propria *leadership* politica ed economica. Tutto ciò funge anche come deterrente da possibili minacce interne ed esterne. Peraltro, un alto livello di sviluppo tecnologico è volano di sviluppo economico, di solidità, dinamicità e competitività industriale.

Quali sono, dunque, le ragioni strategiche e politiche alla base dello sviluppo tecnologico?

3.1. *La strategia politica dietro il programma Apollo.*- Le missioni *Apollo* hanno avuto l'importante effetto di moltiplicatore economico, perché hanno innescato e accelerato il ritmo dello sviluppo tecnologico non solo negli Stati Uniti, ma anche, a catena, in altri Paesi alleati e non. Il programma *Apollo* è stato frutto della *space race* che caratterizzò gli anni della Guerra Fredda, quando Stati Uniti e Unione Sovietica lottavano per la supremazia dello spazio extra-atmosferico. L'impresa di far atterrare un americano sul suolo lunare entro la fine degli anni '60, voluta fortemente dall'allora Presidente *John F. Ken-*

¹⁴⁰ R. ROSANELLI, *Le attività spaziali nelle politiche di sicurezza e difesa*, in *Quaderni IAI*, Roma 2011.

nedy, costò agli Stati Uniti una somma ingente di denaro (\$19,408,134¹⁴¹) e degli sforzi non indifferenti per il rispetto delle tempistiche¹⁴².

Kennedy era consapevole dei grandi rischi di questa scelta politica: i sovietici avrebbero potuto battere gli USA sul tempo ed inviare per primi un uomo sulla Luna, o ancora il programma sarebbe potuto fallire provocando delle vittime. Con l'obiettivo di minimizzare tali rischi, le prime dichiarazioni di *Kennedy*, relative all'attività spaziale civile, affrontarono direttamente questi pericoli: nel discorso del gennaio del 1961, rivolgendosi direttamente all'allora presidente URSS, *Nikita Kruscev*, il Presidente americano propose una collaborazione tra gli Stati Uniti e l'Unione Sovietica, agendo da vero statista, proponendo una "cooperazione amichevole", piuttosto che una concorrenza distruttiva, ben sapendo che c'era poca probabilità che *Kruscev* accettasse la sua offerta¹⁴³. In questo modo, *Kennedy* dimostrava che i sovietici stavano agendo a loro unico vantaggio, presumibilmente militare. In caso contrario, ovvero se *Kruscev* avesse accettato l'offerta, avrebbe comunque riconosciuto, tacitamente, l'uguaglianza spaziale tra Stati Uniti e Unione Sovietica¹⁴⁴.

Come sappiamo dalla storia, non solo *Kruscev* non accettò la proposta, ma guidò il Paese verso alcuni dei più importanti successi in materia di attività spaziale, dimostrando che gli Stati Uniti non erano affatto allo stesso livello di sviluppo tecnologico sovietico. Queste apparenti disparità tecnologiche dovevano essere affrontate e *Kennedy* dovette trovare un modo per ristabilire la credibilità della nazione come *leader* tecnologico di fronte al mondo. È chiaro, dunque, che il programma *Apollo* nacque come decisione strategica per riconquistare il prestigio che gli Stati Uniti avevano perso; secondo l'analista politico, Prof. *John M. Logsdon*, fu «uno degli ultimi importanti atti

¹⁴¹ NASA.GOV, *Apollo Program Budget Appropriations*, in https://history.nasa.gov/SP-4029/Apollo_18-16_Apollo_Program_Budget_Appropriations.htm (cons. 5 luglio 2019).

¹⁴² *Kennedy* stesso affermò, nel messaggio sullo Stato dell'Unione del 1961: «*I believe this Nation should commitment itself to achieving the goal, before this decade is out, of landing a man on the Moon and returning him safely to Earth. No single space project in this period will be more impressive to mankind, or more important for the long-range exploration of space; and none will be so difficult or expensive to accomplish*». Cfr. J.F. KENNEDY, *Urgent National Needs*, in *Congressional Record House*, 25 May 1961, p. 8276, https://www.nasa.gov/pdf/59595main_jfk.speech.pdf (cons. 22 dicembre 2019).

¹⁴³ J.F. KENNEDY, PRESIDENTIAL LIBRARY AND MUSEUM, *Inaugural Address, January 20, 1961*, in *Public Papers of the Presidents of the United States: John F. Kennedy, 1961*, Government Printing Office, Washington DC 1962, pp. 1-3.

¹⁴⁴ NASA.GOV, *Project Apollo: A Retrospective Analysis*, in <https://history.nasa.gov/Apollomon/Apollo.html#note8> (con. 5 luglio 2019).

politici della Guerra Fredda: il Progetto Luna è stato scelto per simboleggiare la forza degli Stati Uniti nella competizione globale testa a testa con l'Unione Sovietica»¹⁴⁵.

3.2. *La tecnologia del programma Apollo.*- I leader della NASA sapevano che, sebbene la portata della missione fosse enorme, era ancora tecnologicamente e finanziariamente realizzabile, ma dovevano andare avanti rapidamente. Di conseguenza, il loro *budget* annuale aumentò da \$ 500 milioni nel 1960 a \$ 5,2 miliardi nel 1965¹⁴⁶. *Mercury* e *Gemini* furono i due programmi di volo umano nello spazio intrapresi dagli Stati Uniti prima di completare *Apollo*; *Gemini*¹⁴⁷, in particolare, era un programma di apprendimento tecnologico, finalizzato a colmare il divario tra *Mercury* e ciò che sarebbe stato necessario per portare a termine la missione lunare entro i limiti di tempo stabiliti da *Kennedy*. Esso prevedeva un grande modulo di equipaggiamento per trasportare materiali di consumo, insieme al propellente per i propulsori di *Orbital Attitude e Maneuvering System* (OAMS) che permettevano all'equipaggio di cambiare l'orbita della navicella spaziale: un requisito per il *rendez-vous* nello spazio. Con il programma *Gemini*, la NASA, in un arco di tempo di 20 mesi sviluppò tecnologie all'avanguardia che spianarono la strada non solo all'*Apollo*, ma anche ai risultati dello *Space Shuttle*, costruendo la Stazione Spaziale Internazionale e creando terreno fertile per l'esplorazione umana su Marte¹⁴⁸.

Ma come avrebbero fatto gli americani a lanciare la navicella che avrebbe portato il primo uomo sulla Luna?

La storia del razzo vettore *Saturn V*, un colosso di 3000 tonnellate, alto 110 metri, si intreccia con quella di *Wernher von Braun*, l'ingegnere tedesco inventore del V-2. Dopo la sconfitta della Germania, *von Braun* fu catturato dagli americani che, invece di ucciderlo, decisero di sfruttare le sue capacità intellettuali per produrre una tecnologia che avrebbe imposto la loro supremazia durante la Guerra

¹⁴⁵ J. M. LOGSDON, *An Apollo Perspective*, in *Astronautics & Aeronautics*, 17 (December 1979), pp. 112-17.

¹⁴⁶ NASA.GOV, *Aeronautics and Space Report of the President, 1988 Activities*, in *NASA Annual Report*, Washington DC 1990, <https://history.nasa.gov/presrep1988.pdf> (cons. 5 luglio 2019).

¹⁴⁷ Per approfondire l'argomento, si veda: C. BARTON HACKER, J. M. GRIMWOOD, *On the Shoulders of Titans: A History of Project Gemini*, NASA Special Publication-4203, NASA History Series, 1977.

¹⁴⁸ B. GRANATH, *Gemini Pioneered the Technology Driving Today's Exploration*, 2 marzo 2015, in <https://www.nasa.gov/content/gemini-pioneered-the-technology-driving-todays-exploration> (cons. 5 luglio 2019).

Fredda. In realtà, però, il missilista aveva il sogno di utilizzare le sue invenzioni per andare sullo spazio: mentre perfezionava i sistemi di consegna del carico utile, passava il suo tempo libero a lavorare su libri come *The Mars Project*, *The Conquest of the Moon* e *The Exploration of Mars*. Tuttavia, dal suo punto di vista, i razzi destinati all'esplorazione rimasero un'utopia, almeno fino al 1957. Dopo il lancio dello *Sputnik*, come sappiamo, gli Stati Uniti si rimboccarono le mani, puntando tutto sulla *space race*, il nuovo campo di prova della Guerra Fredda: la NASA assorbì il programma missilistico di *von Braun*, nominato capo del *Marshall Space Flight Center*¹⁴⁹, il cui primo e più grande programma fu proprio lo sviluppo dei razzi *Saturn* per trasportare carichi pesanti oltre l'orbita terrestre. Il più grande veicolo di lancio di questa famiglia, il *Saturn V*, avrebbe rappresentato il culmine di quei precedenti programmi di sviluppo.

Chi avrebbe mai immaginato che il veicolo che poteva portare gli astronauti sulla Luna e riportarli sani e salvi sulla Terra, avrebbe potuto essere il discendente della macchina da guerra nazista? Questo esempio è una prova di come la tecnologia possa facilmente diventare uno strumento del potere politico ad uso pacifico o militare. Con 17 test e 15 lanci pilotati, la famiglia *Saturn* ottenne un tasso di affidabilità di lancio del 100 %¹⁵⁰.

I lavori sulla navicella spaziale *Apollo* si estesero dal novembre 1961 fino all'ottobre 1968, anno in cui ci fu l'ultimo volo di prova: in quel periodo, vennero fatti diversi sforzi per progettare, costruire e testare il veicolo spaziale sia a terra che in voli suborbitali e orbitali. Nel 1967, però, il programma fu colpito da una tragedia: i tre astronauti che stavano lavorando a bordo della navicella, durante una simulazione, morirono a causa di un incendio scoppiato al suo interno. Furono i primi decessi attribuibili direttamente al programma spaziale *Apollo*. La NASA non era riuscita ad anticipare e risolvere le carenze del *design* delle capsule *Apollo*, nessuna precauzione per garantire la sicurezza dell'equipaggio era stata presa. Il sistema era stato compromesso. Tuttavia, il fallimento stimolò la tecnologia, piuttosto che arrestarla. Questo fu un problema che la NASA dovette, in seguito,

¹⁴⁹ A. HOLLINGS, *The Saturn V Story: From Nazi Roots to America's Moon Rocket*, 7 febbraio 2019, in <https://www.popularmechanics.com/space/rockets/a26013658/saturn-v-rocket-wernher-von-braun/> (cons. 5 luglio 2019).

¹⁵⁰ EZELL, *Space Flight: The First Thirty Years*, in *NASA Historical Data Book*, Vol. II, p. 61; Washington DC: NASA NP-150, 1991.

affrontare in più occasioni, quando cercò nel tempo di ottenere l'approvazione politica per i progetti spaziali¹⁵¹.

Ma se il lanciatore *Saturn V* e la navicella *Apollo* si presentavano come grandi sfide tecnologiche, il modulo lunare veniva a configurarsi come una questione ben più annosa. La difficoltà stava nel costruire due componenti separate: una prima per la discesa verso la Luna e una seconda per la risalita verso il modulo di comando; inoltre entrambi i motori avrebbero dovuto funzionare perfettamente. Anche questa volta, gli Stati Uniti vinsero la sfida e lo dimostrarono pubblicamente nel dicembre del 1968, quando l'equipaggio dell'*Apollo 8*, compiendo un'orbita cislunare, scattò la fotografia del secolo: l'alba della Terra.

L'*Apollo 11* decollò il 16 luglio 1969 e iniziò il viaggio di tre giorni verso la Luna. A bordo della navicella c'erano le migliori tecnologie dell'epoca, tra cui il computer di bordo *Apollo Guidance*, il primo sistema integrato della storia dell'informatica. Furono i ricercatori del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) di Boston a realizzare questa serie di computer con display e sistemi di programmazione. Il compito di tali apparecchi elettronici era quello di gestire le attività del modulo di comando *Columbia* e del modulo di allunaggio *Eagle*. Il computer *Apollo Guidance* può essere considerato il precursore dei sistemi di guida *fly-by-wire*, sistemi che sostituiscono i tradizionali comandi di volo diretti con sistemi di comando elettronico digitale. Il vettore *Saturn V*, il modulo di comando *Columbia* e quello di allunaggio *Eagle* erano tutti dotati di tali sistemi di guida.

3.2.1. *Gli impatti tecnologici del programma Apollo.*- Durante la fine degli anni '60, dunque, abbiamo assistito ad uno dei più grandi progressi tecnologici mai avvenuti fino a quel momento: le missioni *Apollo* sollecitarono tutti i comparti della tecnologia statunitense, portando all'avanzamento dei più svariati campi, dall'elettronica, alla scienza dei materiali, dimostrando la superiorità tecnologica statunitense rispetto alle altre nazioni.

Molti furono i problemi che i tecnici della NASA e gli scienziati provenienti dai più disparati enti di ricerca dovettero risolvere, generando delle innovazioni che avrebbero ben presto contribuito a migliorare beni che divennero poi di quotidiana utilità. Basti pensare alle padelle antiaderenti e alla microelettronica utilizzata nei PC, ma sono oltre tremila le innovazioni scientifiche e tecnologiche indicate dalla

¹⁵¹ Intervista a ROBERT C. SEAMANS, JR., tenutasi il 23 febbraio 1994 a Washington DC, <https://ieeetv.ieee.org/history/interview-with-robert-c-seamans> (cons. 5 luglio 2019).

NASA¹⁵². La tecnologia sviluppata dagli scienziati della NASA si concentra generalmente in prodotti sviluppati nei settori della robotica, dell'*hardware* e del *software*, delle nanotecnologie, dell'aeronautica, dei trasporti e dell'assistenza sanitaria: molti progressi, come, appunto, sistemi micro-elettromeccanici, supercomputer e microcomputer, *software* e microprocessori, sono stati creati anche utilizzando la tecnologia sviluppata dalla NASA per completare il programma *Apollo*. Secondo *Daniel Lockney*, già editore di *Spinoff*¹⁵³, in base alla pubblicazione annuale della NASA che riporta l'uso delle tecnologie dell'agenzia nel settore privato, i progressi apportati dalle missioni *Apollo* furono sbalorditivi: «There were remarkable discoveries in civil, electrical, aeronautical and engineering science, as well as rocketry and the development of core technologies that really pushed technology into the industry it is today»¹⁵⁴. *Lockney* ha citato diverse tecnologie che possono essere direttamente collegate al lavoro di ingegneria svolto per le missioni *Apollo*. Alcuni esempi sono gli indumenti raffreddati a liquido che piloti di auto da corsa e vigili del fuoco usano oggi: essi sono basati sui dispositivi creati per gli astronauti dell'*Apollo* da indossare sotto la tuta spaziale. Ancora, gli alimenti liofilizzati sviluppati per gli astronauti dell'*Apollo*, da consumare nello spazio, oggi sono usati nelle razioni militari e come parte degli equipaggiamenti di sopravvivenza. *Scott Hubbard*, che ha lavorato alla NASA per 20 anni, per poi diventare professore alla Stanford University, ha detto che il co-investimento tra difesa e spazio civile era molto reale ed estremamente importante: gran parte dei primi lavori sul circuito integrato, il predecessore del microchip, è stato fatto sotto contratto con la NASA e il Dipartimento della Difesa da aziende come *Texas Instruments Inc.* e predecessori di *Fairchild Semiconductor International Inc*¹⁵⁵. I circuiti integrati sono oggi utilizzati in quasi tutte le apparecchiature elettroniche. È quindi indubbio che, senza i finanziamenti della NASA per il programma *Apollo*, il panorama tecnologico sarebbe probabilmente molto diverso da quello che è ora.

¹⁵² M. CIANFLONE, *Dall'avventura di Apollo un grande balzo nella tecnologia*, Il Sole 24 Ore, 10 luglio 2009 oltre a M. CIANFLONE, *Luna 50 anni, dall'elettronica alle auto le ricadute tecnologiche di Apollo 11*, Il Sole 24 Ore, 18 luglio 2019.

¹⁵³ NASA.GOV, *NASA Spinoff*, in <https://spinoff.nasa.gov/> (cons. 5 luglio 2019).

¹⁵⁴ NASA.GOV, *SPIN OFF 2008, 50 Years of NASA-derived Technologies (1958-2008)*, Publications and Graphics Department NASA Center for AeroSpace Information (CASI), in <https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2008/pdf/spinoff2008.pdf> (cons. 5 luglio 2019).

¹⁵⁵ S. GAUDIN, *Apollo R&D Changed Technology History*, 27 luglio 2009, in <https://www.computerworld.com/article/2550364/apollo-r-d-changed-technology-history.html> (cons. 5 luglio 2019)

3.3. *La strategia tecnologica del programma Artemis.*- Il programma *Apollo* fu un'anomalia nei finanziamenti di Ricerca e Sviluppo, con un picco di spesa pubblica che durò dal 1965 al 1970. La comunità spaziale statunitense ha acquisito, infatti, rilevanza internazionale, oltre per le risorse quasi illimitate, grazie al successo del programma di sbarco sulla Luna. Successivamente, però, le condizioni sono cambiate: lo spazio è rimasto sempre un tema importante nell'agenda di governo degli Stati Uniti, ma l'afflusso dei fondi non fu più simile a quello avvenuto per il programma *Apollo*.

Neanche il nuovo programma *Artemis* può vantare un *budget* dello stesso livello di quello del programma *Apollo*, nonostante l'Amministrazione Trump abbia richiesto l'aggiunta di 1,6 miliardi di dollari ai 21 già stanziati a favore della NASA relativi al *Fiscal Year 2020*¹⁵⁶. Secondo l'Amministratore di NASA *Bridenstine*, i finanziamenti aggiuntivi stanziati permetteranno alla NASA di «accelerare lo sviluppo del razzo Space Launch System e della capsula Orion, supporteranno lo sviluppo di un sistema di atterraggio sulla Luna e lo sviluppo dei robot che precederanno l'uomo sulla superficie lunare»¹⁵⁷. L'emendamento di bilancio, pubblicato il 13 maggio 2019, ma non ancora adottato dal Congresso, ha tagliato diverse centinaia di milioni di dollari dal programma *Gateway*, riflettendo la decisione di sviluppare solo un *mini-Gateway* per sostenere lo sbarco iniziale del 2024.

Volendo analizzare la tecnologia che c'è dietro al programma *Artemis*, partiamo dal lanciatore che porterà gli astronauti sulla Luna: lo *Space Launch System* (SLS), erede del *Saturn V*. Tra le priorità degli ingegneri e tecnici dello SLS c'è la creazione di un lanciatore flessibile, in grado di essere utilizzato da un equipaggio e di imbarcare carichi diversi sulla Luna e, eventualmente, verso Marte. Secondo la NASA, la configurazione *SLS Block 1* può lanciare più carichi utili rispetto ai veicoli di lancio attuali e con una capacità maggiore del doppio rispetto allo *Space Shuttle*. Durante il primo lancio del SLS, che invierà *Orion* nello spazio profondo, il razzo trasporterà anche *payload* secondari sull'adattatore dello stadio *Orion*, fornendo alle comunità scientifiche e tecnologiche un'opportunità di volo a basso costo oltre l'orbita terrestre. Le dimensioni e la già citata flessibilità del

¹⁵⁶ Cfr. NASA.GOV, *NASA FY 2020 Budget Request*, https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/fy2020_agency_fact_sheet.pdf (cons. 2 gennaio 2020)..

¹⁵⁷ NASA CHANEL, *Administrator Bridenstine on Budget Amendment Supporting Humans on Moon in 2024*, in https://www.youtube.com/watch?v=5Vgzz2_2-84 (cons. 5 luglio 2019).

razzo SLS renderanno possibile il trasporto di strumenti più grandi, consentendo ai progettisti di carichi utili di ridurre la complessità di progettazione dell'esperimento, in modo tale da rendere le missioni meno rischiose. Inoltre, la potenza del razzo e le sue elevate prestazioni ridurranno il tempo di viaggio verso destinazioni lontane, abbattendo i costi. Le future configurazioni di SLS includeranno il più ampio *Exploration Upper Stage* (EUS) che supporterà missioni umane e robotiche più capaci nello spazio profondo. Con questa evoluzione del razzo, si potranno portare, insieme alla navicella *Orion*, altri sistemi di esplorazione dello spazio profondo, come *rover*, telescopi o altre apparecchiature¹⁵⁸.

Anche la tecnologia della navicella *Orion* è molto più evoluta rispetto a quella del suo antenato *Apollo*. È una navicella più grande, in grado di ospitare sei astronauti. Era stata creata, in origine, per il programma *Constellation*, per portare gli esseri umani sulla Stazione Spaziale Internazionale, sulla Luna e, eventualmente, su Marte; il programma, però, cancellato nel 2010, aveva già speso 5 miliardi di dollari per il suo sviluppo, pertanto, la NASA è riuscita a dare un'altra *chance* alla navicella. Attualmente, l'*hardware* per le prossime tre missioni di *Orion* si trova in varie fasi di sviluppo. Sia il modulo di equipaggio, che il modulo di servizio sono al *Kennedy Space Center* per i test.

3.4. *La space dominance degli Stati Uniti e la competizione con la Cina.*- È ormai chiaro quanto sia significativo per gli Stati Uniti il prestigio derivante dal controllo del settore spaziale. La sicurezza nazionale riconosce la dipendenza degli USA dallo spazio e considera l'accesso allo spazio senza restrizioni un interesse vitale. Tre sono le priorità identificate: *leadership* americana, *space commerce* ed esplorazione spaziale, in partenariato pubblico-privato con alleati e amici. Nell'agosto 2018, il Presidente *Trump* aveva annunciato la creazione di una *Space Force*, che è stata istituita con la firma del *National Defence Authorization Act* il 20 dicembre 2019, ed è divenuta la sesta branca dell'esercito USA¹⁵⁹. Essa ha lo scopo di difendere l'ambiente spaziale, inclusi i satelliti, ritenuti dal Segretario del Dipartimento

¹⁵⁸ NASA.GOV, *Launching Science and Technology*, in <https://www.nasa.gov/launching-science-and-technology/about.html> (cons. 5 luglio 2019).

¹⁵⁹ Cfr. L. DAVID, *Trump Officially Establishes US Space Force with 2020 Defense Bill Signing*, in *Space.com* del 21 dicembre 2019, <https://www.space.com/trump-creates-space-force-2020-defense-bill.html> (cons. 24 dicembre 2019).

della Difesa statunitense, *Mark Esper*, in continua evoluzione¹⁶⁰. Com'era stato già preannunciato da *Pence* lo scorso agosto¹⁶¹ e confermato recentemente da una nota informativa dello *US Space Force Public Affairs*¹⁶², la creazione della *Space Force* ha comportato l'establishment di un *Office of Space Operations*, costituita da un insieme di esperti spaziali provenienti dall'aeronautica militare e di un comando spaziale degli Stati Uniti, guidato da un ufficiale con il compito di dirigere e migliorare le operazioni per combattere un eventuale conflitto spaziale¹⁶³.

Inoltre, la Strategia di difesa nazionale pubblicata nel 2018 è basata sul "*compete, deter, and win*"¹⁶⁴ in tutti i settori: aria, terra, mare, spazio e cyberspazio. Il Segretario del Dipartimento della Difesa ha affermato, a tal riguardo, che: «The creation of Space Force will allow us to develop a cadre of warriors who are appropriately organized, trained and equipped to deter aggression and, if necessary, to fight and win in space»¹⁶⁵. Da tempo, infatti, la nazione è uno dei pionieri nell'utilizzo delle attività spaziali per scopi geostrategici. Gli USA detengono una supremazia tecnologica che funge da moltiplicatore di forze che contribuiscono alla strategia di deterrenza. Dunque, è innegabile che il programma lunare *Artemis*, così come lo era stato *Apollo*, abbia l'ambizione di riaffermare ancora una volta la *dominance* statunitense «mantenendo un certo grado di controllo e di libertà d'azione e riaffermando la propria leadership in quello che rappresenta un fondamentale settore di alta tecnologia»¹⁶⁶. Ma, come abbiamo visto nel capitolo precedente, ci sono altri attori che stanno affermando con vigore la loro presenza nel settore e tra questi emerge,

¹⁶⁰ *Ibidem*.

¹⁶¹ Cfr. H. WEITERING, *New US Space Command Will Launch Next Week, VP Pence Says*, in *Space.com* del 20 agosto 2019, <https://www.space.com/space-command-launches-august-2019.html> (cons. 21 dicembre 2019).

¹⁶² Cfr. SPACE FORCE PUBLIC AFFAIRS, *U.S. Space Force Fact Sheet*, 20 dicembre 2019, <https://www.dvidshub.net/news/356875/us-space-force-fact-sheet> (cons. 24 dicembre 2019).

¹⁶³ *Ibidem*.

¹⁶⁴ DEPARTMENT OF DEFENSE, *Summary of the 2018 National Defense Strategy of the United States of America. Sharpening the American Military's Competitive Edge*, <https://dod.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2018-National-Defense-Strategy-Summary.pdf> (cons. 24 dicembre 2019).

¹⁶⁵ DEPARTMENT OF DEFENSE, *Remarks by Secretary Esper at the Air Force Association's 2019 Air, Space & Cyber Conference, National Harbor, Maryland*, <https://www.defense.gov/Newsroom/Transcripts/Transcript/Article/1964448/remarks-by-secretary-esper-at-the-air-force-associations-2019-air-space-cyber-c/> (cons. 24 dicembre 2019).

¹⁶⁶ R. ROSANELLI, *Le attività spaziali nelle politiche di sicurezza e difesa*, pp. 108 - 109.

in particolare, la Cina che sembra essere in grado di reggere il confronto con gli USA. Dei motivi per i quali la Cina abbia deciso di implementare un programma spaziale così competitivo a livello mondiale e, in particolare, un programma lunare come *Chang'e*, si è già discusso ampiamente. Inoltre, la questione della Cina come concorrente spaziale degli Stati Uniti è stata affrontata il 25 aprile del 2019 durante la *U.S.-China Economic and Security Review Commission* con il tema "*China in Space: A Strategic Competition?*"¹⁶⁷. Nell'ambito dell'udienza, è stato evidenziato, in particolare, la minaccia derivante dalle capacità della Cina in continua evoluzione di creare programmi di *counterspace*, progettati per distruggere, degradare i sistemi spaziali¹⁶⁸. «China is demonstrating a focused and long-term interest in both the national security and commercial implications of the space domain. China's investments in autonomy, robotics, and artificial intelligence have been, and likely will remain, significant. China's work in quantum communications and other advanced processing constructs set the stage for significant breakout capabilities. While these breakout capabilities have yet to be realized, they merit close scrutiny»¹⁶⁹, ha detto il Generale americano del Corpo dei Marines, *James Cartwright*, durante l'udienza. Dunque, la continua evoluzione tecnologica cinese preoccupa gli americani. Non sarà stato forse questo uno dei motivi che ha spinto l'amministrazione Trump ad accelerare il programma lunare? La paura che qualcuno possa arrivare per primo al traguardo, togliendo così la *leadership* del settore spaziale agli *States*? Senza dubbio, la Cina ha dimostrato di avere compiuto grandi salti tecnologici con le sue ultime missioni, il tutto attraverso una misurata e attenta "miscela" di cooperazione e competizione. Infatti, se da un lato, la Cina ha spesso ribadito la sua propensione alla cooperazione, dall'altro, ha dimostrato più volte di saper tradurre i benefici tecnonazionalisti dei suoi programmi spaziali in influenza geopolitica.

¹⁶⁷ Si veda U.S.-CHINA ECONOMIC AND SECURITY REVIEW COMMISSION, *Hearing on "China in Space: A Strategic Competition?"* <https://www.uscc.gov/hearings/china-space-strategic-competition> (cons. 5 luglio 2019) e riportato in ESPI, *ESPI Insights. The Global Space Activity Monitor* in <https://espi.or.at/publications/espinsights> (cons. 5 luglio 2019).

¹⁶⁸ T. HARRISON, *Statement before the U.S.-China Economic and Security Review Commission "China in Space: A Strategic Competition?"*, 25 aprile 2019, in <https://www.uscc.gov/Hearings/china-space-strategic-competition> (cons. 5 luglio 2019).

¹⁶⁹ *Ibidem*.

CAPITOLO 4

LA COOPERAZIONE INTERNAZIONALE COME BASE PER L'ESPLORAZIONE LUNARE

Pur nel contesto di una nuova *space race* non rimangono comunque sottaciute le istanze di collaborazione che provengono da più parti, nella consapevolezza che le grandi opere dell'essere umano sono state sempre possibili solo grazie al lavoro congiunto e alla condivisione degli intenti.

Prima di passare ad analizzare più nel dettaglio gli strumenti che consentono agli Stati di collaborare nel contesto dell'esplorazione lunare, è utile conoscere quali siano le modalità attraverso cui si esplica la cooperazione internazionale nel campo spaziale.

Una prima e semplice suddivisione può essere fatta tra cooperazione spaziale bilaterale e multilaterale e tra cooperazione e coordinamento spaziale internazionale. La prima, come è noto, avviene su basi pattizie e convenzionali, mentre la seconda nasce su basi non convenzionali al fine di arrivare ad una convergenza comune di visioni, pur minima, tra diversi soggetti interessati a raggiungere obiettivi condivisi. Se da un lato, la cooperazione bilaterale – a livello di Stati, Enti governativi ed Agenzie spaziali nazionali – continua ad affermarsi con vigore nel panorama delle attività spaziali, seguendo i modelli classici degli accordi di cooperazione, dall'altro, la cooperazione spaziale multilaterale sta subendo una forte evoluzione.

Infatti, se da un lato, un accordo come quello intergovernativo (IGA)¹⁷⁰ alla base della realizzazione della stazione spaziale internazionale, stipulato tra gli Stati Uniti, la Russia, il Giappone, il Canada e 10 Stati membri dell'ESA, continua a rappresentare un esercizio emblematico di cooperazione multilaterale, dall'altro, possiamo considerarlo una modalità in corso di modifica ed adattamento per la futura esplorazione lunare. Recentemente, infatti, durante il 70esimo *International Astronautical Congress* (IAC) negli Stati Uniti,

¹⁷⁰ Accordo tra il Governo del Canada, i Governi degli Stati Membri dell'Agenzia Spaziale Europea, il Governo del Giappone, il Governo della Federazione Russa e il Governo degli Stati Uniti d'America relativo alla cooperazione concernente una stazione spaziale internazionale civile, firmato a Washington il 29 gennaio 1998 ed entrato in vigore il 27 marzo 2001.

l'Amministratore della NASA *Jim Bridenstine* ha auspicato una maggiore cooperazione tra le agenzie spaziali nazionali nell'esplorazione dello spazio e, in particolar modo, nelle missioni lunari. L'Agenzia statunitense ha ottenuto l'appoggio dei *leaders* delle agenzie spaziali di Canada, Giappone, Europa, Federazione Russa, India, che stanno prevedendo di promuovere la cooperazione sul *lunar Gateway* e su altri aspetti dell'esplorazione lunare per mezzo dello stesso accordo intergovernativo (IGA) che attualmente viene utilizzato per la stazione spaziale internazionale¹⁷¹. Si prevede, cioè, che tale accordo potrà essere utilizzato, per mezzo di protocolli di intesa tra i *partner*, per la regolamentazione delle missioni spaziali lunari in cooperazione, dal momento che a livello globale è sempre più difficile raggiungere un consenso adeguato tra gli Stati che permetta di produrre nuovi trattati internazionali o di emendare quelli già esistenti¹⁷². È proprio per questo motivo che stanno nascendo, nei diversi settori dello spazio, nuovi strumenti di convergenza più flessibili e *ad hoc*, atti a regolare le collaborazioni e le relazioni internazionali, sotto forma di coordinamento internazionale non pattizio. Il valore del coordinamento è *in primis*, infatti, la sua flessibilità: si creano condizioni di interazione meno vincolanti, esenti da impegni finanziari fissi, ove la partecipazione può avvenire non *in toto*, ma su parti di un progetto o programma condiviso nei principi, le cui modalità di realizzazione e i tempi sono lasciati liberi alle Parti. Il risultato, fino ad oggi sperimentato, è l'elaborazione di Documenti e Dichiarazioni comuni che facilitano lo scambio di informazioni, la trasparenza delle azioni e, complessivamente, la sicurezza internazionale, diminuendo i rischi connessi al settore spaziale¹⁷³. Siamo, dunque, di fronte ad un'evoluzione strutturale della comunità spaziale internazionale, dove l'istituzione di Comitati e *fora* internazionali si sta affiancando, sempre più, agli strumenti classici della cooperazione convenzionale.

Il presente capitolo intende passare in rassegna alcuni degli strumenti di cooperazione internazionale, necessari ad individuare possibili meccanismi di *governance* spaziale, che potrebbero facilitare la

¹⁷¹ Cfr. J. FOUST, *Space agencies endorse continued cooperation in lunar exploration*, in <https://spacenews.com/space-agencies-endorse-continued-cooperation-in-lunar-exploration/> (cons. 6 dicembre 2020).

¹⁷² Cfr. G. ARRIGO, *Spazio e Cooperazione internazionale*, in *Spazio. Scenari di collaborazione*, Passigli Editori, Roma 2013, pp. 119 – 121.

¹⁷³ Cfr. G. ARRIGO, *Dalla cooperazione al coordinamento spaziale internazionale: un sistema in continua evoluzione*, in *Studi in onore di Claudio Zanghi*, Giappichelli, Torino 2011.

cooperazione in ambito dell'esplorazione spaziale, inclusa quella lunare.

4.1. *Strumenti di cooperazione internazionale bilaterale.*- Tra gli strumenti internazionali utilizzati per realizzare i progetti spaziali bilaterali, vi sono i *framework agreements* e gli *implementing agreements o arrangements*. Questo viene affermato anche nel *report* del *Working Group* del *Legal Subcommittee* del COPUOS “*Review of International Mechanisms for Cooperation in the Peaceful Exploration and Use of Outer Space*”, pubblicato il 13 aprile 2017¹⁷⁴. I primi sono accordi negoziati sulla base del diritto internazionale pattizio e vengono utilizzati per disciplinare i principi e i termini giuridici generali della cooperazione tra le Parti contraenti¹⁷⁵; i secondi sono accordi, sempre negoziati sulla base del diritto internazionale pattizio, usati per specifici progetti, in cui vengono specificati le condizioni della cooperazione, i tempi di realizzazione, le responsabilità delle Parti e ogni altra informazione, utile alla realizzazione del progetto.

Il numero crescente di accordi bilaterali intergovernativi è un segno tangibile della vivacità e intensità delle relazioni internazionali in seno alla comunità spaziale¹⁷⁶.

4.2. *Strumenti di cooperazione internazionale multilaterale.*- Anche gli accordi multilaterali intergovernativi sono negoziati sulla base del diritto internazionale pattizio e, a differenza degli accordi bilaterali, vincolano più Parti al rispetto delle disposizioni sottoscritte e ratificate. Gli sforzi multilaterali, compreso l'accordo intergovernativo alla base della realizzazione e utilizzo della Stazione Spaziale Internazionale, richiedono un impegno di lungo termine con una chiara ripartizione di responsabilità e relativi impegni finanziari tra i

¹⁷⁴ COPUOS, LEGAL SUBCOMMITTEE, WORKING GROUP ON THE REVIEW OF INTERNATIONAL MECHANISMS FOR COOPERATION IN THE PEACEFUL EXPLORATION AND USE OF OUTER SPACE, *Report of the Working Group on the Review of International Mechanisms for Cooperation in the Peaceful Exploration and Use of Outer Space on the work conducted under its multi-year workplan*, A/AC.105/C.2/112, in https://www.unoosa.org/oosa/oosadoc/data/documents/2017/aac.105c.2/aac.105c.2112_0.html (cons. 5 luglio 2019).

¹⁷⁵ Cfr. N. MATZ-LÜCK, *Framework Agreement*, Max Planck Encyclopaedias of International Law, <https://opil.ouplaw.com/view/10.1093/law:epil/9780199231690/law-9780199231690-e703?prd=EPIL> (cons. 21 dicembre 2019).

¹⁷⁶ S. AOKI, *Models for Coordination and Cooperation: Bilateral and Multilateral Agreements*, in *10th UN Space Law Workshop*, 7 Sept. 2016, Vienna, in https://www.unoosa.org/pdf/SLW2016/Panel4/3._Aoki_10th_UN_Space_Law_WS_S._Aoki_7_Sept._2016Panel_4.pdf (cons. 5 luglio 2019).

partecipanti. Purtroppo, questo tipo di accordo sta diventando sempre più difficile da raggiungere per l'alto costo richiesto ai partecipanti, in termini di vincoli finanziari e di responsabilità, rispetto ai benefici e ai tempi di realizzazione e utilizzo. Ad onore di cronaca, negli ultimi mesi è ripreso un dibattito giuridico sull'opportunità di riutilizzare l'IGA della ISS anche per il *lunar Gateway* come una sorta di sviluppo aggiuntivo del programma ISS. Al fine di rispondere a tale istanza, è stato deciso di riattivare il Comitato denominato *IGA-Coordinating Committee (IGA-CC)* istituito nel 1989 (in cui l'ESA svolgeva funzioni di Segretariato) e costituito da rappresentanti dei governi degli Stati Membri coinvolti nel programma della ISS. In verità ci sono già diverse perplessità in merito alla proposta. È per questo motivo che negli ultimi decenni sono aumentati i meccanismi di coordinamento internazionale al quale i partecipanti, Governi o non, aderiscono accettando semplicemente alcuni principi generali o termini di comportamento e/o aderendo a progetti, conferenze, comitati, gruppi di lavoro internazionali o ad altri simili organismi.

Il coordinamento internazionale può costituire un meccanismo operativo e funzionale per il progetto di esplorazione lunare? Prima di rispondere a queste domande, vediamo quali sono i principali strumenti del coordinamento spaziale internazionale.

4.2.1. *L'International Space Exploration Coordination Group (ISECG).*- La NASA, insieme ad altre 14 agenzie spaziali nazionali, ha fondato l'*International Space Exploration Coordination Group (ISECG)*¹⁷⁷ per promuovere una strategia di esplorazione spaziale globale e di lungo periodo. Creato nel 2007, l'ISECG è un meccanismo di coordinamento internazionale, volontario e non vincolante, attraverso il quale le singole agenzie possono scambiarsi informazioni su interessi, obiettivi e piani nell'esplorazione spaziale, con il fine di rafforzare sia i singoli programmi di esplorazione che gli sforzi collettivi.

L'ISECG è stato istituito in risposta alla *Global Exploration Strategy (GES)*, intitolata "*The Global Exploration Strategy: The Framework for Coordination*", ed elaborata da 14 agenzie spaziali nel maggio 2007. Questo documento di orientamento guida articolava una visione condivisa di esplorazione spaziale umana e robotizzata

¹⁷⁷ ISECG, *Frequently Asked Questions*, in https://www.globalspaceexploration.org/wordpress/?page_id=257 (cons. 3 luglio 2019).

coordinata, focalizzata sulle destinazioni del Sistema Solare dove gli esseri umani potrebbero un giorno vivere e lavorare.

Tra gli obiettivi dell'ISECG troviamo la promozione della collaborazione tra Stati, per raggiungere ulteriori sviluppi e creare una strategia globale condivisa, attraverso lo sviluppo dell'interesse e dell'impegno della comunità spaziale, attraverso un forum di discussione sull'esplorazione spaziale¹⁷⁸.

Nell'agosto 2013, l'ISECG ha rilasciato una nuova versione della cosiddetta *Global Exploration Roadmap* (GER), trasformando gli obiettivi condivisi in una *roadmap* comune. La *roadmap* ha identificato una serie di missioni nelle vicinanze lunari e sulla superficie lunare che anticipano la disponibilità per le missioni su Marte dopo il 2030. Le missioni dell'equipaggio di lunga durata nelle vicinanze lunari e gli asteroidi accessibili consentiranno la dimostrazione del trasporto, abitazione, manutenzione robotica e altri sistemi chiave su cui devono affidarsi missioni di lunga durata nello spazio profondo¹⁷⁹.

Questa terza edizione della *Global Exploration Roadmap*, pubblicata per la prima volta nel settembre 2011 ed aggiornata ad agosto 2013, include piani e programmi aggiornati delle agenzie per facilitare il coinvolgimento degli *stakeholder* all'interno dei Paesi e realizzare l'esplorazione umana e robotica¹⁸⁰.

Nell'ultima GER, pubblicata nel gennaio 2018, l'ISECG ha dimostrato il crescente interesse per l'esplorazione spaziale e l'importanza della cooperazione per realizzare obiettivi individuali e comuni¹⁸¹. Come altri prodotti dell'ISECG, la GER non è un documento vincolante, ma ha l'ambizione di creare un meccanismo sostenibile di coordinamento al fine di ottimizzare gli sforzi e massimizzare i ritorni agli investimenti fatti nelle attività spaziali governative e commerciali.

¹⁷⁸

ISECG,

About

ISECG,

https://www.globalspaceexploration.org/wordpress/?page_id=50 (cons. 21 dicembre 2019).

¹⁷⁹ Cfr. K. C. LAURINI, B. HUFENBACH, J. HILL, A. OUELLET, *The Global Exploration Roadmap and Expanding Human/Robotic Exploration Mission Collaboration Opportunities*, 66th International Astronautical Congress, Jerusalem, Israel, 2015, in <https://www.globalspaceexploration.org/wordpress/wp-content/uploads/2015/10/GER-HR-Jerusalem-paper-vfinal.pdf> (cons. 21 dicembre 2019).

¹⁸⁰ ISECG, *ISECG Publishes Update to the Global Exploration Roadmap*, in <https://www.globalspaceexploration.org/wordpress/?p=779>. (cons. 2 luglio 2019).

¹⁸¹ Cfr. ISECG, *The Global Exploration Roadmap*, January 2018, https://www.globalspaceexploration.org/wordpress/wp-content/isecg/GER_2018_small_mobile.pdf (cons. 21 dicembre 2019).

4.2.2. *L'International Space Exploration Forum (ISEF).*- *L'International Space Exploration Forum (ISEF)* è un'iniziativa a livello governativo per promuovere la collaborazione internazionale nel settore dell'esplorazione spaziale.

L'incontro inaugurale dell'ISEF si è svolto a gennaio 2014 a Washington D.C., negli Stati Uniti. A marzo 2018, il secondo ISEF è stato convocato dal Giappone, a Tokyo¹⁸².

Lo scopo dell'ISEF è quello di arricchire, a livello governativo, la comprensione dell'importanza dell'esplorazione spaziale a beneficio dell'umanità e di promuovere ulteriormente la cooperazione e la collaborazione internazionale sull'esplorazione dello spazio attraverso un dialogo politico non vincolante e di alto livello. Esso si fonda, quindi su «un principio di responsabilità volontario, non cogente, a carattere "etico" e non codificato, [che] sembra diffondersi nella comunità spaziale internazionale»¹⁸³.

I partecipanti all'ISEF del 2014, negli USA, hanno supportato il lavoro delle agenzie spaziali che partecipano all'ISECG nello sviluppo di una *roadmap* strategica per l'esplorazione dello spazio umano, così come documentata nella *Global Exploration Roadmap* del 2013, pubblicata ad agosto dello stesso anno. Gli Stati partecipanti hanno accolto con favore l'espansione degli sforzi per aumentare le sinergie tra le missioni umane e robotiche al fine di massimizzare il loro contributo collettivo agli obiettivi comuni e ai partenariati strategici¹⁸⁴. È degno di nota menzionare che gli Stati hanno riconosciuto esplicitamente lo sviluppo delle attività spaziali commerciali, chiarendo che gli sforzi del settore privato potrebbero portare nuove idee vitali e dirompenti nel campo dell'esplorazione spaziale. Come parte di questa visione comune per l'esplorazione dello spazio, i partecipanti all'ISEF hanno sottolineato l'importanza del volo spaziale commerciale nelle attività di esplorazione in conformità con le linee guida nazionali e internazionali esistenti e, infine, hanno riconosciuto che il Comitato delle Nazioni Unite sugli usi pacifici dello spazio extra atmosferico (COPUOS) è «un luogo importante in cui le nazioni che amano lo spazio e lo spazio possono continuare a discutere questioni importanti riguardanti l'espansione degli orizzonti dell'umanità nello

¹⁸² Cfr. ISEF2, *The 2nd International Space Exploration Forum*, <https://www.mext.go.jp/isef2/> (cons. 21 dicembre 2019).

¹⁸³ G. ARRIGO, *Spazio e cooperazione*, p. 121.

¹⁸⁴ Cfr. U.S. DEPARTMENT OF STATE, *International Space Exploration Forum* <https://2009-2017.state.gov/e/oes/sat/isef2014/index.htm> (cons. 21 dicembre 2019).

spazio e il rafforzamento degli obiettivi del trattato sui principi che regolano le attività degli Stati nel settore dell'esplorazione e dell'uso dello spazio cosmico del 1967»¹⁸⁵.

Le *Key Takeaways* varate dall'ISEF nel 2018, hanno incluso¹⁸⁶: l'espansione dell'esplorazione nel sistema solare, dalla LEO alla Luna, fino a Marte ed oltre – questo è un obiettivo ampiamente condiviso dalla comunità internazionale; l'importanza di implementare un'esplorazione umana sostenibile e robotica sfruttando al massimo ogni passo; l'annuncio di un nuovo contesto di esplorazione moderna, caratterizzato da importanti contributi in tutti i Continenti, sia nel settore pubblico (governativo) che privato (commerciale e non governativo) e tra le nazioni spaziali esperte e quei Paesi che stanno iniziando ora ad esplorare e utilizzare lo spazio extra atmosferico – creando opportunità di *partnership* innovative. Infine, viene ribadito che la GER aggiornata servirà come strumento per aiutare le agenzie a prepararsi per future missioni di esplorazione dello spazio e che un programma di esplorazione innovativo e sostenibile necessita di *partner* internazionali per consentire l'espansione umana attraverso il sistema solare e riportare sulla Terra nuove conoscenze e opportunità.

4.2.3. *Il COPUOS e l'Action Team sull'Esplorazione Spaziale.* - Il Comitato delle Nazioni Unite per l'Uso Pacifico dello Spazio extra-atmosferico (UNCOPUOS) è l'unico Comitato in seno alle Nazioni Unite competente per le attività spaziali ad uso pacifico che riferisce direttamente al Segretario Generale attraverso l'Assemblea Generale.

Nato nel 1959, in piena Guerra Fredda, come luogo di incontro e dialogo tra i due blocchi, a cui nel tempo si sono aggiunti i Paesi del Gruppo dei 77 e, progressivamente, molti altri, fino alla diversificazione dei Gruppi regionali, così come oggi noi li conosciamo.

Uno dei compiti prioritari del COPUOS è quello di facilitare la cooperazione spaziale tra tutti gli Stati, in particolare con i Paesi in via di sviluppo¹⁸⁷. A tal fine, nel tempo si sono realizzate tre grandi Conferenze Internazionali sullo Spazio (UNISPACE)¹⁸⁸ fino alla Confe-

¹⁸⁵ C. IACOMINO., *Commercial Space Exploration.*, p. 30.

¹⁸⁶ *Ibidem*, p.31.

¹⁸⁷ S. MARCHISIO, *Il ruolo del Comitato delle Nazioni Unite sugli usi pacifici dello spazio extra-atmosferico (COPUOS)*, in <https://web.uniroma1.it/disp/sites/default/files/Marchisio%20Copuos.pdf> (cons. 21 dicembre 2019).

¹⁸⁸ Cfr. UNOOSA, *UNISPACE Conferences*, <https://www.unoosa.org/oosa/en/aboutus/history/unispace.html> (cons. 22 dicembre 2019).

renza UNISPACE+50 che è stato un evento intergovernativo promosso dal COPUOS per celebrare i 50 anni della firma del primo Trattato internazionale sullo Spazio, svoltosi nel giugno del 2018¹⁸⁹.

Il COPUOS ha successivamente approvato le sette priorità tematiche deliberate in seno a UNISPACE+50, tra le quali, la *Partnership Globale per l'Esplorazione Spaziale e l'Innovazione*, che mira a promuovere l'esplorazione spaziale e l'innovazione ad essa connessa come fattori importanti per la nascita di nuovi settori in campo di scienza e tecnologia spaziale, per attivare nuove *partnership* e sottolineare la cooperazione internazionale come chiave di accesso alle attività di esplorazione inclusive e su scala globale¹⁹⁰.

Al fine di preparare i lavori di UNISPACE+50, è stato istituito durante la 59ª Sessione del COPUOS, un *Action Team* sull'Esplorazione e l'Innovazione¹⁹¹ co-presieduto da Stati Uniti, Cina e Giordania, con il supporto dell'UNOOSA¹⁹². Hanno partecipato 23 Paesi membri e 5 Organizzazioni spaziali governative e non. La co-presidenza di USA e Cina è stata salutata come un grande segnale da parte degli Stati membri del COPUOS, oltre che degli stessi Paesi in causa, che hanno voluto in qualche modo depotenziare la tensione in corso tra i due Paesi e lanciare un auspicio di cooperazione internazionale *inter partes* e *super partes*.

Come suo contributo specifico al processo di preparazione di UNISPACE+50, l'*Action Team* ha evidenziato e declinato l'esplorazione dello spazio e l'innovazione come fattori essenziali al fine di sviluppare nuove opportunità per affrontare le sfide globali, favorire il dialogo con l'industria e il settore privato, promuovere la cooperazione tra i Paesi sviluppati e i Paesi in via di sviluppo o potenze emergenti nello spazio e identificare meccanismi di *governance* e cooperazione per sostenere questo obiettivo¹⁹³.

¹⁸⁹ Cfr. UNOOSA, *UNISPACE+50*, <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/unispaceplus50/index.html> (cons. 22 dicembre 2019).

¹⁹⁰ Cfr. K. HODGKINS, *Towards UNISPACE+50: Global partnership in Space Exploration and Innovation*, https://www.unoosa.org/documents/pdf/hlf/HLF2017/presentations/Day3/High_Level_Panel/1st/Presentation3.pdf (cons. 22 dicembre 2019).

¹⁹¹ Documenti COPUOS, A/AC.105/2017/CRP.21 on *UNISPACE+50 Thematic Priority 1: Global partnership in space exploration and innovation*, Vienna, 7-16 June 2017;

¹⁹² C. IACOMINO, *Commercial Space Exploration*, p. 31.

¹⁹³ UNOOSA, *Meeting of the Action Team on Exploration and Innovation in connection with the AIAA Space Forum*, in http://www.unoosa.org/oosa/events/data/2017/meeting_of_the_action_team_on_exploration_

4.3. *Quale governance per l'esplorazione lunare?*.- Nonostante gli attori della Comunità spaziale internazionale si stiano orientando verso una forma di cooperazione meno vincolante e più funzionale al raggiungimento di obiettivi condivisi, essi sono nel tempo convenuti, entro il sopramenzionato Comitato delle Nazioni Unite COPUOS, sui principi fondamentali che avrebbero dovuto orientare le loro attività nello spazio extra-atmosferico, nel tentativo di delineare i confini di una *governance* internazionale.

Tali principi vennero inizialmente proposti dall'Assemblea Generale delle Nazioni Unite nella *Dichiarazione sulle norme giuridiche circa l'esplorazione e l'utilizzazione da parte degli Stati dello spazio extra-atmosferico*, adottata all'unanimità con Risoluzione 1962 (XVIII) del 13 dicembre 1963 e furono in seguito sanciti, con l'aggiunta di qualche disposizione, nel *Trattato sui principi che regolano l'esplorazione e l'utilizzazione, da parte degli Stati, dello spazio extra-atmosferico*, concluso il 27 gennaio 1967 ed entrato in vigore il 10 ottobre 1967. Si tratta di principi che hanno assunto, oggi, una natura consuetudinaria¹⁹⁴ e che sono tesi ad orientare le attività spaziali di quanti si apprestano a pianificarle o attuarle, a prescindere dalla ratifica dell'*Outer Space Treaty* (OST).

In aggiunta a questi principi, vi è un'altra regolamentazione, predisposta *ad hoc* per la Luna nel 1979 nell'ultimo trattato del *corpus iuris spatialis*, concluso sotto l'egida del COPUOS. Tuttavia, il *Moon Agreement*, non ha riscosso il medesimo successo dell'OST, come si vedrà ora in breve.

4.3.1. *L'Outer Space Treaty (OST)*. Il Trattato sui principi che regolano l'esplorazione e l'utilizzazione, da parte degli Stati, dello spazio extra-atmosferico, inclusa la Luna e gli altri corpi celesti, più comunemente chiamato *Trattato sullo Spazio (Outer Space Treaty – OST)* è l'accordo internazionale che fornisce il quadro giuridico di base della regolamentazione spaziale internazionale¹⁹⁵. L'OST stabilisce che è libero l'accesso allo spazio extra-atmosferico per la sua esplorazione ed uso da parte di tutti gli Stati¹⁹⁶ e degli attori

and_innovation_in_connection_with_the_aiaa_space_forum_cancelled_due_to_hurricane_irma.html (cons. 05 luglio 2019).

¹⁹⁴ Di questo avviso è una parte rilevante della dottrina. Si veda, ad esempio, F. LYALL, P. B. LARSEN, *Space Law. A Treatise*, Ashgate, Farnham e Burlington 2009, pp. 54 – ss.

¹⁹⁵ UNITED NATIONS OFFICE FOR OUTER SPACE AFFAIRS, *Outer Space Treaty Overview*, <http://www.unoosa.org/oosa/en/SpaceLaw/outerspt.html> (cons 9 luglio 2019).

¹⁹⁶ Art. I OST.

privati che abbiano ricevuto un'autorizzazione rilasciata dai loro Stati¹⁹⁷, che lo spazio è denuclearizzato mentre la Luna e gli altri corpi celesti sono completamente smilitarizzati¹⁹⁸, che lo spazio non è soggetto all'appropriazione nazionale o all'occupazione¹⁹⁹, che esiste l'obbligo da parte dei singoli Stati di salvare in caso di necessità gli astronauti²⁰⁰, di restituire gli oggetti che cadono sulla Terra allo Stato che li ha lanciati²⁰¹ e di compensare eventuali danni²⁰² e che gli Stati devono condurre le proprie attività spaziali con il dovuto rispetto per gli interessi degli altri Stati²⁰³.

Questi principi generali, dunque, vietano le rivendicazioni di sovranità sullo spazio extra-atmosferico. Tuttavia, l'OST ne promuove "l'esplorazione e l'uso" e, con esso, possono essere proposte attività sulla Luna e gli altri corpi celesti, riconoscendo, quindi, il diritto di un'entità pubblica o privata di possedere risorse estratte dal territorio a patto che non si avanzino pretese giuridiche di proprietà sullo stesso²⁰⁴.

Le sei missioni *Apollo* sulla Luna hanno riportato un totale di 842 kg di materiale lunare, su cui gli Stati Uniti hanno un esclusivo dominio e un controllo da oltre trent'anni²⁰⁵. Questo è stato fatto anche da altre nazioni che sono riuscite a prelevare materiale lunare, come ad esempio la Cina²⁰⁶. Inoltre, nessuno ha reclamato che rimuovere tali risorse e dichiararne la proprietà costituisse una violazione del principio relativo al divieto di appropriazione dello spazio, della Luna e degli altri corpi celesti. Le azioni sono, dunque, apparentemente in conformità con l'OST, poiché gli Stati che posseggono materiale lunare sostengono di possedere le rocce ma non la superficie lunare da cui provengono. Tuttavia, restano tante le possibili interpretazioni del trattato: l'OST appare troppo ambiguo per fornire chiare linee guida che governino i diritti e le responsabilità delle nazioni nell'estrarre ri-

¹⁹⁷ Art. VI OST.

¹⁹⁸ Art. IV OST.

¹⁹⁹ Art. II OST.

²⁰⁰ Art. V OST.

²⁰¹ Art. VIII OST.

²⁰² Art. VII OST.

²⁰³ Art. IX OST.

²⁰⁴ H. SHMITT, *Return to the Moon: Exploration, Enterprise, and Energy in the Human Settlement of Space*, Springer ed., New York 2006.

²⁰⁵ E. L. HUDGINS, *Space. The free market frontiers*, Cato Institute, Washington 2002.

²⁰⁶ Cfr. W. XIAODAN, *China's Lunar Exploration and Utilization: Positive Energy for International Law or Not?*, in *Anuario Mexicano de Derecho Internacional*, 15.1 (2015), pp. 137-164.

sorse dalla Luna ed è stato, per tale motivo, necessario elaborare un altro accordo internazionale che chiarisse lo *status* giuridico di queste risorse, il c.d. *Moon Agreement*.

4.3.2. *Il Moon Agreement*. - Il Trattato che regola le attività degli Stati sulla Luna e sugli altri corpi celesti, più comunemente noto come *Trattato sulla Luna (Moon Agreement)*²⁰⁷ è l'ultimo dei 5 trattati internazionali facenti parte del *corpus iuris spatialis* ad essere stato negoziato. Concluso nel 1979 ed entrato in vigore solo nel 1984, dopo la ratifica di un quinto dei Paesi firmatari, ha rappresentato il tentativo di creare un quadro giuridico di riferimento nel tentativo di chiarire la legittimità o meno delle rivendicazioni di alcuni Paesi sulla proprietà sulle risorse nello spazio. L'Accordo, infatti, intendeva riaffermare i principi dell'OST, chiarire i diritti e le responsabilità degli Stati e voleva stabilire un regime internazionale per lo sfruttamento delle risorse sulla Luna e su altri corpi celesti²⁰⁸. Purtroppo, però, il *Moon Agreement* non ha raggiunto il successo sperato. Infatti, esso ha ottenuto – a differenza delle precedenti convenzioni – un basso numero di ratifiche, essendo stato sottoscritto da meno di 20 Stati, tra i quali l'Australia, l'Austria, il Belgio, la Francia e l'India. Le difficoltà concernenti l'implementazione dell'accordo hanno, infatti, portato alla mancata ratifica di quei Paesi – Stati Uniti Russia e Cina *in primis* – che più di altri avevano la possibilità di compiere attività di esplorazione lunare.

La ragione principale per cui questi ultimi Paesi si sono rifiutati di ratificare il *Moon Agreement* sta nel fatto che esso proibisce agli Stati di esercitare i diritti di proprietà e dichiara che i corpi celesti e le loro risorse sono “*common heritage of mankind*”²⁰⁹.

L'accordo richiede, inoltre, la creazione di un regime internazionale che oltre a sorvegliare le attività spaziali, definisca anche la distribuzione dei benefici e dei profitti derivanti dalle attività spaziali condotte da diversi Paesi²¹⁰. Ciò comporterebbe la partecipazione agiuntiva delle nazioni prive di un programma spaziale ai processi de-

²⁰⁷ *Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies* concluso a New York il 18 dicembre 1979 ed entrato in vigore il 11 luglio 1984

²⁰⁸ UNITED NATIONS OFFICE FOR OUTER SPACE AFFAIRS, *Moon Agreement Overview*, <http://www.unoosa.org/oosa/en/SpaceLaw/moon.html> (cons. 10 luglio 2019)

²⁰⁹ Art. 11 *Moon Agreement*. Per maggiori informazioni sul tema: C. R. BUXTON, *Property in Outer Space: The Common Heritage of Mankind Principle vs. the “First in Time, First in Right” Rule*, 69 J. AIR L. & COM. 689, 699 (2004).

²¹⁰ Art. 15 *Moon Agreement*.

cisionali senza correre alcun rischio in termini di investimenti e responsabilità – per esempio, tali Paesi potrebbero decidere di applicare elevate imposizioni fiscali alle attività spaziali, senza esserne assoggettati, ma richiedendo comunque di partecipare alla ripartizione dei proventi²¹¹. Inoltre, tali Stati avrebbero un grande incentivo ad usare la loro posizione per ottenere benefici monetari e tecnologici, a spese delle nazioni che investono realmente nei programmi spaziali.

Tutto ciò spiega l'insuccesso dell'accordo sulla Luna. La scarsa adesione al *Moon Agreement*, considerato un parziale fallimento rispetto alle più fortunate convenzioni che lo hanno preceduto, ha portato la dottrina ad un ripensamento dei principi del diritto spaziale e ad una riflessione circa l'implementazione di una *soft law*, più flessibile e meno vincolante degli accordi degli anni '60 e '70.

È certo che la produzione di norme di *soft law* è accompagnata da dubbi che riguardano la valenza formale, non paragonabile a quella dei trattati, ma non c'è dubbio che la loro elasticità rispecchi l'evoluzione che sta subendo la comunità internazionale in termini di meccanismi di cooperazione. Sicuramente, il *Moon Agreement* costituisce un banco di prova di questa tendenza generale della Comunità internazionale e rimane un esempio utile da considerare nel tentativo di individuare strumenti giuridici maggiormente confacenti ad orientare la *governance* internazionale di questa tipologia di attività spaziali.

²¹¹ S. COFFEY, *Establishing a Legal Framework for Property Rights to Natural Resources in Outer Space*, in *Case Western Reserve Journal of International Law*, 41.1 (2009).

Conclusioni.- Giunti al termine di questo lavoro, proviamo a trarre alcune considerazioni finali. La domanda principale che ha dato l’impulso all’analisi fin qui condotta è stata: siamo forse di fronte ad una nuova competizione nello Spazio? La risposta non è immediata. Come più volte affermato, ci troviamo di fronte ad una realtà completamente nuova rispetto a quella di cinquant’anni fa, perché il bipolarismo ha ceduto il passo al multipolarismo, la globalizzazione economica ha facilitato la diffusione delle informazioni, delle tecnologie e degli investimenti che, a loro volta, hanno reso possibile una cooperazione senza precedenti anche nel settore spaziale. Ciò nonostante, l’accesso allo spazio, con un proprio programma spaziale, rimane un obiettivo strategico e prioritario per tanti Paesi che ambiscono ad entrare a far parte dello *Space Club*. Sembrerebbe, dunque, che le dinamiche contemporanee delle relazioni tra gli Stati, in particolare nell’ambito dei programmi lunari, descrivano un sistema internazionale che mostra i segnali di un possibile riassetto degli equilibri politici, sulla base delle analoghe tendenze che prendono forma nelle altre dimensioni della vita internazionale. «Un sistema, dunque, che, pur presentando un’inclinazione alla cooperazione, resta prevalentemente caratterizzato da atteggiamenti competitivi che impongono alle singole unità la logica del self-help e il perseguimento di vantaggi relativi»²¹².

Senza dubbio, gli Stati Uniti stanno scommettendo enormemente sul nuovo programma *Artemis* e il fatto che i rapporti con la Cina siano tutt’altro che distesi lascia pensare che una nuova competizione sia cominciata. La Cina, dal canto suo, sembrerebbe essere più interessata ad affermare l’orgoglio nazionale e a non rimanere indietro, piuttosto che a portare avanti una nuova guerra fredda con gli Stati Uniti. Tuttavia, rimane sempre una grande Nazione con grandi risorse da investire nello spazio e nel 2018 ha superato Russia e Stati Uniti nel numero dei lanci effettuati. E questo spaventa gli americani.

È anche interessante pensare che la gara spaziale non è obbligatoriamente a somma zero, poiché, come abbiamo visto, i diversi programmi lunari hanno logiche diverse. La cooperazione

²¹² G. NATALIZIA, *La società internazionale e lo Spazio: cooperazione e competizione nel XXI secolo*, in *Spazio. Scenari di collaborazione*, 2013, p. 103, https://web.uniroma1.it/disp/sites/default/files/Marchisio_Spazio_%20Scenari%20di%20collaborazione.pdf (cons. 21 dicembre 2019).

internazionale diventa un elemento imprescindibile, così come il fondamento della reciprocità tra i Paesi e la rispettiva ponderazione dei vantaggi, atti a giustificare l'istituzione di partenariati strategici. La complessa architettura giuridica e diplomatica di *partnership* bilaterale e multilaterale, intergovernativa e inter-istituzionale, che presiede a tale impresa globale, rappresenta un caso unico e un riferimento per ogni futura missione di esplorazione umana spaziale.

Un programma ambizioso, come quello che vede il ritorno dell'uomo sulla Luna, ha bisogno dell'aiuto di tutti, in termini di risorse tecnologiche, e non solo, per essere concluso in tempi brevi e nel miglior modo possibile.

Ma in che modo allora la cooperazione internazionale può facilitare la sua realizzazione? I meccanismi di cooperazione bilaterale sono considerati ancora strumenti preziosi per la realizzazione di programmi spaziali con responsabilità condivise tra le Parti. Gli accordi di cooperazione bilaterali e multilaterali rimangano un asse portante della cooperazione spaziale internazionale, continuando a facilitare i rapporti tra due o più Stati. I costi delle missioni spaziali, spesso, non sono più sostenibili autonomamente neanche dai grandi Paesi e ciò motiva la ricerca di sempre nuovi partner e il mantenimento di adeguate relazioni internazionali. Tuttavia, abbiamo visto come il multilateralismo odierno sta adottando, sempre più, forme non pattizie e non *legally-binding*, «preferendo piuttosto una prassi di informazione e trasparenza internazionale che accresce indirettamente la sicurezza delle attività spaziali»²¹³. Più che una *governance* strutturata, allora – come nel caso del regime internazionale previsto dal *Moon Agreement* –, potrebbe essere necessario identificare un meccanismo di coordinamento, o di miglioramento di quelli già esistenti, incluso il regime IGA della Stazione Spaziale Internazionale, per garantire un ambiente che risponda meglio alle nuove esigenze di tutti e alle nuove dinamiche politiche. L'ISECG, ad esempio, può essere un modello in tal senso, perché costituisce un progetto di cooperazione aperto e inclusivo. Essendo oggi, solo gli Stati Uniti l'unico paese ad avere un programma lunare compiuto, sarebbe auspicabile che tutti gli altri Paesi interessati potessero dare il proprio contributo attraverso la condivisione di programmi di lavoro e progetti comuni.

²¹³ G. ARRIGO, *Spazio e cooperazione internazionale*, p. 121.

Dunque, la *Space Diplomacy* continua ad essere fondamentale per mantenere rapporti pacifici e costruttivi tra i Paesi e anche se l'evoluzione e la competizione in seno alla comunità spaziale internazionale sta mettendo a dura prova gli strumenti di cooperazione, riteniamo che aumentare gli sforzi di cooperazione, di relazioni e coordinamento sia ancora l'unico strumento sostenibile per concretizzare un programma multilaterale di esplorazione lunare, nell'auspicata ipotesi che questo possa contribuire «alla nascita di nuovi modelli politici garanti della pace, dello sviluppo e della cooperazione internazionale»²¹⁴.

²¹⁴ G. ARRIGO, *Il ruolo dello Spazio in un mondo che cambia*, in *Space Magazine* 4 (2013), p. 3, <http://www.ezpress.it/flip/space%20magazine/spa04/files/assets/basic-html/page3.html> (cons. 22 dicembre 2019).

SEZIONE GIURIDICO-ISTITUZIONALE

IL RITORNO ALLA LUNA: QUALE MODELLO PER GLI ASPETTI GIURIDICI? *

ANNA CATERINO – GIANCARLO LA ROCCA
ARMANDO LUCIANO – GIANCARLO MELICCHIO

SOMMARIO: Introduzione. – Capitolo 1. Il ritorno alla Luna: possibile interpretazione del modello giuridico dell'Outer Space Treaty (OST) alla luce del diritto romano. – 1.1. Contesto storico. – 1.2. L'OST e la Luna. – 1.3. Il modello giuridico dell'OST attraverso il diritto romano. – 1.4. Prospettive future. – Capitolo 2. L'Accordo sulla Luna del 1979. Un bilancio deludente? – 2.1. Introduzione. 2.2. Il contesto storico ed i lavori preparatori: dalle negoziazioni all'entrata in vigore dell'Accordo. – 2.3. Analisi dell'Accordo sulla Luna. – 2.4. Rilevanza dell'Accordo. – Capitolo 3. Il regime giuridico della Convenzione di Montego Bay e del Trattato antartico: analogie e comparazione con il diritto spaziale internazionale. – 3.1. Introduzione. – 3.2. Definizione di Common Heritage of Mankind. – 3.3. Le sfide del principio di CHM nello spazio esterno. – 3.3.1. L'accordo sulla Luna. – 3.3.2. Il Trattato OST. – 3.4. Il Trattato Antartico. – Capitolo 4. Le legislazioni nazionali di Stati Uniti e Lussemburgo: caratteristiche e impatti sui privati e sulla competizione commerciale. – 4.1. Ritorno alla Luna e risorse spaziali. – 4.2. Legislazioni nazionali. – 4.3. Evoluzione del diritto dello spazio? – Conclusioni.

Introduzione. - Il 20 luglio 1969 l'uomo sbarcò per la prima volta sulla Luna, segnando uno dei momenti più importanti del '900, destinato ad instillare nelle nuove generazioni un rinnovato entusiasmo per lo studio e l'esplorazione dell'universo e a cercare di superare sempre più i propri limiti.

All'avvicinarsi del 50° anniversario di tale impresa nel 2019, il tema del ritorno alla Luna è quanto mai attuale.

L'idea di una presenza stabile dell'umanità sulla Luna sembrerebbe una materia per libri e film di fantascienza, eppure, un ritorno alla Luna non solo è possibile, ma potrebbe concretizzarsi nei prossimi dieci anni in un progetto di base lunare permanente, anche conosciuta come *Moon Village*. Questa volta, il ritorno alla Luna potrebbe vedere gli Stati cooperare insieme in quadro giuridico innovativo che ritorni concettualmente all'approccio dell'Accordo intergovernativo sulla *International Space Station* del 1998.

* Il presente lavoro è stato redatto da Giancarlo Melicchio (Capitolo 1), Giancarlo La Rocca (Capitolo 2), Anna Caterino (Capitolo 3), Armando Luciano (Capitolo 4), sotto la supervisione del Professor Sergio Marchisio e della Dottorssa Viviana Iavicoli.

Tuttavia, la cooperazione non esaurisce l'intera strategia degli Stati che puntano alla Luna. Infatti, le missioni *Chang'e* e *Chandrayaan*, rappresentano iniziative unilaterali di Cina e India che potrebbero allargare e rilanciare la corsa alla Luna; in tal senso rivestono rango di assoluta preminenza la missione *Artemis* degli USA, che prevede di riportare astronauti sulla Luna entro il 2024, e la missione *LUNAR-A* giapponese che punta, tra l'altro, all'obiettivo scientifico di chiarire l'origine e l'evoluzione della Luna.

Avendo la possibilità di accedere regolarmente e abitualmente sul satellite terrestre, un avamposto umano potrebbe essere costruito sul suo lato illuminato, tenuto conto inoltre del fatto che il satellite naturale è ricco di risorse con cui poter rifornire tale avamposto a partire dal ghiaccio, di cui è stata individuata la presenza nelle regioni polari. Da esso, infatti, si potrebbe ricavare acqua, ossigeno e idrogeno, quest'ultimo utilizzabile per produrre propellente per razzi e per generare elettricità. Ulteriore energia potrebbe essere ricavata da una serie di pannelli solari posizionati sulle creste dei crateri polari nei quindici giorni in cui quella sezione della Luna rimane rivolta verso il Sole. Infine, a differenza della Terra, la Luna è stata "bombardata" da grandi quantità di Elio-3 dal vento solare e si ritiene¹ che tale isotopo dell'elio potrebbe fornire energia nucleare più sicura in un reattore a fusione, visto che esso non è radioattivo e non produrrebbe pericolosi rifiuti di scarto.

La creazione di una stazione lunare di ricerca permanente potrebbe rafforzare la cooperazione internazionale, sostenuta dal coordinamento tra governi e tra governi e privati.

Chiaramente ogni rivendicazione territoriale sulla Luna è proibita dal *corpus* giuridico che regge il diritto dello spazio, per cui questioni come l'utilizzo della Luna e i diritti di sfruttamento delle sue risorse da parte di imprenditori dovranno essere affrontate nel prossimo futuro.

Di conseguenza, le attuali evoluzioni tecnologiche in campo spaziale e il rilancio della corsa alla Luna impongono di affrontare l'argomento anche dal punto di vista giuridico. L'obiettivo di questo lavoro è individuare il *legal framework* applicabile alla Luna e altri corpi celesti, per comprendere in che direzione potrebbe orientarsi in futuro la Comunità internazionale.

¹ https://www.esa.int/Our_Activities/Preparing_for_the_Future/Space_for_Earth/Energy/Helium-3_mining_on_the_lunar_surface.

Tali aspetti saranno esaminati facendo riferimento ai principali trattati che formano il corpo giuridico del diritto dello spazio. Inoltre, la riflessione riguarderà questioni attualmente al centro del dibattito accademico e non, come lo sfruttamento delle risorse dello spazio e le sue potenziali implicazioni a livello commerciale e politico.

Il primo capitolo si concentra sul *Trattato sui principi che governano le attività degli Stati in materia di esplorazione ed utilizzazione dello spazio extra-atmosferico compresa la Luna e gli altri corpi celesti* del 1967 (*Outer Space Treaty*), ritenuto la pietra fondante del diritto spaziale internazionale anche nei riguardi delle future possibili regolamentazioni (soft law internazionale e leggi nazionali).

Il secondo capitolo si interroga sulla rilevanza presente e futura del controverso *Accordo che regola le attività degli Stati sulla Luna e sugli altri corpi celesti* (1979).

Il terzo capitolo opera un confronto tra i modelli giuridici “spaziali” e quelli “terrestri”, in particolare prendendo a riferimento la *Convenzione di Montego Bay* (1982) e il *Trattato Antartico* (1959).

Il quarto capitolo affronta la questione dell'utilizzo delle risorse spaziali, analizzando le leggi sul tema emanate da USA e Lussemburgo, cercando di capire che tipo di regolamentazione potrebbe emergere nel prossimo futuro.

CAPITOLO 1

IL RITORNO ALLA LUNA: POSSIBILE INTERPRETAZIONE DEL MODELLO GIURIDICO DELL'OUTER SPACE TREATY (OST) ALLA LUCE DEL DIRITTO ROMANO

GIANCARLO MELICCHIO

1.1. *Contesto storico.*- Da quando, il 4 ottobre 1957, l'Unione Sovietica lanciò in orbita il primo satellite artificiale, la geopolitica ha acquistato una quarta dimensione. Essa non si limita più all'analisi dei conflitti per il controllo di spazi terrestri – mare, terra, aria – ma deve integrare nei suoi ragionamenti lo spazio cosmico, *in primis* quello circumterrestre. Occorre, anzitutto, ricordare che la sovrapposizione della prima fase della sua esplorazione, con la sfida globale tra Stati Uniti e Unione Sovietica, segnò la definitiva consacrazione dello *status quo* internazionale della Guerra fredda, in quanto la “corsa allo spazio”, insieme alla “corsa agli armamenti”, finirono per rendere ineludibile il dilemma della sicurezza come questione centrale intorno alla quale si focalizzò il rapporto tra le due superpotenze. La corsa agli armamenti, pur caratterizzando l'intero periodo dello scontro tra Est ed Ovest, registrò i suoi picchi più drammatici dalla fine del Secondo conflitto mondiale alla morte di Stalin e nel 1962 a seguito della crisi di Cuba.

Al contrario, la corsa allo spazio caratterizzò maggiormente il periodo della “coesistenza competitiva” che si può far coincidere con gli anni della presidenza Chruscev in Unione sovietica, soprattutto a partire dal XX congresso del Pcus del 1956. Nel corso di questa fase di relativa distensione, la conquista dello spazio si attestò come il settore in cui la rivalità tra Washington e Mosca venne distinguendosi per un'enfasi ancor più esasperata e per il collegamento esplicito all'incubo di una terza guerra mondiale combattuta con armi nucleari. Proprio per questa sua forza di colpire direttamente l'immaginario collettivo, lo spazio acquisì una valenza fondamentale non solo nella dimensione del potere ma anche in quella del prestigio internazionale.

Ovviamente anche l'ambito giuridico fu ugualmente influenzato dalle dinamiche legate alla scoperta e al (limitato) controllo umano dello spazio, presentando alcuni parallelismi significativi con altre

“conquiste” di spazi “ignoti” – la frontiera occidentale nord-americana del West e lo *scramble for Africa* – avvenute in territori esterni all’Europa nel corso dell’Ottocento. Sia nel caso della conquista del West che in quello dell’epopea coloniale, gli Stati europei agirono avvertendo l’assenza di un soggetto politico sovrano e, di conseguenza, la dissoluzione della funzione giuridica del concetto di confine. Pertanto, li considerarono sotto il profilo giuridico alla stregua di *res nullius*, ossia luoghi dove il diritto cessa di produrre i suoi effetti regolatori. A fronte di un corpo di norme certo e legittimo che attribuì una forma alle relazioni inter-statali nel nostro continente, in questi spazi l’assenza del diritto fece largo al ritorno della legge del più forte che costituì l’unico elemento ordinante delle dinamiche politiche. Analogamente lo spazio, per le sue caratteristiche intrinseche, si è profilato come una dimensione dotata della stessa natura giuridica dei territori oggetto della conquista dei popoli occidentali nel corso del XIX secolo ma distinto qualitativamente nei rapporti di forza dalla variabile dell’opzione nucleare. Tale condizione ha determinato tendenze competitive tra gli Stati Uniti e l’Unione sovietica che si trovarono ad agire nell’ambito di un’arena il cui grado di anarchia risultò ancor più intenso a causa dell’assenza di istituzioni capaci di temperarne gli effetti. Allo stesso modo, tuttavia, il progressivo aumento del numero degli attori operanti nello spazio e la comune comprensione dei rischi potenziali ben presto ingenerò atteggiamenti cooperativi che si esplicitarono soprattutto nell’ambito giuridico, contribuendo alla definitiva transizione dello *jus publicum europaeum* nel diritto internazionale universale contemporaneo. In questa prospettiva nel 1967 fu concluso un Trattato sullo spazio extra-atmosferico (*Outer Space Treaty*, OST), battezzato dalle Nazioni Unite, che definisce l’esplorazione e l’uso del cosmo «provincia dell’intera umanità» e sancisce il divieto di collocare armi non convenzionali nell’orbita terrestre, sulla Luna e su altri corpi celesti.

1.2. *L’OST e la Luna.* - La proiezione spaziale delle conflittualità planetarie è dimostrabile anzitutto a contrario. Se a spingerci a conoscere e percorrere l’universo fosse la maggior gloria del genere umano, affratellato nell’impulso di sapere, non dovremmo rilevare alcun rapporto fra competizione geopolitica sulla Terra e sviluppo delle missioni spaziali. Invece l’esplorazione scientifica del cosmo è funzione della gara per il suo controllo: maggiori le tensioni fra le potenze terrestri, più forti i loro investimenti nello spazio. Lo spazio

interessa i protagonisti della geopolitica planetaria per ragioni di prestigio, ricchezza e sicurezza. Gli interessi economici in particolare, sono oggi notevoli e potrebbero rivelarsi enormi se le ipotesi di sfruttamento delle risorse della Luna si dimostrassero praticabili. Senza spingersi molto oltre l'atmosfera terrestre, i satelliti di telecomunicazioni, navigazione e osservazione della Terra formano già l'imprescindibile nervatura strategica delle economie più sviluppate e ne favoriscono l'interdipendenza, ma l'accesso alla Luna potrebbe costituire un importante salto di qualità considerando la sua ricchezza di minerali (alluminio, ferro, calcio, titanio, silicio e forse oro) nonché di elio-3. Lunare per il quale si ipotizza un impiego per alimentare reattori a fusione nucleare destinati a sciogliere per sempre la nostra ansia di energia pulita (Caracciolo, 2004). La Luna è un satellite e, in quanto tale, rientra nel raggio di azione del Trattato sullo spazio extra-atmosferico del 1967. Ma a chi appartiene la Luna? Il primo articolo del Trattato del 1967 stabilisce che le attività afferenti all'esplorazione e uso del satellite terrestre sono appannaggio dell'umanità. L'accesso a tutte le regioni della Luna è libero e l'esplorazione e utilizzazione della stessa è una prerogativa dell'intero genere umano.

L'inserimento formale del satellite all'interno della categoria *res communes omnium* ha dei risvolti di importanza notevole (Tomé, 2016). Difatti, a differenza del concetto di *nullius*, da quello di *omnium* discende che se tutti godono del medesimo diritto su un oggetto, non vi è di conseguenza una posizione privilegiata rispetto all'altra. Tale questione possiede un'equivalenza sintomatica rispetto alla situazione in cui nessuno ha diritto su quella cosa determinata. I soggetti risultano tutti sul medesimo livello. Nessun Paese può perciò accampare pretese di alcun genere sulla Luna, a meno che non siano finalizzate alla cooperazione ultima tra Stati. Nessun uomo può porre la propria bandiera sul suolo roccioso. Il fatto che Buzz Aldrin e Neil Armstrong abbiano poi piantato il vessillo a stelle e strisce ha un'importanza del tutto relativa: con quel gesto gli Stati Uniti hanno semplicemente consolidato il ruolo di supremazia scientifica a livello mondiale. Ma la Luna non appartiene agli USA. Non lo è mai stata (Tomé, 2016). Ciò viene ribadito con ancora maggiore enfasi nell'articolo II del Trattato del 1967 dove si evidenzia che la Luna non è soggetta ad appropriazione nazionale attraverso rivendicazione di sovranità, l'utilizzo e l'occupazione o attraverso qualsiasi altro mezzo. Su queste basi quindi, la letteratura specialistica configura globalmente la Luna come vera e propria *res communes omnium*. Nell'uso che se ne fa a

proposito del diritto cosmico (per vero non differentemente dal significato nel diritto romano), *res nullius* rappresenta infatti «a thing without an owner», che «does not belong to anybody but may be appropriated by anyone», mentre *res communis omnium* «refers to objects or things that are available to all and cannot be owned by anyone, not even a State». In ogni caso, la dottrina internazionalistica ha da tempo introiettato la terminologia delle *res communes omnium* – che per vero non è utilizzata *expressis verbis* nei trattati di riferimento – riconducendola concettualmente al contenuto dell'OST del 1967 (Falcon, 2019).

Continuando a snocciolare gli articoli dell'OST si evidenzia come questo, nelle intenzioni delle Parti, si colloca comunque all'interno del *framework* giuridico internazionale e non come un corpo giuridico avulso dallo stesso e quindi *self contained* (art. III); le attività spaziali finalizzate quindi per l'uso e l'esplorazione della Luna devono essere condotte avendo sempre ben in evidenza il mantenimento della pace e della sicurezza internazionale, nonché la promozione della cooperazione e della conoscenza universale. Concetto questo esplicitato e rafforzato nel successivo articolo IV che preclude la possibilità di nuclearizzare la Luna ubicandovi armi di distruzione di massa sancendo il principio che la Luna debba essere utilizzata "exclusively for peaceful purposes"² salvaguardando comunque la possibilità per gli Stati di utilizzare personale militare nonché equipaggiamenti e strutture necessarie per i predetti scopi. Il successivo articolo VI attribuisce la responsabilità relativa agli oggetti inviati nello spazio agli Stati o organizzazioni internazionali quali attori giuridici di riferimento per le attività condotte nello spazio o sulla Luna anche nel caso di coinvolgimento di attori non istituzionali («...shall require authorization and continuing supervision by the appropriate State Party to the Treaty»). L'articolo VII stabilisce i principi generali che devono essere considerati nella identificazione dello Stato di lancio³ al quale va ricondotta la responsabilità per danni causati sulla Terra, agli

² Nel diritto spaziale questa formula sottintende il concetto di attività meramente civili ben oltre il principio di "non aggressività" che è invece compreso nella formula "for peaceful purposes".

³ È possibile che gli Stati di lancio sia più di uno; in questo caso, attraverso accordi internazionali, viene definito chi sarà lo Stato di lancio ad assumersi la responsabilità internazionale dell'oggetto spaziale attraverso la registrazione dell'oggetto stesso.

aeromobili e anche sulla Luna⁴. L'articolo VIII stabilisce che allo Stato di registro, che detiene il controllo e la giurisdizione degli oggetti lanciati in orbita, fa capo la responsabilità⁵. Discorso ben più articolato merita l'articolo IX che delinea alcuni principi fondamentali soprattutto in funzione dell'uso e sfruttamento della Luna. L'articolo auspica che le attività sul nostro satellite siano ispirate ai principi della cooperazione internazionale ed invita gli Stati con maggiori capacità e risorse spaziali a farsi promotori di tale cooperazione. L'articolo stabilisce inoltre che le attività sulla Luna debbano avvenire «with due regard to the corresponding interests of all other States Parties to the Treaty» e in tal senso opera una limitazione alla libertà di uso ed esplorazione della Luna asserito dall'art. I.

In questa prospettiva, in conformità alla *res communes omnium*, la libertà è intesa nell'alveo della necessità ineludibile di dover garantire e non ostacolare le attività di ogni altro Stato. In pratica ogni attività deve essere svolta in conformità alla *due diligence* per evitare che possa verificarsi un effetto dannoso (questo concetto è ovviamente applicabile anche agli attori non statuali sui quali le istituzioni sono sempre tenute a vigilare attraverso le rispettive legislazioni nazionali (Marchisio, 2009).

L'art. IX inoltre pone le basi per la protezione dell'ambiente Lunare e la sua conservazione per gli usi pacifici

Essendo infatti le attività spaziali di per sé molto pericolose e rischiose, al tempo stesso possono essere potenzialmente dannose sia per l'ambiente terrestre sia per quello spaziale e lunare e per questo devono essere condotte con molta cura e diligenza al fine di evitare la così detta *back contamination* verso la Terra⁶.

Degne di nota infine le disposizioni riportate nell'art. XII nel quale si dichiara apertamente che tutte le installazioni, gli equipaggiamenti e i veicoli spaziali presenti sulla Luna devono essere accessibili, a richiesta degli altri Stati membri dell'OST e su base di reciprocità.

⁴ In realtà sulla Luna la responsabilità è "by fault" così come in tutti i casi in cui il danno non abbia impatti sulla superficie terrestre o sugli aeromobili nello spazio aereo terrestre (LIAB 1972).

⁵ Le dinamiche connesse con la registrazione degli oggetti spaziali e l'associazione "all'appropriato" Stato di lancio saranno poi meglio disciplinate nella Convenzione sulla responsabilità internazionale per danni causata da oggetti spaziali del 1972 (LIAB) e nella Convenzione sull'immatricolazione degli oggetti lanciati nello spazio extra-americo del 1974 (REG).

⁶ In questo senso il debris può essere considerato una forma di "*harmful contamination and interference*".

1.3. *Il modello giuridico dell'OST attraverso il diritto romano.* - Il diritto romano potrebbe offrire solidi argomenti giuridici per permettere lo sfruttamento delle risorse dello spazio esterno senza infrangere l'OST, specialmente per quel che riguarda la prospettiva di un «commercial use of space resources» come anche di possibili «settlements on other celestial bodies». In analogia alla distinzione romana tra 'dentro' Roma e 'fuori dal mondo' governato dallo *ius gentium*, così oggi si potrebbe differenziare tra il pianeta terra e ciò che lo circonda. In questo contesto – l'*outer space* –, infatti, i principi regolatori sarebbero esattamente gli stessi che i Romani riconoscevano applicabili alle *res communes omnium* (Falcon, 2019, 9). È quindi possibile trasferire l'istituto giuridico della *res communes omnium* dal diritto romano al diritto internazionale e in particolare al diritto dello spazio⁷. Innanzitutto, il diritto romano prevedeva una distinzione tra ciò che poteva costituire oggetto di proprietà e quanto invece andava soggetto al principio di non appropriazione: in pratica l'accostamento di un «container», ossia la *res communes* (l'aria, l'acqua, il mare, il litorale) e di un «content», ossia la *res nullius* (tutto ciò che può essere trovato all'interno di quel dominio). Ma cosa può essere considerato *res communes* nello spazio extra atmosferico? Considerando che gli art. I e II dell'OST ruotano attorno al concetto delle *res communes omnium*, la suddivisione tra contenitore e contenuto, di derivazione romana, potrebbe essere una conquista concettuale importante per fornire un'interpretazione al divieto di appropriazione⁸ che possa aprire la strada allo sfruttamento delle risorse naturali della Luna. In pratica si potrebbe pensare di considerare la Luna quale *container* non appropriabile e quanto in essa presente il *content* soggetto ad appropriazione.

Del resto, gli articoli I e II dell'OST vietano solamente l'*appropriation* (sia essa condotta tramite *claim of sovereignty* oppure attraverso *use and occupation* o comunque *by any other means*) mentre nulla dice sul semplice *use*, privo di pretese di appropriazione, che, del resto è legittimato dall'art. I, comma 2, dell'OST, secondo cui «Outer space, including the Moon and other celestial bodies, shall be free for exploration and use by all States». Il vuoto in cui navigano i

⁷ Va comunque considerato che il concetto di *res communes omnium* era rivolto in diritto romano ai singoli individui e non agli Stati che al tempo non esistevano ancora. L'OST invece tocca il concetto di sovranità e vincola alla non appropriazione non solo gli Stati ma anche gli individui parlando di occupazione in generale.

⁸ Va anche detto che l'inappropriabilità della *res communes* non vale mai *tout court* e che è possibile un'appropriazione parziale pro parte senza che ciò ne infici l'altrui pari diritto.

vari mezzi inviati dall'uomo nello spazio può essere considerato in analogia con il mare. Ciò comporta libertà di navigazione e di passaggio incondizionati. Il problema si pone nel momento in cui viene chiamata in causa la Luna così che l'art. II dell'OST mette insieme *res communes omnium* che fra di loro hanno regimi differenti (Falcon, 2019, 49).

In effetti anche se a prima vista la Luna pare rientrare nella logica contenitore-contenuto (c'è il corpo in sé e ci sono i suoi materiali pregiati), la differenza con lo spazio è assai debole: contenitore e contenuto, nel caso della Luna, sono consustanziali e, inoltre, sono essi stessi contenuti nel vuoto in un'altra *res communes omnium* simile al mare. L'obiettivo dei trattati internazionali è quello di preservare per tutti l'uso e lo sfruttamento della Luna anche a tutela della capacità di accesso allo spazio. Potrebbero cioè essere visti come *res communes omnium* 'per hoc' ossia in quanto l'uso – qualunque uso utile all'uomo – dello spazio circostante dipende (anche) dalla possibilità di accedere alla Luna⁹. In questa veste la Luna condivide un profilo giuridico simile a quello del litorale marino sul quale, tra l'altro, tutto ciò che è costruito non può che essere – almeno tendenzialmente – provvisorio (Falcon, 2019, 51). In relazione allo sfruttamento delle risorse ubicate sulla Luna, quando esse siano interne o, comunque, da separare in qualche modo e non soltanto rinvenute sulla superficie, e se si considerano parte del satellite, (in ossequio ai principi che regolano le *res communes omnium*), esse dovrebbero poter essere sfruttate se rinnovabili o comunque disponibili a tutti. Se esauribili, viceversa, un freno al loro sfruttamento indiscriminato potrebbe essere rinvenuto nella necessità di rispettare l'appartenenza *omnium* che è altro tratto dell'istituto romano. Uno sfruttamento ragionevole delle risorse potrebbe impedire la costruzione di enormi centri di estrazione

1.4. *Prospettive future*.- La possibilità di considerare o meno *res communes omnium* la Luna ha un vero senso pratico-regolatorio. Le soluzioni implementative che si potranno escogitare, nell'alveo del *framework* giuridico dell'OST, per quanto innovative, dovranno comunque prevedere processi di carattere pattizio con ulteriori riflessioni sotto il profilo rimediale con l'instaurazione di forme di compen-

⁹ Avrebbe un senso ipotizzare che la frase che si ripete negli artt. I e II OST, ossia la precisazione «*including the Moon and other celestial bodies*», valga come un 'per hoc' rispetto al vero protagonista, ossia l'*outer space* e le attività che in esso possono essere svolte.

sazione/restituzione da implementare nel rapporto tra gli Stati e anche tra Stati e privati¹⁰. Solo in questo modo pare possibile attuare una forma di sfruttamento Lunare che rimanga in linea con il modello giuridico dell'OST a patto che riesca a coniugare le legittime pretese degli Stati con potenzialità spaziali più avanzate che acquisiscono sempre maggiori capacità di accesso allo spazio e di sfruttamento delle risorse ivi contenute con quelle dei Paesi meno evoluti tecnologicamente. L'involontario ossimoro di Neil Armstrong, quando pianta la bandiera a stelle e strisce sulla Luna appena dopo aver descritto la sua impresa come «un passo gigantesco per l'umanità» (20 luglio 1969), ha espresso l'intreccio tra scienza e potere sviluppatosi agli albori dell'epopea dell'astronautica.

Ora le frontiere dello spazio si stanno dischiudendo ai privati e allo sfruttamento economico da parte di questi. Solo una piena ed esaustiva regolamentazione del traffico e delle attività spaziali nell'alveo delle singole legislazioni nazionali potrebbe consentire la nascita di giurisdizioni attrattive per lo sviluppo delle linee di business auspiccate dagli attori commerciali e per la crescita economica del comparto spaziale internazionale. Senza Guerra Fredda non avremmo sperimentato l'intensa attività cosmonautica degli anni Sessanta e Settanta e forse l'uomo non avrebbe ancora messo piede sulla Luna. Così, dopo la scomparsa dell'Unione Sovietica, la curva degli investimenti e delle missioni spaziali ha inclinato a lungo verso il basso. Ora l'America sente nuovamente la pressione e si dimostra pronta per rituffarsi a pieno regime nella conquista della Luna da parte di un nuovo attore internazionale che è ormai entrato a pieno titolo nel club delle potenze spaziali globali: la Cina¹¹.

L'attuale interpretazione dell'OST da parte delle legislazioni nazionali potrebbe scoraggiare le iniziative di sfruttamento delle risorse comuni, con la conseguenza di paralizzarne la distribuzione, proprio nel momento in cui lo sviluppo tecnologico promette una rapida e inarrestabile evoluzione della capacità tecnologica. Una ridefinizione del concetto di "bene comune" incentrata sulla titolarità (Tincani, 2013) da parte dei singoli individui, che accantoni il più possibile la mediazione degli Stati, potrebbe indicare una strada promettente per il

¹⁰ Profilo nel quale si dà una rosa di strumenti di tutela, rispetto alla situazione, a chi sia impedito un utilizzo paritario della *res communes omnium*.

¹¹ Il programma cinese noto anche come Programma Chang'e è un progetto sviluppato dall'Agenzia spaziale cinese (CNSA) per l'esplorazione della Luna. Il programma prevede una serie di *orbiter* Lunari, *lander*, *rover* e missioni per la raccolta di campioni dalla superficie della Luna, lanciate a bordo di vettori Lunga Marcia.

superamento di una potenziale situazione di stallo. Uno sforzo interpretativo potenzialmente vincente del modello giuridico dell'OST è rappresentato dall'iter intrapreso dagli USA nell'emanazione della Space Policy Directive-3 relativa allo *Space Traffic Management* (STM). Infatti, al fine di promuovere il commercio e lo sfruttamento spaziale nell'ambito del *framework* giuridico vigente dell'OST (basato sul principio del *res communes omnium*, l'idea di base è quella favorire lo sviluppo di norme non vincolanti (*soft law*) ma complementari all'*hard law* che attraverso *best practices* consentano di evitare la conclusione di nuovi trattati. Per fare ciò gli USA intendono essere il Paese trainante e leader nell'elaborazione di norme e regolamentazioni specifiche per le operazioni spaziali nell'ambito di organi di coordinamento¹² che coinvolgano il maggior numero possibile di attori internazionali e che consentano di garantire quella *safety, stability* e *sustainability* presupposto indispensabile per il rispetto delle prescrizioni dell'OST¹³ (art. IX). A tal fine, è quindi importante regolamentare ogni ambito delle operazioni spaziali volte in particolare a ridurre i *debris*, a garantire profili di volo *safe*, a prevedere il *post mission disposal*, ad identificare le *proximity rule* e le *operational rules* attraverso il rilascio di licenze specifiche e la promozione e la creazione di operatori di servizi spaziali commerciali di STM (EEAS, 2019).

Resta ancora da vedere come gli USA intenderanno regolamentare praticamente lo sfruttamento commerciale della Luna per attività di estrazioni minerarie con l'insediamento di infrastrutture e *facilities* in situ¹⁴; al fine di rispettare la clausola «with due regard to the corresponding interests of all other States Parties to the Treaty», prescritto dall'art. IX, la libertà di accesso previste dall'art. XII, nonché garantire uno sfruttamento rinnovabile delle risorse (*res communes omnium*). Probabile la tendenza a perseguire approcci tesi al multilateralismo internazionale e alla massima condivisione possibile nella elaborazione di una regolamentazione *ad hoc*. Una soluzione possibile potrebbe essere quella di garantire la possibilità di sfruttamento delle risorse con specifiche limitazioni e supervisione da parte dello Stato "appropriato" attraverso l'adozione di strumenti giuridici nazionali

¹² COPUOS, Inter-Agency Space Debris Coordination Committee, International Standards Organization, Consultative Committee for Space Data Systems.

¹³ Per evitare le *harmful contamination and Interference* nonché il prevalere di interessi unilaterali nazionali su quelli comuni.

¹⁴ Ivi inclusa la necessità di creare diritti e obbligazioni associati con l'uso esclusivo e la proprietà privata al di là di quelle che sono le attuali disposizioni del *Commercial Space Launch Competitiveness Act* del 2015.

quali licenze di concessione di aree territoriali con limiti di estensione e limitazioni temporali adeguate a garantire il ritorno economico e a giustificare gli ingenti investimenti da parte dei privati. Si tratterebbe in ogni caso di attività *business oriented*, anche in assenza del concetto di proprietà privata sulla Luna che risulterebbe in netto contrasto con la natura del quadro giuridico delineato dall'OST. Tali licenze a carattere commerciale dovrebbero inoltre indicare chiaramente:

- lo scopo e le finalità delle attività di sfruttamento (commerciale e/o scientifico-accademico – no a operatori di tipo istituzionale aventi altri fini per evitare escalation in un ambiente lunare *contested e congested*);

- limitazioni quantitative e qualitative specifiche in relazione ad azioni atte a garantire uno sfruttamento sostenibile pro parte (rispetto principio omnium e per hoc) che non precluda quindi che tali attività possano essere svolte in futuro anche da altri operatori commerciali;

- clausole sulla protezione ambientale lunare tali che evitino la perturbazione degli equilibri preesistenti in maniera irreversibile;

- obblighi da parte dell'operatore economico di consentire *audit* e supervisione delle proprie attività non solo da parte delle proprie Autorità nazionali ad hoc ma anche da parte di delegazioni accreditate appartenenti ad altri attori internazionali (in applicazione dell'art. XII dell'OST);

- obblighi di divulgazione e pubblicazione delle attività in corso di svolgimento a favore di tutta la Comunità internazionale da parte dei privati e degli esiti delle attività di ricerca scientifica condotte;

- precise limitazioni spaziali e temporali di occupazione delle orbite cislunari da considerare risorse limitate strumentali all'utilizzo della Luna e dello spazio (principio *per hoc*).

Sarebbe infine opportuno che le legislazioni nazionali si adoperino al fine di garantire un regime tributario per lo specifico settore che incentivi e renda appetibile l'attività imprenditoriale attraverso sgravi fiscali e detassazioni ad hoc sui ricavi ottenuti dagli operatori privati agevolando il più possibile, con politiche opportune, la nascita di accordi commerciali transnazionali. Ciò al fine di favorire l'applicazione dell'art. IX evitando il più possibile il solo soddisfacimento di interessi unilaterali nazionali.

BIBLIOGRAFIA DEL CAPITOLO 1

- Biagini, A. e Bizzarri, M. (2013). *Spazio: Scenari di collaborazione*. Hoepli.
- Caracciolo, L. (2004). *Le mani sullo Spazio*. *Limes* (5) 2004.
- European External Action Service (2019). *Analysis paper*
- Falcon M., (2019), *Res communes omnium e diritto dell'Outer Space*. *Contributo al dialogo sulla 'Roman space law*, (13), www.teoriaestoriadeldirittoprivato.com.
- Marchisio, S. (2009) *Article IX*. In: S. Hobe et al., (eds.) *Cologne Commentary on Space Law. Volume 1. Outer Space Treaty*.
- Tincani, P. (2013). *Common Heritage of Mankind - Il caso dell'Antartide*. *Diritto e Questioni Pubbliche*, Palermo.
- Tomè, P. (2016) *Un pensiero su La Luna: res communes omnium*.

CAPITOLO 2

L'ACCORDO SULLA LUNA DEL 1979 UN BILANCIO DELUDENTE?

GIANCARLO LA ROCCA

2.1. *Introduzione.*- L'Accordo che regola le attività degli Stati sulla Luna e sugli altri corpi celesti del 5 dicembre 1979 è l'ultimo dei cinque trattati sullo spazio e conclude la fase di elaborazione del diritto spaziale convenzionale – *law making* – da parte del Comitato sugli usi pacifici dello spazio extra-atmosferico (COPUOS). I cinque strumenti di diritto internazionale convenzionale sono spesso citati insieme, ad intendere l'esistenza di un unico *corpus iuris spatialis*. Tuttavia, adottati per *consensus* prima dal COPUOS e poi dall'Assemblea generale delle Nazioni Unite, ogni strumento è stato negoziato separatamente e l'Accordo sulla Luna è, tra i trattati, l'unico rimasto indubbiamente ai margini dell'attenzione degli Stati: con solo 18 ratifiche, nessuna da parte delle potenze spaziali internazionali, l'Accordo del 1979 continua ad essere percepito come un trattato controverso, un modello incompiuto, destinatario di dubbi sul suo preciso contenuto normativo. Inoltre, il modello giuridico individuato per la Luna, fondato sulla non-appropriazione, completa smilitarizzazione e riconoscimento del patrimonio comune dell'umanità, è spesso ritenuto incompatibile con il Trattato *costituzione* OST, esaminato nel Capitolo precedente.

Ciononostante, il *Moon Agreement* continua ad influenzare il dibattito sul futuro ritorno sulla Luna e ad essere una presenza più o meno scomoda nel quadro giuridico spaziale. In questo capitolo, l'Accordo è prima esaminato dal punto di vista del contesto storico in cui ha visto la luce, poi analizzato nel dettaglio delle disposizioni normative ed infine osservato nella prospettiva presente e futura di fermento, giuridico e strategico, in relazione ai prossimi colonizzatori, uomini e donne, della Luna.

2.2. *Il contesto storico e i lavori preparatori: dalle negoziazioni all'entrata in vigore dell'Accordo.*- Nel 1967, il COPUOS raggiun-

geva il suo primo obiettivo di portata davvero globale con l'adozione dell'*Outer Space Treaty* (OST). Già l'anno prima della sua adozione e soprattutto dopo la missione dell'Apollo 11, si iniziò a delineare l'urgenza di uno strumento specifico per il satellite terrestre, che approssicasse da vicino il problema di quale regime giuridico applicare alla Luna. Il contesto storico in cui ebbero luogo le negoziazioni è quanto mai intricato, denso di sviluppi e risultati diplomatici, sia in seno al COPUOS sia all'Assemblea generale su questioni più generali. Iniziò a muovere i primi passi un movimento ambientalista globale alla fine degli anni 60, proprio grazie alle fotografie della Terra scattate dall'Apollo 8 all'alba – *earthrise*. Il Club di Roma pubblicò gli studi sui limiti della crescita e quelli del pianeta e delle sue risorse. Nel decennio successivo, proprio sul tema delle risorse, si giocarono le partite più importanti; allo stesso tempo, il vasto processo di decolonizzazione procedeva con i suoi contrasti e le tensioni internazionali.

Contemporaneamente, dunque, se il confronto tra il blocco americano e quello sovietico si avviava verso una graduale e fugace *détente*, si approfondiva il divario tra Nord e Sud del mondo. I Paesi in via di sviluppo (Pvs), riunitisi nel Gruppo dei 77, si resero protagonisti di una risoluta opposizione alla Dichiarazione di Stoccolma del 1972. Le motivazioni del dissenso e delle proteste erano alla base di quello che sarebbe diventato nel 1974 il *New International Economic Order*. Le delegazioni dei Pvs rivendicavano le loro priorità nell'ambito delle negoziazioni ambientali di diritto del mare e dello spazio. Ad esempio, nel 1976 i principali Paesi della fascia equatoriale rivendicarono la giurisdizione territoriale sull'orbita geostazionaria con la Dichiarazione di Bogotá. Nel 1967, invece, durante le negoziazioni per la modifica delle convenzioni sul diritto marittimo, il diplomatico maltese Arvid Pardo propose il concetto di *common heritage of mankind* per i fondali marini oltre le giurisdizioni nazionali. Quello stesso anno, l'Argentina sostenne nella sessione del *Legal Subcommittee* (LSC) del COPUOS che l'umanità fosse il soggetto di diritto internazionale a cui appartenesse lo spazio extra-atmosferico. Nel 1970, fu sempre l'Argentina con il diplomatico Aldo Cocca a raccomandare l'estensione del regime di patrimonio comune dell'umanità alla Luna, affiancata poi nel corso delle negoziazioni da numerose delegazioni di Paesi in via di sviluppo all'interno del COPUOS.

L'idea di ampliare il diritto dello spazio specificamente alla Luna ebbe una sua prima concretizzazione nel 1966, con la bozza proposta dagli Stati Uniti a margine dei negoziati per l'OST. Poi, nel 1971 è

l'Unione sovietica a farsi portatrice della necessità di elaborare il diritto applicabile sulla Luna. Tuttavia, nei due progetti in questione il concetto di patrimonio comune non è menzionato. In particolare, l'Unione sovietica rimase fino alla fine una strenua oppositrice all'adozione di un trattato sulla Luna che contenesse questo principio. All'opposto, la "pionieristica"¹⁵ proposta argentina venne appoggiata proprio dagli Stati Uniti a partire dal 1972. Eppure, fino all'estate 1979 le negoziazioni si incagliarono sugli articoli che prevedevano l'applicazione del regime di patrimonio comune alla Luna, rendendo quindi la questione delle risorse Lunari – e lo scopo stesso del trattato – la questione-chiave su cui dibattere. Si discuteva inoltre se convenisse estendere il regime giuridico in questione anche agli altri corpi celesti e di conseguenza alle risorse degli altri pianeti.

Sembra certo, tuttavia, che le difficoltà rimasero limitate alla Luna. Negli anni 70, Stati Uniti e URSS avviarono il dialogo sulle limitazioni delle armi strategiche (SALT I) e lo stesso COPUOS si rese protagonista attraverso l'adozione di altri due fondamentali strumenti giuridici sullo spazio: la *Liability Convention*¹⁶ del 1972 e la *Registration Convention*¹⁷ del 1975. Nel 1975, i due blocchi cooperarono nella Missione congiunta Apollo-Soyuz; e, soprattutto, la NASA continuò a portare astronauti sulla Luna fino a 1972 con Apollo 17: Harrison Schmitt e Eugene Cernan, mossero gli ultimi passi sul suolo lunare e recuperarono gli ultimi campioni dei complessivi 380 chilogrammi di suolo lunare.

Le negoziazioni sulla bozza dell'accordo sulla Luna continuarono, insieme a quelle sul diritto del mare. Ancora nel 1978, il COPUOS aggiornava la sua seduta senza aver raggiunto un compromesso. Durante la sessione, la delegazione brasiliana ebbe a dire che «while spectacular progress had been made in outer space activities, international space law had remained virtually unchanged in the last decade»¹⁸. L'impasse però non sarebbe stato superato lasciando indietro il principio di patrimonio comune: «any treaty should state unequivocally that the moon and its resources were common heritage of mankind»¹⁹ ed in merito fecero eco le delegazioni indiana ed egiziana.

¹⁵ UN Doc. A/AC.105/PV.203E.

¹⁶ Convenzione sulla responsabilità per danni causati da oggetti lanciati nello spazio.

¹⁷ Convenzione sull'immatricolazione degli oggetti lanciati nello spazio.

¹⁸ UN Doc. A/AC.105/C2.SR.308E.

¹⁹ *Ibidem*.

Nonostante ciò, era chiaro anche alle delegazioni dei Paesi privi di capacità spaziali e dei Pvs che l'urgenza di un trattato si era attenuata e le conoscenze scientifiche così come le capacità tecnologiche per usufruire delle risorse Lunari erano assai limitate. Nondimeno, l'aspetto chiave delle negoziazioni rimaneva la formulazione del regime di patrimonio comune dell'umanità. Dayrell De Lima, delegato brasiliano, chiarì che l'adozione del principio era *inequivocabilmente* necessaria perché il concetto del "first come-first served is simply unacceptable"²⁰.

Il compromesso, favorito dal capo della delegazione statunitense Neil Hosenball e dalla convergenza facilitata dalla bozza dell'Austria, si raggiunse finalmente nell'estate 1979. Il Chair del COPUOS, l'austriaco Peter Jankowitsch, chiuse la sessione elogiando l'*exemplary spirit of compromise* dimostrato dalle delegazioni per avvicinarsi ad una soluzione comune, esaltando il ruolo del COPUOS come uno dei corpi più dinamici ed efficaci all'interno delle Nazioni Unite. Una nuova spinta (*new impetus*)²¹ secondo il delegato canadese Kirsch) dovuta all'adozione dell'Accordo attendeva ora il Comitato ed il diritto spaziale.

L'Accordo veniva adottato con una formulazione estensiva dell'art. 11, l'articolo cardine che conteneva il dispositivo del patrimonio comune dell'umanità letto alla luce dei paragrafi che lo compongono.

Lo scopo del trattato, secondo le delegazioni che avevano spinto per l'adozione del principio del patrimonio comune dell'umanità, era stato raggiunto: le risorse della Luna sarebbero state utilizzate all'interno di un regime internazionale comune, di cui avrebbero beneficiato quindi anche gli Stati in via di sviluppo, non dotati di infrastrutture spaziali. Il principio del patrimonio comune avrebbe in ogni modo preservato le risorse per le generazioni successive, recependo quel principio di sostenibilità intra e intergenerazionale proprio del diritto ambientale che in quegli anni si andava strutturando. Le settimane in cui il COPUOS si era riunito in sessione per discutere l'Accordo avevano scandito il decennale dello sbarco sulla Luna, in occasione del quale si erano riaccese le speranze di raggiungere un compromesso ed accrescere la capacità di cooperazione in materia spaziale, nell'interesse di tutta la Comunità internazionale. Paradossalmente, gli sforzi del *Legal Subcommittee* che favorirono l'adozione del quinto Trattato sullo spazio si esaurirono con esso. La fase del *law*

²⁰ UN Doc. A/AC.105/PV.203E.

²¹ *Ibidem*.

making infatti può considerarsi terminata con il 1979. I successivi periodi saranno caratterizzati da strumenti di *soft law* ossia dall'elaborazione di dichiarazioni di principi e dall'approccio di armonizzazione tramite *building blocks* le legislazioni nazionali, in un contesto spaziale in piena evoluzione.

L'Accordo sulla Luna è stato adottato dall'Assemblea generale con la risoluzione 34/68 il 5 dicembre 1979, che ne auspicò la più vasta adesione possibile. Il 18 dicembre l'Accordo fu aperto alla firma, apposta in quella data da soli sei Stati: Austria, Cile, Filippine, Francia, Marocco e Romania. Le firme di Francia e Romania sono rimaste tali, così come quelle dell'India e del Guatemala a cui, ugualmente, non è mai seguita ratifica. Dal 1979 ad oggi le ratifiche depositate presso il Segretariato delle Nazioni Unite sono 18 (in parentesi l'anno di ratifica): Arabia Saudita (2012), Armenia (2018), Australia (1986), Austria (1984), Belgio (2004), Cile (1981), Filippine (1981), Kazakhstan (2001), Kuwait (2014), Libano (2006), Messico (1991), Marocco (1993), Paesi Bassi (1983), Pakistan (1986), Perù (2005), Turchia (2012), Uruguay (1981) e Venezuela (2016). Nessuna delle maggiori *spacefaring nations* ha ancora ratificato l'Accordo. L'entusiasmo che accolse l'adozione dell'Accordo ebbe dunque vita breve.

L'entrata in vigore, prevista con il deposito del quinto strumento di ratifica, quello austriaco, avvenne l'11 luglio 1984 in un contesto storico irrimediabilmente cambiato. Se l'Unione Sovietica era stata dal canto suo sempre avversa alle basi dell'Accordo, si può sostenere che se la spinta per una più ampia adesione all'Accordo venne a mancare, ciò fu dovuto alla mancata ratifica degli Stati Uniti, i quali, per motivi storici e politici, si schierarono contro l'Accordo.

Il 1979 fu sicuramente un anno spartiacque del secolo scorso: oltre all'*oil shock* e alla crisi diplomatica di Teheran, le tensioni tra i due blocchi crebbero fino a far fallire gli accordi SALT II sulla limitazione delle armi strategiche, in aggiunta all'invasione sovietica dell'Afghanistan. Jimmy Carter, il Presidente del *malaise*, lasciò l'Ufficio Ovale al Repubblicano Ronald Reagan, che cambiò molte delle politiche statunitensi per riprendere il confronto strategico-militare con l'URSS ma anche per rilanciare una certa immagine identitaria degli USA sul piano internazionale.

Come ricordato poc'anzi, le negoziazioni sul diritto del mare procedevano di pari passo con quelle sulla Luna ed entrambe erano caratterizzate dall'introduzione del regime del patrimonio comune dell'umanità. In un suo contributo del 2008, l'allora *Executive*

Director dell'American Institute of Aeronautics and Astronautics, Thomas Gangale, descriveva i processi che portarono alla mancata ratifica da parte degli Stati Uniti del *Moon Agreement*. L'Accordo era percepito da buona parte della politica e dei privati statunitensi come un pericoloso precedente nella prospettiva della Convenzione di Montego Bay. Inoltre, un'organizzazione non-governativa in materia spaziale, la L5 Society, si attivò in una campagna di dura contestazione dell'Accordo, basandosi su una confusa e semplicistica interpretazione dello stesso. In sostanza, esso veniva visto come un regime voluto dall'Unione Sovietica che avrebbe reso illegali le attività degli Stati Uniti, come attore pubblico o di suoi enti privati, per l'utilizzazione delle risorse lunari. Complessivamente, quest'opposizione si insinuò all'interno del Congresso e del Dipartimento di Stato: nonostante le dichiarazioni fornite nel 1980 sulla corretta interpretazione dell'Accordo al Sottocomitato Spazio del Senato dal Capo della delegazione USA al COPUOS, Neil Hosenball, gli Stati Uniti non procedettero la ratifica.

Prevedibilmente, lo stesso destino è stato quello della Convenzione sul diritto del mare del 1982, mai ratificata dagli Stati Uniti – e di cui si parlerà nel prossimo capitolo. Lo stesso Harrison Schmitt, geologo e astronauta dell'Apollo 17, tenace sostenitore dell'utilizzazione delle risorse lunari, come l'allora Amministratore della Nasa, Robert Frosch, riferì nelle audizioni al Senato di una totale indifferenza al trattato (Gangale, 2008).

Dunque, se nel 1984 entrava in vigore l'Accordo sulla Luna, gli Stati Uniti contemporaneamente approvavano il *Commercial Space Launch Act*, la legge federale che apriva le porte del settore spaziale ai privati. Dieci anni dopo l'entrata in vigore dell'Accordo, come stabilito dall'art. 18, l'Assemblea generale, su raccomandazioni del COPUOS, avrebbe dovuto esaminare le condizioni per la revisione dell'Accordo stesso. Nel 1994, con risoluzione 49/34, l'Assemblea generale «takes note of the recommendation of the Committee that the General Assembly, at its current session, in considering whether to revise the Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies, should take no further action at the present time»²²: il *Moon Agreement* sarebbe rimasto intatto, ai margini del diritto spaziale, con appena 9 strumenti di ratifica depositati fino a quella data.

²² UN Doc. A/RES/49/34.

Come si è visto, l'Accordo sulla Luna è stato protagonista di più di otto anni di intense negoziazioni, sbloccate con una convergenza sulla formulazione del principio di patrimonio comune dell'umanità da applicare alla Luna, alle sue risorse ed agli altri pianeti del Sistema Solare. Un principio controverso, di difficile interpretazione, a cui infatti non si è dato un significato univoco – da qui l'importanza dei lavori preparatori che portarono alla stesura dell'Accordo²³ – che non cessa di suscitare dubbi sulle sue implicazioni giuridiche. Nel paragrafo che segue, l'Accordo sarà dunque analizzato dal punto di vista normativo, per comprenderne infine la portata normativa e la rilevanza come modello giuridico.

2.3. *Analisi dell'Accordo sulla Luna.*– Nonostante il dibattito intorno al *Moon Agreement* si focalizzi prevalentemente sull'art. 11 per i motivi esposti in precedenza e, in generale, per la divergenza con l'OST, esso è molto più articolato. Nel preambolo, gli Stati parti si dicono «fermamente risolti a favorire in condizioni di eguaglianza l'ulteriore sviluppo della cooperazione tra gli Stati nell'esplorazione ed utilizzazione della Luna e degli altri corpi celesti»²⁴. Si riconosce quindi il bisogno di definire e sviluppare le disposizioni già presenti nei precedenti trattati sullo spazio per ciò che concerne direttamente la Luna; inoltre, si ricordano i benefici tratti dal possibile sfruttamento delle risorse naturali e dei corpi celesti.

L'art. 1 ha per oggetto lo scopo del trattato che, come menzionato in precedenza, fu motivo di contrasti durante le negoziazioni: l'articolo stabilisce che l'Accordo si applica alla Luna ed agli altri corpi celesti diversi dalla Terra appartenenti al Sistema Solare, comprendendo anche le orbite intorno alla Luna (par. 2).

L'art. 2 sancisce che tutte le attività svolte sulla Luna devono essere conformi al diritto internazionale e alla Carta delle Nazioni Unite. L'art. 3, che riprende l'art. IV dell'OST, dichiara gli esclusivi scopi pacifici nell'utilizzazione della Luna (par. 1) ed il divieto di stabilire basi, installazioni e fortificazioni militari, di sperimentare ogni tipo di arma e condurre manovre militari (par. 4). L'articolo

²³ Si ricorda, in merito, l'art. 32 della Convenzione sul diritto dei trattati del 1969 intitolato "Mezzi complementari di interpretazione", in cui si dice dell'importanza dei lavori preparatori e delle circostanze nelle quali un trattato è stato concluso per l'interpretazione, in caso di ambiguità o risultati assurdi o irragionevoli.

²⁴ L'Accordo è stato adottato nelle lingue ufficiali delle Nazioni Unite (cfr. art. 21). Tuttavia, in questa sezione si fa riferimento alla versione del testo in italiano pubblicata in: LUZZATTO, R., POCAR, F., *Codice di Diritto Internazionale Pubblico*, 2013, 296-302.

inoltre stabilisce il divieto dell'uso della forza o di ogni altro atto ostile sulla Luna (par. 2) ed il divieto di mettere in orbita Lunare o di collocare sulla superficie o sul suolo Lunare oggetti che trasportino armi nucleari o di distruzione di massa (par. 3).

L'art. 4 afferma che l'esplorazione e l'utilizzazione della Luna sono appannaggio dell'intera umanità – *province of all mankind*. Ancora al paragrafo 1, si dice che «saranno tenuti in dovuta considerazione sia gli interessi delle generazioni presenti e future sia il bisogno di migliorare il livello di vita e le condizioni di progresso e di sviluppo economico e sociale», in una formula dunque estensiva rispetto all'OST. L'articolo recepisce gli appelli alla sostenibilità e sviluppa il concetto di "appannaggio" dell'umanità.

L'art. 5 contiene disposizioni per la più completa trasparenza e cooperazione tra le missioni di esplorazione ed utilizzazione della Luna, oltre che di coordinamento tra di esse, individuando nel Segretario generale delle Nazioni Unite, nell'opinione pubblica e nella comunità scientifica internazionale i destinatari delle informazioni sensibili, anche relative a "segni di vita organica".

L'art. 6 si riferisce alla libertà di condurre ricerche scientifiche senza discriminazioni di qualsiasi tipo. Al par. 2, si riconosce il diritto di raccogliere campioni dei minerali lunari e di altre sostanze, auspicando che parte di essi siano messi a disposizione degli Stati interessati a fini di ricerca. Il diritto di raccogliere campioni potrebbe configurare una di quelle consuetudini istantanee che si potrebbero formare relativamente al diritto spaziale: così come per il diritto al sorvolo dei territori nazionali a partire dal lancio dello Sputnik, nessuno Stato ha mai protestato per la raccolta di materiale del suolo lunare da parte delle Missioni Apollo. Allo stesso tempo, nell'articolo si sottolinea l'importanza della cooperazione scientifica in merito alle ricerche relative alla Luna, ma soprattutto alle missioni e spedizioni lunari.

L'equilibrio ambientale e le possibili contaminazioni (della Luna e della Terra, al rientro delle missioni) sono materia dell'art. 7, in cui si tratta delle misure prese da ciascuno Stato per evitare tali pericoli (paragrafi 1 e 2), ma anche della possibilità di istituire, tramite accordi specifici di protezione, delle riserve scientifiche naturali per zone di particolare interesse (par. 3). Alla luce degli articoli precedenti, in particolare degli articoli 5, 6 e 7, l'art. 8 afferma che le attività di esplorazione ed utilizzazione possono aver luogo in qualsiasi zona della Luna, sopra o sotto la sua superficie.

Rimarcando l'importanza della libertà di queste attività – e richiamando infatti l'art. I dell'OST–, l'art. 9 prende in considerazione la possibilità di installare sulla Luna stazioni, abitate e non, ma esse non devono impedire agli altri Stati il libero accesso alle zone lunari.

Con l'art. 10 si salvaguarda la vita di ogni persona sulla Luna, sia essa astronauta o membro di un equipaggio ai sensi dell'OST e dell'ARRA²⁵ e a cui gli Stati offrono rifugio in situazioni di difficoltà nelle loro stazioni o dotazioni sul suolo lunare.

L'articolo 11 è stato per anni il punto chiave delle negoziazioni: esso stabilisce che «la Luna e le sue risorse naturali costituiscono patrimonio comune dell'umanità, che trova la sua espressione nelle disposizioni del presente Accordo ed in particolare nel paragrafo 5 del presente articolo». Il regime di patrimonio comune dell'umanità è applicato a fattispecie molto diverse tra loro, da cui anche la difficoltà interpretativa. Ciò che l'Accordo afferma è che l'istituendo regime dev'essere integrato dalle disposizioni che seguono nei paragrafi successivi. Pertanto, la Luna non può essere in nessun modo oggetto di appropriazione nazionale (par. 2).

Il paragrafo 5 perfeziona il contenuto del principio: «gli Stati parti all'Accordo si impegnano a stabilire un regime internazionale che regoli lo sfruttamento delle risorse naturali della Luna allorché tale sfruttamento stia per diventare possibile». Il paragrafo 7 esplicita il significato da attribuire al patrimonio comune dell'umanità ed al regime internazionale, i cui scopi «comprenderanno: lo sviluppo metodico e sicuro delle risorse naturali della Luna; la gestione razionale di quelle risorse; lo sviluppo delle possibilità di utilizzazione di quelle risorse; un'equa ripartizione tra tutti gli Stati parti dei benefici che derivino da quelle risorse, accordando un'attenzione speciale agli interessi e bisogni dei paesi in via di sviluppo, così come agli sforzi di quei paesi che hanno contribuito direttamente o indirettamente all'esplorazione della Luna».

Sarebbe impossibile discutere dell'art. 11 se non nella sua interezza, alla luce dei paragrafi qui riportati. Inoltre, bisogna sottolineare come il par. 5 stabilisca che il regime internazionale rappresenti un impegno degli Stati nel momento in cui lo sfruttamento stia per diventare possibile, anche questo un motivo di disinteresse nel 1979. Il più discusso articolo dell'Accordo, che ne ha decretato il difficile esito e che ancora ne comporta l'incompiutezza, aveva dunque alla

²⁵ Accordo sul salvataggio degli astronauti, il ritorno degli astronauti e la restituzione degli oggetti lanciati nello spazio atmosferico del 1968.

base l'idea di un regime di condivisione delle risorse, non volendo ritenere il satellite terrestre come una zona di utilizzazione a beneficio del singolo Stato che avesse sviluppato per primo le capacità per lo sfruttamento. In aggiunta, il par. 5 richiama l'art. 18, relativo al riesame dell'Accordo a distanza di dieci anni dall'entrata in vigore: in quella sede, la conferenza convocata avrebbe dovuto esaminare anche la fattibilità reale delle capacità tecnologiche di sfruttamento delle risorse, nonché l'eventuale istituzione di un'organizzazione che avrebbe dovuto curare tutti gli aspetti relativi alla gestione del patrimonio comune dell'umanità.

L'Accordo prosegue con una clausola sulla responsabilità internazionale degli Stati per le attività svolte dalle relative agenzie governative e non, che autorizzano le operazioni e ne esercitano un controllo continuo (art. 14). L'articolo prevede inoltre la possibilità di ulteriori accordi specifici sulla responsabilità per danni con l'eventuale incremento delle attività.

L'art. 15 disciplina la possibilità di consultazioni fra Stati in merito alla compatibilità delle attività da svolgere e della risoluzione pacifica delle eventuali controversie secondo i principi stabiliti nella Carta delle Nazioni Unite.

L'art. 16 estende l'applicabilità dell'Accordo alle organizzazioni intergovernative che ne accettino diritti ed obblighi. Concludendo, gli articoli finali prevedono gli obblighi procedurali quali l'apposizione di emendamenti (art. 17), la revisione (art. 18), le disposizioni finali (art. 19), il recesso (art. 20), i testi ufficiali ed il depositario (art. 21).

Nel paragrafo che segue saranno presi in considerazione i punti cardine dell'Accordo e il modello giuridico previsto. Ci interrogheremo inoltre su quale valore rivesta l'Accordo nel presente e nel prossimo futuro.

2.4. *Rilevanza dell'Accordo.*- Con il *Moon Agreement*, il COPUOS non intendeva superare il modello dell'*Outer Space Treaty*, quanto piuttosto approfondire il regime giuridico previsto dallo stesso. Hosenball ricordava infatti, al termine della sessione del Comitato in cui si raggiunse il compromesso, che il compito del *Moon Agreement* era quello di "elaborare"²⁶, sviluppare il modello dell'OST per far sì che fosse più adatto a trattare nello specifico le questioni relative alla Luna.

²⁶ UN Doc. A/AC.105/PV.203.

I due modelli però non risultano in piena sintonia. Dove l'OST era rimasto ambiguo, trovando nei termini "province of all mankind" la formula adatta a non compromettere il regime di libertà (*res communes omnium*), l'Accordo sulla Luna si spinge oltre con la previsione di un regime internazionale per lo sfruttamento delle risorse.

In generale, il modello del *Moon Agreement* si fonda su cinque pilastri ben precisi: applicabilità alla Luna, alle sue orbite ed agli altri pianeti celesti, ivi comprese le risorse; gli scopi esclusivamente pacifici, quindi una completa smilitarizzazione e denuclearizzazione; il principio della non-appropriazione; la cooperazione scientifica e, infine, il patrimonio comune dell'umanità, architettato mediante un regime internazionale basato su un'istituzione che regoli lo sfruttamento delle risorse in modo razionale e con un'equa ripartizione.

È dunque l'Accordo del 1979 ancora un modello rilevante? Se dal punto di vista diplomatico e del suo senso ultimo il *Moon Agreement* è un consistente passo in avanti nella storia del diritto spaziale, per il numero di ratifiche non si può considerare come un reale successo. La sua natura anticipatoria e il controverso regime istituito, nonché alcune circostanze storiche, ne hanno decretato la definitiva incompiutezza. Malgrado ciò, l'Accordo continua a influenzare il dibattito giuridico e politico, oltre che storico, ora che un ritorno sulla Luna – o più *ritorni* sulla Luna – potrebbero concretizzarsi nel corso del prossimo decennio, grazie alle innovazioni tecnologiche ed al ruolo prominente di attori privati.

Nell'anno del cinquantenario dell'OST, l'ex Direttore dell'ESPI e *Chief Strategy Officer* dell'ESA, Kai-Uwe Schrogl, ha riflettuto sull'eredità dei trattati spaziali, sostenendo che il *Moon Agreement* dovrebbe essere molto più apprezzato di quanto non lo sia nel presente e che continuando a trascurarlo ed ignorarlo «the world community misses the chance of maintaining outer space not only for peaceful purposes but also for accepting detailed rules, preventing it from military uses».

Nel 2008, durante la sessione del *Legal Subcommittee* del COPUOS, le delegazioni di sette Stati parti²⁷ all'Accordo hanno presentato un "Joint Statement"²⁸ sui benefici dell'adesione al *Moon Agreement*. L'obiettivo era quello di sollevare una riflessione sulla scarsa partecipazione all'Accordo ed incoraggiare una più ampia partecipazione al diritto dello spazio in generale. Tale dichiarazione

²⁷ Nello specifico: Austria, Belgio, Cile, Filippine, Messico, Olanda e Pakistan.

²⁸ UN Doc. A/AC.105/C.2/L.272.

prende anzitutto in considerazione l'Accordo nell'unicità di alcune sue disposizioni che ne costituiscono il vero valore aggiunto rispetto agli altri trattati: in particolare, la facilitazione della cooperazione scientifica internazionale, nell'ottica della *science diplomacy*, e la precisazione su alcuni punti fondamentali. Il valore aggiunto sarebbe costituito dal fatto che l'Accordo chiarisce il principio di non-appropriazione e dei limiti della giurisdizione degli Stati, oltre ad essere l'unico strumento che prende in considerazione lo sfruttamento delle risorse. Sotto questo profilo, gli Stati dichiarano che il regime ex art. 11, par. 5-7, è un meccanismo aperto che non preclude all'attività dei privati e alla commercializzazione delle risorse, seppure nell'ambito del principio di patrimonio comune dell'umanità. Principalmente, l'Accordo del '79 avrebbe il grande merito di rappresentare un impegno comune al multilateralismo.

Sulla base di queste motivazioni, i sette Stati incoraggiano le altre delegazioni ad accedere e ratificare l'Accordo, considerando in special modo la possibile concretizzazione di missioni di esplorazione ed utilizzazione dei corpi celesti. In sostanza, se l'art. II dell'OST esclude l'appropriazione da parte degli Stati per qualsivoglia motivo – principio che resta a fondamento del diritto spaziale – qualsiasi regime che riguardi l'utilizzazione delle risorse dei corpi celesti dovrebbe avere carattere internazionale. Così si è espresso il Belgio in un *working paper*²⁹ del 2018 presentato al Legal Subcommittee, in cui peraltro si ricorda come l'Accordo sulla Luna sia l'unico Accordo che prenda in considerazione la base giuridica per le stazioni sui corpi celesti. Il *paper* era stato presentato all'interno delle *General exchange of views on potential legal models for activities in the exploration, exploitation and utilization of space resources*. Durante i lavori, alcune delegazioni hanno reiterato la pericolosità del principio del *first come-first served*, che potrebbe delineare un monopolio, di fatto contrario allo spirito dei trattati sullo spazio e che l'unica opzione valida resta la prosecuzione sulla via del multilateralismo per discutere delle regolamentazioni necessarie e della mancanza di uniformità tra i principi espressi dall'OST e dal *Moon Agreement*. In definitiva, si ricorda la rilevanza dell'Accordo sulla Luna come strumento utile per dare allo spazio quella certezza del diritto essenziale per la conduzione di attività spaziali.

Come si può notare, l'Accordo continua ad avere un certo impatto sul dibattito internazionale e ad esercitare una certa influenza sulle

²⁹ UN Doc. A/AC.105/C.2/2018/CRP.8.

attività COPUOS e le strategie delle delegazioni nazionali. Ne sono ulteriore prova l'esistenza dal 2014 dello *Hague Space Resources Governance Working Group*, che lavora su un quadro giuridico di riferimento per l'utilizzazione delle risorse tramite *building blocks* ed attraverso un *working paper*³⁰ presentato nell'aprile 2019 al LSC da Belgio e Grecia. Tale documento suggerisce la creazione di un nuovo *Working Group* nell'ambito del COPUOS che studi la realizzazione di un regime internazionale per lo sfruttamento delle risorse spaziali.

Seppure incompiuto, l'Accordo sulla Luna del 1979 resta uno strumento di diritto internazionale dotato di una certa influenza, potenzialmente destinata a crescere nel prossimo futuro.

Se da un punto di vista giuridico il suo reale impatto è poco consistente, le disposizioni dell'Accordo continuano ad avere un peso politico: la tematica del ritorno sulla Luna, con le accresciute capacità tecnologiche per un'eventuale utilizzazione delle risorse, è attualissima. D'altronde, non si può escludere che l'Accordo acquisti una nuova rilevanza nel futuro, nel caso in cui le delegazioni dei Paesi meno dotati di capacità spaziali decidano di ratificarlo o di firmarlo per tentarne una modifica come Stati parti. Una simile prospettiva, sommata ad un'eventuale nuova corsa alla Luna, spingerebbero ad negoziato in cui le *major spacefaring nations* sarebbero costrette a confrontarsi sul modello giuridico che intendono adottare per il loro ritorno alla Luna. Da qui l'importanza delle legislazioni nazionali di cui si occupa il Capitolo 4.

L'Accordo in questione al momento catalizza il dibattito sulle risorse e sull'idea di una Luna internazionale per sua natura. Intanto, mentre già dagli anni '80 lo statunitense Dennis Hope aveva fondato la *Lunar Embassy* per la vendita di suolo lunare con annessi diritti di proprietà sulle risorse, la ONG *For All Moonkind* è fautrice di proposte per il riconoscimento del patrimonio culturale per alcune aree lunari quali interi siti di *space archaeology*, come le aree in cui si trovano le impronte di Armstrong e Aldrin, o le zone di atterraggio di altre missioni che andrebbero considerate come luoghi di *cultural heritage* e preservati in modo analogo a quelli terrestri. *For All Moonkind* lavora per elaborare *guidelines* su cui costruire il *consensus* degli Stati e predisporre uno strumento giuridico *ad hoc*. La visione della ONG è condivisa in parte anche dal COPUOS che nel 2018 ha proposto tramite lo *Scientific and Technical Subcommittee* la creazione di

³⁰ UN Doc. A/AC.105/C.2/L.311.

un *universal space heritage sites programme*³¹ per promuovere l'educazione e la consapevolezza sullo spazio³².

BIBLIOGRAFIA DEL CAPITOLO 2

Lavori preparatori all'Accordo e documenti delle Nazioni Unite:

A/C.1/L.568
 A/C.1/L.572
 A/AC.105/C.2/L.12
 A/AC.105/240
 A/AC.105/L.74
 A/AC.105/C.2/L.91
 A/AC.105/C.2/L.95
 A/AC.105/C.2/SR.308
 A/AC.105/PV.198
 A/1C.105/PV.203
 A/AC.105/C.2/L.272
 A/AC.105/C.2/L.304/Add.3
 A/AC.105/C.1/2018/CRP.6
 A/AC.105/C.2/2018/CRP.8
 A/AC.105/C.2/2018/CRP.18
 A/AC.105/C.2/2019/CRP.3
 A/AC.105/C.2/L.311
 A/RES/34/68
 A/RES/49/34

Articoli e materiali:

- Bini, A. (2008), *The Moon Agreement: Its effectiveness in the 21st century*, ESPI.
- Davis, M. and Lee, R. (1999). *Twenty Years After. The Moon Agreement and its Legal Controversies*, *Australian International Law Journal*.

³¹ UN Doc. A/AC.105/C.172018/CRP.6.

³² Anche in questo, l'Accordo sembra anticipare le circostanze attuali, se si pensa al paragrafo 3 dell'articolo 7 e alla possibile creazione di riserve scientifiche: un altro motivo da aggiungere al Joint Statement 2008 per incoraggiare gli Stati alla ratifica.

- Freeland, S. et al. (2019). *The Legacy of the Moon Agreement*. IISL/ECLS Space Law Symposium 2019.
- Gangale, T. (2008). *Common Heritage in Magnificent Desolation*. AIAA.
- Hanlon, M. (2019). *Challenges on the Implementations of the Moon Agreement*. IISL/ECLS Space Law Symposium 2019.
- Jaffe, D., (2019). *Terrestrial Models for the Recognition of Human Heritage in Outer Space*, Stanford Student Space Initiative, For All Moonkind.
- Losier, M., (2019). *Defining Heritage in the Space Age*, For All Moonkind.
- Marboe, I. (2019). *Study of the drafting history of the Moon Agreement*. IISL/ECLS Space Law Symposium 2019.
- Martinez, P. et al. (2019). *Reflections on the 50th Anniversary of the Outer Space Treaty, UNISPACE+50 and Prospects for the Future of Global Space Governance*, Space Policy (47), p. 28–33.
- Schmitt, H. S. (2006). *Return to the Moon*. Praxis Publishing Ltd.

CAPITOLO 3

IL REGIME GIURIDICO DELLA CONVENZIONE DI MONTEGO BAY E DEL TRATTATO ANTARTICO: ANALOGIE E COMPARAZIONE CON IL DIRITTO SPAZIALE INTERNAZIONALE

ANNA CATERINO

3.1. *Introduzione.*- Fin da quando nuove aree nel mondo e nello spazio esterno sono state scoperte ed esplorate, l'uomo ha dovuto creare delle norme per governarne l'uso. Tuttavia, almeno fin quando non sono stati sviluppati gli strumenti adatti all'estrazione e all'utilizzo delle risorse presenti in tali nuove aree, non si è avvertita alcuna necessità, da parte degli Stati, di regolamentare l'uso degli oceani e dello spazio. Quando però il progresso della tecnologia ha permesso agli Stati di sfruttarne le risorse, sono sorti anche conflitti tra i Paesi più avanzati e quelli meno dotati tecnologicamente che hanno ostacolato lo sviluppo del diritto del mare e dello spazio.

Sebbene infatti alcune norme siano state stabilite per il fondo dei mari e per il *remote sensing*, alcune di queste non sono state ancora accettate da tutta la Comunità internazionale. I Paesi in via di sviluppo considerano che le risorse scoperte in tali aree siano patrimonio comune dell'umanità e che debbano appartenere non ad un singolo Paese ma a tutti in modo da essere studiate ed utilizzate per il beneficio dell'umanità intera.

Il presente capitolo, seppur in maniera molto coincisa, intende analizzare il collegamento tra il principio del patrimonio comune dell'umanità, così come espresso nell'Accordo sulla Luna, con il concetto di appannaggio dell'umanità contenuto nell'OST e intende fare un confronto con il principio di *common heritage* formulato nella Convenzione di Montego Bay e con le caratteristiche del regime Antartico rilevando analogie e differenze.

3.2. *Definizione di Common Heritage of Mankind.*- Il principio del patrimonio comune dell'umanità è stato introdotto nel diritto internazionale per sottoporre a disciplina gli spazi comuni al di fuori delle giurisdizioni nazionali degli Stati. Ha, in seguito, trovato applicazione nell'Accordo che regola le attività degli Stati sulla Luna e gli altri cor-

pi celesti³³ (*Moon Agreement*) anche se gli Stati non hanno ancora provveduto alla sua attuazione ai sensi dell'art. 11 par. 5. Tuttavia, poiché il principio del patrimonio comune dell'umanità (*Common Heritage of Mankind* – CHM) è formulato anche nella Convenzione delle Nazioni Unite sul diritto del mare³⁴ (denominata altresì Convenzione di Montego-Bay, aperto alla firma il 10 dicembre 1982), è rispetto agli oceani che esso ha finora trovato la sua massima espressione.

Bisogna premettere che la necessità di una regolamentazione internazionale che disciplinasse i fondali marini iniziò a farsi sentire negli anni '60 del Novecento, quando l'estrazione di metalli preziosi divenne possibile. A quel tempo Arvid Pardo, considerato il padre del principio del patrimonio comune dell'umanità, nonché ex ambasciatore di Malta alle Nazioni Unite, dichiarò: «The objective of the Maltese proposal was to replace the principle of freedom of the high seas by the principle of common heritage of mankind in order to preserve the greater part of ocean space as a commons accessible to the international community. The commons of the high seas, however, would be no longer open to the whims of the users and exploiters; it would be internationally administered. International administration of the commons and management of its resources for the common good distinguished the principle of common heritage from the existing traditional principle of the high seas as *res communes*» (Türk, 2015).

La Comunità internazionale ha sviluppato differenti regimi giuridici per governare le risorse naturali: (1) entro i loro limiti territoriali, gli Stati esercitano diritti sovrani sulle risorse naturali; (2) nei casi di fiumi internazionali e specie migratorie, condividono le risorse; (3) nel caso di aree al di fuori delle giurisdizioni nazionali come nell'alto mare, gli Stati riconoscono spesso il principio di "*res communes*". Le terre e le regioni considerate tali non sono suscettibili di appropriazione esclusiva da parte di privati ed inoltre non possono essere oggetto di rivendicazione di sovranità statali; (4) alcune aree già considerate "*res communes*" possono anche avere lo status speciale di *res communes omnium*. Il concetto chiave di quest'ultima categoria può essere rintracciato, in estrema sintesi, nel principio del *Common*

³³ *Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies*, adottato dall'Assemblea generale delle Nazioni Unite il 5 dicembre 1979 con risoluzione 34/68.

³⁴ *United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS)*, è il risultato della Terza Conferenza delle Nazioni Unite sul diritto del mare.

Heritage of Mankind, ma può anche prendere la forma di *Province of Mankind*, come nel caso dello spazio esterno (Joyner, 1986).

Pardo capì l'importanza di un organo comune internazionale per sfruttare e distribuire le risorse dei fondali marini e gli Stati in via di sviluppo abbracciarono subito tale approccio poiché temevano – a ragione – che i Paesi economicamente e tecnologicamente più sviluppati avrebbero ottenuto maggiori benefici (Buxton, 2004). Pertanto, quando l'estrazione di risorse dai fondali marini è stata possibile, la terza Conferenza sul diritto del mare ha istituito l'Autorità Internazionale dei Fondi Marini che ha come obiettivo quello di autorizzare e regolamentare l'esplorazione mineraria dei fondali marini nelle aree internazionali: i fondali marini e il fondo dell'oceano oltre i limiti della giurisdizione nazionale sono quindi patrimonio comune dell'umanità.

Il concetto di patrimonio comune dell'umanità trova espressione formale nella parte XI della Convenzione sul diritto del mare del 1986. L'articolo 136 afferma infatti che «The Area³⁵ and its resources are the common heritage of mankind»³⁶ mentre lo stato giuridico dell'Area e delle sue risorse è sancito all'articolo 137, che ne descrive le basi fondamentali: «No State shall claim or exercise sovereignty or sovereign rights over any part of the Area or its resources, nor shall any State or natural or juridical person appropriate any part thereof. No such claim or exercise of sovereignty or sovereign rights nor such appropriation shall be recognized; All rights in the resources of the Area are vested in mankind as a whole, on whose behalf the Authority shall act. These resources are not subject to alienation. The minerals recovered from the Area, however, may only be alienated in accordance with this Part and the rules, regulations and procedures of the Authority; No State or natural or juridical person shall claim, acquire or exercise rights with respect to the minerals recovered from the Area except in accordance with this Part. Otherwise, no such claim, acquisition or exercise of such rights shall be recognized»³⁷.

Gli obiettivi economici del concetto di CHM sono invece definiti nell'articolo 140, il quale stabilisce che le «Activities³⁸ in the Area shall, as specifically provided for in this Part, be carried out for the

³⁵ Per Area si intende il fondo del mare, il fondo degli oceani e il relativo sottosuolo al di là dei limiti delle giurisdizioni nazionali, così come sancito all'articolo 1 dell'UNCLOS, consultabile in www.un.org.

³⁶ UNCLOS, art. 136.

³⁷ UNCLOS, art. 137.

³⁸ Per "attività nell'Area" si intende ogni attività di esplorazione e sfruttamento delle risorse dell'Area, secondo quanto sancito dall'UNCLOS all'articolo 133.

benefit of mankind as a whole, [...] taking into particular consideration the interests and needs of developing States and of peoples who have not attained full independence or other self-governing status [...]]».

Che l'Area debba essere utilizzata solo per motivi puramente pacifici è invece sancito dall'articolo 141. Di importanza fondamentale per il concetto di CHM è il fatto che l'estrazione e la distribuzione delle risorse marine deve essere fatta sotto l'egida di un'istituzione internazionale chiamata l'Autorità Internazionale dei Fondi marini la cui disciplina è dettata dagli articoli 156-185.

I principi fondamentali dell'amministrazione delle aree marine internazionali, indicati nella Convenzione sul diritto del mare (come modificata dall'Accordo di New York adottato dall'Assemblea generale delle Nazioni Unite nel 1994) sono invece regolamentati secondo i seguenti principi: 1. «the mineral resources of the international seabed area shall be the common heritage of mankind and not subject to appropriation by any State»; 2. «all rights in the mineral resources of the international area shall be vested in mankind as a whole and the economic benefits from deep seabed mining are to be shared on a non - discriminatory basis for the benefit of mankind as a whole»; 3. «the International Seabed Authority is established as the organization to administer such resources and to promote and encourage the conduct of the marine scientific research in the international area»³⁹.

Il principio del patrimonio comune dell'umanità è stato il principale aspetto innovativo dell'UNCLOS. Cinque sono i pilastri su cui si fonda il concetto: (a) il principio di non appropriazione; (b) il principio della gestione condivisa; (c) il principio del "beneficio comune per l'umanità nel suo complesso" che implica un'equa distribuzione dei benefici; (d) il principio dell'uso esclusivo per scopi pacifici; ed (e) il principio di conservazione per le generazioni future, che ribadisce il concetto dello sviluppo sostenibile negli oceani (Pogorzelska, 2015).

3.3. Le sfide del principio di CHM nello spazio esterno.- Applicare il concetto di patrimonio comune dell'umanità allo spazio esterno, alla Luna e agli altri corpi celesti è sempre stato associato ad alcune problematiche. Le sfide più importanti da affrontare sono la delimitazione del significato preciso del principio, l'opposizione degli Stati

³⁹ Agreement Relating to the Implementation of Part XI of the United Nations Convention on the Law of the Sea of Dec. 10, 1983, July 28, 1994, preamble, 33.

più industrializzati, l'inefficacia dell'Accordo sulla Luna e l'assenza di un ente internazionale che amministri queste aree. Il concetto di patrimonio comune dell'umanità non è suscettibile di definizione precisa. È stato sottoposto, infatti, a diverse interpretazioni sia da parte dei Paesi sviluppati che da quelli in via di sviluppo ma mentre questi ultimi hanno dato un'interpretazione più ampia del concetto, gli Stati più avanzati tecnologicamente lo interpretano invece in modo restrittivo. Dunque, negli anni a venire il concetto di patrimonio comune dell'umanità dovrà essere chiarito ponendo attenzione in particolar modo alle sue ramificazioni giuridiche. Se così non fosse ci si chiede infatti come ci si possa aspettare che la Comunità internazionale attui questo importante principio, ovvero che viva secondo lo spirito delle risoluzioni adottate dalle Nazioni Unite se non esiste una chiara comprensione delle implicazioni giuridiche di base (Siavash, 2017).

3.3.1. *L'accordo sulla Luna.* - La questione della condivisione dei benefici dello spazio esterno non è limitata al Trattato sullo spazio extra-atmosferico (che sarà analizzato più avanti) ma è stato riproposto, in una forma leggermente diversa, dal principio del "patrimonio comune", durante l'elaborazione dell'Accordo sulla Luna adottato nel 1979 ed entrato in vigore l'11 giugno 1984. Nell'Accordo in questione, l'articolo 11, par. 1, dichiara che «The moon and its natural resources are the common heritage of mankind [...]». Tra le altre cose, questo concetto estende esplicitamente la natura dello spazio esterno come *res communes* anche alle risorse naturali della Luna. Da ciò ne deriva che «neither the surface nor the subsurface of the Moon, nor any part thereof or natural resources in place⁴⁰» possono essere oggetto di appropriazione da parte di alcun Stato.

IL secondo paragrafo dell'art. 11 invece sancisce che « The moon is not subject to national appropriation by any claim of sovereignty, by means of use or occupation, or by any other means⁴¹ ». In maniera ancora più decisa, il concetto di patrimonio comune dell'umanità comporta la creazione di un futuro regime internazionale che gestisca lo sfruttamento delle risorse lunari così come descritto al paragrafo 5 dello stesso articolo, il quale impegna tutti gli Stati parti all'Accordo a regolare in tal modo lo sfruttamento delle risorse naturali della Luna quando quest'attività sarà realizzabile.

⁴⁰ *Moon Agreement*, Dec. 5, 1979, art. 11, par. 3.

⁴¹ *Idem*, art. 11, par. 2.

Nonostante il limitato successo, l'Accordo sulla Luna offre, al paragrafo 7, un valido inquadramento in relazione ai benefici derivanti dall'utilizzo delle risorse e come questi debbano essere condivisi. In particolare, fa riferimento allo sviluppo ordinato delle risorse naturali della Luna; la loro gestione razionale; l'espansione delle opportunità d'uso; l'equa condivisione tra gli Stati parti dei benefici derivanti da queste risorse per cui anche gli interessi e i bisogni dei Paesi in via di sviluppo devono essere tenuti in debito conto. La scelta del termine "*equo*" piuttosto che il termine "*uguale*" che si trova al paragrafo 7 dell'art. 11 non è priva di importanza poiché "*equitable*" si riferisce a una quota "giusta ed imparziale" dei benefici mentre "*equal*" si riferisce alla "stessa quantità" (Leterre, 2007). L'uso del termine "*equitable*" dimostra quindi che la Comunità internazionale ha stabilito che occorre operare una distinzione tra gli Stati che contribuiscono o investono nell'impresa spaziale e tutti gli altri. Questo è ulteriormente chiarito dalla seconda metà della frase del paragrafo 7 che prevede che «the interests and needs of the developing countries, as well as the efforts of those countries which have contributed either directly or indirectly to the exploration of the Moon, shall be given special consideration». Ciò fornisce un approccio concreto al modo in cui i "benefici dello spazio" dovrebbero essere condivisi e mostra l'inclinazione della Comunità internazionale a bilanciare gli interessi in gioco piuttosto che rivolgersi solo ai Paesi in via di sviluppo come destinatari dell'esplorazione spaziale (Leterre, 2007).

Quello che appare in linea con il Trattato OST e con la Convenzione sul diritto del mare è in realtà l'art. 4 dell'Accordo sulla Luna il quale stabilisce che «The exploration and the use of the moon shall be the province of all mankind and shall be carried out for the benefit and in the interest of all countries, irrespective of their degree of economic or scientific development». Tuttavia, l'intenzione di questo articolo, secondo alcuni studiosi, è quella secondo cui la Luna e le sue risorse dovranno essere usate solo per l'avanzamento di tutti gli Stati e non esclusivamente per coloro che dispongono dei mezzi e delle tecnologie più all'avanguardia per sfruttarle (Joyner, 1986). Così come anche Kerrest fa notare, infatti, che «the province of all mankind is not the moon and the celestial bodies but the exploration and use» (Kerrest, 2001). In realtà dall'anno della sua entrata in vigore, solo 17 Stati hanno ratificato l'Accordo sulla Luna e la conferenza che si sarebbe dovuta tenere 10 anni dopo la sua entrata in vigore non è mai stata convocata.

3.3.2. *Il Trattato OST*.- Il Trattato OST del 1967 è diventato la “pietra angolare” del diritto internazionale dello spazio ed è stato il primo Trattato elaborato nell’ambito del Comitato delle Nazioni Unite per l’uso pacifico dello spazio esterno (COPUOS) ma ben più numerosi sono gli Stati Parti a tale Trattato rispetto a quelli Parti all’Accordo sulla Luna. Analogamente al Trattato Antartico, l’OST promuove la libertà di accesso per la ricerca scientifica e allo stesso tempo nega i diritti di proprietà a qualsiasi Stato sovrano affermando che «the exploration and use of outer space, should be carried on for the benefit of all peoples irrespective of the degree of economic or scientific development»⁴².

Sebbene il concetto di patrimonio comune dell’umanità sia stato concepito prima dell’adozione dell’OST, non è mai stato incorporato all’interno di esso. Nell’OST è stato invece usato il concetto di “appannaggio dell’umanità”, che secondo alcuni studiosi è l’equivalente funzionale e giuridico del patrimonio comune dell’umanità mentre, i due termini applicati in due trattati diversi non possono essere utilizzati in modo intercambiabile (Pogorzelska, 2015). Secondo tale interpretazione, non bisogna confondere il concetto di patrimonio comune dell’umanità riferito alla Luna ed alle sue risorse (art. 11 dell’Accordo *Moon*) con il concetto di appannaggio dell’umanità riferito alla sola esplorazione ed all’uso dello spazio esterno (art. I del trattato OST) mentre lo spazio, la Luna e i corpi celesti sono da considerarsi come *res communes omnium* (Marchisio, 2017). Il Trattato sullo spazio extra-atmosferico (OST) non usa l’espressione *common heritage of mankind* ma quella di *province of mankind*, stabilendo all’articolo I che il regime giuridico dello spazio extra-atmosferico, compresi la Luna e gli altri corpi celesti, è fondato sulla libertà degli Stati di esplorare e utilizzare queste aree senza discriminazioni, su base di eguaglianza e in conformità al diritto internazionale, sottolineando altresì il principio della libertà di ricerca scientifica. Come evidenzia il Prof. Marchisio, il concetto di *appannaggio dell’umanità*, utilizzato in riferimento all’esplorazione e all’uso dello spazio, della Luna e degli altri corpi celesti, non equivale a quello di Patrimonio comune ma si riferisce alle libertà che ispirano la disciplina giuridica dell’OST. Ciò dimostra che l’analogia tra le risorse minerarie dei fondi marini, che costituiscono patrimonio comune dell’umanità, e le risorse minerarie dei corpi celesti, che invece sono *res communes omnium*, decade.

⁴² Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies, 1967, art. 1.

L'OST infatti propone per i corpi celesti, come per gli asteroidi, il regime di libertà proprio dell'alto mare e delle sue risorse⁴³.

Un'analogia perfetta ricorre invece per quanto riguarda il principio di non appropriazione che si applica tanto alle risorse minerarie dei fondi marini che a quelle dei corpi celesti, tanto al patrimonio comune che alle *res communes*. L'art. 138 dell'UNCLOS vieta l'appropriazione dell'Area e delle sue risorse da parte degli Stati, estendendo tale divieto sia alle persone fisiche che giuridiche. Stesso concetto è espresso dall'art. II dell'OST che, a sua volta stabilisce, che lo spazio esterno, compresa la Luna e gli altri corpi celesti non è soggetto ad appropriazione nazionale o a pretesa di sovranità, attraverso l'uso o l'occupazione, o in alcun altro modo.

Secondo Kerrest, il termine *province* sembra associato più al concetto di territorio o della responsabilità su un territorio, dando così l'idea di controllo piuttosto che di proprietà e possibile ricchezza. Kerrest inoltre asserisce che «by itself the common control of humanity over outer space and celestial bodies does not deal with appropriation and property. It only means that the rules over outer space and celestial bodies can only be made by Humanity as a whole. No state ... can rule exploration and use of outer space, [or] can exercise any territorial jurisdiction over it without the agreement of Humanity» (Kerrest, 2001). L'idea di *heritage* sembra direttamente collegata a quella di *ownership* ma una parte della dottrina ritiene che Kerrest si riferisca alla Convenzione sul diritto del mare la quale dichiara che «the sea floor and its resources are the common heritage of mankind». Inoltre, questo tipo di formulazione nel trattato OST servirebbe per rendere chiaro che «the property of these resources is [recognized] to a legal person: humanity». Tuttavia il termine *humanity* resta vago lasciando in sospeso il quesito su «who is humanity or [,] more precisely [,] who is entitled to speak for humanity?».

Un altro problema che si pone riguardo l'interpretazione di tale Trattato è legato al termine *resources*, difficile. Siccome i Paesi sviluppati hanno gli strumenti e la capacità per esplorare lo spazio esterno, hanno mostrato poco interesse nel condividere le loro conoscenze con gli Stati in via di sviluppo. Questi ultimi hanno quindi spinto per avere maggiori benefici nell'ambito della cooperazione internazionale così che i profitti ricavati dallo spazio possano essere ricompresi nella formulazione di "appannaggio dell'umanità" (Lewis, 1987).

⁴³ *Ibidem*.

3.4. *Il Trattato Antartico*.- Agli inizi dell'Ottocento, quando le spedizioni inglesi, americane e russe cominciarono ad esplorare l'area vicino al Polo Sud, molti credevano che questo consistesse semplicemente in isole di ghiaccio. Nel 1840 l'Antartide è stato riconosciuto come continente e all'inizio del 1900 sette Stati hanno rivendicato la sovranità su oltre l'ottantacinque per cento del territorio⁴⁴. Il Trattato sull'Antartico è entrato in vigore nei primi anni '60, quando la Comunità internazionale ha cercato di stabilire il concetto che alcune aree semplicemente appartenevano (e appartengono) a tutti gli abitanti della terra.

Il Trattato Antartico in realtà congela le pretese di sovranità di alcuni Stati ma tali rivendicazioni non sono mai state ritirate. Questo differenzia profondamente il regime giuridico dell'Antartide rispetto allo spazio extra-atmosferico. Il Trattato Antartico è in realtà un trattato quadro, in quanto delinea la disciplina normativa generale del territorio antartico, ponendo i cardini del regime di internazionalizzazione, senza però prescrivere le attività specifiche che in tale ambito potranno essere svolte. La base giuridica ed il fondamento di tutto il Sistema Antartico è il Trattato di Washington – firmato il 1 dicembre 1959 da dodici Stati, i cui scienziati erano presenti in Antartide durante l'anno geofisico internazionale nel 1957-58 – ed è entrato in vigore il 23 giugno 1961⁴⁵.

Il Trattato di Washington sancisce il principio della libertà della ricerca scientifica a scopo pacifico, vietando ogni attività a carattere militare e le esercitazioni che comportino esplosioni nucleari o il deposito di materiale radioattivo (art. 5). Per concretizzare un simile obiettivo, il Trattato si propone di favorire la libertà di ricerca e la cooperazione internazionale tra le Parti attraverso una costante attività di scambio di informazioni e di ricercatori tra le diverse Stazioni logistiche (art. 7). Il Trattato dispone, infine, il congelamento delle pretese di sovranità territoriale delle Parti sull'Antartide, funzionale ad un utilizzo pacifico del continente (art. 4)⁴⁶. In particolare, l'art. 1 del Trattato stabilisce che «Antarctica shall be used for peaceful purposes only» e a tal proposito proibisce «any measures of a military nature»

⁴⁴ Gli Stati autori di tali rivendicazioni furono: Argentina, Australia, Cile, Francia, Norvegia, Nuova Zelanda e Regno Unito. Per ulteriori approfondimenti consultare Buxton (2004).

⁴⁵ Ad oggi conta 54 Stati parti. L'Italia ha aderito il 18 marzo 1981; per approfondimenti consultare www.esteri.it/mae/it/politica_estera/aree_geografiche/asia/trattato_antartico.html.

⁴⁶ Ciò nonostante, Stati Uniti e Russia hanno dichiarato che in futuro si riservano il diritto di fare rivendicazioni.

ma «not prevent the use of military personnel or equipment for scientific research or for any other peaceful purpose».

Il Trattato Antartico non include espressamente il principio del patrimonio comune dell'umanità, ma secondo alcuni l'applicazione del principio anche all'Antartide appare ampiamente accettata (Buxton, 2004). Inoltre, l'estrazione mineraria nel continente può avvenire solo dopo «unanimous consent of all signatories» e finora non si è mai verificato.

Sempre con l'intento di preservare quanto più possibile l'ambiente antartico un Protocollo sulla Protezione Ambientale, è stato firmato a Madrid il 4 ottobre 1991 ed è entrato in vigore il 18 gennaio 1998⁴⁷. Il Protocollo promuove il rispetto e la tutela dell'ambiente in Antartide, attraverso l'adozione di misure concrete, accentuando la responsabilità delle Parti Consultive nell'assicurare che ogni attività intrapresa sia conforme al Trattato Antartico, e che venga svolta nell'interesse della Comunità internazionale. A tale scopo, il Protocollo dispone: l'espresso divieto di attività minerarie; lo sviluppo di attività di cooperazione tra le Parti, con l'introduzione di una procedura di valutazione di impatto ambientale che si svolge attraverso la duplice attività di scambio di informazioni e di reciproca assistenza.

L'obiettivo delle norme richiamate è quello di ridurre al minimo gli effetti delle attività antropiche nella regione antartica e negli ecosistemi a essa associati⁴⁸.

BIBLIOGRAFIA DEL CAPITOLO 3

Documenti delle Nazioni Unite:

Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies; Agreement Relating to the Implementation of Part XI of the United Nations Convention on the Law of the Sea of Dec. 10, 1983, July 28, 1994, preamble, 33.

Moon Agreement, Dec. 5, 1979;

Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty.
The Antarctic Treaty.

⁴⁷ Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty.

⁴⁸ *Ibidem*.

Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies.

United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS).

Articoli e materiali:

- Buxton, C. R. (2004). *Property in Outer Space: The Common Heritage of Mankind Principle vs. the First in Time, First in Right, Rule of Property*. *Journal of Air Law and Commerce* 69 (4).
- Joyner, C. C. (1986). *Legal Implications of the Concept of the Common Heritage of Mankind*. *The International and Comparative Law Quarterly* 35 (1), p. 190-199.
- Kerrest, A. (2001). *Outer Space: Res Communis, Common Heritage or Common Province of Mankind?* ECSL Summer Course.
- Leterre, G. (2007). *Providing a legal framework for sustainable space mining activities*. MA Thesis, p. 1-93. University of Luxembourg.
- Lewis, R. E. (1987). *An analysis of the law of the sea and outer space law: claims over the natural resources of the "commons"*. MA Thesis, p. 1-103. University of Richmond.
- Marchisio, S. (2017). *Lo sfruttamento delle risorse minerarie dei corpi celesti nel diritto internazionale*. In: E. Triggiani, F. Cherubini, I. Ingravallo E. Nalin, R. Virzo (a cura di) *Dialoghi con Ugo Villani*, pp. 881 – 889. Bari: Cacucci.
- Pogorzelska, K. (2015). *Building upon the Developments in the Law of the Sea: The Extension of the Concept of Sustainable Development to Outer Space*. *Maritime Safety and Security Law Journal*, p. 71-94.
- Siavash, M. (2017). *Outer Space and Common Heritage of Mankind: Challenges and Solutions*. *RUDN Journal of Law*, 21(1), p. 102–115.
- Türk, H. (2015). *The Idea of the Common Heritage of Mankind*. *Maritime Law*.

CAPITOLO 4

LE LEGISLAZIONI NAZIONALI DI STATI UNITI E LUSSEMBURGO: CARATTERISTICHE E IMPATTI SUI PRIVATI E SULLA COMPETIZIONE COMMERCIALE

ARMANDO LUCIANO

4.1. *Ritorno alla Luna e risorse spaziali.*- Recentemente, la riconquista della Luna è tornata ad essere uno degli argomenti più discussi da parte degli addetti ai lavori e non. Si può dire che i protagonisti di tale impresa sono vecchi e nuovi attori. Infatti, insieme alle agenzie spaziali nazionali (in primis NASA, ROSCOSMOS, JAXA, CNSA e ISRO), anche i privati sono interessati a ritagliarsi uno spazio sul suolo lunare.

Senza ombra di dubbio, quando si parla di “privatizzazione” dello spazio, la prima realtà che viene in mente è quella americana, dove in effetti si sono verificati i risultati migliori in relazione a questo processo. A partire dagli anni 2000, il problema del contenimento del budget ha costretto la NASA ad appaltare sempre più di frequente la progettazione di razzi e sonde a laboratori indipendenti con essa collegati e a università, ma anche e soprattutto a imprese private con *know-how* riconosciuto nel settore.

Aziende che operano nel campo aerospaziale sono presenti anche in altri Paesi. Tuttavia è prevalentemente negli Stati Uniti che la capacità di tali aziende si è consolidata al punto tale da renderle capaci di elaborare un proprio programma spaziale, con annesse autorizzazioni governative. Basta citare solo alcune tra le più importanti: la *SpaceX* di Elon Musk, la *Virgin Galactic* di Richard Branson, la *Blue Origin* di Jeff Bezos, la *Bigelow Aerospace* di Robert Bigelow e la *Space Adventures* di Eric C. Anderson.

Il ritorno sulla Luna è solo il primo passo in un percorso di più ampio respiro in cui l’umanità dovrebbe iniziare la propria esplorazione di altre zone del sistema solare. Oltre alla Luna, i gli obiettivi più probabili di questa esplorazione ed eventuale espansione dovrebbero essere alcuni corpi celesti della fascia principale e alcune delle lune di Giove e Saturno, benché l’obiettivo più prossimo rimane Marte. Tuttavia, nello specifico, le ragioni per le quali l’umanità dovrebbe tornare sulla Luna prima di una qualsiasi missione su Marte sono diverse (Launius, 2019): la Luna è a soli tre giorni di viaggio dalla

Terra, Marte a quasi un anno. Il viaggio relativamente breve potrebbe limitare le conseguenze di imprevisti e di altre difficoltà presenti su una tratta più lunga; la luna rappresenta il luogo ideale per testare le tecnologie e i sistemi necessari per una esplorazione spaziale più ampia; la Luna rappresenta un'ottima base per sperimentazioni scientifiche in vari campi; il ritorno dell'uomo sulla Luna stimolerà le capacità tecnologiche e ingegneristiche di tutte le nazioni coinvolte in un'ottica di collaborazione internazionale; tale progetto renderà ancora più necessario lo sviluppo di energia a basso costo e di altre tecnologie applicabili sia sulla Luna che sulla Terra; la Luna potrebbe essere una base strategica per i sistemi mirati alla distruzione di asteroidi e comete in transito vicino alla terra.

Inoltre, recentemente è emerso anche un altro importante incentivo per un ulteriore slancio all'esplorazione spaziale: la possibilità di avviare attività minerarie sulla Luna e su vari corpi celesti del sistema solare, ottenendo così grossi quantitativi di minerali preziosi e altre materie prime.

Le prime fonti minerarie su cui puntare potrebbero essere gli asteroidi, la gran parte dei quali si trova nella fascia tra Marte e Giove, e con alcuni che transitano più vicini alla Terra di quanto non faccia la Luna. L'attività mineraria sugli asteroidi è più fattibile rispetto alla Luna o altri pianeti, in quanto essi presentano in generale materiali puri più semplici da estrarre, con minori interventi di affinazione o lavorazione.

Dunque, i sostenitori dell'esplorazione spaziale a fini commerciali ritengono l'estrazione mineraria un elemento chiave per future missioni, anche se al momento, nonostante la fattibilità teorica, lo sfruttamento minerario dei *near-Earth objects* resta ancora un obiettivo lontano dal verificarsi. Ciò è dovuto principalmente agli elevati costi per raggiungere gli asteroidi, estrarre le risorse e trasportarle sulla Terra: solo quando tali costi si ridurranno al punto tale da rendere i minerali spaziali economicamente competitivi, la situazione probabilmente inizierà a mutare.

In questo scenario, diventa allora importante rispondere all'interrogativo relativo alle possibili implicazioni giuridiche, oltre che commerciali, della fruizione di risorse spaziali.

Per affrontare tale quesito, nella prospettiva di incentivare gli investimenti e i progetti nel campo dell'esplorazione spaziale a fini commerciali, alcuni Paesi stanno già predisponendo adeguati stru-

menti giuridici per poter usufruire di questa nuova potenzialità fornita dallo spazio.

Esempi interessanti a tale proposito (non solo perché i primi cronologicamente) sono quelli degli Stati Uniti e Lussemburgo.

È allora utile interrogarsi su quale direzione stia evolvendo il diritto dello spazio e quali siano i potenziali modelli da seguire per questi nuovi usi. È chiaro che una nuova corsa allo spazio, che vedrebbe i privati agire da protagonisti, presenta diversi elementi problematici. Né forse sarebbe auspicabile una tale competizione senza una adeguata base giuridica che possa regolamentare tali attività e al contempo incentivare la nascita di un ambiente favorevole dal punto di vista commerciale ed imprenditoriale, soprattutto tenendo conto dei rischi e pericoli delle attività spaziali.

4.2. *Legislazioni nazionali.*- Prima di prendere in considerazione i tratti principali delle legislazioni dei due Paesi in esame, Stati Uniti e Lussemburgo, è bene sottolineare fin da subito che tali normative hanno fatto sorgere dubbi nella Comunità internazionale per quanto riguarda la loro compatibilità con il diritto internazionale, in particolar modo da parte di Russia e Belgio; dubbi dovuti soprattutto al confronto del loro contenuto con quanto disposto nei trattati che costituiscono il diritto dello spazio. Nello specifico ci si riferisce all'*Outer Space Treaty* del 1967 e al *Moon Agreement* del 1979.

Il primo Trattato, l'OST, vieta l'utilizzo di armi di distruzione di massa nello spazio, prescrive l'uso a fini pacifici e vieta qualsiasi rivendicazione territoriale dei corpi celesti.

Il *Moon Agreement*, modellato sul diritto del mare, definisce la Luna e gli altri corpi celesti come "patrimonio comune dell'umanità" e impegna gli Stati Parti all'Accordo a stabilire un regime internazionale per regolamentare lo sfruttamento delle risorse naturali della Luna. È interessante notare tuttavia come le grandi potenze spaziali, come Usa, Russia, Cina o Francia, non hanno mai ratificato tale accordo.

Infatti, è fuor di dubbio che tra i due Trattati il più "debole" sia proprio il *Moon Agreement*, essendo stato ratificato da soli 18 paesi; mentre, al giugno 2019, l'OST presenta 109 Stati Parti (e altri 23 Paesi che ancora non hanno completato le procedure di ratifica). Riguardo i diritti sulle risorse spaziali, i diritti commerciali sulle risorse naturali estratte sulla Luna o altri corpi celesti sono stati e rimangono tuttora un argomento estremamente dibattuto.

L'OST vieta espressamente all'art. II il diritto di esercitare sovranità sulla Luna o qualunque altro corpo celeste.

Tuttavia, tutto si gioca sulla definizione dei limiti del divieto di appropriazione prescritti dall'OST, in quanto tra le diverse possibili interpretazioni di tale Trattato sono emerse due scuole di pensiero: la prima ritiene che le leggi nazionali a favore del *mining* spaziale siano in contrasto con il divieto sancito dall'art. II OST, il quale vieta l'appropriazione di qualunque corpo celeste in qualsiasi forma («by any other means»)⁴⁹; la seconda scuola di pensiero si appella invece alla «libertà di esplorazione ed uso»⁵⁰ delle risorse spaziali per il beneficio e nell'interesse di tutti i Paesi secondo l'art. I OST. In tale disposizione viene inoltre stabilito anche il principio secondo il quale l'esplorazione e l'uso dello spazio extra-atmosferico devono avvenire a beneficio e nell'interesse di tutti gli Stati e le risorse spaziali sono pertanto appannaggio dell'umanità («province of all mankind»). È bene notare inoltre come l'art. VI dell'OST sottolinei che gli Stati devono autorizzare e supervisionare le attività nazionali che si svolgono nello spazio extra-atmosferico sia che si tratti di enti governativi che di enti non governativi, quindi privati.

Seguendo coloro che danno un'interpretazione «estensiva» di questo articolo dell'OST, i legislatori americani e lussemburghesi hanno emanato rispettivamente il *Commercial Space Launch Competitiveness Act*⁵¹ del 25 novembre 2015 e la legge del 20 luglio 2017 «*Sur l'exploration et l'utilisation des ressources de l'espace*»⁵².

La legge americana del 2015, par. 51303, titolo IV, recita: «A U.S. citizen engaged in commercial recovery of an asteroid resource or a space resource shall be entitled to any asteroid resource or space resource obtained, including to possess, own, transport, use, and sell it according to applicable law, including U.S. international obligations». Con tale formula, lo *US Space Act 2015* della presidenza Obama vuole promuovere, con la supervisione del Governo federale, il diritto del cittadino americano di recupero e sfruttamento commerciale delle

⁴⁹ OST, art. II: «Outer space, including the Moon and other celestial bodies, is not subject to national appropriation by claim of sovereignty, by means of use or occupation, or by any other means».

⁵⁰ OST, art. I, par. 2: «Outer space, including the Moon and other celestial bodies, shall be free for exploration and use by all States without discrimination of any kind, on a basis of equality and in accordance with international law, and there shall be free access to all areas of celestial bodies».

⁵¹ www.congress.gov/bill/114th-congress/house-bill/2262.

⁵² legilux.public.lu/eli/etat/leg/loi/2017/07/20/a674/jo.

risorse lunari o situate su altri corpi celesti nel rispetto degli obblighi internazionali sottoscritti dagli USA. Il provvedimento afferma poi che lo Stato americano non intende rivendicare alcuna sovranità e/o diritti sovrani esclusivi o giurisdizione sulla proprietà di alcun corpo celeste.

Nel solco tracciato dalla normativa americana, anche il Lussemburgo ha emanato la propria normativa sul recupero ed utilizzo delle risorse, primo Stato europeo ad aver prodotto un regime giuridico che assicuri agli operatori privati diritti sull'estrazione delle risorse dei corpi celesti.

Come dichiarato dal Ministro dell'economia Étienne Schneider⁵³, la legge sulle risorse spaziali del Lussemburgo è simile negli intenti a quella degli USA con l'eccezione che le imprese non necessitano di essere basate in Lussemburgo per poter avvalersi di tale legge. Quindi, rispetto allo *US Space Act 2015* che impone all'azienda che chiede l'autorizzazione di avere la maggior parte dei soci di nazionalità americana, la legge del Lussemburgo è aperta a qualsiasi nazionalità, a patto che la società sia costituita secondo il diritto lussemburghese. Tale legge arriva alla fine del percorso intrapreso dal Paese con l'iniziativa *SpaceResources.lu*⁵⁴, con cui il Lussemburgo intende contribuire all'esplorazione pacifica e all'utilizzo sostenibile delle risorse spaziali per il beneficio dell'umanità.

La legge lussemburghese afferma che «les ressources de l'espace sont susceptibles d'appropriation» (art.1), previa autorizzazione e controllo governativo sulle attività portate avanti dai privati. È interessante notare come di recente i due Paesi abbiano concluso un memorandum per una collaborazione in campo spaziale⁵⁵.

Lo scenario innescato dall'emanazione delle leggi statunitense e lussemburghese aprirà probabilmente la strada ad analoghe regolamentazioni da parte di altri Stati, con conseguenze imprevedibili. Infatti, quella attuale è una fase che può definirsi transitoria, in cui molte delle questioni da affrontare restano aperte.

Tuttavia, in questo momento storico carico di incertezze rispetto a questi temi sotto vari aspetti, appare chiaro che, ancora una volta, lo strumento della cooperazione internazionale appare come un principio

⁵³ spacenews.com/new-law-and-space-agency-to-support-luxembourgs-space-resources-ambitions/.

⁵⁴ spaceresources.public.lu/en.html.

⁵⁵ spaceresources.public.lu/en/actualites/20191/united-states-and-luxembourg-sign-memorandum-on-space-co-operation.html.

chiave della Comunità internazionale, di cui la Stazione Spaziale Internazionale costituisce il massimo esempio di collaborazione politica e tecnologica.

Ecco perché pare utile sottolineare che il coordinamento fra legislazioni spaziali per lo sfruttamento minerario delle risorse spaziali sarebbe a questo punto una condizione essenziale per evitare tensioni diplomatiche.

4.3. *Evoluzione del diritto dello spazio?*.- È ormai chiaro che lo spazio e lo sfruttamento delle sue risorse naturali sarà un tema sempre più dibattuto, non solo a livello istituzionale ma anche e soprattutto tra operatori non governativi ed imprese. Così com'è chiaro che le potenzialità commerciali dello sfruttamento di tali risorse funzionerà sempre più da catalizzatore per l'interesse delle imprese che vogliono affrontare questa nuova sfida tecnologica e commerciale in campo spaziale. Come sottolineato di recente⁵⁶, sebbene la grande maggioranza delle attività spaziali è ancora guidata dai governi nazionali con le industrie private che agiscono da appaltatori di programmi pubblici, supportate dal finanziamento pubblico, varie tendenze degli ultimi anni mostrano un crescente investimento da parte dei privati nel settore, così da poter parlare di *New Space Economy*. In tale contesto⁵⁷, le varie agenzie spaziali e il settore pubblico in generale dovranno essere capaci di cambiare il proprio approccio, supportando il nuovo sistema di *space economy* che va creandosi, tenendo conto dei nascenti modelli di business.

Comprensibilmente, senza un contesto ben definito in cui muoversi, gli investitori potrebbero essere meno propensi a supportare iniziative come quelle relative ad attività minerarie su asteroidi e altri corpi celesti. Inoltre, anche per evitare la creazione di monopoli e disuguaglianze, appare necessario approntare regole adeguate a gestire questa nuova frontiera, il cui valore potenziale stimato secondo alcuni arriverebbe a trilioni di dollari se non di più.

Alla luce delle legislazioni qui citate brevemente – a cui sicuramente faranno seguito leggi di altri Paesi – ci si può interrogare se siamo di fronte ad una imminente rivoluzione nel diritto dello spazio e verso quali modelli di riferimento ci si orienterà in futuro per regolamentare queste e altre situazioni simili.

⁵⁶ ESPI, *The Rise of the Private Actors in the Space Sector*, July 2017.

⁵⁷ Per il contesto europeo: ESPI, *Space Venture Europe 2018. Entrepreneurship and Private Investment in the European Space Sector*, February 2019.

Infatti, se nuove opportunità portano a nuove iniziative, allora diventerà sempre più necessaria una nuova regolamentazione internazionale che possa stabilire una cornice giuridica entro la quale dettare nuove regole che consentano di sfruttare commercialmente e nel modo migliore possibile le risorse spaziali, tenendo comunque sempre presenti gli obblighi internazionali pregressi. Il punto ora è decidere quali possano essere i modelli più consoni per poter usufruire di tali risorse.

Contrariamente a quanto previsto in caso di instaurazione del regime del patrimonio comune dell'umanità, gli Stati tecnologicamente più avanzati rivendicano profitti adeguati al loro impegno, senza doverli condividere con altri.

L'articolo 136 UNCLOS (*Convenzione sul diritto del mare* di Montego Bay, 1982) infatti, nello stabilire il regime del patrimonio comune dell'umanità applicabile al suolo e sottosuolo marino, istituisce l'Autorità internazionale per i fondi marini (ISA), con l'obiettivo di gestire il sistema di sfruttamento delle risorse minerarie oceaniche.

Considerando che il *Moon Agreement* sottolinea all'art. 11 che la Luna e le sue risorse sono patrimonio comune dell'umanità, non è difficile capire perché tale Accordo sia stato ratificato da pochi Stati e, soprattutto, da nessuna delle grandi potenze spaziali. Tale regime giuridicamente vincolante implicherebbe la condivisione solidaristica dei potenziali risultati dello sfruttamento delle risorse spaziali che male si sposa con ragionamenti prettamente commerciali.

È bene precisare che il concetto di patrimonio comune dell'umanità non deve essere confuso con il concetto di "appannaggio dell'umanità" contenuto nell'art. I dell'OST secondo il quale l'esplorazione e l'uso dello spazio extra-atmosferico devono essere a beneficio e negli interessi di tutti gli Stati.

Inoltre, occorre tenere presente che, sebbene l'OST sia un prodotto della Guerra Fredda, indubbiamente esso ha retto nel tempo e può senza dubbio essere considerato il fondamento del diritto spaziale, nonché il trattato più rispettato.

Al momento, gli Stati non sembrano orientati a stabilire nuovi accordi e di conseguenza l'eventuale sfruttamento avverrà nel quadro giuridico dell'OST.

Tuttavia, seppur auspicabile, considerata la loro natura di *ageing treaties* (Marchisio, 2017), una revisione in larga scala dell'OST e degli altri trattati spaziali potrebbe non essere necessaria. Piuttosto, si potrebbe optare per la creazione di una cornice normativa internazionale, anche come strumento di *soft law*, concordata da tutti i Paesi che

hanno ambizione di operare nello spazio extra-atmosferico, perché, se da un lato le attività spaziali commerciali possono e devono essere incoraggiate, dall'altro è necessaria una compatibilità condivisa a livello internazionale, evitando differenze che potrebbero generare conflitti nella comparazione delle varie leggi nazionali in materia.

Un tentativo di formare una base giuridica per tale cornice è già in atto da parte dello *Hague Space Resources Working Group*⁵⁸, formatosi nel 2014, a seguito di una conferenza sulla regolamentazione delle risorse spaziali organizzata dal *Hague Institute for Global Justice*. L'obiettivo di tale iniziativa è soprattutto quello di esercitare il ruolo di piattaforma di scambio di informazioni e pareri tra i diversi *stakeholders*, anche privati, promuovendo la cooperazione e il dialogo internazionale, incoraggiando di conseguenza gli Stati ad impegnarsi in negoziati per eventuali accordi.

Sulla base dell'invito alla Comunità internazionale a commentare e a dare il proprio contributo, il *Working Group* ha proposto un documento contenente i *building blocks*⁵⁹ per lo sviluppo di un quadro internazionale per le attività inerenti alle risorse spaziali. Tale cornice dovrebbe promuovere un ambiente favorevole allo sfruttamento delle risorse *in situ*, tenendo conto degli interessi e dei benefici di tutti gli Stati e quindi dell'intera umanità. A tal fine diventa allora necessario identificare e definire meglio la connessione tra attività sulle risorse e le disposizioni dei Trattati sullo spazio che regolamentano il regime giuridico ad esse applicabili, così come promuovere le *best practices* sia nel settore pubblico che privato, a livello di Stati, enti intergovernativi e organizzazioni non governative.

Tra i principi da seguire proposti dal documento *draft building blocks* risulta fondamentale per gli operatori del settore la certezza giuridica e prevedibilità (*provide legal certainty and predictability for operators*), sempre nell'ottica di favorire la creazione di un contesto che favorevole ai privati. Naturalmente, le risorse spaziali devono essere usate esclusivamente per scopi pacifici e per il beneficio e negli interessi di tutti gli Stati e dell'umanità, a prescindere dal livello di sviluppo tecnologico e scientifico raggiunto. Inoltre, nella costruzione di questo *international framework* si deve anche tenere conto del fatto

⁵⁸ <https://www.universiteitleiden.nl/en/law/institute-of-public-law/institute-for-air-space-law/the-hague-space-resources-governance-working-group>.

⁵⁹ <https://www.universiteitleiden.nl/binaries/content/assets/rechtsgeleerdheid/instituut-voor-publiekrecht/lucht--en-ruimterecht/space-resources/draft-building-blocks.pdf>.

che le attività relative alle risorse spaziali non possono interferire con altre attività già in corso creando potenziali pericoli.

La questione dell'accesso alle risorse spaziali da parte dei privati allora potrebbe essere risolta e regolamentata attraverso l'attribuzione di diritti di priorità ad un determinato operatore per cercare e/o recuperare risorse spaziali *in situ* per un periodo di tempo massimo e un'area di ampiezza massima prevedendo la registrazione in un apposito registro internazionale. L'attribuzione, la durata e l'area di tali diritti di priorità dovrebbero essere determinate sulla base delle specifiche circostanze dell'attività proposta per lo sfruttamento delle risorse spaziali. Infine, la nuova cornice internazionale dovrebbe garantire il rispetto reciproco tra i diversi Stati riguardo i diritti sulle risorse e i materiali estratti, sottolineando tuttavia che l'utilizzo di tali risorse deve avvenire sempre e comunque nel rispetto del principio di non appropriazione contenuto nell'art. II OST e della responsabilità internazionale degli Stati per le attività nazionali condotte nello spazio extra-atmosferico, e quindi anche dei soggetti privati. Come sottolineato dal COPUOS nelle *Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities*⁶⁰, gli Stati e le organizzazioni intergovernative dovrebbero prendere volontariamente misure per assicurare la sostenibilità a lungo termine delle attività spaziali tenendo conto degli obblighi dettati dal diritto dello spazio.

In conclusione, al fine di rendere possibile la fruizione dei benefici derivanti dallo sfruttamento delle risorse spaziali anche a coloro non direttamente coinvolti, e quindi operare in un'ottica solidaristica e di coinvolgimento quanto più ampio possibile, appare importante che lo sviluppo di una cornice normativa tenga conto delle seguenti linee guida (Christensen, 2019): "*Adaptive Governance*". Lo sfruttamento delle risorse spaziali è una sfida che pone un notevole grado di incertezza ed i metodi per l'estrazione delle risorse dalla Luna e dagli asteroidi e la loro lavorazione per poter essere commercializzabili evolverà sempre più con lo sviluppo del settore. Come già proposto dall'*Hague Working Group*, i legislatori dovrebbero adottare un approccio normativo di *adaptive governance*, che sia cioè "incrementale", senza specificare soluzioni a sfide che non sono ancora comprese nel loro insieme, stabilendo allo stesso tempo un contesto favorevole allo sviluppo delle risorse spaziali. La creazione di un registro delle attività estrattive spaziali, regimi normativi separati per le attività lu-

⁶⁰ www.unoosa.org.

nari e per quelle sugli asteroidi, insieme ad un principio di non interferenza tra attività di *space mining* sono tutte questioni da dover affrontare coinvolgendo il settore industriale; “*Benefici che emergono dallo sviluppo delle risorse spaziali*”. I giovani e le imprese hanno il dovere di lavorare insieme per esprimere e regolare al meglio i potenziali benefici socioeconomici derivanti dalle risorse spaziali. Per fare ciò, il concetto di beneficio dovrebbe essere slegato dai termini prettamente monetari, ad esempio nell’ottica dei *Sustainable Development Goals*⁶¹ delle Nazioni Unite, e abbracciare una concezione più ampia che trovi un equilibrio tra i principi solidaristici e quelli dello sviluppo del business tecnologico e commerciale; “*Coordinamento dei principi che ispirano le legislazioni interne*”. Nel momento in cui gli Stati iniziano a emanare leggi nazionali in tema, diventa necessario predisporre un qualche livello di coordinamento internazionale tra le stesse, senza il quale il rischio di tensioni politiche potrebbe diventare più concreto. Ecco allora che lo scambio di informazioni in contesti come quello dello Hague Working Group o dello stesso COPUOS (che aveva dato indicazioni in merito⁶² attraverso un gruppo di lavoro stabilito al suo interno, seguite poi dalla risoluzione A/RES/68/74⁶³) diventa di fondamentale importanza. Nell’odierno contesto geopolitico dove appare improbabile al momento la stesura di nuovi accordi, il coordinamento dei principi e lo scambio di informazioni sono necessari per assicurare che i governi nazionali sviluppino regolamentazioni che siano informate, efficaci e non frammentate (cosa che potrebbe portare la scelta per le industrie di “bandiere di convenienza” generando potenziali punti di conflitto). Così come già avvenuto in passato, il coordinamento internazionale sarà lo strumento per promuovere il mantenimento dell’uso pacifico dello spazio, rendendo al contempo possibile la concretizzazione dei benefici dovuti agli investimenti sulle risorse spaziali.

Difficile dire se siamo alle soglie di una rivoluzione nel diritto spaziale o meno e quali modelli giuridici prenderanno piede nei prossimi anni. Gli Stati e le industrie che vorranno approcciarsi alle attività spaziali dovranno essere saggi abbastanza⁶⁴ da comprendere

⁶¹ <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>.

⁶² http://www.unoosa.org/pdf/reports/ac105/C2/AC105_C2_101E.pdf/.

⁶³ http://www.unoosa.org/pdf/gares/A_RES_68_074E.pdf

⁶⁴ SWF, Handbook for New Space Actors in Space, (disponibile su: <https://swfound.org/handbook/>).

come interpretare nel giusto modo i diritti d'uso e di esplorazione dello spazio all'interno dell'OST e le restrizioni date dal suo art. II.

Ciò che sembra indubbio è che le risorse spaziali hanno il potenziale per far nascere la prossima rivoluzione economica dell'umanità. Per questo motivo, è importante fornire già agli albori di questa nuova impresa umana strumenti ispirati da solide basi giuridiche e scientifiche.

BIBLIOGRAFIA DEL CAPITOLO 4

- Christensen, I. *et al.* (2019) *New Policies Needed to Advance Space Mining. Issues in Science and Technology*, vol. XXXV (2). (disponibile su: <https://issues.org/new-policies-needed-to-advance-space-mining/>).
- ESPI, July 2017, *The Rise of the Private Actors in the Space Sector*.
- ESPI, February 2019, *Space Venture Europe 2018. Entrepreneurship and Private Investment in the European Space Sector*.
- Launius, R.D. (2019). *Storia dell'esplorazione spaziale. Atlante*, p. 370.
- Marchisio, S. (2017) *Lo sfruttamento delle risorse minerarie dei corpi celesti nel diritto internazionale*. In: E. Triggiani, F. Cherubini, I. Ingravallo E. Nalin, R. Virzo (a cura di), *Dialoghi con Ugo Villani*, Bari: Carucci, pp. 881 – 889.

Sitografia

<https://www.congress.gov/bill/114th-congress/house-bill/2262>
<http://legilux.public.lu/eli/etat/leg/loi/2017/07/20/a674/jo>
<https://spacenews.com/new-law-and-space-agency-to-support-luxembourgs-space-resources-ambitions/>
<https://spaceresources.public.lu/en.html>
<https://spaceresources.public.lu/en/actualites/20191/united-states-and-luxembourg-sign-memorandum-on-space-co-operation.html>
<https://www.universiteitleiden.nl/en/law/institute-of-public-law/institute-for-air-space-law/the-hague-space-resources-governance-working-group>
<https://www.universiteitleiden.nl/binaries/content/assets/rechtsgel-eerdheid/instituut-voor-publiekrecht/lucht--en-ruimterecht/space-resources/draft-building-blocks.pdf>

http://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2018/aac_1052018crp/aac_1052018crp_20_0_html/AC105_2018_CRP20E.pdf

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

http://www.unoosa.org/pdf/reports/ac105/C2/AC105_C2_101E.pdf

http://www.unoosa.org/pdf/gares/A_RES_68_074E.pdf

<https://swfound.org/handbook/>

Conclusioni.- Il presente lavoro ha cercato brevemente di sottolineare le principali questioni giuridiche relative al prossimo ritorno dell'uomo sulla Luna. Infatti, all'approcciarsi del cinquantesimo anniversario dello sbarco lunare, il satellite naturale terrestre si trova al centro del dibattito pubblico ancora una volta, anche e soprattutto per le nuove prospettive commerciali che, sebbene ancora *in itinere*, sembrano sempre più vicine a concretizzarsi.

Infatti, le potenzialità di un uso commerciale dello spazio extra-atmosferico e nello specifico delle risorse naturali dei corpi celesti hanno attirato sempre più l'interesse di soggetti privati, oltre quello degli attori internazionali classici, con la differenza che, in questa nuova era denominata "*New Space*", la corsa allo spazio potrebbe essere guidata più dalle esigenze imprenditoriali degli operatori commerciali che da quelle strategiche, diplomatiche, militari e macro-economiche imposte dagli attori statuali.

In tale contesto, si è cercato di affrontare, per quanto possibile, le principali implicazioni giuridiche sorte al momento in cui si sta aprendo una nuova frontiera dell'esplorazione ed uso delle risorse provenienti dallo spazio.

Sembra quindi naturale porsi domande sulla validità e attualità dei trattati delle Nazioni Unite che compongono il diritto internazionale dello spazio. In un mondo dove il progresso tecnologico evolve così velocemente da lasciare a volte la politica indietro nella produzione di regole per gestire al meglio nuovi ambiti di applicazioni di tali novità tecnologiche, le conseguenze dal punto di vista giuridico dovrebbero essere al centro del dibattito pubblico.

Indubbiamente, il trattato fondamentale del diritto dello spazio rimane l'OST, che stabilisce i principi fondamentali in materia. Già nell'art. I l'OST afferma che l'esplorazione e l'uso dello spazio extra-atmosferico sono a beneficio e nell'interesse di tutti gli Stati, nonché appannaggio dell'umanità. Tale punto è fondamentale nel sottolineare la natura di *res communes omnium* dello spazio e dei corpi celesti, compresa la Luna che non può essere oggetto di appropriazione né sottoposta ad alcuna giurisdizione nazionale. Di conseguenza, vige una cornice normativa di piena libertà d'esplorazione ed uso da parte di tutti gli Stati, senza alcuna discriminazione, ma limitata dalla necessità di non precludere il medesimo diritto a chiunque lo voglia

esercitare e dalla opportunità/necessità di favorire il più possibile iniziative inclusive e non unilaterali.

Seppure in maniera diversa, rimasto ai margini del diritto dello spazio, l'Accordo sulla Luna del 1979 continua ad avere un certo peso. Sebbene possa sembrare fallimentare, se considerato dal punto di vista del numero di ratifiche ottenute, e incompiuto, se si pensa al regime internazionale che individua l'art. 11, l'Accordo presenta diverse unicità e alcuni valori aggiunti innegabili che impongono agli Stati un confronto sul modello che intendono applicare al satellite terrestre.

Indubbiamente, il concetto di patrimonio comune dell'umanità contenuto nel *Moon Agreement*, così come già concepito nella Convenzione sul diritto del mare di Montego Bay, non ha ricevuto piena accettazione nel settore spaziale dalla maggior parte degli Stati, soprattutto di quelli dotati di tecnologia spaziale più avanzata. Ciò è dovuto al fatto che questi ultimi non si sono sentiti obbligati ad armonizzare le loro politiche secondo il principio del patrimonio comune dell'umanità, preferendo piuttosto aderire al regime di libertà recepito nell'OST. Infatti, seguendo una interpretazione che sottolinea la mancanza di un divieto esplicito di appropriazione per le risorse spaziali nell'art II dell'OST (a differenza della disposizione esplicita stabilita nel *Moon Agreement* rispetto la Luna e gli altri corpi celesti) gli Stati che volessero usufruire delle risorse spaziali avrebbero la possibilità di proporre iniziative individuali per il loro sfruttamento, pur rimanendo nell'alveo dei trattati delle Nazioni Unite che costituiscono il *corpus* giuridico spaziale.

Le risorse spaziali sono al centro del dibattito attuale ed il loro potenziale sfruttamento ha aperto alcune questioni che richiederebbero quanto prima una soluzione concordata nella Comunità internazionale nel modo più largo possibile.

Una nuova corsa allo spazio, in un regime non ancora ben definito, potrebbe costituire un serio problema per l'intera Comunità internazionale, considerando la delicatezza e la pericolosità delle operazioni nello spazio extra-atmosferico. L'emanazione di leggi nazionali come quelle degli USA e del Lussemburgo potrebbe essere preludio alla nascita di regolamentazioni nazionali nel prossimo periodo che basandosi su una interpretazione "estensiva" del regime di libertà concesso dall'OST finirebbero per incentivare una pericolosa corsa verso regimi di convenienza, i più favorevoli, per quanto riguarda investimenti e iniziative dei privati.

Sarebbe complesso rispondere con certezza al quesito su quale saranno i modelli giuridici cui si ispireranno in futuro le legislazioni nazionali per gestire tali tematiche. Tenendo conto della improbabilità della elaborazione di nuovi trattati in materia nel prossimo periodo per le ragioni già esposte, tentativi come quelli dell'*Hague Working Group* e le linee guida dettate nelle raccomandazioni del COPUOS sottolineano come i *forum* di discussione e confronto diventeranno sempre più importanti. In tali contesti potranno incontrarsi le esigenze dei diversi *stakeholder*, sia pubblici che privati, i quali sono chiamati a regolamentare lo sfruttamento dello spazio nell'ottica di rimanere nell'ambito dell'OST e nella prospettiva di potenziare ed integrare le prescrizioni del Trattato con strumenti complementari, anche propri di un regime di *soft law*.

Difficile quindi affermare se ci si trovi o meno in una fase di rivoluzione del diritto dello spazio, guidata dall'ascesa dei privati nell'era della *New Space Economy*. Ancora più difficile prevedere in questo momento uno specifico modello di riferimento giuridico verso cui potrà orientarsi la regolamentazione dello sfruttamento della Luna e dei corpi celesti. Nell'ottica di proseguire il cammino di esplorazione umana nello spazio secondo il principio della cooperazione internazionale – il cui esempio più fulgido è stata proprio la Stazione Spaziale Internazionale – gli Stati e le industrie che vorranno intraprendere attività spaziali dovranno predisporre adeguati strumenti di concertazione sulla giusta interpretazione da dare ai propri diritti all'uso ed esplorazione dello spazio nell'ambito dell'OST e dei principi giuridici a cui esso fa riferimento.

SEZIONE INDUSTRIALE E TECNICO-SCIENTIFICA

PROSPETTIVE SCIENTIFICHE E PIANI DI SVILUPPO TECNOLOGICI DEL FUTURO RITORNO ALLA LUNA*

FRANCESCA CASAMASSIMA – RICCARDO CATTANEO – NICO DALL’OGLIO
MASSIMILIANO DE MARCO – FEDERICO GIULIANI – ANDREA MONTIERI

SOMMARIO: Introduzione. – Capitolo 1. Storia dell’esplorazione lunare. – 1.1. Introduzione storica. – 1.2. Inizia la corsa allo spazio. – 1.3. Verso la Luna. USA contro URSS. – 1.4. Iniziano i voli umani. Le Missioni Mercury e Gemini. – 1.5. La corsa alla Luna continua. – 1.6. Il Programma Apollo. – 1.7. Un piccolo passo per un uomo, un grande passo per l’umanità. – 1.8. I programmi lunari continuano. – 1.9. La lunga marcia del ritorno alla Luna. – Capitolo 2. Lezioni dal passato. – 2.1. Le prime esperienze di Apollo. – 2.2. Il Programma Space Shuttle: Successi e fallimenti. – 2.3. Constellation, ISS e SLS, un accesso sostenibile alla Luna. – 2.4. Lezioni per il futuro. – Capitolo 3. Il contesto geopolitico ed economico attuale. – 3.1. USA, NASA e le compagnie private. – 3.2. La Cina, Chang’e e il “Palazzo Celeste”. – 3.3. La Russia e la collaborazione con ESA. – 3.4. Le nuove potenze aerospaziali: Israele, India e Giappone. – Capitolo 4. Le motivazioni del ritorno alla Luna. – 4.1. Motivazioni tecnologiche e scientifiche. – 4.2. Motivazioni politiche. – 4.3. Motivazioni economiche. – Capitolo 5. Architetture pubbliche e private. – 5.1. Architettura proposta dagli Stati Uniti. – 5.1.1. *Exploration Mission-1*. – 5.1.2. *Exploration Mission-2*. – 5.1.3. *Space Launch System, Orion e Gateway*. – 5.2. Architettura proposta dalla Russia. – 5.3. Architettura proposta dalla Cina. – 5.4. Altre architetture. – Capitolo 6. Rischi, minacce e nuove esplorazioni lunari. – 6.1. Quali minacce per le missioni spaziali? – 6.1.1. *Minacce dallo spazio. Space Debris*. – 6.1.2. *Minacce alla sicurezza dell’equipaggio*. – 6.1.3. *Cyber minacce*. – 6.1.4. *Minacce lunari*. – 6.2. Analisi e gestione del rischio. – Conclusioni. – Bibliografia. – Sitografia.

Abstract.- L’obiettivo principale dell’elaborato è di fornire una visione sulle prospettive scientifiche e i nuovi piani di sviluppo tecnologici per il futuro ritorno alla Luna. Questo lavoro, suddiviso in sei capitoli, si apre con la storia dell’esplorazione lunare, analizzando brevemente gli eventi più rilevanti nella corsa alla Luna dal 1957 ai giorni nostri. Successivamente, si analizzano le più importanti lezioni apprese dai passati fallimenti, esponendo in che modo potranno essere utilizzati per le future missioni. In seguito, lo studio prosegue nella comprensione degli attori pubblici e privati che popolano il contesto, nonché delle rispettive relazioni geopolitiche, giungendo poi ad enunciare anche le principali motivazioni scientifiche, politiche ed economiche, che spingono per il ritorno sulla Luna. Infine, l’elaborato continua presentando le proposte pubbliche e private relative alle

* Il presente lavoro è stato redatto da Federico Giuliani (Capitolo 1), Andrea Montieri (Capitolo 2), Massimiliano De Marco (Capitolo 3), Riccardo Cattaneo (Capitolo 4), Nico Dall’Oglio (Capitolo 5) e Francesca Casamassima (Capitolo 6) sotto la supervisione del Professor Enrico Flamini e degli Ingegneri Roberto Somma e Armando Tempesta.

nuove architetture spaziali lunari, per poi chiudersi con un’analisi di minacce e rischi che queste dovranno sopportare. In questo elaborato verrà dunque fornita una visione multidisciplinare su questa nuova fase dell’esplorazione della Luna, corpo celeste di cui conosciamo ancora troppo poco, ma che ci permetterà di fare altri passi da gigante verso il futuro dell’esplorazione umana dello spazio profondo¹.

¹ Lista di acronimi:

AEB,	Agenzia Aerospaziale del Brasile;
APSE	Apollo Passive Seismic Experiments
ASI	Agenzia Spaziale Italiana
BFR	Big Falcon Rocket (nomenclatura superata da Starship-Super Heavy)
BMDO	Ballistic Missile Defence Organization
CLEP	Chinese Lunar Exploration Program
CM	Crew Module
CNES	Centre National d’Études Spatiales
CNSA	Chinese National Space Agency
COPUOS	Committee On the Peaceful Uses of Outer Space
CRM	Continuous Risk Management
CSA	Canadian Space Agency
CSM	Apollo Command/Service Module
DDOS	Distributed Denial-of-Service
DLR	Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt
DOS	Denial of Service
DST	Deep Space Transport
ESA	European Space Agency
ESPRIT	European System Providing Refuelling, Infrastructure and Telecommunications
FAA	Federal Aviation Administration
GLXP	Google Lunar X Prize
GRAIL	Gravity Recovery and Interior Laboratory
ICPS	Interim Cryogenic Propulsion Stage
I-HAB	International Habitation Module
ISA	Israeli Space Agency
ISRO	Indian Space Research Organization
ISRU	In Situ Resource Utilization
ISS	International Space Station
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
LADEE	Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer
LCO	Lunar Crater Observation
LCROSS	Lunar Crater Observation and Sensing Satellite
LEM	Lunar Excursion Module
LEO	Low Earth Orbit
LES	Launch Escape System
LOC	Loss of Crew
LOCV	Loss of Crew and Vehicle
LOP-G	Lunar Orbit Platform-Gateway
LRO	Lunar Reconnaissance Orbiter
MIP	Moon Impact Probe
MMOD	Micrometeoroid and Orbital Debris
NASA	National Aeronautics and Space Administration

Introduzione.- Sono passati cinquant'anni dal più grande programma spaziale di tutti i tempi, quello che ha portato gli esseri umani a mettere piede sulla Luna. Oggi l'interesse per il nostro satellite sembra essere rinato, anche grazie a una rinvigorita competizione tra gli Stati c.d. *spacefaring*. Il contesto geopolitico, economico e sociale è però completamente mutato rispetto a cinquant'anni fa. Mentre allora infatti la corsa allo spazio era caratterizzata da un fortissimo antagonismo tra Stati Uniti e Unione Sovietica, oggi assistiamo a un contesto internazionale multilaterale, caratterizzato da una continua cooperazione tra gli Stati spaziali, agenzie, organizzazioni internazionali e settore privato (si pensi alla Stazione Spaziale Internazionale).

Diversi sono anche gli attori che permeano il settore spaziale. Mentre in precedenza si assisteva a uno sviluppo tecnologico portato avanti esclusivamente dagli attori pubblici, negli ultimi anni l'emergere di attori privati con scopi e obiettivi puramente commerciali ha trasformato l'economia spaziale. La *new space economy* è quindi divenuta più concorrenziale e innovativa, specialmente aprendosi alla realtà delle startup. Oggi infatti gli attori privati svolgono un ruolo fondamentale per le nuove missioni lunari, poiché contribuiscono attivamente alla creazione delle nuove architetture che permetteranno all'umanità di toccare nuovamente la superficie del nostro satellite. Lo scopo di questo elaborato è fornire una visione complessiva delle nuove prospettive scientifiche e dei piani di sviluppo per il prossimo ritorno alla Luna. Questo avverrà prendendo in considerazione tanto gli attori pubblici – a partire dalle potenze spaziali affermate, fino a quelle emergenti – quanto gli attori privati, limitatamente a quelli oggi inte-

NEO	Near-Earth Objects
NERVA	Nuclear Engine for Rocket Vehicle Application
NIRV	Agenzia spaziale dei Paesi Bassi
NRHO	Near Rectilinear Halo Orbit
NSAU	Agenzia Spaziale dell'Ucraina
PPE	Power and Propulsion Module
PRA	Probabilistic Risk Analysis
RIDM	Risk-Informed Decision Making
ROSCOSMOS	Agenzia Spaziale della Federazione Russa
SELENE	Selenological and Engineering Explorer
SLS	Space Launch System
SM	Service Module
SMART-1	Small Missions for Advances Research In Technology
SSME	Space Shuttle Main Engine
SSN	United States Space Surveillance Network
UNOOSA	United Nations Office for Outer Space Affairs
VNIR	Visible and near-infrared

ressati a missioni lunari, quali SpaceX, Blue Origin e l'israeliana SpaceIL.

A seguito dell'esposizione della storia dell'esplorazione lunare (capitolo I), l'elaborato continua illustrando le lezioni imparate dagli errori che hanno in passato colpito le missioni lunari (capitolo II). Dopodiché l'attenzione si sposta sul contesto geopolitico e strategico che caratterizza lo sviluppo delle nuove missioni (capitolo III), seguita da un'analisi delle motivazioni scientifiche, politiche ed economiche che hanno spinto in modo decisivo per il ritorno alla Luna (capitolo IV). Infine, l'elaborato si conclude con una presentazione delle architetture proposte dai principali attori pubblici e privati (capitolo V), accompagnata da un'analisi delle minacce e dei rischi per le architetture lunari (capitolo VI).

La delicatezza delle questioni toccate ha necessariamente costretto a una serie di limitazioni sia la ricerca che lo studio e la stesura del presente elaborato. In primo luogo, alcuni dati e fonti si sono dimostrati difficilmente reperibili, sia per via della riservatezza di alcuni programmi, sia per la scarsa trasparenza di alcuni Paesi (specialmente Russia e Cina). Inoltre, molti dei programmi e delle architetture analizzate risultano ancora essere in fase di proposta o sviluppo, rendendole quindi facilmente soggette a variazioni future, tanto per questioni politiche quanto tecnico-scientifiche.

Ciononostante, questo elaborato fornisce un'analisi completa, approfondita e multidisciplinare sulle principali questioni tecniche, scientifiche e politiche che hanno spinto l'umanità a puntare nuovamente verso la Luna.

CAPITOLO 1

STORIA DELL'ESPLORAZIONE LUNARE

FEDERICO GIULIANI

«Agli occhi del mondo, primo nello spazio significa primo, punto e basta.
Chi arriva secondo nello spazio sarà secondo in tutto».

Lyndon B. Johnson, 1957

1.1. *Introduzione storica.*- Distante 384.000 km dalla Terra, la Luna è il corpo celeste più vicino a noi e, fin dalla realizzazione del primo telescopio nel 1609, l'uomo ne ha studiato continuamente la superficie. La Luna ci affascina e non ci stanchiamo mai di parlare di lei. L'origine della Luna, l'unico satellite naturale della Terra, dalle evidenze offerte dai campioni lunari riportati sulla Terra, viene attribuita all'impatto di un corpo di grandi dimensioni durante il periodo di formazione del Sistema Solare, che avrebbe intercettato la traiettoria del nostro pianeta provocando l'espulsione di ingenti masse rocciose della crosta terrestre che, rimanendo in orbita intorno alla Terra, si sarebbero aggregate formando così la Luna. Con un periodo di rotazione uguale al periodo orbitale, la Terra e la Luna sono considerati come un sistema accoppiato, quest'ultima mantenendo rivolta verso il pianeta sempre la stessa faccia.

La prima immagine realistica della superficie lunare è dovuta a Galileo Galilei, il quale disegnò quello che vedeva grazie al suo cannocchiale. Dai suoi disegni si evinceva la chiara distinzione tra la parte illuminata e quella in ombra svelando inoltre la presenza delle montagne sulla Luna². Dopo gli studi effettuati da Galileo, la Luna non è stata più la stessa. Nonostante la rappresentazione galileiana della Luna fosse realistica, era sicuramente in bassa risoluzione. Il salto di qualità fu compiuto da Giovanni Domenico Cassini una sessantina di anni più tardi. Tra il 1671 e il 1679 Cassini osservò la Luna e produsse la mappa dettagliata descrittiva della sua superficie. Questa rappresentazione lunare rimase senza rivali fino all'avvento della fotografia a fine Ottocento.

² G. Anselmi, *Alla scoperta della Luna*, Il Castello Editore, Milano, 2019, pp. 81-85.

1.2. *Inizia la corsa allo spazio.*- L'esplorazione delle superficie lunare ha radici alla fine degli anni '50. Al termine della Seconda Guerra mondiale, gli equilibri politici erano dominati dalle due superpotenze dell'epoca; gli Stati Uniti d'America e l'Unione Sovietica. Durante la Guerra Fredda, le attività spaziali si svilupparono come un obiettivo strategico nazionale per poter controllare le attività dell'avversario e con lo scopo di evitare un potenziale conflitto militare che sarebbe potuto sfociare in una guerra nucleare. I primi studi sulle applicazioni aerospaziali vennero svolti sulla base delle attività relative ai missili balistici intercontinentali; gli statunitensi avevano Wernher von Braun, tedesco, ex-capo del progetto V2, mentre i sovietici avevano Sergej Korolëv, e anche alcuni ingegneri tedeschi dello stesso gruppo di von Braun, il quale progettò il lanciatore R7 capace del trasporto di una bomba atomica³. Ciò che fece Korolëv di innovativo fu il lancio e la messa in orbita di un satellite per mostrare le capacità dei sovietici agli statunitensi, i quali già avevano annunciato la loro volontà di lanciare un piccolo satellite in orbita terrestre.

Lo Sputnik, il satellite sovietico, era allora un messaggio per mettere in chiaro chi avesse la superiorità in campo spaziale; la risonanza che ebbe rappresentava una dimostrazione che i missili balistici sovietici erano in grado di colpire il territorio americano in qualunque momento. Con lo Sputnik 1, lanciato il 4 ottobre 1957, ha inizio così l'era spaziale. Il mese successivo, il 3 novembre 1957, i sovietici fecero un ulteriore passo avanti: lanciarono lo Sputnik 2 che portò in orbita la cagnetta Laika, la quale morì poche ore dopo il lancio, dando comunque la prova di come un mammifero potesse sopravvivere alla grande accelerazione dovuta alla partenza di un lanciatore.

In contemporanea, anche gli statunitensi erano impegnati nella progettazione di lanci, ma subirono un grave colpo quando il razzo Vanguard, il 6 dicembre 1957, esplose pochi secondi dopo la partenza. Solo il 31 gennaio 1958 gli USA misero in orbita il satellite Explorer 1, il primo satellite scientifico della storia, con l'obiettivo di studiare i raggi cosmici e scoprendo le fasce di Van Allen⁴.

1.3. *Verso la Luna. USA contro URSS.*- Da come si è evoluta la storia spaziale, la corsa delle missioni verso la Luna sembrerebbe con-

³ P. Caraveo, *Conquistati dalla Luna. Storia di un'attrazione senza tempo*, Raffaello Cortina Editore, Milano, 2019, p. 58.

⁴ P. Bianucci, *Camminare sulla Luna. Come ci siamo arrivati e come ci torneremo*, Giunti Editore, Firenze, 2019, pp. 161-162.

fermare l'iniziale supremazia sovietica. Fin dalla fine degli anni cinquanta i sovietici si diedero da fare con un susseguirsi di lanci di sonde spaziali dirette verso il satellite naturale terrestre. Come prima cosa era necessario studiare i modi con i quali uscire dal campo gravitazionale della Terra per immettersi in un'orbita di trasferimento in direzione della Luna. I primi studi vennero effettuati dagli statunitensi con la missione Pioneer 0, nota come Thor-Able 1, lanciata il 17 agosto 1958 purtroppo con scarsi risultati.

La prima missione che uscì dal campo gravitazionale della Terra raggiungendo quasi la velocità di fuga del pianeta fu Luna 1 lanciata il 2 gennaio 1959 da parte dei sovietici, ma fallì l'impatto programmato con la Luna passando a 5995 km dalla sua superficie. Poco dopo, il 12 settembre 1959 Luna 2, che come obiettivi aveva quelli di approfondire gli studi sulle fasce di Van Allen e di studiare il vento solare, riuscì a cogliere il bersaglio andando a impattare con la Luna, diventando allora il primo di tanti rottami terrestri presenti sul nostro satellite⁵.

Il 4 ottobre dello stesso anno, a due anni esatti dal lancio dello Sputnik, partì Luna 3 la quale, attuando il primo assist gravitazionale del satellite terrestre riuscì a effettuare una foto della faccia nascosta della Luna, inviandola poi a Terra. Le 29 foto effettuate rappresentavano, allora, l'oggetto del contendere delle due superpotenze. Tuttavia, le due missioni riuscite dei sovietici non furono significative di un futuro successo, infatti tra la fine del 1959 e la prima metà del 1964 si verificarono, da parte di entrambe le superpotenze, ben quattordici fallimenti.

Con l'ascesa del presidente John Kennedy il 20 gennaio 1961, la Luna diventa uno degli obiettivi primari degli statunitensi per dimostrare, a valle dell'ennesimo eclatante successo sovietico con la messa in orbita di Jurij Alekseevič Gagarin, primo astronauta della storia, che la *leadership* nell'ambito delle capacità spaziali era americana e non sovietica. L'arduo compito di progettare il mezzo di trasporto verso la Luna venne affidato a Von Braun. Il lanciatore realizzato fu il Saturn V, uno dei più maestosi razzi mai realizzati e che fino ad ora è stato l'unico vettore in grado di portare l'uomo su un altro corpo celeste. In contemporanea alla realizzazione del Saturn V continuarono gli studi sulle missioni umane nello spazio in orbita terrestre con i programmi Mercury e Gemini e l'esplorazione della Luna con sonde automatiche per l'imminente sbarco dell'uomo sulla sua superficie.

⁵ Ivi, p. 163.

La conquista della Luna non era però solo una questione di tecnologie all'avanguardia; c'era soprattutto il problema dell'equipaggio. Ovviamente all'inizio degli anni sessanta non si aveva la minima idea di come il corpo umano potesse reagire all'ambiente così ostile e sconosciuto dello spazio, ma anche alle forti accelerazioni a cui si è soggetti nella fase di lancio. Era presente ovviamente il problema di come potesse l'uomo resistere alle particelle e alle forti radiazioni che permeano lo spazio; su questo aspetto i sovietici erano in netto vantaggio grazie a dati ricavati dalla missione Luna 2. Il 12 aprile 1961, come sottolineato in precedenza, Korolëv portò a compimento uno dei traguardi più importanti e ambiti: riuscì a portare il primo uomo nello spazio. Jurij Alekseevič Gagarin, a bordo della Vostok 1, restò in orbita per 88 minuti a una quota compresa tra i 175 e i 302 km⁶. Provò a nutrirsi in assenza di peso e verificò l'assoluta possibilità di inghiottire cibi e bevande in condizioni di quasi totale assenza di gravità.

Anche alla NASA si stavano preparando per il lancio di esseri umani; vennero selezionati sette astronauti, noti come i Mercury 7. In seguito al successo sovietico, il morale americano era stato intaccato a tal punto che il presidente John Kennedy decise di lanciare una sfida, dichiarando davanti al Congresso, il 25 maggio 1961 la seguente frase: «Credo che questa nazione debba impegnarsi per raggiungere entro la fine del decennio l'obiettivo di portare un uomo sulla Luna e riportarlo sano e salvo sulla Terra».

Inizia così la corsa alla Luna. A questo proposito, la NASA riscontrò la necessità di aumentare notevolmente il numero di astronauti; il 17 settembre 1962 venne annunciata la selezione di nove nuovi membri chiamati New 9, di cui farà parte anche Neil Armstrong. L'anno successivo venne eletto un nuovo gruppo di astronauti, denominato Fourteen. Arrivati a quel punto, l'agenzia spaziale americana era dotata di una squadra abbastanza corposa tale da consentire lo sviluppo dei programmi di volo umano che avrebbero poi portato alla conquista della Luna.

1.4. *Iniziano i voli umani. Le Missioni Mercury e Gemini.*- La pianificazione dei voli umani verso la Luna iniziò con il famoso discorso di J.F. Kennedy nel 1961⁷. Diverse furono le idee scaturite

⁶ R. Mussapi, *Il sogno della Luna. luglio 1969: quando gli uomini hanno camminato sul loro Mito*, Ponte alle Grazie, Milano, 2019.

⁷ J.F. Kennedy, *Rice stadium moon speech*. Disponibile su: <https://er.jsc.nasa.gov/seh/ricetalk.htm>

dalla mente degli ingegneri statunitensi sul come portare l'uomo nello spazio. La prima prevedeva il lancio di un'unica sonda comprendente il motore per allunare e per ripartire. Il secondo modo prevedeva invece la divisione del carico in due parti che sarebbero state lanciate in parallelo con due diversi vettori. I due pezzi della sonda si sarebbero combinati effettuando una manovra di *rendez-vous* in orbita terrestre e insieme si sarebbero diretti in direzione della Luna. Se con il primo modo si aveva un peso eccessivo della sonda, nel secondo modo il costo di produzione era il vincolo principale.

La soluzione più appropriata consisteva in tre diversi moduli (modulo di comando, modulo di servizio e modulo lunare) che dovevano tutti insieme dirigersi verso la Luna e, nel momento opportuno, il modulo lunare (LEM) si sarebbe separato dagli altri due per atterrare sulla superficie mentre gli altri sarebbero restati in orbita di parcheggio. Una volta poi che gli astronauti fossero tornati in orbita lunare, il LEM sarebbe stato abbandonato in modo tale da avere un peso minore per il viaggio di ritorno. Prima di entrare nell'atmosfera terrestre, inoltre, il modulo di servizio si sarebbe staccato da quello di comando e sarebbe ammarato, in modo da risparmiare sul consumo di propellente per il rientro. Sicuramente, quest'ultima strategia era brillante ma aveva il problema di aumentare notevolmente i rischi dovuti alle numerose manovre in orbita⁸.

Le missioni Apollo che portarono l'uomo sulla Luna furono anticipate dai programmi statunitensi Mercury e Gemini. Il programma Mercury, iniziato ufficialmente il 7 ottobre 1958, rappresenta l'inizio del volo umano nello spazio, in cui l'esperimento era l'astronauta stesso. Infatti, le missioni del programma si basavano sul mettere alla prova la resistenza dell'astronauta all'assenza di gravità. L'ultima missione del programma, la Mercury 9, avvenuta il 15 maggio 1963, permise all'astronauta Cooper di restare in orbita per un giorno e mezzo effettuando in totale 22 orbite. Dopo ben 4 anni e 8 mesi il programma Mercury terminò, con un costo complessivo di 2 miliardi di dollari⁹.

L'altro programma predecessore delle missioni Apollo fu il programma Gemini in cui la capsula, invece di poter ospitare un solo astronauta, era in grado di accogliere al suo interno due astronauti. Era un programma ambizioso anche perché si era imposto come obiettivo quello di iniziare le attività extra-veicolari e di mettere a punto una

⁸ P. Caraveo, *Conquistati dalla Luna. Storia di un'attrazione senza tempo*, cit., pp. 85-87.

⁹ P. Bianucci, *Camminare sulla Luna. Come ci siamo arrivati e come ci torneremo*, cit., pp. 166-169.

sicura tecnica di avvicinamento e aggancio nello spazio. Con la missione Gemini 4 del 3 giugno 1965, fu effettuata la prima passeggiata spaziale di un astronauta americano. Il programma durò 2 anni e 7 mesi e terminò il 15 novembre 1966¹⁰. In tutto questo tempo i sovietici non rimasero a guardare: nell'ottobre del 1964, sempre grazie al genio di Korolëv, venne lanciata la prima navicella Voskhod 1 con tre cosmonauti. Successivamente il 18 marzo 1965 avvenne, prima di quella degli USA, la prima passeggiata spaziale sovietica del cosmonauta Leonov.

1.5. *La corsa alla Luna continua.* - Numerosi furono gli insuccessi sovietici con le missioni Kosmos 60 (12 marzo 1965), Luna E-6 n. 8 (8 giugno 1965), Luna 5 (9 maggio 1965), Luna 6 (8 giugno 1965), Luna 7 (4 ottobre 1965) e con Luna 8 (3 dicembre 1965). Questi fallimenti non indebolirono il programma sovietico che continuò a sviluppare sonde sempre più complesse per l'esplorazione spaziale. Il 31 gennaio 1966 la missione Luna 9 fu un successo; riuscì a effettuare un atterraggio morbido sulla superficie lunare e inviò continuamente dati alla stazione di Terra. Successivamente ci fu un altro successo, rappresentato dalla missione Luna 10 con la quale si riuscì a entrare in orbita lunare.

Il primo programma che segnò l'avvicinamento degli USA alla Luna fu il Programma robotico Ranger lanciato nei primi anni Sessanta il cui costo complessivo era intorno ai 170 milioni di dollari. Lo scopo principale del programma era quello di riprendere immagini in alta definizione della superficie lunare tali da poterle usare a fini scientifici per la determinazione di possibili siti di allunaggio. Tre erano le fasi in cui si svolse il programma, ma solo con la terza vennero lanciate quattro sonde (Ranger 6, 7, 8 e 9) che permisero di raggiungere la Luna, fino ad impattare con la sua superficie, e a terminare il programma con le dovute foto. L'identificazione dei siti di allunaggio fu resa possibile infine tramite il lancio di cinque Lunar Orbiter tra il 1966 e il 1967 i quali avevano come obiettivo quello di fotografare la superficie della Luna con una risoluzione altissima. Un'altra serie di missioni della NASA, chiamata Surveyor, vide la luce a partire dal 30 maggio 1966 con Surveyor 1; questa prima sonda riuscì ad allunare e a mandare dati per quaranta giorni. Successivamente ci fu l'insuccesso americano rappresentato dalla missione

¹⁰ C. Treanni, *Sulla Luna. A 50 anni dallo sbarco, un viaggio tra scienza e fantascienza*, CentoAutori, Napoli, 2019, pp. 111-121.

Surveyor 2 lanciata il 20 settembre 1966. In seguito, ci furono le missioni sovietiche Luna 11, Luna 12 e Luna 13: la prima fu un fallimento mentre le due restanti riuscirono nel loro intento, ossia quello di effettuare uno studio fotografico della superficie lunare (lanciate rispettivamente il 22 ottobre 1966 e il 21 dicembre 1966)¹¹.

1.6. *Il Programma Apollo.*- Stabilito che il traguardo era la Luna, nel 1961 partì il Programma Apollo, concepito come sviluppo delle missioni Mercury e Gemini. I primi test del programma Apollo iniziarono nel 1963 quando fu collaudato il Saturn, il vettore che sarebbe stato utilizzato, nelle sue varianti, per tutti i lanci futuri. Il programma era basato sull'architettura di missione descritta in precedenza con l'utilizzo di tre diversi moduli. L'Apollo era un veicolo spaziale progettato per ospitare tre astronauti, due dei quali sarebbero scesi sulla superficie della Luna con il modulo lunare LEM mentre il terzo rimaneva in orbita. Inizialmente, le missioni con discesa sulla Luna previste dal programma avrebbero dovuto essere dieci (dall'Apollo 11 all'Apollo 20), ma le ultime tre spedizioni vennero cancellate principalmente a causa degli elevati costi e ufficialmente per il fatto che gli obiettivi strategici erano stati raggiunti.

Sfortunatamente il programma Apollo iniziò con una tragedia: il 27 gennaio 1967, tre astronauti (Grissom, White e Chaffee) erano a bordo della capsula Apollo, posta su un razzo Saturn IB, per delle prove a terra, ma, nel corso dell'esercitazione al suolo, il modulo di comando in cui erano entrati prese fuoco uccidendoli. La commissione d'inchiesta individuò due problemi: il primo, l'eccessiva quantità di ossigeno nella miscela dell'aria all'interno della capsula; il secondo, l'impossibilità di aprire il portellone dall'interno. In onore e ricordo dei tre astronauti deceduti, questo evento venne denominato Apollo 1.

Il programma Apollo venne intervallato dal proseguimento del programma Surveyor con le missioni Surveyor 3 (17 aprile 1967) che allunò e operò sul suolo lunare per qualche giorno, Surveyor 4 (14 luglio 1967) che andò male, e le ultime tre Surveyor 5, 6 e 7 con le quali la NASA segnò un successo dopo l'altro (l'ultima missione venne lanciata il 7 gennaio 1968). Surveyor 7 rappresenta inoltre l'ultima missione americana del programma con sonde automatiche; d'ora in poi si concentrerà sul volo umano. Tutte queste missioni spaziali sono state di fondamentale importanza per l'agenzia spaziale america-

¹¹ *Ivi*, 109-111.

na in quanto sono servite per imparare i segreti dell'inserimento in orbita lunare e dell'atterraggio morbido sulla superficie del satellite¹².

A seguito dell'incidente con Apollo 1 e dopo i successi con Surveyor, la NASA fermò il programma per rivedere e revisionare le varie procedure di sicurezza e controllare accuratamente la navetta; si dovette attendere fino al 9 novembre 1967 per una nuova missione. Avviene così il lancio dell'Apollo 4 (ufficialmente le missioni Apollo 2 e Apollo 3 non esistono ma la NASA ha comunque effettuato dei test delle strutture modificate dopo l'incidente) con un razzo Saturn V, usato per la prima volta, e senza equipaggio, per verificare l'accensione multipla del terzo stadio del vettore e la capacità protettiva dello schermo termico del modulo di comando (che dovrà proteggere gli astronauti a bordo dal calore sviluppato in seguito al rientro nell'atmosfera terrestre).

Segue con la missione Apollo 5 il lancio di prova di un Saturn 1B il 22 gennaio 1968 per la verifica del funzionamento del modulo lunare e del sistema di interruzione di emergenza del lancio in orbita terrestre; anche in questo caso la navicella era priva di equipaggio. L'ultima missione Apollo svolta senza equipaggio è stata Apollo 6, lanciata il 4 aprile 1968 sempre con il Saturn V. Con quest'ultima missione si sono verificati però dei problemi strutturali seri a causa dell'effetto pogo; è un fenomeno di risonanza strutturale dovuto a discontinuità nella combustione del propellente liquido che ha fatto entrare il razzo in violenta vibrazione in fase di decollo.

Parallelamente al programma americano dei voli umani, i sovietici continuavano con il programma delle sonde automatiche, lanciando il 14 settembre 1968 la missione Zond 5, che portò due tartarughe a circumnavigare la Luna. Le tartarughe rappresentano i primi esseri viventi ad aver compiuto il tragitto Terra-Luna-Terra¹³. Finalmente, venne il turno della prima missione con equipaggio; il volo dell'Apollo 7, dall'11 al 22 ottobre 1968, portò in orbita terrestre tre astronauti (Schirra, Eisele e Cunningham). La missione doveva provare la capacità del modulo di comando nella manovra di *rendez-vous* e del rendimento dell'equipaggio. In più Apollo 7 fu la prima missione NASA ad avere a bordo una telecamera per le riprese televisive in diretta. I sovietici però continuavano a essere avanti nella corsa alla Luna e sia i dipendenti dell'ente spaziale americano, che

¹² P. Caraveo, *Conquistati dalla Luna. Storia di un'attrazione senza tempo*, cit., pp. 79-80.

¹³ *Ivi*, p. 102-104.

l'opinione pubblica, temevano che l'URSS, da un momento all'altro, potesse raggiungere l'agognato primato del primo uomo sulla Luna. A questo punto, l'agenzia spaziale americana si trovò quasi costretta ad accelerare i tempi e a prendersi qualche rischio.

Questo successe con la missione Apollo 8, il primo vero viaggio interplanetario dell'umanità: si decise che la navicella con equipaggio infatti non si sarebbe fermata sull'orbita terrestre, come era stato precedentemente programmato, bensì avrebbe raggiunto l'orbita lunare, e lì avrebbe orbitato per 10 orbite senza però allunare. La missione partì il 21 dicembre 1968, e arrivò in orbita lunare tre giorni più tardi, tornando sulla terra il 27 dicembre. Per la prima volta l'uomo superava la velocità di fuga della Terra, usciva dal campo gravitazionale terrestre per entrare in quello di un altro corpo celeste. Con questa missione fu scattata una fotografia a colori della Terra che sorge dal bordo della Luna, che diventerà un emblema del ventesimo secolo e per molti ha fatto capire quanto sia bello e fragile il nostro pianeta¹⁴.

L'Apollo 9 fu un successo per quanto concerne l'affidabilità delle tecnologie utilizzate per le missioni del programma spaziale. Venne lanciata in orbita terrestre il 3 marzo 1969, dove svolse manovre di *rendez-vous* e *docking* tra i moduli della navetta ed effettuò anche dei test per l'equipaggiamento degli astronauti. Con la missione Apollo 10, giudicata da alcuni superflua, lanciata il 18 maggio 1969, si ritornò sulla Luna replicando la prima circumnavigazione compiuta dall'Apollo 8, senza effettuare l'allunaggio. Una volta in orbita lunare, il LEM, denominato Snoopy con due uomini a bordo, si staccò e iniziò la discesa per poi ritornare rapidamente. Ci furono piccoli malfunzionamenti interni al comando automatico che non decretarono tuttavia il fallimento della missione, che terminò con l'ammarraggio nell'oceano pacifico il 26 maggio dello stesso anno.

In contemporanea i sovietici lanciarono quella che avrebbe dovuto essere la prima missione automatica con il compito di allunare, raccogliere campioni di suolo lunare e portarli sulla Terra. Si tratta della missione Luna E-8-5 che partì il 14 giugno 1969 ma purtroppo non riuscì a raggiungere nemmeno l'orbita terrestre. Un altro fallimento per i sovietici fu rappresentato dal lancio del razzo N1 il 3 luglio dello stesso anno: avrebbe dovuto raggiungere la Luna, entrare in orbita e poi effettuare il viaggio di ritorno verso Terra, ma il primo stadio del vettore si spense qualche secondo dopo l'inizio della

¹⁴ P. Bianucci, *Camminare sulla Luna. Come ci siamo arrivati e come ci torneremo*, cit., pp. 180-181.

manovra di *lift-off* ricadendo sulla rampa di lancio e provocando una delle più grosse esplosioni non nucleari mai registrate. La serie di sfortunati eventi per l'URSS proseguì con la missione Luna 15, lanciata il 13 luglio 1969 con lo scopo di raccogliere e portare sulla Terra campioni della superficie lunare; purtroppo si persero i contatti con la sonda, che probabilmente si schiantò sulla Luna¹⁵.

1.7. *Un piccolo passo per un uomo, un grande passo per l'umanità.*- Il 16 luglio 1969 partì Apollo 11. A bordo si trovavano il comandante Neil Armstrong, il pilota del LEM Buzz Aldrin, rispettivamente il primo e il secondo uomo a mettere piede sul suolo lunare, e il pilota, nato a Roma, del modulo di comando Michael Collins. Collins non scese sulla superficie lunare, in quanto era in orbita in attesa dei suoi due compagni¹⁶. La missione fu un successo nonostante la percentuale di riuscita del progetto non superava il 50%. Tutti i voli precedenti all'Apollo 11 servirono a fare in modo che tutte le manovre che dovevano essere effettuate andassero nel verso giusto. Già la fase di allunaggio fu rischiosa perché, anche in questo caso, la manovra era stata provata solo con un simil-LEM terrestre. Il computer di bordo del modulo lunare, denominato Eagle, che doveva gestire automaticamente la discesa, a causa di alcuni errori persistenti venne disattivato da Neil Armstrong che decise di atterrare in manuale. L'allunaggio avviene alle 20:17 del 20 luglio 1969.

Dopo la depressurizzazione del modulo lunare, Neil scese per primo sul suolo lunare. La scelta su di lui non fu casuale: Neil era un civile mentre Buzz era un militare (quindi non si voleva che si militarizzasse la Luna); i due astronauti avevano comportamenti totalmente diversi, Neil era una persona composta e avrebbe sicuramente retto meglio la popolarità una volta tornati a Terra; inoltre Armstrong era un tipo pratico: lo sportellone di apertura verso l'esterno era dalla parte di Armstrong e per motivi pratici lui scese per primo, evitando un cambio di posto all'interno della capsula a causa degli spazi strettissimi. Dopo aver posizionato la telecamera che avrebbe immortalato i suoi passi sulla Luna, Neil scese i gradini e, facendo un piccolo salto, toccò il suolo lunare il 21 luglio 1969 alle ore 02:56. È stato un momento storico sancito dalle famose parole di Neil «È un piccolo

¹⁵ P. Caraveo, *Conquistati dalla Luna. Storia di un'attrazione senza tempo*, cit., pp. 108-111.

¹⁶ C. Treanni, *Sulla Luna. A 50 anni dallo sbarco, un viaggio tra scienza e fantascienza*, cit., pp. 162-163.

passo per un uomo, un enorme balzo per l'umanità». Poco dopo scese anche il compagno Buzz e insieme passeggiarono sulla Luna per due ore e mezzo impegnati nella raccolta di campioni della regolite lunare, e piantando la bandiera americana a nome dell'umanità.

Dopo aver fatto tutto il necessario sulla superficie della Luna, i due astronauti si sbarazzarono di tutto il superfluo per liberare più spazio possibile in cabina; stivali coperti di polvere lunare, macchine fotografiche (senza rullini) e gli zaini furono abbandonati. Dopo poche ore accesero il motore per lasciare il satellite e raggiungere Collins in orbita nel modulo di comando¹⁷. Uno dei momenti più critici fu l'accensione dei motori di lift-off dalla Luna in quanto prima di allora la manovra non era mai stata provata; inoltre era molto rischiosa dato che se il motore non avesse funzionato per gli astronauti non ci sarebbe stata via di scampo. Per la missione Apollo 11 andò tutto secondo i piani. Il modulo di ascesa venne abbandonato in orbita lunare, il quale andò a schiantarsi sulla sua superficie mentre il modulo di comando, rientrato in orbita terrestre, ammarò il 24 luglio dello stesso anno.

1.8. *I programmi lunari continuano.*- Con il pieno successo dell'Apollo 11 il programma americano delle missioni umane nello spazio entrava nel vivo; i programmi successivi avevano allora come obiettivo di esplorare la Luna. La corsa allo spazio tra USA e URSS era stata vinta: i sovietici erano arrivati sul nostro satellite solo con rover e con delle sonde automatiche. I sovietici lanciarono in orbita circumlunare la sonda Zond 7 il 7 agosto 1969 per effettuare dei test sulla navicella che avrebbe poi trasportato i cosmonauti sovietici nei viaggi spaziali. Questa missione rappresentò un successo, ma fu seguita da due fallimenti, Kosmos 300 e Kosmos 305 che avrebbero dovuto portare sulla Terra dei campioni del suolo lunare. Ci fu poi il lancio di tre navicelle Soyuz nell'ottobre dello stesso anno le quali effettuarono il rendez-vous tra loro con all'interno un totale di sette cosmonauti, stabilendo così un altro record.

Il successore della missione Apollo 11 fu l'Apollo 12 guidata dal comandante Gordon lanciata il 14 novembre 1969. A differenza del predecessore, l'Apollo 12 prevedeva un atterraggio di precisione sul suolo lunare; la navicella doveva allunare nell'Oceano delle Tempeste, vicino a Surveyor 3 in modo da recuperarne dei pezzi per

¹⁷ P. Caraveo, *Conquistati dalla Luna. Storia di un'attrazione senza tempo*, cit., pp. 113-121.

studiare gli effetti della polvere lunare sulla strumentazione. La missione ebbe successo e vennero raccolti in totale oltre 30 kg di campioni da analizzare. I sovietici continuavano i loro programmi per riportare sulla Terra dei campioni del suolo lunare; partì il 6 febbraio 1970 la missione Luna E-8-5 ma fallì a causa di un malfunzionamento dei motori del razzo.

La missione Apollo 13, che ebbe un incidente alla navicella, è entrata nella storia per il salvataggio degli astronauti. La partenza della missione avvenne regolarmente l'11 aprile 1970. A bordo c'erano il comandante Lowell, Haise e Swigert. Tutto procedette come previsto fin quando, sulla traiettoria lunare, esplose un serbatoio dell'ossigeno togliendo l'alimentazione elettrica al modulo di servizio della navicella. Gli astronauti si spostarono dal modulo di comando a quello lunare e furono costretti a cambiare rotta, facendo in modo di seguire un'orbita diversa da quella prevista per la circumnavigazione lunare. Effettuarono quindi un *fly-by* della Luna per immettersi sulla rotta di ritorno per la Terra. La missione terminò il 17 aprile con l'ammarraggio nell'Oceano Pacifico del modulo di comando, diventato la capsula di salvataggio degli astronauti¹⁸.

Nonostante i sovietici avessero abbandonato l'idea dei viaggi umani verso la Luna, essa rimase per loro comunque un obiettivo di fondamentale importanza. Fu solo con la missione Luna 16, il 12 settembre 1970 che i sovietici riuscirono nella missione di *sample return* ossia nella raccolta di campioni e ritorno automatico. Altri due successi sovietici sono stati le missioni Zond 8 e Luna 17: la prima, lanciata il 20 ottobre 1970, aveva come obiettivo la circumnavigazione della Luna per la prova della capsula che avrebbe dovuto trasportare i cosmonauti, mentre la seconda, partita il 10 novembre 1970 portò sulla Luna il primo rover a controllo remoto denominato Lunokhod il quale operò per undici giorni lunari¹⁹.

A causa del fallimento dell'Apollo 13, la successiva missione americana partì con alcuni mesi di ritardo rispetto a quanto previsto dalla tabella di marcia. Il 31 gennaio 1971, infatti, Apollo 14, con a bordo gli astronauti Shepard (capitano), Mitchell e Roosa, lasciò la Terra allunando in prossimità del cratere Fra Mauro. Scopo della missione, riportare sulla Terra più di 40 kg di campioni Lunari. Apollo 14 rappresentò l'ultima missione del programma Apollo con permanenza

¹⁸ C. Treanni, *Sulla Luna. A 50 anni dallo sbarco, un viaggio tra scienza e fantascienza*, cit., pp. 181-182.

¹⁹ P. Caraveo, *Conquistati dalla Luna. Storia di un'attrazione senza tempo*, cit., p. 129.

breve sul nostro satellite. Particolare rilevanza ebbe la missione Apollo 15 guidata dal comandante Scott, con gli astronauti Irwin e Worden; per la prima volta fu portato sulla Luna un fuoristrada che permise agli uomini di abbandonare il LEM, chiamato Falcon, per delle ispezioni prolungate della superficie lunare, allontanandosi dal luogo di allunaggio di ben 8 km. La missione terminò quasi tre giorni dopo con il rientro a Terra insieme a oltre 76 kg di campioni di roccia lunare raccolti. Fu inoltre lasciato in orbita lunare un piccolo satellite gemello di quello di Apollo 15 per le rilevazioni del campo magnetico.

Continuava intanto l'attività sovietica sulle spedizioni di sonde automatiche verso la Luna. La missione Luna 18, sempre dedicata alla raccolta di campioni lunari, partì il 2 settembre 1971 ma purtroppo fallì la manovra di discesa sul suolo lunare. Poco dopo, il 28 settembre, fu la volta di Luna 19 che orbitò la Luna per la mappatura fotografica, e soprattutto per lo studio del campo gravitazionale del satellite terrestre. Il 14 febbraio 1972 venne lanciata Luna 20; la missione, fu un successo e porterà a casa 30 g di materiale raccolto nella regione denominata Terra Apollonius²⁰. L'interesse del grande pubblico americano per le missioni lunari cominciò a scemare e ogni nuova missione veniva seguita sempre più distrattamente. L'Apollo 16 partì da Cape Canaveral il 16 aprile 1972 con a capo il comandante John Young. Anche per questa missione era prevista una lunga permanenza sul suolo lunare con escursioni motorizzate e un'importante attività scientifica. La missione terminò il 27 aprile con 95 kg di rocce.

Nonostante fossero previste ulteriori missioni, l'Apollo 17 fu l'ultima missione con equipaggio umano del programma spaziale Apollo che scese sulla Luna. I budget delle varie missioni di esplorazione si stavano sempre di più ridimensionando e l'iniziale entusiasmo americano, dettato principalmente dalla corsa allo spazio con i sovietici, era ormai scemato. Il comandante della missione era Cernan che insieme all'astronauta Schmitt, fu l'ultimo uomo della storia a sbarcare sul nostro satellite. L'altro astronauta, Evans, continuò a orbitare la Luna con il CSM (Apollo Command/Service Module). La missione partì il 7 dicembre 1972; come ultima spedizione del programma, venne lasciata una targa commemorativa di tutto il Programma Apollo e vennero effettuati molti più esperimenti scientifici delle precedenti missioni. Fu la missione più lunga, con una durata di oltre 12 giorni, e

²⁰ *Ivi*, pp. 136-139.

quella che raccolse i campioni più significativi, oltre 110 kg, poiché Schmitt aveva una formazione da geologo. La missione terminò il 19 dicembre 1972 e, con essa anche questa straordinaria avventura americana²¹.

Il programma Apollo ha avuto successo perché è riuscito a coniugare un obiettivo chiaro da raggiungere entro una scadenza precisa con una volontà politica di lungo termine. I sovietici invece continuarono il loro programma di esplorazione automatica con il lancio di Luna 21 avvenuto il 9 gennaio 1973 con allunaggio il 15 gennaio con il rover Lunokhod-2. Il 29 maggio 1974 partì Luna 22 con l'obiettivo di entrare in orbita lunare per studiarne il campo magnetico e gravitazionale, per misurare l'emissione gamma del suolo e il flusso dei raggi cosmici. Furono lanciate altre tre missioni dedicata alla raccolta di campioni. Le prime due – Luna 23 (28 ottobre 1974) e Luna E-8-5M412 (16 ottobre 1975) – furono degli insuccessi: la prima allunerà male mentre la seconda non entrerà proprio in orbita lunare.

Il programma sovietico terminò con un successo: la missione Luna 24, che fu lanciata il 9 agosto 1976, riportò in patria oltre 170 g di materiale raccolto nel Mare Crisium²². L'eredità del vecchio programma Apollo fu Sky-lab, il primo laboratorio spaziale americano per il quale vennero usate tra il 1973 e il 1974 le capsule Apollo e i razzi Saturn V che erano stato costruiti per le tre missioni cancellate del programma. Nel 1975 si svolse una missione congiunta Apollo-Soyuz con lo storico rendez-vous e aggancio tra la capsula americana Apollo, non ufficialmente denominata Apollo 18, e la sovietica Soyuz 19²³.

La Luna divenne oggetto di studio per i laboratori statunitensi e non solo. I campioni di rocce riportati sulla Terra e i dati raccolti divennero il perno su cui gli scienziati della NASA, e di altre istituzioni scientifiche internazionali, incluse alcune italiane come il Reparto di Planetologia del Consiglio Nazionale delle Ricerche e Sapienza Università di Roma, avrebbero potuto iniziare a lavorare per rendere concreto tutto ciò che fino ad allora erano solo ipotesi scientifiche sulla formazione e sulla composizione della Luna. In generale,

²¹ C. Treanni, *Sulla Luna. A 50 anni dallo sbarco, un viaggio tra scienza e fantascienza*, cit., p. 183.

²² P. Caraveo, *Conquistati dalla Luna. Storia di un'attrazione senza tempo*, cit., pp. 139-141.

²³ P. Bianucci, *Camminare sulla Luna. Come ci siamo arrivati e come ci torneremo*, cit., p. 191.

le analisi delle rocce lunari hanno mostrato che la loro composizione è simile a quella delle rocce della crosta terrestre.

1.9. *La lunga marcia del ritorno alla Luna.*- Dopo l'ultima missione sovietica del 1976 passarono ben 14 anni prima che un altro Paese decidesse di intraprendere un nuovo programma lunare: era il tempo del Giappone. A inaugurare questa nuova fase di esplorazione fu la sonda giapponese Hiten che rimase nello spazio per più di tre anni, dal 24 gennaio 1990 al 10 aprile 1994 il satellite era stato inserito in un'orbita terrestre molto ellittica. Lo scopo principale della missione era lo studio e la sperimentazione di nuove tecniche per futuri voli spaziali, tra cui l'*aerobraking*, cioè la frenata aerodinamica, tentata nelle ultime due di nove orbite Terra-Luna compiute dalla sonda, usata poi dalla NASA per varie missioni su Marte.

La nostalgia delle missioni lunari si è poi trasferita negli Stati Uniti. Il 25 gennaio 1994 partì la sonda Clementine tramite una collaborazione tra la NASA e la BMDO (Ballistic Missile Defense Organization). Con una massa di 200 kg, era stata concepita nell'ambito del programma del Pentagono "Iniziativa di difesa strategica" ma poi abbandonato in seguito alla dissoluzione dell'impero sovietico. Lo scopo principale della missione era di provare nello spazio extra-atmosferico nuovi sensori e nuova componentistica, raccogliendo dati sulla superficie della Luna attraverso immagini nel visibile, nell'infrarosso e nell'ultravioletto. È stata inoltre individuata la possibile presenza di ghiaccio sulla superficie della Luna nelle zone polari con una prima stima di estensione pari a 530 km² al Polo Nord e 6360 km² al polo sud.

Il risultato ottenuto da Clementine è stato di notevole importanza per la missione successiva della NASA chiamata Lunar Prospector, partita il 7 gennaio 1998. Poco costosa – solo 63 milioni di dollari – ma dotata di tecnologie per la ricerca di acqua molto più sviluppate rispetto a quelle di cui era dotata Clementine. Lunar Prospector ridimensionò la stima fatta dalla missione precedente: l'area ghiacciata sembrava essere più ristretta, ma nel complesso è stata stimata una presenza di acqua nel nostro satellite pari a 300 milioni di tonnellate. Ovviamente non si tratta di acqua allo stato liquido, bensì di ghiaccio accumulato sul fondo di alcuni crateri lunari. La missione si concluse il 31 luglio 1999 quando la sonda venne fatta cadere sulla Luna in prossimità di uno dei crateri del polo sud nei quali era stata rilevata la presenza di ghiaccio.

Lo scopo di questa manovra era di produrre una nuvola di detriti visibile dalla Terra e permettere agli astronomi di analizzarne la composizione per il riconoscimento di molecole d'acqua. Anche se la nuvola creata non è risultata visibile dalla Terra, lo schianto programmato dal Lunar Prospector rappresentò il primo tentativo di capitalizzare la fine di una missione per ottenere informazioni dirette sulla presenza di ghiaccio²⁴. Oltre allo studio della presenza di acqua ghiacciata sulla superficie, la missione aveva come obiettivo lo studio delle anomalie gravitazionali con maggiore precisione. A questo proposito è stata determinata la composizione del nucleo della Luna – nucleo ferroso che occupa una massa valutabile tra l'1 e il 4 per cento del satellite.

Il nuovo millennio ha visto una ripresa dell'interesse verso la Luna, con una significativa accelerazione negli ultimi anni. Oltre all'aumento delle agenzie spaziali interessate a studiare la Luna, si sono iniziati ad affacciare sul mercato spaziale nuovi imprenditori privati che con i loro finanziamenti potrebbero favorire il ritorno di uomini e donne sulla Luna. Nel 2003 venne lanciata la prima missione diretta verso il nostro satellite da parte dell'ESA, chiamata SMART-1 (Small Missions for Advances Research in Technology). Con questa missione tecnologica, l'ESA voleva dimostrare l'efficacia della propulsione ionica; un sistema che usa l'energia solare per accelerare un gas nobile come lo xeno. La spinta che viene prodotta da un propulsore del genere è tale da accelerare la navicella spaziale in maniera costante e graduale; per questo motivo il viaggio spaziale della sonda per raggiungere l'orbita lunare durò quasi un anno, e dopo un susseguirsi di orbite a spirale intorno alla Terra finì per essere catturata dal campo gravitazionale della Luna (questo nuovo sistema propulsivo potrà rivelarsi utile in future missioni di lunga durata). Oltre a provare il motore ionico, lo scopo della missione era di mappare la superficie lunare e di studiare la composizione del suolo tramite raggi-X e strumentazione sensibile all'infrarosso. La missione terminò il 3 settembre 2006 dopo averla fatta schiantare sulla superficie lunare²⁵.

Il 12 settembre 2007 partì la missione giapponese SELENE, la cui sonda è stata ribattezzata Kaguya. La missione trasportava tredici esperimenti per eseguire la mappatura della superficie lunare e anche

²⁴ P. Caraveo, *Conquistati dalla Luna. Storia di un'attrazione senza tempo*, cit., pp. 162-165.

²⁵ P. Bianucci, *Camminare sulla Luna. Come ci siamo arrivati e come ci torneremo*, cit., pp. 309-311.

per studiarne la composizione. Anche questa missione si concluse con un impatto programmato sulla superficie lunare, anche questo impatto, come i precedenti, registrato dai sismometri lasciati sulla Luna durante le missioni Apollo che verranno analizzati in maniera più approfondita nel Capitolo VI.

Dopo la missione giapponese, il 24 ottobre 2007 venne lanciato il primo satellite cinese in orbita lunare, il Chang'e 1 – dal nome della dea cinese della Luna. L'obiettivo principale era di individuare una regione adatta alla discesa morbida di un rover. Questa missione inaugurava infatti un ambizioso programma di esplorazione del nostro satellite da parte cinese che ha come traguardo finale lo sbarco di taikonauti – astronauti cinesi – sulla Luna. La conquista cinese della Luna prevede sei missioni Chang'e (di cui la quarta è stata lanciata a fine 2018 mentre la quinta è prevista per il 2020) e ha come tappe l'esplorazione con rover teleguidati, la raccolta e l'invio a terra di rocce lunari e infine una missione con equipaggio. Nel 2014, in aggiunta alle 6 missioni nominali del programma, è stata effettuata anche la missione Chang'e 5-T1 per la sperimentazione delle tecnologie di rientro in atmosfera terrestre delle capsule con campioni della superficie lunare, previste nelle successive missioni. Negli stessi anni, anche l'India si affacciava all'esplorazione lunare con la missione Chandrayaan 1 lanciata il 22 ottobre 2008. Era una missione essenzialmente dimostrativa ma, per vari problemi, la sonda, che doveva lavorare in orbita lunare per due anni, interruppe la raccolta dati dopo 312 giorni, pur rimanendo in orbita circa 1000 giorni prima di precipitare sulla Luna.

L'anno 2009 è rappresentato dal ritorno americano: la missione della NASA comprendeva il LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter) con compiti di imaging, la sonda LCROSS (Lunar Crater Observation and Sensing Satellite) e un razzo Centaur. Gli obiettivi della missione erano di ottenere una mappa delle temperature del suolo lunare sia durante l'esposizione al Sole sia di notte e la misura dell'albedo lunare nell'ultravioletto. Lo scopo primario era la ricerca di depositi di acqua ghiacciata con il supporto di immagini ad altissima definizione e analisi spettroscopica. Un'altra missione americana fu lanciata il 10 settembre 2010: si tratta di GRAIL (Gravity Recovery and Interior Laboratory). Essa comprendeva due sonde poste in orbita polare allo scopo di rilevare con precisione le variazioni dell'attrazione gravitazionale esercitata dalle masse sottostanti. La determinazione di pre-

cisione del campo gravitazionale, e delle sue anomalie, gioca un ruolo centrale nell'atterraggio di sonde automatiche.

La seconda missione cinese Chang'e 2, lanciata il 1° ottobre 2010 era dotata di un orbiter con un altimetro laser per ottenere informazioni aggiuntive per l'atterraggio morbido della missione successiva. Atterraggio morbido avvenuto invece con la terza missione Chang'e 3, lanciata nel dicembre. Il lander, chiamato Yutu, era alimentato da generatori a radioisotopi e avrebbe dovuto esplorare un'area di 3 km², ma a causa del gelo dovuto alla notte lunare, il 25 gennaio 2014 Yutu si bloccò per un'anomalia meccanica, riprendendo il contatto a Terra a intermittenza. Nonostante il parziale successo della missione, rimane a Yutu il merito di essere stato il primo oggetto a scendere dolcemente sul suolo lunare dopo la missione Luna 24 del 1976.

L'ultima missione avvenuta prima del 2015 è stata a opera degli statunitensi: la missione LADEE (Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer) è stata lanciata il 6 settembre 2013, concepita per lo studio dell'esosfera lunare. Essendo la Luna priva di atmosfera, ci si è voluti concentrare sullo studio dell'involuppo atomico della Luna modulato dall'attività solare. LADEE ha misurato per la prima volta gli atomi e i granelli di polvere che avvolgono il nostro satellite individuando la coda magnetica che essi formano. Nel loro insieme, le particelle dell'esosfera vanno a generare un tenue chiarore dovuto principalmente agli atomi di sodio, presenti in maggioranza nei siti di allunaggio delle missioni Apollo. Con LADEE si è inoltre sperimentata la comunicazione laser Terra-Luna ed è stato individuato l'inquinamento nell'esosfera lunare dalla combustione del propellente della sonda cinese Chang'e 3. La fine della missione è avvenuta con una discesa verso la superficie lunare durata ben sette giorni²⁶. Nell'ultimo anno sono stati registrati svariati tentativi da parte di attori spaziali ben consolidati e non di dare vita a programmi lunari, tra cui la Cina con la missione Chang'e 4, e Israele con la missione, purtroppo fallita, Beresheet che verrà analizzata più avanti nel Capitolo III.

L'esperienza maturata dall'inizio dell'era spaziale ha consentito un miglioramento non indifferente in termini tecnologici e di sicurezza, impartendo quindi preziose lezioni, analizzate nel capitolo seguente, che hanno consentito un concreto sviluppo delle capacità spaziali.

²⁶ P. Bianucci, *Camminare sulla Luna. Come ci siamo arrivati e come ci torneremo*, cit., pp. 312-318.

CAPITOLO 2

LEZIONI DAL PASSATO

ANDREA MONTIERI

2.1. *Le prime esperienze di Apollo.*- Il Programma Apollo, intrapreso nel corso degli anni sessanta, ai tempi era considerato, in maniera molto ottimistica, come il primo passo per la conquista umana della Luna, e successivamente dello Spazio. Questo ottimismo non era solo onnipresente in tutte le opere di *science fiction* prodotte a cavallo tra gli anni cinquanta e sessanta, ma era condiviso anche dalle menti dietro il programma spaziale americano. Wernher von Braun, il geniale progettista tedesco e capo architetto del Saturn V, auspicava già nel 1953, nella sua opera fantascientifica *The Mars Project*, una missione umana su Marte. Nel libro la Luna è ridotta a un “piccolo satellite domesticato”²⁷, esempio di come l’esplorazione lunare fosse vista come un solo tassello del più grande progetto di esplorazione dello spazio. Era normale affermare che l’avanzata dell’umanità non si sarebbe fermata al nostro satellite, almeno secondo gli esperti e gli scienziati del tempo.

Il progetto Apollo era composto da un insieme di parti. Il lanciatore utilizzato, Saturn V, era stato appositamente sviluppato per la missione, l’unico in grado di portare sulla Luna il peso di tre astronauti, un modulo di comando e servizio, e un lander. Nonostante i costi e le difficoltà tecnologiche, la missione Apollo era concettualmente semplice: un lanciatore portava il CSM e il LEM in orbita terrestre di parcheggio, che successivamente permetteva di entrare in traiettoria di inserzione lunare; dopo esser entrato in orbita lunare, il lander si distaccava dalla capsula CSM per scendere sulla superficie; a fine missione, il lander effettuava l’ascesa dalla superficie e il docking con il modulo di comando e servizio rimasto in orbita lunare, per poi dirigersi di nuovo verso la Terra²⁸.

Il Programma Apollo venne cancellato nel 1973, dopo 16 successi e 6 sbarchi sulla superficie lunare. Già nel 1970, l’anno seguente al successo di Apollo 11, tre missioni Apollo vennero cancellate per

²⁷ W. Von Braun, *The Mars Project*, Apogee Books, Burlington, 2006, p. 16.

²⁸ NASA, *Apollo 11 mission overview*. Disponibile su: https://www.nasa.gov/mission_pages/apollo/missions/apollo11.html

permettere lo sviluppo del Programma Skylab²⁹. Nonostante le pressioni NASA, il Presidente Lyndon B. Johnson prima, e il Presidente Nixon poi, tagliarono il programma per sostenere i crescenti costi della Guerra del Vietnam, decretando la fine sia dell'esplorazione umana della Luna sia dei progetti che, in teoria, avrebbero dovuto continuare l'eredità di Apollo. Un report redatto dalla NASA nel 1969, chiamato *America's next decade in Space*, riporta le ambizioni degli scienziati e dei progettisti della NASA sul futuro dell'esplorazione spaziale umana. Il report prevedeva la costruzione di due stazioni spaziali, una in orbita terrestre e una in orbita lunare, l'utilizzo di "rimorchiatori" nucleari, e l'espansione dei programmi di esplorazione umana e robotica sia della Luna che degli altri pianeti del Sistema solare³⁰.

Ma le speranze degli scienziati si infransero contro i numerosi tagli che colpirono la NASA. Dopo il picco del 1966, durante il quale la NASA assorbiva il 4,4% del bilancio federale, il budget dell'agenzia iniziò un drastico e continuo declino, arrivando fino allo 0,47% del bilancio federale nel 2017³¹. Non solo Apollo, ma anche i programmi di sviluppo del motore nucleare NERVA e tutti i piani di esplorazione umana marziana furono eliminati dal susseguirsi delle Amministrazioni americane. Ci sono diverse ragioni per la fine della Corsa allo Spazio. Senza dubbio il rinnovato scenario politico dovuto al *détente* con l'URSS non aiutò le ambizioni della NASA. Il motore principale della nascita del programma spaziale americano fu lo scontro tecnologico con i sovietici iniziato con il lancio dello Sputnik. Venuto a mancare il fattore "prestigio" della Corsa allo Spazio il taglio del budget NASA fu inevitabile. Anche l'opinione pubblica americana, dopo Apollo 11, era sempre meno interessata alla spesa nel settore spaziale, con un crollo dell'interesse già avvenuto nel 1968³².

Ma tutto ciò non può essere ridotto a un problema politico. Se da una parte è vero che l'interesse dell'opinione pubblica e dei *policy makers* è essenziale per la riuscita di un programma spaziale in un paese democratico, è anche vero che problematiche tecnologiche ed

²⁹ NASA, *Man Circles the Moon, the Eagle Lands, and Manned Lunar Exploration*. Disponibile su: <https://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/SP-4009/v4p3g.htm>

³⁰ NASA, *America's next decade in Space: A report for the Space Task Group*, 1969, pp. 7-20. Disponibile su: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19710002945.pdf>

³¹ Lunar and Planetary Institute. Disponibile su: <https://www.lpi.usra.edu/exploration/multimedia/NASA BudgetHistory.pdf>

³² R. D. Launius, *Public opinion polls and perception of the US human spaceflight*, in "Space Policy", vol. 19, n. 13, 2003, p. 168.

economiche hanno impedito il successo a lungo termine del programma di esplorazione umana della Luna. Grazie ad Apollo la NASA, e l'umanità, hanno appreso molte conoscenze. Lo sforzo umano ed economico intrapreso per toccare la superficie lunare non è stato vano, e ha prodotto conseguenze positive per la comprensione dello spazio extra-atmosferico e, quindi, per il suo utilizzo anche a fini commerciali. La ricerca effettuata durante le missioni Apollo copre una vasta serie di campi differenti della scienza, dalla geologia lunare e terrestre alla fisica, passando per l'osservazione della Terra. Ma le nozioni più importanti ottenute da Apollo riguardano il come condurre un programma di esplorazione lunare umana.

Apollo nasce nel contesto della Guerra Fredda e della Corsa allo Spazio, e di conseguenza ha avuto una caratteristica fondamentale: quella di essere un programma a tappe forzate, con l'obiettivo di battere l'Unione Sovietica raggiungendo per primi la Luna. Per Apollo furono mobilitate oltre 36.000 dipendenti NASA e 376.000 *contractors* appartenenti alle più svariate industrie nazionali³³. Il costo di Apollo ammontò a 28 miliardi di dollari tra il 1960 e il 1973, pari a 288 miliardi di dollari del 2018³⁴. Questa mobilitazione economica e scientifica di una intera nazione fu sì efficace per il raggiungimento dello scopo di Apollo, ma non sostenibile nel lungo periodo. Il taglio dei fondi avvenuto sotto le due amministrazioni fu inevitabile a causa della natura stessa di Apollo. Già ai tempi gli scienziati NASA avevano dubbi sull'organizzazione e gli scopi di Apollo. Nella discussione del bilancio federale del 1970, il Dr. Lee A. DuBridge, Presidential Science Advisor, consigliò di rallentare l'intensità dei lanci per permettere ai ricercatori di definire gli obiettivi scientifici di ogni missione in maniera coerente, in quanto il poco tempo tra un lancio e un altro non permetteva a questi di pianificare gli esperimenti e analizzare i campioni lunari ottenuti. Si rischiava, a suo avviso, di effettuare missioni Apollo di scarsa importanza scientifica³⁵.

La struttura stessa del programma Apollo era stata costruita non per essere sostenibile, ma per ottenere il massimo risultato, lo sbarco lunare, nel minor tempo possibile. Il lanciatore utilizzato era il Saturn V, progettato da von Braun e la sua squadra. Era costato circa 42

³³ A. S. Levine, *Managing NASA in the Apollo Era*, NASA, 1982, pp. 65-107.

³⁴ The Planetary Society, *How much did the Apollo Program costs?* Disponibile su: <http://www.planetary.org/get-involved/be-a-space-advocate/become-an-expert/cost-of-apollo-program.html>

³⁵ NASA, *Astronautics and aeronautics*, NASA, Washington, D.C., 1969, p. 134.

miliardi di dollari del 2018, era alto 111 metri e in grado di portare 48 tonnellate in Trans Lunar Injection³⁶, e richiedeva oltre 1 miliardo di dollari del 2018 per singolo lancio³⁷. I costi enormi del Saturn V, il suo essere *expendable*, e i costi aggiuntivi dell'intero sistema Apollo resero la sostenibilità di quest'ultimo impossibile. Apollo fu "l'epoca d'oro" della NASA, nella quale un budget illimitato sostenne uno dei più grandi progetti scientifici e infrastrutturali della storia umana. L'eredità della NASA di quei tempi, ambiziosa e che puntava direttamente al risultato assumendosi rischi elevati, avendo sviluppato anche un sistema di controllo della Qualità eccezionale, continuò a vivere nei decenni successivi, durante epoche e programmi ben diversi da Apollo.

2.2. Il Programma Space Shuttle: Successi e fallimenti.- La fine di Apollo costrinse la NASA a cercare una soluzione più sostenibile dal punto di vista dei costi. La nascita del Programma Shuttle va vista in tal senso, ovvero il tentativo NASA di creare un sistema pienamente riutilizzabile per abbattere i costi dell'esplorazione umana dello spazio esterno. Ma questo programma, previsto già nel 1968, subì notevoli cambiamenti di rotta nel corso della ricerca e sviluppo, e non si riprese mai dal taglio dei fondi. La versione definitiva dello Space Shuttle era molto differente dal sistema riutilizzabile e sostenibile previsto nel 1969³⁸. Quello che era stato ipotizzato come sistema completamente sostenibile, basato su un lanciatore e uno *space plane* riutilizzabile divenne, a causa di errate politiche della Casa Bianca, cattiva gestione tecnica e inefficienze da parte dell'industria aerospaziale americana, un costoso sistema solo parzialmente riutilizzabile, che si rivelò incapace di creare quell'architettura sostenibile ipotizzata all'inizio. Lo spaziotrattore riutilizzabile divenne un sistema ibrido, composto da due razzi solidi riutilizzabili e un serbatoio esterno. Tra il 1970 e il 1971 la sfida fu tra il design completamente riutilizzabile, più costoso in ricerca e sviluppo, e il design parzialmente riutilizzabile, che venne alla fine approvato³⁹. La ragione di

³⁶ NASA, *Ground Ignition Weights*. Disponibile su: https://history.nasa.gov/SP-4029/Apollo_18-19_Ground_Ignition_Weights.htm

³⁷ NASA, *Economics and the Shuttle*. Disponibile su: <https://history.nasa.gov/SP-4221/ch6.htm>

³⁸ NASA, *The post-Apollo space program: directions for the future*, 1969.

³⁹ T. A. Heppenheimer, *The Space Shuttle decision: NASA's search for a reusable space vehicle*, NASA, 1999, p. 23.

questa decisione fu l'eccessivo costo in ricerca e sviluppo del sistema pienamente riutilizzabile, che la NASA non poteva permettersi⁴⁰.

Le critiche, esterne e interne, rivolte al programma Space Shuttle furono numerose. I costi del progetto, stimati in 7,45 miliardi di dollari di sviluppo e 9,3 milioni per lancio durante i lavori preliminari, subirono una tremenda inflazione a causa di ritardi, problematiche tecniche e i disastri del Challenger e del Columbia⁴¹. L'intensità dei lanci, premessa necessaria per abbattere i costi, fu molto inferiore alle aspettative, a causa della complessità della manutenzione dello Space Shuttle. Più di 500 lanci furono infatti previsti nei progetti iniziali per rendere il sistema economicamente sostenibile⁴², ma questi si ridussero a circa 4 lanci annuali, a causa dei tempi necessari per la manutenzione e l'aumento dei costi. Inizialmente pensato per essere riutilizzato dopo appena due settimane, l'orbiter richiedeva in realtà mesi di accurata analisi e manutenzione tra i due lanci per essere riutilizzato. Il desiderio della NASA di utilizzare lo Space Shuttle per satelliti e voli commerciali si infranse contro gli alti costi operativi, anche per i stringenti requisiti di Safety, rendendo lo spaziotano dipendente dalle missioni istituzionali. Prima del disastro del Challenger il piano era utilizzare lo Space Shuttle per tutte le missioni americane, sia istituzionali che commerciali. Ma in seguito al disastro la NASA ritenne che il rischio assunto dagli astronauti era troppo elevato, e tutti i payloads commerciali vennero dirottati su altri lanciatori⁴³.

La perdita del Challenger nel 1986 e del Columbia nel 2003 fece emergere una serie di problemi gravi, fino ad allora tenuti nascosti, all'interno della NASA. Il *Rogers Commission Report* sul disastro del Challenger evidenziò come sia la NASA che il contractor Morton Thiokol erano a conoscenza del difetto dell'O-ring, inabile a resistere alle basse temperature registrate il giorno del lancio, che provocò il disastro con la sua rottura durante il volo⁴⁴. Difatti, gli Stati Uniti non potevano mostrare che la loro frequenza di lancio dipendeva, in larga

⁴⁰ NASA, *Cost-benefit analysis used in support of the Space Shuttle Program*, pp. 9-10. Disponibile su: <http://archive.gao.gov/f0302/096542.pdf>

⁴¹ T. A. Heppenheimer, *The Space Shuttle decision: NASA's search for a reusable space vehicle*, cit., pp. 26-27.

⁴² *Ivi*, pp. 28-29.

⁴³ R. Simberg, *The legacy of the Challenger disaster*, Popular Mechanics, 28 gennaio 2010. Disponibile su: <https://www.popularmechanics.com/space/a5158/4343994/>

⁴⁴ NASA, *Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle Challenger Accident*, NASA, Washington, D.C., 1986, pp. 121-152.

misura, anche dalle condizioni meteo, ragion per cui fu deciso di lanciare comunque il Challenger anche se non consigliato. Richard Feynman, famoso fisico teorico che aveva lavorato nel Progetto Manhattan, insistette per inserire nel rapporto finale della Commissione la sua opinione sulla cultura lavorativa della NASA. Feynman dimostrò come ci fosse una disconnessione all'interno della NASA tra l'amministrazione e gli ingegneri, con la prima incapace di ascoltare i secondi sulla affidabilità dei singoli componenti dei motori. La sicurezza degli astronauti fu messa a repentaglio dalla cultura manageriale presente all'interno della NASA, che decise consciamente di oscurare certi dettagli per evitare ulteriori aumenti dei costi e delle tempistiche⁴⁵.

Nonostante le raccomandazioni della Commissione, il disastro del Columbia del 2003 dimostrò che certi errori erano stati nuovamente commessi. Il Columbia Accident Investigation Board affermò che la causa del disastro fu un pezzo di isolante termico staccatosi durante il lancio impattando sull'ala sinistra dell'Orbiter, provocando il collasso di questo durante il rientro nell'atmosfera terrestre. Il report stabilì che il distacco di isolante dal serbatoio esterno dello Space Shuttle accadeva frequentemente durante i lanci, e che la NASA non aveva posto rimedio al problema⁴⁶.

Entrambi i report attribuirono a due fattori le responsabilità del disastro. Il primo fattore era la cultura lavorativa dell'agenzia, che secondo gli investigatori era eccessivamente inflessibile, tendente al *groupthink*⁴⁷ e male adattata alla nuova struttura amministrativa e burocratica introdotta nell'era post-Apollo⁴⁸. Il secondo fattore fu l'impacciato taglio del budget NASA, che riguardò anche il programma Space Shuttle. Con l'annuncio di Reagan della costruzione della ISS nel 1984 l'architettura Space Shuttle passò in secondo piano alla NASA. Questo cambio in corso d'opera delle priorità impattò pesantemente il numero della forza lavoro adibita alla manutenzione e messa al punto dello Space Shuttle. La manutenzione sia del segmento di volo che del segmento di terra andò incontro a una continua degradazione, e la mancanza di fondi creò una crisi riguardante l'upgrade

⁴⁵ Ivi, Appendice F.

⁴⁶ NASA, *Columbia Accident Investigation Board*, NASA, Washington, D.C., 2003, p. 55.

⁴⁷ Pensiero di gruppo, tendenza di un gruppo sociale a minimizzare i conflitti interni ricorrendo inefficientemente alle capacità di valutazione critica e oggettiva.

⁴⁸ NASA, *Columbia Accident Investigation Board*, cit., pp. 101-102.

dei sistemi dello Space Shuttle tra il 2000 e il 2001, che rischiarono di rendere meno sicuro il lanciatore⁴⁹.

Il report inoltre fece chiarezza sul problema del distacco dell'isolante. Già nel *Rogers Report* il distacco dell'isolante era ritenuto un rischio eccessivamente elevato per la sicurezza dello Shuttle. Ma in seguito a numerose missioni, nelle quali il distacco dell'isolante avvenne con una certa frequenza, la NASA giunse alle conclusioni che questo evento era inevitabile, e che non comportava un rischio abbastanza elevato⁵⁰. La distruzione dei due Orbiter si aggiunse alla frustrazione e al senso di impotenza che permeava la forza lavoro della NASA in quegli anni. Infatti un report della NASA redatto nel 2005, dopo il Columbia, registrò in tutti i centri di sviluppo e di lancio dell'agenzia una maggiore frustrazione nei confronti del management, la sensazione di avere a che fare con una struttura burocratica eccessiva e inefficiente, e, soprattutto, la pressione subita da programmi confusionari, cambi di rotta e tagli di budget⁵¹.

Il programma Space Shuttle si concluse con l'ultimo volo, STS-135, lanciato l'8 luglio 2011. Il costo totale del programma fu di 196 miliardi di dollari. Lo Space Shuttle fu incapace di perseguire l'obiettivo originario, ovvero sostenere una infrastruttura Terra-Spazio-Luna con costi bassi. L'assenza di una stazione orbitante e di un rimorchiatore tra Terra e Luna, causata dai frequenti tagli al budget e cambi di direzione politica, trasformò quella che doveva essere un sistema completo in un lanciatore adatto solo ai lanci in orbita bassa. La speranza espressa negli anni sessanta, ovvero quella di proseguire sulla scia di Apollo e garantire un rapido ed economico accesso alla Luna si infranse contro la realtà. La Commissione Augustine del 1990 criticò lo stato del Programma Space Shuttle, affermando che la NASA dipendeva eccessivamente dal suo uso, e raccomandando un immediato aumento del budget e l'inizio dello sviluppo di uno spaziplano di nuova generazione⁵². Le critiche della Commissione Augustine furono le ennesime rivolte allo stato della politica spaziale americana, ormai senza alcun obiettivo o direzione. Da allora la Luna è rimasta inaccessibile, nessun uomo ha mai più messo piede sulla

⁴⁹ *Ivi*, pp. 105-116.

⁵⁰ *Ivi*, p. 122.

⁵¹ NASA, *Interim assessment of the NASA culture change effort*, Appendice A e B. Disponibile su: https://www.nasa.gov/pdf/108679main_BST_culture_Feb05.pdf

⁵² NASA, *Report of the Advisory committee on the future of the U.S. space program*. Disponibile su: <https://history.nasa.gov/augustine/racup2.htm>

superficie lunare dopo gli Apollo, e non esiste ancora un metodo economico per ritornarci.

2.3. *Constellation, ISS e SLS, un accesso sostenibile alla Luna.* - Il pensionamento dello Space Shuttle, eseguito per mancanza di fondi e mancanza di progettazione dell'upgrade originariamente previsto, fu seguito dalla nascita del Programma Constellation. Approvato durante la Presidenza G.W. Bush nel 2005, il programma seguiva le esperienze e capacità tecnologiche ottenute con Apollo e lo Space Shuttle, riutilizzando molti sistemi e concetti dei due programmi. Un sistema classico, costituito da due lanciatori, Ares I e Ares V, una capsula (Orion) e un lander, aveva l'obiettivo dichiarato di sostituire lo Space Shuttle sia per i lanci verso la ISS che verso la Luna, Marte e gli asteroidi⁵³. La priorità era data alla Luna, obiettivo principale di Constellation. Il costo del programma si aggirava, secondo calcoli del *United States government accountability office*, attorno al 240 miliardi di dollari del 2004. Il report del 2009 affermò che non solo Constellation era in ritardo sui tempi e ancora soggetto ad alcune problematiche di tipo tecnico e tecnologico, ma che il costo totale non era ancora prevedibile⁵⁴.

Constellation venne cancellato nel 2009, durante la Presidenza Obama, a causa dell'aumento dei costi e una mancanza di fondi causata dalla crisi finanziaria del 2008. La cancellazione avvenne in seguito a un report dell'*Augustine Committee*, che giudicò Constellation così indietro e con così pochi fondi disponibili che ne suggerì il redesign⁵⁵. In seguito alla cancellazione Constellation venne rimpiazzato da un nuovo programma, lo Space Launch System (SLS), che concettualmente avrebbe unito in un unico lanciatore i compiti di Ares I e Ares V, potendo lanciare sia il cargo che gli astronauti, oltre che utilizzare la capsula Orion già progettata per Constellation⁵⁶.

Annunciato con il NASA authorization act del 2010, SLS è ancora oggi in sviluppo, avendo sofferto sia di un continuo aumento

⁵³ NASA, *NASA's exploration system architecture study*, NASA, Washington, D.C., 2005, pp. 2-3.

⁵⁴ GAO, *Constellation program cost and schedule will remain uncertain until a sound business case is established*. Disponibile su: <https://www.gao.gov/products/GAO-09-844>

⁵⁵ NASA, *Seeking a human spaceflight program worthy of a great nation*. Disponibile su: https://www.nasa.gov/pdf/396093main_HSF_Cmte_FinalReport.pdf

⁵⁶ NASA, *NASA Announces Design For New Deep Space Exploration System*. Disponibile su: https://www.nasa.gov/home/hqnews/2011/sep/HQ_11-301_SLS_Decision.html#.XRY9pugzaUk

dei costi sia di uno slittamento del primo lancio. Fino al 2019 SLS è stato privo di un obiettivo centrale, essendo venuto meno il piano di esplorazione umana di Marte, ma nel 2017, sotto la Presidenza Trump, è stata approvata dal Presidente la Space Policy Directive 1, che ha indicato la Luna come primo obiettivo di un programma di ritorno sulla superficie permanente e sostenibile⁵⁷. Il Programma Artemis prevede l'utilizzo di SLS per un ritorno alla Luna nel 2024, seguito nel 2028 dalla costruzione di una piccola base permanente. Una stazione orbitante lunare, la Lunar Orbital Platform – Gateway, verrà al contempo costruita per supportare logisticamente la base lunare e gli astronauti in orbita. La costruzione di una stazione spaziale esclusivamente dedicata al sostegno logistico di una infrastruttura oltre l'orbita bassa terrestre, se verrà definitivamente approvata, è una novità nella storia della NASA, che fino ad adesso è stata incapace, dal punto di vista finanziario, di sostenere questo progetto. La ISS, infatti, progettata inizialmente come stazione orbitale in orbita bassa in grado di eseguire una serie di compiti, non ha mai perseguito il ruolo di base logistica.

Il programma della Stazione Spaziale Internazionale è stato per anni ipotizzato e rimandato dalla NASA e da altre agenzie spaziali. Costruita sulla base dell'esperienza di Skylab e Mir, l'obiettivo della ISS è quello di funzionare come laboratorio scientifico, centro di ricerca sulla permanenza degli astronauti in microgravità, e base logistica. Ma tra gli obiettivi del Memorandum tra NASA e Roscosmos, firmato nel 1998, era presente anche l'utilizzo della ISS come base di partenza per future missioni sulla superficie lunare, anche in maniera permanente⁵⁸. L'idea di una stazione spaziale come base di partenza per una missione permanente sulla Luna non è nuova. Il progetto originario venne proposto a Nixon nel 1970, ma venne accantonato a favore dello Space Shuttle a causa della mancanza di fondi. Il progetto venne riavviato da Reagan nel 1984 con il nome di Space Station Freedom, ma nel corso degli anni l'ambizione di questo si ridimensionò. I costi, inizialmente stimati in 8 miliardi di dollari, aumentarono durante il periodo di ricerca e progettazione, costrin-

⁵⁷ C. Cofield, *President Trump Directs NASA to Return to the Moon, Then Aim for Mars*, Space.com, 11 dicembre 2017. Disponibile su: <https://www.space.com/39050-trump-directs-nasa-humans-to-moon.html>

⁵⁸ NASA, *Memorandum of Understanding between the National Aeronautics and Space Administration and the Russian Space Agency concerning cooperation on the civil International Space Station*, Art. 2. Disponibile su: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/nasa_rsa.html

gendo la NASA a effettuare diversi redesign della stazione⁵⁹. Nel 1991 la NASA presentò un nuovo design al Congresso, dal costo di 30 miliardi di dollari, che venne approvato. Ma in seguito al crollo dell'URSS e a una nuova epoca di collaborazione in campo spaziale tra americani e russi, la Freedom venne sostituita dal progetto della ISS dietro impulso della Presidenza Clinton⁶⁰.

I continui redesign della Space Station Freedom non furono motivati solo da un puro calcolo di costi della costruzione della stazione. L'esistenza di questa era legata a doppio filo allo Space Shuttle, necessario per posizionare e assemblare i moduli in orbita bassa. Il disastro del Challenger e l'esplosione dei costi del programma diminuì la capacità della NASA e dei partners di assemblare economicamente la stazione. La conseguenza fu la trasformazione della ISS in un puro centro di ricerca. Sebbene da questo punto di vista il progetto sia stato un successo, l'utilizzo degli insufficienti fondi NASA e delle altre agenzie sul mantenimento della ISS, e il pensionamento dello Space Shuttle nel 2011, ha impedito a queste di dedicarsi a qualsiasi altro progetto di esplorazione o infrastrutturale esterno all'orbita bassa terrestre.

La nascita del Programma Artemis ha dato un chiaro obiettivo alla NASA, ovvero la Luna, e la possibilità in futuro di una espansione sostenibile dell'esplorazione umana oltre l'orbita bassa. Ma così come è successo in passato, Artemis rischia di soffrire di un budget eccessivamente basso e cambi di direzione politici continui. Ma la novità del programma consiste nell'assegnazione di bandi commerciali rivolti ad aziende private per la costruzione degli elementi fondamentali del programma⁶¹. Artemis infatti è solo l'ultima di una serie di iniziative intraprese dalla NASA, a partire dalla presidenza Obama, per includere i privati nella ricerca e sviluppo dei programmi dell'agenzia. Programmi come il Commercial Crew Development, per il trasporto di astronauti e rifornimenti per la ISS, e il sostegno finan-

⁵⁹ M. S. Smith, *NASA's Space Station Program: Evolution and current status*, Congressional Research Center, 2001, pp. 1-2. Disponibile su: <https://history.nasa.gov/iss testimony2001.pdf>

⁶⁰ *Ivi*, pp. 2-3.

⁶¹ NASA, *Artemis Moon Program Advances – The Story So Far*, 31 maggio 2019. Disponibile su: <https://www.nasa.gov/artemis-moon-program-advances>

ziario di lanciatori privati come il Falcon 9 di SpaceX hanno effettivamente abbattuto leggermente i costi in molti ambiti⁶².

2.4. *Lezioni per il futuro.*- La storia dei tentativi di esplorazione lunare è ricca di insegnamenti. Dalla riuscita di Apollo sono passati ormai cinquanta anni, e da allora nessuno è mai riuscito a far posare di nuovo un piede umano sulla superficie lunare. La successione di programmi e iniziative per la costruzione di una infrastruttura in grado di esplorare lo spazio esterno in maniera sostenibile è di lezione per i futuri programmi, incluso Artemis nel quale si sono create le condizioni per una possibile partecipazione dell'Italia. Non è possibile indicare un'unica ragione per l'inefficienza dimostrata nella storia dell'esplorazione spaziale, poiché in tutti i sistemi complessi non è possibile indicare una singola causa. La caratteristica in comune di Apollo, Space Shuttle, Constellation e ISS è la frequenza con la quale i costi dei progetti sono aumentati esponenzialmente rispetto alle previsioni iniziali. Ciò è tipico di progetti ad alto rischio e alta innovazione tecnologica, ma con i programmi spaziali questa caratteristica è ancora più accentuata. In particolare, il costo per singolo lancio dello Space Shuttle, pari a 700 milioni senza mettere in conto manutenzioni straordinarie, costruzione e ricerca e sviluppo⁶³, ha rappresentato un ostacolo insormontabile sia dal punto di vista politico che commerciale. In mancanza dello sviluppo di un successore più sostenibile, il programma americano di esplorazione oltre l'orbita bassa si è arenato.

La mancanza di una visione generale e i continui cambiamenti di amministrazione presidenziale sono un altro ostacolo di cui spesso il management NASA parla. La NASA infatti è sottoposta all'autorità delle direttive presidenziali e al benessere del Congresso per l'approvazione annuale del budget. Più volte la lotta sul budget NASA, molto spesso animata da logiche politiche esterne al settore spaziale, ha compromesso le capacità dell'agenzia di intraprendere i suoi programmi. Il potere presidenziale di stabilire la direzione della NASA fu la ragione per la quale la decisione di Nixon di interrompere

⁶² E. Zapata, *An assessment of cost improvement in NASA COTS/CRS program and implication for future NASA missions*, 2017. Disponibile su: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20170008895.pdf>

⁶³ NASA, *Space Shuttle Era Facts*. Disponibile su: https://www.nasa.gov/pdf/566250main_SHUTTLE%20ERA%20FACTS_040412.pdf

Apollo fu così devastante per i programmi dell'agenzia⁶⁴. L'intrusione politica all'interno dell'agenzia, la pratica americana dello *spoils system*, e una generale mancanza di direzione hanno avuto come conseguenze enormi perdite di tempo e denaro. Oltre che per ostacoli politici, anche il management della NASA non è esente da colpe, avendo insistito, nel corso dei decenni, di intraprendere programmi confusionari e mal supportati.

Il disastro del Challenger pose definitivamente fine all'epoca d'oro della NASA, mostrando i problemi interni dell'agenzia. In particolare, dal punto di vista dell'affidabilità dei componenti e della sicurezza degli astronauti, il Challenger dimostrò come l'aver intrapreso un programma ad alto rischio come lo Space Shuttle senza fondi sufficienti fosse probabilmente la motivazione principale del disastro. Inoltre, l'utilizzo di una macchina così costosa e complessa come lo Space Shuttle per il lancio di semplici satelliti commerciali, lanciabili con mezzi meno costosi, fu l'errore più grossolano che la NASA, e la politica, potessero commettere. La Rogers Commission, e in particolare la figura di Feynman, affermò che la decisione di rischiare le vite degli astronauti per il lancio di un satellite commerciale fu irresponsabile⁶⁵. La speranza di poter rientrare nei costi del programma Space Shuttle tramite il lancio di payloads privati, senza tener conto di ciò nel design e nella ricerca e sviluppo iniziale, fu un'altra decisione affrettata e condizionata dai tagli del budget e dalla ristrettezza del personale. Un sistema come lo Space Shuttle, a causa della sua natura, non poteva essere economicamente sostenibile, e l'intera proiezione dei costi del programma fu di conseguenza errata.

I continui tagli di budget non solo impedirono alla NASA di svolgere con efficienza il suo lavoro, ma ebbero anche un'altra conseguenza; la cultura lavorativa dell'agenzia non si adattò mai al nuovo ambiente, mantenendo la struttura nata con Apollo, ma senza la rigorosità tecnica di quel programma. Non c'è dubbio che Challenger e Columbia abbiano provocato un cambiamento della psiche della NASA, e forse per questo si è deciso di rivolgersi anche ad attori privati⁶⁶. Problemi come la burocratizzazione dell'agenzia e la

⁶⁴ J. Callahan, *How Richard Nixon changed NASA*, The Planetary Society, 4 ottobre 2014. Disponibile su: <http://www.planetary.org/blogs/guest-blogs/jason-callahan/20141003-how-richard-nixon-changed-nasa.html>

⁶⁵ NASA, *Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle Challenger Accident*, cit.

⁶⁶ W. Hale, *Culture change at NASA*, 22 gennaio 2010. Disponibile su: https://blogs.nasa.gov/waynehalesblog/2010/01/22/post_1264172421785/

manca di fiducia tra quadri, ingegneri e forza lavoro non sono ancora stati completamente risolti, e solo la prova sul campo, con il nuovo SLS e il programma Artemis, potranno dirci se la NASA è effettivamente cambiata.

La decisione di non avviare un programma coerente post-Apollo fu probabilmente l'evento con maggiori conseguenze, che ha lasciato la NASA per decenni sprovvista delle architetture necessarie per proseguire l'esplorazione dello spazio profondo. Il fallimento di tutti i programmi successivi ha finalmente convinto della necessità di sviluppare un sistema completo, come sembra lo sia Artemis, se le aspettative verranno rispettate. I problemi continuano però a esistere per quanto riguarda il lanciatore SLS, che oltre a soffrire di ritardi e costi aggiuntivi soffre anche di una certa obsolescenza tecnologica, forse anche connaturata con un'industria spaziale che si muove nell'ambito solo dei programmi istituzionali, soprattutto se confrontato con i nuovi lanciatori riutilizzabili di SpaceX⁶⁷. SLS, progettato partendo da componenti già sviluppate per Space Shuttle e Constellation, rappresenta ancora una vecchia tipologia di concezione dell'esplorazione spaziale, ancora legata a programmi dal costo miliardario e destinati a volare relativamente poche volte. Il settore spaziale continuerà in futuro a essere flagellato da inefficienze ed errori, ma sembra che il settore stia iniziando a correggere i suoi difetti.

Possiamo ricevere una grande lezione da come questi programmi si sono comportati di fronte alla dura realtà del settore dell'esplorazione spaziale. Muoversi in territori inesplorati è sempre complesso, e si può sempre incappare in incidenti di percorso. Le innovazioni nel campo dei lanciatori e dei payloads ormai affidati ai privati deve essere vista come una novità positiva dal punto di vista dell'efficienza, essendo legati a logiche di mercato e quindi meno soggette all'instabilità dei programmi politici. L'arrivo di nuovi attori, sia statali che privati, ha portato un vento di novità e competizione che ha finalmente riportato l'interesse della politica e dell'opinione pubblica sui programmi spaziali, allargando le possibilità di ricevere nuovi fondi e quindi essere meno vulnerabili ai tagli.

Il ritorno alla Luna non è ancora certo, in quanto ci sono ancora problematiche da risolvere nonostante il contesto attuale, evidenziato

⁶⁷ L. Grush, *NASA's future Moon rocket will probably be delayed and over budget yet again: audit*, The Verge, 19 gennaio 2019. Disponibile su: <https://www.theverge.com/2019/6/19/18691230/nasa-space-lau-nch-system-orion-artemis-moon-human-exploration>

nel prossimo capitolo, che risulta essere un contesto florido. Anche un eventuale ritorno nel 2024 potrebbe non essere definitivo, se l'interesse politico ed economico dietro il ritorno alla Luna sparisse subito dopo. La sostenibilità a lungo termine dei programmi spaziali deve essere basata sia sulla presenza di un ritorno economico realistico per i privati, sia sul continuo interesse da parte della politica e delle istituzioni, senza le quali non si potrebbe dare il via a un progetto di ritorno definitivo. Le opportunità che potrebbero nascere dalla costruzione di una infrastruttura Terra-Luna permanente e sostenibile sono immense per l'umanità, e l'unico modo per comprendere come farlo è guardare al passato, analizzando gli errori compiuti e le tragedie avvenute con occhio critico, e dando sempre uno sguardo al futuro.

CAPITOLO 3

IL CONTESTO GEOPOLITICO ED ECONOMICO ATTUALE

MASSIMILIANO DE MARCO

La Luna è tornata a essere l'obiettivo principale nell'ambito dell'esplorazione spaziale dopo 60 anni dalle missioni Luna dell'URSS e dopo 50 anni dalle missioni Apollo degli USA. Prima si pensava alla Luna solo come una tappa verso Marte, ma ora sta assumendo un'importanza diversa, dove la permanenza sul nostro satellite naturale sta diventando un progetto molto più complesso, tanto da prevedere una stazione orbitante lunare e probabilmente in futuro anche un insediamento permanente: questi si intrecceranno sicuramente con profondi interessi economici.

Bisogna ricordare infatti che la Luna è particolarmente adatta a diventare un laboratorio sperimentale, vista la sua vicinanza con la Terra, dove ci si potrà vivere, si potranno preparare missioni per la colonizzazione di Marte e missioni umane per l'esplorazione di zone ancora più remote. Nelle regioni polari del nostro satellite naturale sono state trovate alcune quantità di ghiaccio dal quale potrebbero potenzialmente essere estratti acqua e ossigeno. Considerando inoltre la presenza di una zona esposta al sole per un periodo pari al 75% di quello di rotazione della Luna, l'idea di poter costruire basi lunare permanenti e abitate prende sempre più forma⁶⁸. Senza contare che l'aspetto di principale rilievo è anche la possibile presenza di giacimenti minerari come il titanio, l'alluminio, l'iridio e anche di alcune terre rare (ad esempio come il neodimio); ma la risorsa lunare più importante sembra essere l'elio-3.

Questo gas viene prodotto dal vento solare e si è accumulato sulla superficie della Luna in miliardi di anni ed è presente in grandissime quantità. Diversi studi affermano che l'elio-3 sarebbe un buon combustibile pulito per reattori a fusione nucleare, in quanto il suo utilizzo produrrebbe una quantità irrilevante di scorie radioattive. Le motivazioni scientifiche portano quindi a studiare e lavorare a nuove missioni lunari, ma solo queste non bastano per giustificare costi e

⁶⁸ A. Traballese, *Il ritorno alla Luna: problemi e prospettive*, in "Centro Militare di Studi Strategici", 2008, p. 7.

rischi⁶⁹. Gli ingenti investimenti necessari per i programmi spaziali, allora giustificati da necessità politiche inerenti alla Guerra Fredda, vengono oggi motivati dalla necessità di ricerca e sfruttamento di nuove risorse, pur rimanendo correlate a ragioni di tipo geostrategico⁷⁰. Di conseguenza, il timore che obiettivi strategici, quali prestigio e militarizzazione dello spazio, intesa come sicurezza, possano prevalere su quelli che sembrerebbero essere i nuovi obiettivi sopra citati⁷¹.

Non bisogna dimenticare infatti, che il nostro satellite può essere sfruttato solo a beneficio dell'umanità. Secondo quanto riportato dal Trattato sulla Luna⁷² del 1979:

- è proibita qualsiasi forma di militarizzazione dei corpi celesti;
- deve essere presente parità di diritti di ricerca per gli Stati e un possibile accesso ai materiali prelevati;
- qualsiasi attività legata alla Luna e altri corpi celesti deve essere notificata all'ONU;
- è vietata l'alterazione dell'ambiente e devono essere previste misure contro la contaminazione accidentale;
- è proibita l'appropriazione nazionale dei corpi celesti e della Luna;
- è proibito, a eccezione per le organizzazioni internazionali e governative, possedere materiale extraterrestre;
- l'estrazione e distribuzione delle risorse ricavate dalla Luna e i corpi celesti può essere svolta solo ed esclusivamente in ambito internazionale.

Il Trattato è stato, tuttavia, ratificato solamente da 18 Paesi, e firmato senza ratifica da altri 11. Di conseguenza, risulta avere scarsa efficacia sulle attività spaziali in quanto manca di carattere vincolante⁷³.

L'Europa, in questo ambito, gioca quindi un ruolo chiave per il mantenimento dello Spazio quale bene comune e non come estensione di politiche estere di dominio e sovranità. Gli Stati Uniti cercheranno comunque la cooperazione di altri Paesi e offriranno al mondo industriale le opportunità economiche della sfida lunare, perché da soli quasi sicuramente non potranno soddisfare tecnicamente e finanzia-

⁶⁹ *Ivi*, p. 8.

⁷⁰ A. Traballese, *Il ritorno alla Luna: problemi e prospettive*, cit., p. 8.

⁷¹ *Ivi*, p. 17.

⁷² UNOOSA, *Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies*, UNOOSA, 1979. Disponibile su: <http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/intromoon-agreement.html>

⁷³ R. Somma, *Il programma Lunare cinese*, Presentazione Master SIOI, giugno 2019.

riamente le richieste delle varie missioni; senza dimenticare che anche la Cina, e moderatamente la Russia insieme alle nuove potenze emergenti, aspirano a ottenere una posizione di rilievo nel ritorno dell'uomo sulla Luna⁷⁴. Ad oggi ci sono state 152 missioni per raggiungere la Luna, con 76 fallimenti, e dopo Apollo 11, delle 48 missioni si sono registrati solo 8 successi di allunaggio.

3.1. *USA, NASA e le compagnie private.*- Dopo cinquant'anni dalle missioni Apollo, gli USA hanno deciso di ritornare sulla Luna con il programma Artemis ideato dalla NASA dopo diversi rinvii da parte dell'Amministrazione americana (prima con il comunicato del 2004 del Presidente G.W. Bush di voler ritornare sulla Luna, accantonato poi a favore del programma Constellation per l'esplorazione su Marte, tuttora attivo, e poi dal Presidente B. Obama puntando sull'urgenza del programma Asteroid Redirect Mission anche in partnership con l'ASI). Mike Pence, vicepresidente degli Stati Uniti, ha dichiarato l'urgenza del Paese nel riportare i propri astronauti sulla Luna entro i prossimi cinque anni: «Per essere chiari: la prima donna o il primo uomo sulla Luna saranno astronauti americani, lanciati con un razzo americano dal suolo americano [...]. Per raggiungere la luna entro i prossimi cinque anni dobbiamo selezionare le nostre destinazioni ora. La NASA sa già che il polo sud della Luna ha un grande valore scientifico, economico e strategico, e ora è il momento di andarci⁷⁵».

Sarà necessario accelerare la produzione di alcuni elementi fondamentali, a cui la NASA sta lavorando per portare l'uomo sulla Luna nel 2028, riscontrando però non pochi problemi.

Come il razzo Space Launch System (SLS), il cui esordio continua a registrare ritardi, così come il Gateway, la stazione orbitante lunare, di cui sono stati sviluppati solo i primi stadi, senza contare anche lo sviluppo dei futuri lander. Jim Bridenstine, amministratore della NASA, ricollegandosi all'annuncio di Mike Pence rilasciato il giorno stesso, ha affermato che la NASA:

- è stata delegata di far allunare i suoi astronauti entro i prossimi cinque anni;
- è stata incaricata di atterrare sul Polo Sud lunare entro il 2024;

⁷⁴ A. Traballese, *Il ritorno alla Luna: problemi e prospettive*, cit.

⁷⁵ M. Martini, *La NASA sulla Luna nel 2024?*, A Live Universe, 3 maggio 2019. Disponibile su: <https://aliveuniverse.today/flash-news/missioni-spaziali/3948-la-nasa-sulla-luna-nel-2024>

- è stata incaricata di inviare il primo equipaggio in prossimità della Luna entro il 2022;
- e di usare tutti gli strumenti necessari per garantire la buona riuscita della missione.

Durante lo Space Symposium a Colorado Spring nel 2018, Bridenstine ha riaccennato alla missione lunare, aggiungendo che il lander sarà il risultato di una collaborazione con aziende private americane e ha confermato l'interesse al Polo Meridionale della Luna. L'amministratore della NASA ha inoltre presentato il piano di aumento del budget della NASA di altri \$1,6 miliardi (da sommare ai \$21 miliardi del budget 2020): con un budget complessivo di \$22,6 miliardi, sarà l'investimento più importate degli ultimi anni. Tuttavia, secondo alcuni esperti di tecnologie spaziali, questo rappresenta essenzialmente l'inizio di una serie di ingenti investimenti necessari per poter rispettare le tempistiche stabilite. Secondo un'analisi presentata da Casey Dreier, attuale consigliere della Planetary Society, per poter completare il progetto occorrerebbe un investimento di almeno \$5 miliardi all'anno per i prossimi cinque anni⁷⁶.

La disponibilità economica, tuttavia, non sarebbe comunque sufficiente. Infatti, oltre all'inclusione di un equipaggio estremamente preparato, sia in termini fisici che scientifici, occorrerebbe possedere tre elementi fondamentali per queste tipologie di missione. Il primo elemento è ovviamente una capsula con capacità tale da poter ospitare l'equipaggio per l'intera durata della missione, oltre che essere in grado di riportarlo a terra senza danni fisici. Il secondo elemento è invece un lanciatore che possa portare in orbita la capsula ed eventuali materiali, richiedendo quindi una capacità propulsiva e di carico che non gravi eccessivamente sul costo complessivo della struttura. Infine, un modulo mobile che possa fungere da ascensore spaziale tra la Luna e la capsula in orbita⁷⁷.

Per quanto riguarda il primo elemento, la navicella Orion è stata costruita dalla Lockheed Martin, una delle industrie leader nell'ingegneria aerospaziale statunitense: questo progetto è quasi terminato, infatti il "Modello 1" ha superato i primi test ed è previsto un secondo lancio nei prossimi due anni che vedrà la capsula Orion

⁷⁶ E. Intini, *Dopo Apollo, Artemide: il nuovo programma lunare della NASA è davvero possibile?*, Focus, maggio 2019, disponibile su: <https://www.focus.it/scienza/spazio/nasa-artemide-nuovo-programma-lunare>

⁷⁷ L. Bignami, *Gli USA e la NASA promettono di riportare l'uomo sulla Luna entro il 2024*, Focus, 11 aprile 2019. Disponibile su: <https://www.focus.it/scienza/spazio/2024-nasa-sulla-luna>

orbitare intorno alla Luna, per poi superarla di 5000 km e ritornare a Terra. In più ci sarebbe anche la capsula Dragon di SpaceX, la società di Elon Musk, fondatore di PayPal e Tesla, impegnata nello sviluppo di razzi lanciatori per l'invio di satelliti commerciali e tecnologie per la colonizzazione di Marte. Secondo il progetto iniziale, la capsula Dragon potrà ospitare fino a sei astronauti. Per testare ciò, SpaceX ha portato a termine con successo una manovra di aggancio alla ISS, trasportando a bordo il manichino Ripley munito di sensori⁷⁸.

A differenza delle capsule, che sembrerebbero essere a un buon punto di sviluppo, il lanciatore sul quale la NASA voleva fare affidamento, ovvero lo Space Launch System, ha accumulato una serie di ritardi. Infatti, il lancio previsto per lo scorso anno è stato invece posticipato al 2020⁷⁹. Il problema principale è che senza un lanciatore che sia in grado di trasportare in orbita una navicella con equipaggio e materiali, la NASA non può iniziare la missione. Ed anche in questo caso sta pensando di appoggiarsi a SpaceX per utilizzare il suo razzo Falcon Heavy. Questo è un super razzo che segue, per i motori, la stessa filosofia di realizzazione utilizzata anche dalla Russia sui propri vettori, assicurando così una buona affidabilità del sistema complessivo costituito da 27 motori in grado di produrre una spinta di 2.300 tonnellate. Ciò nonostante, sembra funzionare egregiamente come ne testimoniano i recentissimi lanci effettuati per portare in orbita diversi satelliti di differenti dimensioni.

Anche per quanto riguarda il modulo di allunaggio si sta pensando di fare affidamento a compagnie private. È il caso della Blue Origin di Jeff Bezos, presidente e amministratore delegato di Amazon. Questa società è attualmente impegnata nella costruzione di un razzo riutilizzabile dedito ai voli turistici suborbitali e di un potente lanciatore utile per poter spedire materiali con carichi elevanti sulla Luna, il New Shepard 3; ma la conversione del progetto per il trasporto umano sembra non essere praticabile. Contemporaneamente la Origin sta lavorando anche a un ultimissimo lander lunare, chiamato Blue Moon e ne sono previste due versioni: una con un carico utile di 3,6 tonnellate e una di 6,5 tonnellate adatto anche al trasporto di equipaggio sulla superficie lunare grazie a un motore BE-7 a idrogeno e ossigeno

⁷⁸ *Ibidem*.

⁷⁹ E. Intini, *La capsula Orion ha completato un importante test di sicurezza*, Focus, 2 luglio 2019. Disponibile su: <https://www.focus.it/scienza/spazio/capsula-orion-luna-test-launch-abort-system>

liquidi (oltre ad avere anche un sistema di produzione di energia elettrica basato su pile a combustibile).

Tra le compagnie private interessate alla Luna bisogna ricordare anche la Moon Express, un'azienda statunitense privata fondata dal miliardario Naveen Jain, che ha come obiettivo lo studio e lo sfruttamento della superficie lunare per la ricerca di gas e minerali. Dopo che gli enti governativi statunitensi si sono confrontati per darne il permesso, nel 2017 la compagnia ha ricevuto l'autorizzazione al volo verso la Luna. Autorizzazione concessa solo in seguito a un'attenta analisi che constatava l'assenza di rischio per la sicurezza, per gli interessi politici, e gli obblighi internazionali degli Stati Uniti⁸⁰ del lancio del modulo.

Oltretutto, Moon Express aveva anche l'obiettivo di vincere il Lunar X Prize di Google: il concorso aveva messo in palio 20 miliardi di dollari che sarebbero stati vinti dalla prima azienda privata che riusciva a far allunare un robot, farlo muovere per almeno 500 metri e inviare a Terra video e foto ad alta definizione. Questa impresa sembrava alla portata del lander MTV-1X di Moon Express ma purtroppo non è riuscita ad aggiudicarsi il premio: infatti la competizione è stata chiusa il 23 gennaio 2018 e vedeva tra le finaliste l'israeliana SpaceIL, l'indiana TeamIndus, la Giapponese Hakuto, l'internazionale Synergy Moon e appunto, anche Moon Express. Ma per problemi finanziari e al tempismo nella preparazione delle strutture, hanno impedito a tutte le compagnie di effettuare il lancio entro la data prevista⁸¹.

Insomma, gli Stati Uniti ritornano prepotentemente alla corsa alla Luna, non solo con la NASA, ma soprattutto facendo affidamento all'aiuto di compagnie private che potrebbero accelerarne la tempistica, così da poter contrastare le altre super potenze aerospaziali: Cina e Russia.

3.2. *La Cina, Chang'e e il "Palazzo celeste".*- La corsa allo spazio della Cina è iniziata nel 1969 con le prove di lancio del Changzheng-1, per arrivare poi ad avere delle capacità di progettare, produrre e lanciare i propri satelliti di telecomunicazione, osservazione della Terra, scientifici e progettare una sua stazione spaziale. È

⁸⁰ M. Marini, *Moon Express verso la Luna: via libera ai viaggi privati nello Spazio*, Repubblica, 4 agosto 2016. Disponibile su: https://www.repubblica.it/scienze/2016/08/04/news/moon_express_verso_la_luna_via_libera_ai_privati_per_le_miniere_spaziali-145371971/

⁸¹ M. Sandri, *Nessun vincitore per il Google Lunar X Prize*, gennaio 2018, disponibile su: <https://www.media.inaf.it/2018/01/29/google-lunar-x-prize/>

quindi inevitabile che la Cina abbia maturato un interesse verso la Luna. Nel 2007 l'Agenzia Spaziale Cinese (CNSA) ha annunciato il CLEP, (Chinese Lunar Exploration Program) che comprende 3 fasi operative: il lancio in orbita intorno alla Luna e osservazione della sua superficie; l'atterraggio sulla superficie della Luna e analisi della zona circostante tramite rover; e la raccolta di campioni lunari con annesso ritorno sulla Terra⁸².

Per la prima fase, la Cina si è servita delle missioni Chang'e 1 e Chang'e 2 nel 2007 e 2008, con l'obiettivo di sviluppare tecnologie necessarie per la navigazione planetaria e di catturare immagini della superficie lunare per poi produrne mappe mineralogiche per un futuro sfruttamento delle risorse presenti. Per la seconda fase invece, la Cina nel 2013 tramite la missione Chang'e 3, ha iniziato lo studio della crosta lunare e del sottosuolo con un GPR fino a 30 metri, dove successivamente è riuscita a far atterrare il rover Yutu, utile per la comprensione e geolocalizzazione delle immagini.

Nel 2019 con la missione Chang'e 4, la Cina è riuscita ad atterrare sul lato nascosto della Luna, dove mai nessuno era riuscito ad atterrare. Questa zona, è estremamente interessante dato che precedenti missioni hanno rilevato delle possibili tracce di ghiaccio sulla superficie della crosta lunare. Ma non solo: grazie al satellite Queqiao (letteralmente "ponte di gazze") ha iniziato anche a trasmettere telecomunicazioni con la Terra e a far atterrare nella stessa zona anche il rover Yutu2, equipaggiato con un GPR per studiare il sottosuolo, uno spettrometro VNIR per individuare minerali, e soprattutto gas, come l'elio-3, cui anche la Cina, come gli USA pare particolarmente interessata⁸³. Yutu2 ha portato con sé anche un piccolo ecosistema, debitamente protetto, per testare la possibile resistenza degli organismi viventi sulla Luna: purtroppo questo esperimento biologico non ha avuto successo, registrando la morte delle piante germogliate, visto che la temperatura di quella zona è arrivata a toccare i -118°C ⁸⁴.

Per la terza fase invece (ovvero la raccolta di campioni lunari e ritorno sulla Terra per poterli analizzare), la Cina, sta lavorando per le missioni Chang'e 5 e 6 previste per inizio 2020. Ma il passo più importante al quale ancora l'Agenzia Spaziale Cinese sta lavorando, è

⁸² R. Somma, *Il programma Lunare cinese*, cit.

⁸³ *Ibidem*.

⁸⁴ R. Somma, *Il programma Lunare cinese*, cit.

quello di portare i propri astronauti sulla Luna, i taikonauti⁸⁵. Date le pochissime informazioni rese pubbliche, di questo programma si sa ben poco, ma sarà sicuramente utile per affermare la Cina come potenza aerospaziale, e globale, oltre che darne un prestigio internazionale e un'importanza militare. La Cina non ha una scadenza nei suoi programmi lunari. L'ex amministratore della NASA Michael Griffin ha infatti affermato che: «Non pare che i cinesi abbiano fretta, sembrano giocare una lunga e paziente partita, quindi non sto dicendo che saranno sulla Luna in 6 o 8 anni, ma che, se volessero, potrebbero farlo e se arrivassero sulla Luna prima degli Stati Uniti, metterebbero in ridicolo sia la NASA che gli USA⁸⁶».

Proprio per questo la Cina sta lavorando anche a un lanciatore più potente: il Lunga Marcia 5, simile a Saturn V, e si pensa di iniziare le missioni lunari con annesso equipaggio nel 2030. Non bisogna dimenticare che la Cina è l'unico Paese che sta lavorando a una propria Stazione Spaziale, con delle strutture compatibili con la ISS. Il primo laboratorio orbitale del programma spaziale cinese, Tiangong 1 ("palazzo Celeste" o "Tempio del Cielo", in cinese) è stato già mandato in orbita nel 2001: studiato sul modello MIR, è stato pensato come un laboratorio-test per esperimenti e attracco delle varie navicelle Shenzhou. Durante la sua vita operativa, di circa due anni, Tiangong 1 ha ospitato 2 missioni umane (Shenzhou 9 e 10), con un equipaggio di 3 taikonauti e con una permanenza molto modesta all'interno del modulo: 13 giorni nella prima missione e 11 giorni nella seconda missione. Nel 2016 è stato lanciato un altro laboratorio spaziale, il Tiangong 2, andando a sostituire Tiangong 1.

Vista la scarsa esperienza nel campo dell'esplorazione Spaziale e Lunare, la Cina sta lavorando a delle importanti collaborazioni con altri Paesi, tra questi anche l'Italia: infatti ci sono già degli accordi in essere con l'Agenzia Spaziale Italiana, e l'astronauta italiana Samantha Cristoforetti ha già affrontato dei periodi di preparazione con i colleghi cinesi; senza dimenticare le collaborazioni con ricercatori

⁸⁵ Il termine taikonauta indica un astronauta cinese. Questo termine deriva dal cinese tàikong, che significa "spazio" ed è usato principalmente nel mondo occidentale. In Cina invece è usato il termine yuhangyuan (navigatore dello spazio) per indicare sia gli astronauti che i cosmonauti.

⁸⁶ Retemedia, *La guerra tecnologica tra Stati Uniti e Cina: vincere la nuova corsa alla Luna sarà fondamentale*, Retemedia, 11 dicembre 2018. Disponibile su: <https://www.reccom.org/2018/12/11/la-guerra-tecnologica-tra-stati-uniti-e-cina-sara-fondamentale-chi-vincera-la-nuova-corsa-alla-luna/>

tedeschi, olandesi, svedesi, e sauditi per la fabbricazione di strumenti presenti a bordo della missione Chang'e 4⁸⁷.

Lo scorso 12 giugno 2019 in occasione della 62esima sessione del COPUOS presso l'UNOOSA⁸⁸, la Cina ha rivelato che porterà a bordo della nuova stazione spaziale 9 nuovi esperimenti, studiati in collaborazione con altri paesi e che lancerà nuovi moduli aggiuntivi alla stazione entro il 2022, allungando così la sua vita operativa a 10 anni. La nuova politica di esplorazione spaziale cinese può essere inserita in quella che in realtà è un tentativo di mostrare la propria soft-power, dimostrando quindi di possedere una capacità economica e politica non indifferente, e di essere inoltre in grado di riuscire a catturare l'interesse dell'ONU potenziando il proprio status⁸⁹.

3.3. *La Russia e la collaborazione con ESA.*- Dopo 60 anni dall'impegno sovietico nel voler atterrare sulla Luna, la Russia ci riprova, avendo come obiettivo quello di mandarci i propri cosmonauti nel 2029-2030. La Russia è stata la prima nazione ad avere come obiettivo quello di raggiungere la Luna, maturata durante la Guerra Fredda per dimostrare la propria supremazia agli USA. Ed in un primo momento fu proprio così, riuscendo per prima a mandare in orbita una navicella, un cane e dopo anche un uomo, per la prima volta nella storia. Ma come si è visto, successivamente sono stati proprio gli USA a uscirne vincitori grazie alle missioni Apollo. Successivamente la Russia abbandonò l'esplorazione lunare più o meno contemporaneamente agli Stati Uniti, dedicandosi anche lei alla costruzione della Stazione Spaziale Internazionale. Oggi infatti la Russia con la sua Agenzia Spaziale Roscosmos collabora attivamente con gli USA e i Paesi dell'ESA (European Space Agency) per l'ISS. Ma la Luna rimane sempre il "sogno proibito" della Russia.

Nel 2014 il vicepremier Dmitri Rogozin, ora Direttore Generale di Roscosmos, ha annunciato l'intenzione del Paese di voler riattivare il programma lunare, constatando che la competizione geopolitica per l'appropriazione di risorse lunari è una possibilità concreta. Il piano lunare russo dovrebbe essere diviso in tre fasi. La prima per l'esplora-

⁸⁷ E. Ricci, *La Cina sulla Luna, tra esplorazione, tecnologia e politica*, le Scienze, 4 gennaio 2019. Disponibile su: http://www.lescienze.it/news/2019/01/04/news/chang_e-4_luna_sbarco_cina_politiche_spaziali_usa_russia-4246110/

⁸⁸ L'Ufficio delle Nazioni Unite per gli Affari dello Spazio Extra-Atmosferico è un ufficio creato con la risoluzione dell'Assemblea Generale 1348 del 13 dicembre 1958, con sede a Vienna.

⁸⁹ E. Ricci, *La Cina sulla Luna, tra esplorazione, tecnologia e politica*, cit.

zione robotica della Luna con l'uso di rover, la seconda per l'esplorazione *manned* e la terza per l'installazione di infrastrutture dedite al monitoraggio e osservazione lunare⁹⁰. Se prima la Russia correva da sola verso la Luna, oggi sembra voler collaborare con gli altri Paesi che si dedicano all'aerospazio. Infatti una decina di anni fa una missione russa che aveva come obiettivo di portare una sonda su Phobos, il satellite di Marte, ha fallito. Questo potrebbe essere uno dei motivi per cui la Russia ha offerto nuovamente all'Europa di poter collaborare nelle prossime missioni lunari. Quindi i due attori hanno unito le forze per la missione ExoMars, vedendo il lancio di TGO e del lander Schiaparelli (purtroppo fallito nel 2016, e nel 2020 quello di un rover⁹¹).

Igor Mitrofanov, ricercatore russo della NASA, ha fatto sapere che entro il 2020 verrà sviluppata una sonda russo-europea con l'obiettivo di farla atterrare nel polo sud lunare. Essendo questa una zona con lunghi periodi di insolazione, il Polo Sud della Luna è risultato essere il luogo più adatto dove far atterrare la sonda Luna 27, ipotizzando anche la possibile costruzione di torri solari. Questo potrebbe non solo garantire una produzione elettrica elevata per gli strumenti della sonda, ma nell'ottica della base lunare abitata potrebbe fornire l'energia necessaria per una permanenza prolungata. Inoltre, il polo sud lunare ospita un cratere di oltre 2.500 km di diametro, tra i più grandi del sistema solare, con al centro un vulcano spento le cui lave, che raggiungono significative profondità, potrebbero fornire informazioni utili sulla composizione del nostro satellite⁹². In aggiunta, come già citato precedentemente, sono state trovate tracce di ghiaccio sulla crosta lunare e questo potrebbe essere sfruttato per produrre acqua potabile e carburante⁹³. Molto probabilmente, anche se indirettamente, si potrebbe quindi riaccendere una competizione con gli Stati Uniti, visto che anche loro hanno come zona d'interesse il Polo Meridionale della Luna.

⁹⁰ F. Q., *Luna, la Russia ci prova 60 anni dopo gli USA. Nel 2029 il "grande passo"*, Il Fatto Quotidiano, 14 aprile 2015. Disponibile su: <https://www.ilfattoquotidiano.it/2015/04/14/missione-luna-russia-ci-prova-60-anni-dopo-gli-usa-nel-2029-grande-passo/1589311/>

⁹¹ *Ibidem*.

⁹² L. Bignami, *Nel 2020 Europa e Russia insieme sulla Luna?*, Focus, 20 ottobre 2015. Disponibile su: <https://www.focus.it/scienza/spazio/entro-5-anni-europa-e-russia-insieme-sulla-luna>

⁹³ A. Traballese, *Il ritorno alla Luna: problemi e prospettive*, cit., p. 8.

3.4. *Le nuove potenze aerospaziali: Israele, India e Giappone.*

Nell'ultimo periodo diversi Paesi che non hanno mai avuto una storica tradizione aerospaziale, hanno incominciato a nutrire interesse verso lo spazio e la Luna, sia per un'indiretta competizione con le altre Agenzie Spaziali, sia per una conferma della propria potenza che non si ferma solo al panorama geopolitico terrestre, ma ora si allarga anche in quello dell'aerospazio. È il caso dello Stato di Israele. L'Agenzia Spaziale Israeliana (ISA), fondata nel 1983, è responsabile per il coordinamento dei programmi di ricerca spaziale di tipo scientifico e commerciale di Israele. Ha stipulato accordi con le Agenzie Spaziali di Brasile, Canada, Francia, Germania, India, Paesi Bassi, Russia, Stati Uniti, Ucraina e Italia. Nell'ultimo periodo anche Israele, quindi, ha iniziato a piccoli passi, il proprio programma Lunare, con il lancio il 22 febbraio 2019 della sonda Beresheet con l'obiettivo di atterrare sulla Luna il 21 aprile dello stesso anno.

Costruita dalla compagnia privata SpaceIL, Beresheet doveva effettuare il suo allunaggio nel Mare della Serenità, là dove atterrò Apollo 17 nel 1972; purtroppo la missione non è riuscita, infatti la sonda è precipitata rovinosamente sul suolo lunare. Uno dei sensori legati alla funzionalità del motore aveva inviato, erroneamente, il segnale di spegnimento troppo presto, risultando poi l'incapacità del segmento di terra di inviare un contro-segnale. Prima dell'impatto, tuttavia, Beresheet ha trasmesso un autoscatto che ritraeva la superficie lunare a una distanza di 22 km e la targhetta con la scritta "*Small country, big dreams*"⁹⁴.

Il lander aveva orbitato più volte intorno alla Terra fino a raggiungere la posizione ideale per essere attratto dalla gravità lunare, ma non è bastato per la buona riuscita della missione che aveva come obiettivo principale quello di studiare la composizione della superficie per l'allunaggio e misurare eventuali anomalie magnetiche emesse dalla crosta⁹⁵. La missione di Beresheet, nonostante lo schianto, non è stata affatto considerata un fallimento bensì un successo poiché la sonda è riuscita a compiere un'orbita intorno alla Luna. Con questa missione, Israele puntava a essere il quarto paese ad aver raggiunto con successo il nostro satellite dopo USA, Unione Sovietica e Cina.

⁹⁴ La sonda israeliana si è schiantata sulla Luna. "Problemi al motore", Repubblica, 11 aprile 2019. Disponibile su: https://www.repubblica.it/scienze/2019/04/11/news/il_primo_veicolo_privato_e_pronto_a_posarsi_sulla_luna-223802876

⁹⁵ *Ibidem*.

Allo stesso tempo anche l'India non è stata da meno rispetto ai Paesi impegnati nei vari programmi lunari. L'Agenzia Nazionale Indiana per la Ricerca Spaziale (ISRO) ha lanciato nel 2008 la sua prima missione lunare, Chandrayaan 1. Nata da una modifica del razzo Polar Satellite Launch Vehicle, la missione comprendeva, oltre a un orbiter, anche un impattatore, il Moon Impact Probe (MIP), dotato di spettrometro di massa, telecamera e altimetro. In seguito al raggiungimento dell'orbita lunare a novembre del 2008, quattro giorni dopo l'orbiter indiano è riuscito a raggiungere un'orbita circolare distante 100 km dalla superficie della Luna, riuscendo con successo a sganciare il MIP. L'impatto, nonostante i guasti minori, ha compromesso la missione in quanto Chandrayaan 1 ha sospeso l'invio di segnali radio a Terra, perdendo però il contatto con la sonda, dichiarando quindi conclusa la missione. Nonostante la conclusione prematura della missione, questa non può essere definita un fallimento in quanto ha ottenuto il 95% dei risultati previsti.

Gli obiettivi erano di lanciare e posizionare una sonda intorno alla Luna in orbita polare, condurre degli studi scientifici e mappare in 3D la superficie lunare⁹⁶ e verificare la presenza di ghiaccio, scoperta poi dalle missioni di USA, Cina e Russia. Si stima che la missione indiana sia costata 3,8 miliardi di rupie (l'equivalente di 71 milioni di euro) mentre la missione *manned* sia stata scartata visto l'eccessivo costo da sostenere (circa 1,9 miliardi di euro). Chandrayaan 1 è il prodotto della cooperazione con NASA, ESA e l'Agenzia Spaziale Bulgara, che hanno fornito più della metà degli strumenti presenti sulla sonda. L'ISRO ora è al lavoro per la seconda missione lunare, Chandrayaan 2, lanciata il 22 luglio 2019⁹⁷ e comprende un orbiter, un lander e un rover, tutti sviluppati in India. Questa missione, con l'obiettivo di sperimentare nuova tecnologia e nuove indagini scientifiche, ha la durata di 1 anno per l'elemento orbitale.

A seguire le orme di Israele e India, c'è il Giappone che nel 2017 aveva annunciato di voler mandare in orbita lunare un suo astronauta intorno al 2030. L'inizio del ritorno giapponese sulla Luna è cominciato con una proposta di collaborazione con la Toyota per la

⁹⁶ Il viaggio "sulla Luna" di Chandrayaan-1, ESA, 24 ottobre 2008. Disponibile su: http://www.esa.int/ita/ESA_in_your_country/Italy/Il_viaggio_sulla_Luna_di_Chandrayaan-1

⁹⁷ Chandrayaan 2. Indian Ambitions, Universal Aspirations, ISRO. Disponibile su: <https://www.isro.gov.in/chandrayaan2-mission>

costruzione di un rover lunare⁹⁸, il che determinerebbe, qualora dovesse essere confermato, l'ingresso definitivo della Toyota quale attore nel settore dell'esplorazione spaziale⁹⁹. Inoltre, il Giappone collaborerà strettamente con la NASA per l'invio dei propri astronauti sulla Luna: la JAXA, in seguito alle frequenti missioni sulla ISS, ha acquisito un'importante esperienza nel settore dell'aerospazio, dimostrando anche grande interesse per i piani di esplorazione lunare statunitensi¹⁰⁰. Il Giappone vanterà anche la presenza, per la prima volta nella storia, del primo turista lunare, che andrà in orbita grazie alle navicelle di SpaceX (progetto *#dearMoon*).

Il viaggio è stato programmato per il 2030, ma la data è molto incerta, dato che la navicella dovrà esser lanciata dal nuovo razzo Big Falcon Rocket, di cui ancora non è stato effettuato alcun volo orbitale. I viaggi turistici suborbitali proposti da Virgin Galactic la società di Richard Branson che offre voli spaziali suborbitali per il mercato commerciale, tuttavia, non sono così complessi, lunghi e rischiosi come quello che dovrà affrontare Meazawa, ragion per cui necessiterà di essere sottoposto a esami minuziosi e addestramento estremamente duro¹⁰¹. Questi nuovi viaggi spaziali, che interessano anche l'Aeronautica Militare italiana, rappresentano già ora una nuova sfida commerciale e tecnologica per il futuro dell'aerospazio.

⁹⁸ *Nuova missione spaziale per il Giappone: sulla Luna con un rover*, TGC24, 6 marzo 2019. Disponibile su: https://www.tgcom24.mediaset.it/spazio/nuova-missione-spaziale-per-il-giappone-sulla-luna-con-un-rover_3195400-201902a.shtml

⁹⁹ Già nel 2013, Toyota aveva contribuito alla costruzione di un mini astronauta robot che fu inviato alla ISS.

¹⁰⁰ F. Fotia, *Spazio: Stati Uniti e Giappone insieme per la Luna*, Meteoweb, 31 maggio 2019. Disponibile su: <http://www.meteoweb.eu/2019/05/stati-uniti-giappone-insieme-luna/1268490/>

¹⁰¹ A. Lo Campo, *Il primo turista lunare sarà un imprenditore giapponese*, La Stampa, 18 settembre 2018. Disponibile su: <https://www.lastampa.it/scienza/2018/09/18/news/il-primo-turista-lunare-sara-un-imprenditore-giapponese-1.34046113>

CAPITOLO 4

LE MOTIVAZIONI DEL RITORNO ALLA LUNA

RICCARDO CATTANEO

Il 1969 segnò il momento storico in cui l'ingegno umano riuscì a vincere le sfide tecnologiche per portare degli esseri umani sulla Luna. Tuttavia, già nel 1972 il sogno giunse a una brusca interruzione. Successivamente, il nostro satellite è uscito dall'interesse degli attori spaziali, concentrati piuttosto sulla colonizzazione dell'orbita bassa terrestre, l'esplorazione robotica del Sistema Solare e l'abbattimento dei costi con la (fallimentare) politica del *faster, better, cheaper*¹⁰². Nemmeno la crescente presenza di attori spaziali, sia pubblici che privati, era riuscita a riportare la Luna nell'interesse del pubblico globale. La svolta radicale è avvenuta l'11 dicembre 2017, quando il Presidente Donald Trump ha firmato la Space Policy Directive 1, stabilendo l'obiettivo di creare un programma sostenibile di esplorazione del Sistema Solare per riportare esseri umani sulla Luna per missioni di lungo termine¹⁰³. Ad oggi ci sono state 152 missioni per raggiungere la Luna, con 76 fallimenti, e dopo Apollo 11, delle 48 missioni si sono registrati solo 8 successi di allunaggio. Un'impresa non facile, quindi. È dunque necessario comprendere quali siano le principali motivazioni che abbiano portato gli Stati Uniti, ma anche il resto della comunità internazionale, a ritrovare nella Luna il futuro delle missioni di esplorazione spaziale.

4.1. *Motivazioni tecnologiche e scientifiche.*- Sebbene solo una delle sette missioni umane statunitensi sulla Luna abbia presentato dei problemi, l'esplorazione del nostro satellite continua a rappresentare una gigantesca sfida tecnologica. Inoltre, una delle ragioni che ha portato alla fine del programma lunare umano fu l'assenza di chiare missioni e obiettivi che giustificassero missioni umane al posto di

¹⁰² Cfr. R. L. Dillon, P. M. Madsen, *Faster-Better-Cheaper Projects: Too Much Risk or Overreaction to Perceived Failure?*, in "IEEE Transactions on Engineering Management", vol. 62, n. 2, 2015, pp. 141-149.

¹⁰³ Presidential Memorandum on Reinvigorating America's Human Space Exploration Program, sito ufficiale della Casa Bianca, 11 dicembre 2017. Disponibile su: <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/presidential-memorandum-reinvigorating-americas-human-space-exploration-program/>

quelle robotiche, che oggi permettono di raccogliere grandi quantità di dati a costi molto inferiori e senza mettere a repentaglio la vita di alcuno. Dalla chiusura del programma Apollo, infatti, non sono più stati costruiti veicoli spaziali in grado di portare un essere umano al di fuori dell'orbita bassa terrestre. Il contesto attuale rende comunque impensabile la realizzazione di un programma faraonico al pari di Apollo ed è per questo che Jim Bridenstine, Amministratore della NASA, ha posto come pilastri del programma Artemis la sostenibilità e le partnership internazionali e commerciali¹⁰⁴.

Il nuovo programma statunitense prevede quindi di sviluppare le tecnologie necessarie a ripetere quanto già avvenuto nel passato, accompagnando a ciò nuove architetture che permettano di mantenere in orbita cislunare una nuova stazione spaziale, il Lunar Orbital Platform-Gateway. La sua orbita durerà sei giorni e sarà estremamente ellittica¹⁰⁵, tale da permettere alla stazione di non venire mai eclissata dalla Luna¹⁰⁶. Sebbene il Gateway nasca come sforzo di cooperazione tra i partner della Stazione Spaziale Internazionale, il suo funzionamento tecnico sarà estremamente diverso. Nonostante il design sia ancora in evoluzione, alla sua massima estensione il Gateway riuscirà a ospitare un massimo di quattro astronauti – contro i sei della ISS –. Inoltre, considerando che le missioni umane sul Gateway dovrebbero durare entro i 30 e i 90 giorni e che il costo per raggiungere l'orbita lunare è estremamente elevato, il Gateway sarà probabilmente disabitato per la maggior parte dell'anno, a meno che non subentri un effettivo interesse da parte di altri operatori, ben superiore alle aspettative attuali¹⁰⁷.

Al pari degli astronauti del programma Apollo, anche gli astronauti di Artemis trascorreranno poche ore o giorni sul suolo lunare, dispiegando esperimenti scientifici e raccogliendo campioni da riportare a Terra. Il Gateway non deve quindi intendersi come una stazione spaziale che sarà permanentemente abitata, ma

¹⁰⁴ *Forward to the Moon, NASA's Strategic Plan for Lunar Exploration*, 6 giugno 2019. Disponibile su: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/america_to_the_moon_2024_artemis_20190523.pdf

¹⁰⁵ Il Gateway avrà un perilunio di 1.500 km e un apolunio di 70.000 km, cfr. paragrafo 5.1.3.

¹⁰⁶ Rimanere sempre in vista della Terra permetterà al Gateway di mantenere un contatto radio diretto costante.

¹⁰⁷ M. Wall, *NASA Plans to Build a Moon-Orbiting Space Station: Here's What You Should Know*, space.com, 2018. Disponibile su: <https://www.space.com/41763-nasa-lunar-orbiting-platform-gateway-basics.html>

semplicemente come luogo per ospitare gli astronauti quando sarà necessario. Questo, però, dovrebbe permettere di condurre esplorazioni meno costose, in quanto non sarà richiesto di inserire nel payload elementi (ad esempio, il lander), che resteranno invece in attesa di utilizzo sul Gateway¹⁰⁸. Una delle missioni più affascinanti che si vorrebbe svolgere è quella di esplorazione del polo sud lunare, dove gli scienziati ritengono che parte della crosta interna possa essere poco esposta e alterata dallo *space weathering*¹⁰⁹, rendendo quindi possibile la raccolta di campioni unici¹¹⁰ per comprendere la storia del sistema Terra-Luna. Nelle intenzioni della NASA, dunque, il Gateway sarà l'elemento necessario per permettere lo svolgimento di una missione di esplorazione lunare all'anno fino al 2028¹¹¹.

La stazione è ritenuta indispensabile non solo come ponte per l'esplorazione umana della Luna, ma anche per permettere ai suoi futuri ospiti di manovrare rover lunari in tempo reale e con l'aiuto della VR. Il Gateway funzionerà anche come laboratorio spaziale, sia per lo svolgimento di esperimenti scientifici, che per lo studio dell'impatto sugli astronauti della vita nello spazio profondo. Infatti, uno dei principali ostacoli per una futura missione su Marte o verso gli asteroidi è proprio quello della vita degli astronauti in spazi angusti, nello spazio profondo e per lunghi periodi di tempo. Se qualcosa dovesse andare storto in un viaggio per Marte, se mai si potesse intervenire, sarebbero comunque necessari mesi o anni. In caso di problemi in orbita intorno alla Luna, invece, la Terra si trova a soli tre giorni di distanza. Il nostro satellite potrebbe inoltre servire per sperimentare sul campo tecnologie per la sterilizzazione della strumentazione delle missioni umane, in modo tale da evitare la contaminazione di altri corpi celesti. A differenza delle missioni

¹⁰⁸ T. Cichana, S. A. Bailey, A. Burch, N. W. Kirby, *Concept for a Crewed Lunar Lander Operating from the Lunar Orbiting Platform-Gateway*, presentato da Lockheed Martin alla 69° edizione dell'International Astronautical Congress (IAC) a Brema, in Germania, 2018. Disponibile su: <https://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/space/documents/ahead/LM-Crewed-Lunar-Lander-from-Gateway-IA-C-2018-Rev1.pdf>

¹⁰⁹ Lo *space weathering* è l'“erosione spaziale”, cioè l'insieme dei processi di erosione che agisce sui corpi celesti esposti all'ambiente spaziale. I raggi cosmici, il vento solare e i meteoriti che hanno colpito la Luna per miliardi di anni hanno reso il nostro satellite un gigantesco archivio di quello che è successo nel sistema solare interno nel corso di miliardi di anni.

¹¹⁰ *Moon's South Pole in NASA's Landing Sites*, NASA, 15 aprile 2019. Disponibile su: <https://www.nasa.gov/feature/moon-s-south-pole-in-nasa-s-landing-sites>

¹¹¹ *Explore Moon to Mars*, NASA. Disponibile su: <https://www.nasa.gov/specials/moon2mars/>

robotiche, quelle umane producono infatti numerosi scarti che aumentano le possibilità di contaminazione. Nel caso delle missioni Apollo, ad esempio, sono stati lasciati sulla Luna ingenti quantità di rifiuti, tra cui le feci degli equipaggi, che alcuni esponenti della comunità scientifica vorrebbero recuperare per studiare come la vita microbica abbia affrontato per cinquant'anni le estreme condizioni spaziali¹¹². Nel lungo termine, inoltre, il Gateway, nella sua configurazione successiva, sarà fondamentale per missioni umane nello spazio profondo, permettendo di assemblare in orbita un veicolo spaziale che, senza sottostare alle limitazioni di dimensione, peso e aerodinamica imposte dai lanciatori, permetta di portare gli esseri umani verso gli asteroidi e Marte¹¹³.

Il Gateway sarà servito da Orion, navicella sviluppata nell'ambito del defunto programma Constellation e riadattata alle necessità di Artemis. La costruzione di Orion è stata giustificata con la necessità di restituire agli Stati Uniti la capacità di lanciare esseri umani nello spazio profondo¹¹⁴, dopo che lo Space Shuttle era nato per servire solo l'orbita bassa terrestre. Al pari di gran parte dei moduli del Gateway, Orion sarà lanciata dallo Space Launch System (SLS), nato per essere utilizzato sia per lanci cargo che umani¹¹⁵. Oltre ai continui ritardi nello sviluppo e alla cronica mancanza di fondi, l'SLS è uno degli elementi di maggior discussione dell'attuale politica spaziale statunitense. Se restituire a Washington il prestigio della capacità di lanciare esseri umani nello spazio profondo è una motivazione ragionevole per dotarsi di tale lanciatore, sussistono numerosi dubbi sulla sua utilità e su come sia stato concepito. SLS è infatti nato come riadattamento delle (vecchie) tecnologie dello Space Shuttle e verrà utilizzato sia per lanci cargo che umani. Quindi SLS è nato come una tecnologia vecchia, sviluppata inoltre secondo alcune delle logiche del *faster, better, cheaper*, che hanno causato numerosi ritardi, fallimenti e aumenti dei costi. Il timore della NASA è che si dimostri corretta la previsione per cui grandi capitali privati verranno presto destinati all'economia lunare, rendendo SLS un investimento inutile e

¹¹² B. Resnick, *Apollo astronauts left their poop on the moon. We gotta go back for that shit*, Vox, 1° aprile 2019. Disponibile su: <https://www.vox.com/science-and-health/2019/3/22/18236125/apollo-moon-poop-mars-science>

¹¹³ M. Wall, *NASA Plans to Build a Moon-Orbiting Space Station*, cit.

¹¹⁴ Cfr. *Top Five Technologies Needed for a Spacecraft to Survive Deep Space*, NASA, 20 luglio 2018. Disponibile su: <https://www.nasa.gov/feature/top-five-technologies-needed-for-a-spacecraft-to-survive-deep-space>

¹¹⁵ Cfr. paragrafo 5.1.3.

totalmente fuori mercato perché non riuscirà a contenere i costi di lancio¹¹⁶.

Nell'ottica di missioni spaziali nello spazio profondo, una delle sfide più affascinanti del ritorno alla Luna sarà quella dell'utilizzo delle risorse in situ (ISRU). Infatti, se gli astronauti a bordo della Stazione Spaziale Internazionale ricevono regolari rifornimenti di ossigeno, merci e viveri necessari per sopravvivere, nel caso di missioni nello spazio profondo questo non sarà possibile¹¹⁷. Lo sfruttamento delle risorse in situ renderà dunque la Luna un fondamentale terreno di prova per le future missioni¹¹⁸. L'esperimento condotto dal Lunar Crater Observation and Sensing Satellite ha portato la NASA ad annunciare la presenza, seppure in quantità minime, di ghiaccio d'acqua sul nostro satellite, al fianco di quella di elementi volatili come metano, ammoniaca, idrogeno, anidride carbonica e monossido di carbonio¹¹⁹. Questo ha reso la Luna particolarmente appetibile per lo sviluppo di tecnologie ISRU. La NASA vorrebbe sperimentare lo scavo, il processamento e l'utilizzo della regolite lunare, che presenta ottime caratteristiche strutturali di rigidità, per costruire strumenti e habitat adatti alla vita degli astronauti. Il settore privato potrebbe invece essere interessato allo sviluppo di tecnologie di *mining*, ad esempio per l'estrazione dell'elio-3¹²⁰. Tuttavia, efficienza e capacità di questi sistemi di lavorare in assenza di atmosfera per lunghi periodi di tempo rimangono degli ostacoli da superare. Con il suo ambiente inospitale, la Luna ha quindi tutte le caratteristiche necessarie per testare le tecnologie che, in futuro, dovranno essere utilizzate per l'esplorazione umana di Marte e degli asteroidi¹²¹.

Qualora la concentrazione di ghiaccio d'acqua nel polo sud lunare dovesse dimostrarsi sufficiente, una base lunare potrebbe sfruttarlo in

¹¹⁶ Cfr. J. O'Callaghan, *Surprise NASA Announcement Puts Future Of New Mega-Rocket In Doubt*, Forbes, 17 maggio 2019. Disponibile su: <https://www.forbes.com/sites/jonathanocallaghan/2019/03/17/surprise-nasa-announcement-puts-future-of-new-mega-rocket-in-doubt/#2e09fef91602>

¹¹⁷ Si potrà sopperire a questi sia sfruttando il Gateway come piattaforma di rifornimento e di assemblaggio di veicoli spaziali, ma anche attraverso lo sfruttamento delle risorse spaziali in situ.

¹¹⁸ *In-Situ Resource Utilization*, NASA. Disponibile su: <https://www.nasa.gov/isru>

¹¹⁹ *Lunar Impact Uncovered More Than Just Moon Water*, NASA Science, 21 ottobre 2010. Disponibile su: https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2010/21oct_lcross2

¹²⁰ *Helium-3 mining on the lunar surface*, ESA. Disponibile su: https://www.esa.int/Our_Activities/Preparing_for_the_Future/Space_for_Earth/Energy/Helium-3_mining_on_the_lunar_surface

¹²¹ *In-Situ Resource Utilization*, NASA, cit.

situ per risolvere numerosi problemi. In primo luogo, permetterebbe la produzione di acqua potabile e, tramite elettrolisi, di ossigeno per gli astronauti. Questo permetterebbe sia di fare respirare gli astronauti, ma anche di utilizzare idrogeno e ossigeno prodotti in loco come combustibile e comburente per motori da utilizzare direttamente sulla Luna e su Marte¹²². La NASA ritiene che queste risorse possano essere facilmente estratte dal nostro satellite, ma rimane il problema della quantità. La produzione di combustibile ed elementi per il supporto vitale è fondamentale per sostenere missioni di lungo termine nello spazio profondo. Gli studi della NASA in ambito ISRU sulla Luna si stanno orientando principalmente sull'estrazione di risorse dalla regolite lunare e sulle capacità di utilizzare quest'ultima come elemento di costruzione. Sarà quindi poi possibile applicare i risultati di questi test su Marte, dove però sarà anche possibile sfruttare la presenza abbondante, ben nota, di acqua sotto forma di ghiaccio e gli elementi contenuti nella sua tenue atmosfera¹²³.

Infine, tornare sulla Luna può aiutarci a capire lo sviluppo dell'intero Sistema Solare. La superficie del nostro satellite, infatti, non è soggetta a erosione o alla tettonica a placche, ma gli unici agenti in grado di mutare la sua superficie sono gli impatti con meteoriti e il vento solare. La Luna è quindi un reperto con zone immutate da quasi 3,9 miliardi di anni, che può aiutarci a comprendere la formazione e lo sviluppo del Sistema Solare. Il futuro sviluppo delle tecnologie necessarie per l'esplorazione umana dello spazio profondo, anche privata, potrebbe contribuire a stimolare una rivoluzione industriale basata sullo spazio, per utilizzare i materiali lunari non solo a scopo scientifico, ma anche produttivo. Le ricadute nella vita di tutti i giorni generate dal nuovo programma lunare rimangono sconosciute, ma è certo che, come fu con il programma Apollo¹²⁴, il progresso scientifico e tecnologico sarà estremamente prezioso anche per tutti coloro che rimarranno con i piedi ben saldi a Terra.

¹²² Cfr. A. C. Muscatello, E. Santiago-Maldonado, *Mars In Situ Resource Utilization Technology Evaluation*, NASA, 2012. Disponibile su: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20120001775.pdf>

¹²³ Un esempio in questo caso è rappresentato dallo strumento MOXIE, che sarà lanciato su Marte insieme al rover Mars2020, con l'obiettivo di produrre piccole quantità di ossigeno direttamente dall'anidride carbonica dell'atmosfera di Marte per elettrolisi.

¹²⁴ Cfr. C. R. Cooper, *Apollo Program Cost: An Investment in Space Worth Retrying?*, 22 ottobre 2017. Disponibile su: <https://christopherrcooper.com/blog/apollo-program-cost-return-investment/>

4.2. *Motivazioni politiche.*- Dopo la cancellazione del programma Constellation da parte dell'amministrazione Obama, l'interesse politico verso ambiziose missioni lunari e marziane era piuttosto basso. Il presidente Donald Trump, invece, ha imposto un vero e proprio cambio di rotta, spingendo la NASA a tornare sulla Luna con esseri umani entro il 2024, per poi riutilizzare nei decenni successivi le tecnologie sviluppate per missioni verso Marte¹²⁵. Contemporaneamente, l'evoluzione del settore privato, ha risollevato l'interesse del pubblico per le missioni verso la Luna e Marte. La futura esplorazione non dovrebbe vedere però gli Stati Uniti mostrare il proprio strapotere tecnologico da soli, bensì attraverso partnership internazionali e commerciali per rendere il programma quanto più sostenibile ed economico¹²⁶. L'interesse pubblico è fondamentale per smuovere la politica, in quanto è dubbio che le sole esigenze scientifiche possano riuscire a portare finanziamenti a una missione lunare con equipaggio umano: in questo caso (purtroppo) le motivazioni politiche sono anche più importanti di quelle scientifiche¹²⁷. La Luna, anche come step intermedio per Marte, è tornata a essere un obiettivo a sé stante, divenendo la componente più importante della politica spaziale di Donald Trump.

Il ritorno sulla Luna risponde primariamente a ragioni politiche, principale ragione capace di smuovere i capitali (pubblici) necessari. L'interesse pubblico statunitense, più che globale, sarà un fattore fondamentale affinché i programmi di esplorazione spaziale lunare e marziana possano essere mantenuti nel lungo termine¹²⁸. Infatti, sebbene il ritorno sulla Luna sia oggi uno degli elementi più forti della politica di Trump, di esso non vi era traccia durante l'ultima campagna elettorale. Il rischio è quindi che questo programma si dimostri essere di scarsa rilevanza politica, portando l'amministrazione successiva a cancellarlo e in ogni caso soggetto all'approvazione del Congresso per i fondi spendibili. Oltre alla cronica mancanza di

¹²⁵ Sebbene non siano state rese note né le necessità di budget della NASA, né le disponibilità di spesa del governo statunitense.

¹²⁶ *Explore Moon to Mars*, NASA, cit.

¹²⁷ D. Bednar, *Space Exploration: It's Always Political*, Medium, 21 febbraio 2018. Disponibile su: <https://medium.com/@danny.bednar/space-exploration-its-always-political-and-its-always-about-geography-8a4cf3a8d3ca>

¹²⁸ L'interesse pubblico statunitense per l'esplorazione lunare è sempre stato sotto il 50%. L'unica eccezione si è verificata tra il 1965 e il 1969, dove l'entusiasmo delle missioni Apollo ha portato a una maggiore attenzione sulla questione. Cfr. J. Hsu, *The Myth of America's Love Affair with the Moon*, space.com, 13 gennaio 2011. Disponibile su: <https://www.space.com/10601-apollo-moon-program-public-support-myth.html>

continuità dei programmi di esplorazione spaziale delle ultime presidenze statunitensi¹²⁹, a mettere in pericolo il programma lunare troviamo anche il modo di fare poco istituzionale di Trump, che ha mandato alla NASA segnali discordanti, stabilendo prima l'obiettivo del 2024, poi twittando che invece bisognerebbe concentrarsi su Marte, per poi chiedere al Congresso di aumentare il bilancio della NASA di 1,6 miliardi di dollari per il programma Artemis¹³⁰.

Nonostante i costi e le sfide tecnologiche, sempre più Paesi stanno guardando seriamente all'invio di missioni lunari. Tra i possibili competitor statunitensi, la Cina sta compiendo giganteschi passi in avanti. In una riproposizione della corsa degli anni Sessanta, il maggiore interesse globale verso la Luna ha spinto gli Stati Uniti ad alzare l'asticella per dimostrare nuovamente di essere l'avanguardia tecnologica globale. Sebbene non risponda agli stessi canoni della Guerra Fredda, la situazione attuale vede una crescente competizione tra Stati Uniti e Cina. Pur venendo continuamente esclusa dai grandi programmi di cooperazione internazionale spaziale¹³¹ – quali la Stazione Spaziale Internazionale e il Gateway –, la Cina ha dimostrato un incredibile progresso tecnologico e scientifico, conducendo numerose missioni robotiche di successo sulla Luna (missioni Chang'e) e costruendo le proprie stazioni orbitanti (Tiangong 1 e 2)¹³². Nonostante il programma spaziale cinese sia poco trasparente, è possibile apprezzarne i costanti miglioramenti. Un eventuale volo umano della Cina verso la Luna prima del ritorno degli Stati Uniti sarebbe da considerarsi per Washington uno smacco inaccettabile. Nel conflitto multidimensionale che l'amministrazione Trump sta avendo con la Cina,

¹²⁹ Solo nelle ultime tre amministrazioni statunitensi la mancanza di continuità è stata evidente. L'amministrazione Bush Jr. aveva varato il programma Constellation per portare l'uomo sulla Luna entro il 2018 e poi, negli anni Trenta, su Marte. Questo prevedeva la costruzione di Orion e di una famiglia di nuovi lanciatori, gli Ares. Tuttavia, i tagli dell'amministrazione Obama hanno salvato solo Orion e hanno fatto propendere allo sviluppo dello Space Launch System, un lanciatore paragonabile al Saturn V, ottenuto da tecnologie derivate dallo Space Shuttle. L'amministrazione Obama voleva lanciare Orion con SLS per la *Asteroid Redirect Mission*, cancellata però dall'amministrazione Trump per riproporre come obiettivo centrale il ritorno sulla Luna entro il 2024.

¹³⁰ B. Resnick, *Trump's confusing tweet about "Mars (of which the moon is a part)", explained*, 7 giugno 2019. Disponibile su: <https://www.vox.com/science-and-health/2019/6/7/18656865/trump-moon-mars-tweet-artemis-whaaa>

¹³¹ Vedi la Stazione Spaziale Internazionale e il Lunar Gateway.

¹³² Cfr. N. Goswami, *China in Space: Ambitions and Possible Conflict*, in "Strategic Studies Quarterly", 2018. Disponibile su: https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/SSQ/documents/Volume-12_Issue-1/Goswami.pdf

quello spaziale è solo uno dei tanti¹³³, ma è sufficiente per motivare la Casa Bianca a tornare sulla Luna.

Questo interesse non è però accompagnato alla volontà di impegnarsi con investimenti paragonabili al programma Apollo. Ed è proprio per questo che Washington ha coinvolto nel suo programma le agenzie che hanno cooperato alla Stazione Spaziale Internazionale. Sebbene questo permetterà agli Stati Uniti di ridurre enormemente i propri costi, la cooperazione lunare non si baserà su un accordo inter-governativo, rendendo quindi meno certi gli impegni di Canada, Giappone, Russia e gli Stati partecipanti dell'ESA. Se l'Intergovernmental Agreement del 1998 istituiva un quadro giuridico internazionale vincolante sul quale fondare le attività della Stazione Spaziale Internazionale, lo stesso non accadrà con la nuova esplorazione lunare. Contrariamente al regime giuridico della ISS, che comunque prevedeva la clausola *cross waiver of liability*¹³⁴, quello della nuova esplorazione lunare sarà basato solo su norme di *soft law*, principalmente Memorandum of Understanding tra la NASA e le principali agenzie partner. Queste norme non vincolanti si caratterizzano anche per l'assenza di obbligazioni finanziarie o di ratifica. Questo crea ovviamente un regime più elastico, ma in cui contemporaneamente la *compliance* è incerta. Nel caso in cui l'interesse verso la Luna dovesse dimostrarsi maggiore del previsto, le partnership internazionali potrebbero infatti aiutare a mantenere il Gateway popolato più a lungo, contribuendo più del previsto, permettendo quindi un suo maggiore utilizzo. In caso contrario, la rinuncia ai propri impegni si limiterebbe a un danno di immagine, ma senza alcuna conseguenza giuridica.

L'interesse degli Stati di raggiungere la Luna in modo sostenibile viene favorito dal regime di libertà internazionale che si applica ai corpi celesti e alle loro risorse. Il regime giuridico applicabile è quello stabilito dall'Outer Space Treaty del 1967, che garantisce a ciascuno Stato la libertà di sfruttamento delle risorse spaziali¹³⁵. Allo stato at-

¹³³ F. Flam, *U.S. Should Go Back to the Moon, But Not Because the Chinese Have*, Bloomberg, 9 gennaio 2019. Disponibile su: <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2019-01-09/u-s-should-land-on-moon-again-but-not-because-the-chinese-have>

¹³⁴ La clausola *cross waiver of liability* solleva reciprocamente le parti dell'accordo da parte delle inadempienze previste dall'accordo che hanno ratificato. Nel caso della Stazione Spaziale Internazionale, la clausola prevede anche la rinuncia reciproca ad azioni di responsabilità civile fra le parti (rinuncia al risarcimento danni a proprietà e cose) nell'ambito delle *Protected Space Operations*.

¹³⁵ Outer Space Treaty, 1967. Disponibile su: <http://www.unoosa.org/pdf/publications/STSPACE11E.pdf>

tuale, infatti, nessuna delle principali potenze aerospaziali ha ratificato il Trattato sulla Luna del 1979, che invece prevede un regime molto più restrittivo dello sfruttamento delle risorse lunari¹³⁶. Sebbene lo sviluppo tecnologico abbia ridotto i costi e la NASA possieda il know-how delle vecchie missioni lunari, l'impossibilità di attingere alle risorse federali come negli anni Sessanta rende quello dei costi un problema evidente, obbligando gli Stati Uniti alla cooperazione internazionale. Tuttavia, in ragione della rapidità imposta da Trump, il modello di cooperazione della Stazione Spaziale Internazionale non è stato riproposto, vista l'impossibilità di investire decenni per negoziare un accordo intergovernativo di tale caratura¹³⁷.

Se il ritorno alla Luna viene reso più semplice dalla presenza di obiettivi comuni tra diversi attori e da questi esercizi di coordinamento internazionale, cooperare non è comunque semplice. Per gli Stati Uniti potrebbe essere importante cooperare con la Russia, Paese con una grande esperienza nell'esplorazione umana dello spazio. Tuttavia, le relazioni tra Washington e Mosca si basano su un fragile equilibrio, venutosi a creare dall'esplosione del conflitto in Europa orientale del 2014. Inoltre, l'avvicinamento della Russia alla Cina ha reso ancora più complicate le relazioni tra Washington e Mosca. La maggiore preoccupazione per le autorità statunitensi è che la Russia faccia trapelare informazioni a Pechino, superpotenza emergente e che è sicuramente più allineata a Mosca che a Washington¹³⁸.

Dopo il ventennale successo della Stazione Spaziale Internazionale, tra le motivazioni del ritorno alla Luna si potrebbe quindi fare rientrare la volontà politica internazionale di portare la cooperazione a un nuovo livello. Tuttavia, le congiunture politiche lasciano più intendere a questioni di pura realpolitik. Se Artemis dovesse effettivamente rendere la Luna sfruttabile in modo sostenibile a beneficio dell'uma-

¹³⁶ Paragonabile al regime giuridico di *common heritage of all mankind*, previsto dalla Convenzione di Montego Bay del 1982 per le risorse dei fondali marini. Questo differisce dal regime previsto dall'*Outer Space Treaty* per lo spazio extra-atmosferico e i corpi celesti, che invece coincide con il regime giuridico di *res communes omnium*, previsto dalla stessa Convenzione di Montego Bay, ma per le risorse dell'alto mare.

¹³⁷ Cfr. R. Moenter, *The International Space Station: Legal Framework and Current Status*, in "Journal of Air Law and Commerce", vol. 64, n. 4, 1999. Disponibile su: <https://scholar.smu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1524&context=jalc>

¹³⁸ Cfr. M. Byers, *Cold, dark, and dangerous: international cooperation in the arctic and space*, Cambridge University Press, 2019. Disponibile su: <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/EA8CD98F80BBFF8F14447F3613F6E06A/S0032247419000160a.pdf/div-class-title-cold-dark-and-dangerous-international-cooperation-in-the-arctic-and-space-div.pdf>

nità o allo sviluppo del settore privato, gli effetti sarebbero ovviamente positivi. Tuttavia, non paiono essere queste le primarie motivazioni del ritorno degli Stati Uniti sulla Luna. L'urgenza fatta trasparire da Trump sembra rispondere primariamente a necessità di consenso interne e alla competizione con la Cina. Inoltre, tra tutte le altre *space-faring nations*, nessuna ha le conoscenze tecnologiche e le risorse necessarie per potere mettere un essere umano sulla Luna, ma vista la sua imperiosa crescita, è da credere che in pochi lustri la Cina sarà probabilmente in grado di ottenere questo risultato¹³⁹. Nel medio termine, tutto ruoterà ancora intorno agli Stati Uniti. Agli altri attori risponde invece solo la capacità di lancio di sonde robotiche in orbita o sulla superficie della Luna, ma il salto di qualità per raggiungere Washington ancora manca.

Il realizzarsi del programma nato con la Space Policy Directive 1 permetterà agli Stati Uniti di dimostrare di essere ancora un'avanguardia tecnologica e di mantenere la leadership globale anche a fronte dei sempre crescenti investimenti da parte di altre potenze spaziali. Ma cosa accadrebbe se il presidente Trump dovesse perdere la rielezione nel 2020? È difficile rispondere, ma, ancora una volta, tutto dipenderà da considerazioni politiche interne e internazionali. Qualora il tema del ritorno alla Luna dovesse essere importante agli occhi del pubblico (primariamente statunitense), Artemis continuerebbe a esistere. Allo stesso modo, se la competizione con la Cina dovesse continuare, il programma sopravviverebbe. Tuttavia, sarà anche necessario fare i conti con la realtà: senza gli adeguati investimenti, è improbabile che SLS e il Gateway saranno pronti in tempo¹⁴⁰, e con essi che il programma lunare possa decollare. Come i programmi del recente passato, Artemis è vulnerabile. A rassicurare è la priorità data dalla NASA allo sviluppo di Gateway, Space Launch System e Orion, che dovranno essere ultimati indipendentemente dal verificarsi o meno delle missioni di esplorazione lunare previste dall'amministrazione statunitense. Tuttavia, nonostante i tempi e i modi del programma siano figli della *grandeur* trumpiana, alla confusione del recente passato si è almeno sostituita una *roadmap* chiara su cui discutere.

¹³⁹ S. Erwin, *Pentagon report: China's space program 'continues to mature rapidly'*, SpaceNews, 20 agosto 2018. Disponibile su: <https://spacenews.com/pentagon-report-chinas-space-program-continues-to-mature-rapidly/>

¹⁴⁰ Cfr. P. Norris, *When Will the United States Go Back?*, Springer Praxis Books, 2019, pp. 143-177.

4.3. *Motivazioni economiche.*- Nel dibattito seguito all'annuncio del programma Artemis, una delle tematiche più scottanti è stata quella dell'utilità del progetto e della sua fattibilità economica. Per riuscire a rispettare la *deadline* imposta da Trump, la NASA ha infatti affermato di avere bisogno di miliardi aggiuntivi nel prossimo quinquennio¹⁴¹. Gli 1,6 richiesti dal presidente statunitense al Congresso sono quindi tutt'altro che sufficienti. Nonostante il senso d'urgenza fatto trasparire dagli annunci dell'amministrazione statunitense, il contesto attuale non si può equiparare con quello degli anni Sessanta, dove gli Stati Uniti, in competizione con l'Unione sovietica, per il solo programma Apollo poterono investire l'equivalente di 153 miliardi di dollari attuali¹⁴².

Il nuovo programma lunare presenta importanti considerazioni economiche. Come già evidenziato in precedenza, Artemis sta permettendo agli Stati Uniti di sviluppare le tecnologie necessarie a svolgere missioni umane al di là dell'orbita bassa terrestre. Orion, SLS e Gateway rappresentano un salto di qualità rispetto al programma spaziale umano della NASA dal 1972 ad oggi. Ma la grande novità saranno le partnership con il settore privato, che fornirà i veicoli per la discesa sul suolo lunare e che, nel futuro, potrebbe anche rifornire il Gateway con lanci cargo¹⁴³. La NASA, quindi, vorrebbe lasciare al settore privato lo sviluppo e la proprietà di alcune tecnologie, quali i lander lunari, per acquistare da essi solo il servizio, divenendo a tutti gli effetti un cliente commerciale¹⁴⁴. Lo stesso modello, ad esempio, potrebbe essere proposto per le tute lunari, che a oggi non sono ancora state sviluppate e che ovviamente devono essere molto diverse da quelle usate dagli astronauti in volo da e per la Stazione Spaziale Internazionale o per condurre attività extraveicolari. Inoltre, qualora il settore privato dovesse sviluppare sistemi di lancio tali da raggiungere

¹⁴¹ K. Chang, *For Artemis Mission to Moon, NASA Seeks to Add Billions to Budget*, The New York Times, 13 maggio 2019. Disponibile su: <https://www.nytimes.com/2019/05/13/science/trump-nasa-moon-mars.html>

¹⁴² Cfr. F. Dyson, "The dawn of the space economy, 1950-1970: the innovation process stage", in A. Sommariva, *The Political Economy of the Space Age*, Vernon Press, Wilmington, 2018, pp. 29-51.

¹⁴³ *Space Launch System (SLS) Overview*, NASA. Disponibile su: <https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/overview.html>

¹⁴⁴ Cfr. *NASA Selects First Commercial Moon Landing Services for Artemis Program*, NASA, 31 maggio 2019. Disponibile su: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-selects-first-commercial-moon-landing-services-for-artemis-program>

il Gateway, questo permetterebbe rifornimenti più costanti e, quindi, anche la possibilità di mantenere la stazione abitata più a lungo¹⁴⁵.

La ferrea volontà di rendere Artemis un programma sostenibile, manifestando l'indisponibilità statunitense di rimettere in campo i faraonici investimenti di Apollo, ha portato alla necessità di creare una partnership internazionale e commerciale con altri attori interessati al progetto. A differenza del programma Apollo, Artemis non nasce per piantare una bandiera, ma per esplorare il nostro satellite come mai fatto prima, utilizzandolo come campo di prova anche per le future missioni umane verso Marte e gli asteroidi¹⁴⁶. La possibilità di testare tecnologie per il futuro sfruttamento delle risorse dei corpi celesti potrebbe spingere i capitali privati a partecipare al programma lunare statunitense. L'evoluzione della *space economy* non ha solo permesso di concepire Artemis in modo innovativo, ma anche che le imprese compiute dai singoli privati riuscissero a riaccendere l'interesse del pubblico globale verso l'esplorazione spaziale¹⁴⁷. La NASA dovrà dunque essere capace di non presentare Luna come un obiettivo a sé stante, ma come primo passo per qualcosa di più grandioso, come Marte, altrimenti si rischierebbe di uccidere l'interesse per l'esplorazione umana dello spazio profondo come avvenuto con la fine di Apollo.

La *new space economy* può permettere agli Stati Uniti di cambiare completamente la logica contrattuale dietro allo sviluppo di grandi programmi spaziali. Infatti, la NASA è sempre stata obbligata a ottenere le proprie tecnologie attraverso onerosi appalti assegnati ai grandi agglomerati industriali, caratterizzati da una minore propensione all'innovazione e al rischio rispetto alle startup e alle PMI che oggi popolano sempre più il mercato. Questa evoluzione dell'economia spaziale statunitense sta già permettendo alla NASA di abbandonare i fallimentari dettami economici della *old space economy*, a favore dell'acquisto di servizi dal settore privato, senza divenire proprietaria della tecnologia utilizzata. Questo permetterà alla NASA di avere una certezza dei costi, che saranno limitati all'acquisto del servizio e non soggetti ai costanti imprevisti temporali ed economici

¹⁴⁵ Cfr. M. Wall, *NASA Plans to Build a Moon-Orbiting Space Station*, cit.

¹⁴⁶ E. Howell, *NASA Eyes Wild Space Tech Ideas to Mine the Moon (and Asteroids)*, space.com, 13 giugno 2019. Disponibile su: <https://www.space.com/nasa-moon-asteroid-mining-concepts-niac-2019.html>

¹⁴⁷ Cfr. S. C. D'Urso, *Towards the final frontier: using strategic communication activities to engage the latent public as a key stakeholder in a corporate mission*, in "International Journal of Strategic Communication", vol. 12, n. 3, 2018, pp. 288-307.

che, ad esempio, stanno affliggendo lo sviluppo dello Space Launch System¹⁴⁸ che, come Orion, è stato sviluppato secondo i dettami della *old space economy*.

Le difficoltà di Boeing nello sviluppo di SLS e i costanti ritardi e aumenti di costo sono una delle principali preoccupazioni per il rispetto della deadline di Artemis del 2024, tanto che la NASA sta pensando di assegnare lo sviluppo dell'Upper Stage di SLS a un'altra impresa¹⁴⁹. SLS è l'emblema dei problemi della *old space* e del perché la Luna possa essere utilizzata come volano per una trasformazione dell'economia privata spaziale statunitense. Per risparmiare sullo sviluppo, infatti, SLS nasce come derivazione dallo Space Shuttle, riciclando quindi tecnologie vecchie di oltre quarant'anni. Tuttavia, i continui ritardi nello sviluppo di Boeing, l'incertezza sulla continuità dei finanziamenti pubblici e l'assunzione da parte della NASA dei rischi, hanno portato alla nascita di un sistema di lancio estremamente potente, ma vecchio, poco innovativo ed estremamente costoso¹⁵⁰, tanto da mettere il suo utilizzo a rischio a causa delle future capacità di lancio del settore privato. Fondamentalmente, l'abbattimento dei costi reso possibile dalla concorrenza privata potrebbe mettere fuori uso i vecchi (e onerosi) sistemi di lancio utilizzati per le attività di esplorazione spaziale.

Tuttavia, il grande sviluppo della *new space economy* è pressoché limitato agli Stati Uniti. L'industria spaziale del Paese è fiorente e la grande crescita delle startup e dei venture capital impegnati in questo ambito hanno trasformato il modo di pensare allo spazio, rendendolo più accessibile per tutti, anche per la NASA. Non è però chiaro quale sarà lo spazio lasciato ai partner pubblici e privati internazionali, dato che quasi tutte le tecnologie verranno sviluppate dalla NASA o dalle società con sede negli Stati Uniti. Si tratta di un elemento chiave da definire, poiché queste partnership sono una parte fondamentale per l'abbattimento dei costi e la condivisione dei rischi del programma Artemis. Il ritorno alla Luna, quindi, si può motivare anche con la volontà dell'amministrazione statunitense di permettere al suo settore

¹⁴⁸ J. Davis, *NASA's \$17-billion moon rocket may be doomed before it ever gets to the launch pad*, NBC, 8 aprile 2019. Disponibile su: <https://www.nbcnews.com/mach/science/nasa-s-17-billion-moon-rocket-may-be-doomed-it-cnna99106>

¹⁴⁹ Cfr. *NASA's management of the space launch system stages contract*, Office of Inspector General, 10 ottobre 2018. Disponibile su: <https://oig.nasa.gov/docs/IG-19-001.pdf>

¹⁵⁰ Cfr. J. O'Callaghan, *Surprise NASA Announcement Puts Future Of New Mega-Rocket In Doubt*, cit.

privato di svilupparsi, aprendosi alla concorrenza e quindi favorendo una maggiore propensione al rischio e all'innovazione, che permetta poi alla NASA di ottenere tecnologie migliori a costi inferiori¹⁵¹.

Inoltre, un grande potenziale lo possiede l'ambito turistico, che con lo sviluppo da parte del settore privato della tecnologia necessaria per lanci umani nello spazio profondo, permetterà ai più facoltosi di svolgere attività turistiche spaziali. Emblematico è il caso del progetto *#dearMoon*, finanziato dal magnate giapponese Yūsaku Maezawa, che inviterà alcuni artisti intorno alla Luna a bordo di uno Starship-Super Heavy di SpaceX, per trovare l'ispirazione per creare opere d'arte sul tema della pace globale. I servizi turistici potranno quindi prevedere offerte differenti, da una semplice orbita lunare, da cui assistere all'*earthrise*, a un allunaggio¹⁵². Nel medio e lungo periodo il turismo spaziale è destinato a rimanere ristretto ai più facoltosi, senza possibilità che questo si massifichi.

In ultimo, le risorse spaziali risultano essere una delle principali attrattive per il settore privato. Sebbene non vi sia un parere unanime sull'argomento, uno degli elementi più interessanti del suolo lunare sembra essere l'elio-3, estremamente raro sulla Terra, prodotto dal vento solare e accumulatosi sulla superficie della Luna nel corso di miliardi di anni. Questo potrebbe essere utilizzato come combustibile per i reattori a fusione nucleare, qualora si riuscisse a svilupparli. La Luna sembra possedere anche altre materie prime utili al sostentamento delle attività umane nello spazio¹⁵³. I piani che ambiscono alla creazione di basi lunari, marziane o allo sfruttamento delle risorse degli asteroidi, si basano tutti sul possesso di tecnologie che permettano agli esseri umani di mantenersi in vita nello spazio senza bisogno di costanti rifornimenti sulla Terra, impossibili da sostenere al di là dell'orbita bassa. Il ritorno alla Luna e l'interesse dei privati potrebbero dunque permettere la nascita di una vera e propria economia spaziale, basata sulle risorse ottenibili in situ e non su quelle terrestri. Inoltre, nel lungo termine questo potrebbe permettere di produrre benefici economici per gli esseri umani sulla Terra, aprendo l'economia mondiale a fonti spaziali di energia e materie prime¹⁵⁴.

¹⁵¹ Cfr. *NASA Invests in 18 Potentially Revolutionary Space Tech Concepts*, NASA, 10 aprile 2019. Disponibile su: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-invests-in-18-potentially-revolutionary-space-tech-concepts>

¹⁵² Vedi il sito ufficiale del progetto *#dearMoon*: <https://dearmoon.earth/>

¹⁵³ *In-Situ Resource Utilization*, NASA, cit.

¹⁵⁴ I. A. Crawford, *Lunar Resources: A Review*, in "Progress in Physical Geography", 2015, p. 29.

Ovviamente, la Luna non è l'unica fonte di materie prime spaziali, in quanto destano particolarmente interesse anche i near-Earth objects (NEO), certamente Marte e anche la fascia di asteroidi. Considerando che tanto il settore pubblico, quanto il privato, sono interessati allo sfruttamento delle loro risorse, nei prossimi decenni la Luna rimarrà di importanza centrale per lo sviluppo di tali tecnologie. L'estrazione e lo sfruttamento delle risorse degli asteroidi, nei quali la concentrazione di elementi rari risulta essere estremamente più elevata che sulla Terra¹⁵⁵, potrebbe potenzialmente rendere il *mining* spaziale una delle attività più remunerative della storia umana. Ad ogni modo, il fatto che la superficie lunare abbia il potenziale per supportare una crescente infrastruttura scientifica e industriale, in un modo non replicabile sugli asteroidi, potrebbe trasformare la Luna nel punto di riferimento dello sfruttamento umano delle risorse del sistema solare¹⁵⁶.

Dopo mezzo secolo, la Luna è tornata a essere il nostro futuro, ma non come posta in palio di una corsa tra superpotenze terrestri. Infatti, gli Stati Uniti non torneranno soli, bensì con partner internazionali e commerciali, portando a un nuovo livello la fruttuosa cooperazione dei programmi in orbita bassa terrestre di cui al capitolo successivo. Tornando sulla Luna, gli Stati Uniti saranno nuovamente in grado di mostrare il proprio status di potenza tecnologica globale, condividendo però rischi e costi con i partner che parteciperanno al programma. Inoltre, sebbene la Cina non possieda ancora le stesse capacità statunitensi, nell'ambito della crescente competizione tra Washington e Pechino, tale impresa potrà tradursi come un grande elemento di prestigio internazionale. Artemis permetterà anche di trasformare l'economia spaziale, aprendola maggiormente alla concorrenza, rendendola sempre più all'avanguardia e innovativa, ma a costi inferiori. Il ritorno sulla Luna, però, permetterà anche a scienziati, ricercatori e ingegneri di tutto il mondo di compiere passi in avanti nello sviluppo di nuove tecnologie per missioni nello spazio profondo. A distanza di cinquant'anni, forse, riusciremo finalmente ad abbattere quei muri che hanno impedito agli esseri umani di proseguire al di là della Luna, verso lo spazio profondo.

¹⁵⁵ Cfr. K. Zacny, P. Chu, J. Craft, M. M. Cohen, W. W. James, B. Hilscher, *Asteroid Mining*, AIAA SPACE 2013 Conference and Exposition. Disponibile su: http://astrostructure.com/Welcome_files/AIAA-2013-5304_Asteroid_Mining.pdf

¹⁵⁶ I. A. Crawford, *Lunar Resources: A Review*, cit., pp. 29-30.

CAPITOLO 5

ARCHITETTURE PUBBLICHE E PRIVATE

NICO DALL'OGGIO

Nei cinquanta anni successivi allo storico 20 luglio 1969, il numero degli Stati e dei sistemi da essi proposti per l'allunaggio sulla superficie del nostro satellite naturale sono andati via via aumentando. Dopo USA e Russia, anche Giappone, ESA, India, Cina e Israele sono stati in grado di collocare oggetti spaziali in orbita intorno alla Luna e, nel caso della Cina, di portarli fino sulla superficie lunare. I recenti programmi di ritorno alla Luna, invece, si presentano come veri e propri *game changer* in quanto a sistemi e architetture proposte. Rispetto al passato, infatti, oggi si parla di architetture destinate a garantire missioni di esplorazione prolungate, ma soprattutto la permanenza dell'essere umano in orbita cislunare e sul suolo stesso della Luna.

La permanenza in orbita lunare ha anche l'obiettivo di studiare un ambiente che offre a tutti gli effetti caratteristiche di spazio profondo e acquisire così l'esperienza e il know-how necessari in vista di missioni a più ampio raggio (verso Marte); per questo si prevedono (in particolare la NASA) missioni fortemente cadenzate nel tempo, con sistemi capaci di garantire il ritorno sulla Terra in giorni, anziché settimane o mesi (come avviene attualmente). Attualmente le proposte pensate dai maggiori attori spaziali sono di natura variegata, ma in questa sede focalizzeremo l'analisi sui progetti proposti dai maggiori operatori nel campo spaziale con esclusivo riguardo ai programmi lunari più rilevanti.

5.1. Architettura proposta dagli Stati Uniti. - La NASA prevede di iniziare il progetto di ritorno alla Luna con la prima missione integrata tra il lanciatore SLS (Space Launch System) e il veicolo spaziale Orion e di continuare poi le operazioni con una cadenza di un lancio all'anno dopo la seconda missione. L'obiettivo finale è la realizzazione di una stazione spaziale permanente e abitata in orbita cislunare: il Deep Space Gateway o Lunar Gateway.

5.1.1. Exploration Mission-1. - La prima missione sarà Artemis 1, prima chiamata "Exploration Mission-1". È pianificata per il 2020 e

avrà lo scopo di testare il sistema per il futuro trasporto umano. Essa prevede il lancio del veicolo Orion (progettato anche per il trasporto umano) senza equipaggio, lanciato con il razzo SLS (primo lancio di questo vettore) dal Complesso di Lancio 39B del Kennedy Space Center di Cape Canaveral, in Florida. Orion viaggerà per 280.000 miglia fuori dalla Terra per una durata della missione di tre settimane: questo costituirà un record di viaggio più lungo di un veicolo per il trasporto di astronauti (in questo caso privo di equipaggio) senza attracco a una stazione e implicherà anche un rientro in atmosfera terrestre più rapido (e di conseguenza più caldo) di tutti quelli finora attuati.

Dopo l'arrivo in orbita terrestre e la separazione dal lanciatore, il veicolo Orion aprirà i propri pannelli solari e avvierà un ulteriore stadio propulsivo (ICPS, Interim Cryogenic Propulsion Stage¹⁵⁷) che darà al veicolo la spinta necessaria per lasciare l'orbita terrestre e dirigersi verso la Luna. Dopo circa due ore anche il modulo si distaccherà dal veicolo Orion e rilascerà una serie di CubeSats per eseguire vari esperimenti scientifici, tra cui uno realizzato dall'ASI che ha lo scopo di fotografare la separazione della capsula Orion proseguendo poi la sua traiettoria per fotografare la Luna.

Il trasferimento dalla Terra alla Luna del veicolo Orion sarà propulso da un modulo di servizio fornito dall'ESA (che, oltre alla propulsione, garantirà anche aria e acqua per le future missioni con equipaggio). Le comunicazioni con Houston (sede del controllo missione) saranno garantite dal Deep Space Network¹⁵⁸. Il viaggio di Orion durerà diversi giorni, durante i quali il controllo missione valuterà i sistemi di bordo e, se necessario, correggerà la traiettoria. È previsto un passaggio a 100km sulla superficie della Luna prima di un gravity assist che spingerà Orion su un'orbita retrograda rispetto al

¹⁵⁷ L'ICPS è una versione modificata dell'attuale Delta Cryogenic Second Stage della Boeing, attualmente in uso sulla famiglia di razzi vettori "Delta" dell'omonima impresa. I motori resteranno gli stessi (RL-10B2), ma migliorati ampliando il serbatoio di idrogeno liquido, aggiungendo di serbatoi di idrazina per il controllo d'assetto e alcune operando modifiche minori ai sistemi avionici per rispettare i requisiti tecnici richiesti dall'SLS. Per le successive missioni di più lunga durata e anche per il trasporto di equipaggio umano, l'ICPS sarà sostituito da un ultimo stadio dell'SLS di maggiori dimensioni e potenza.

¹⁵⁸ Rete di antenne per le comunicazioni radio con oggetti nello spazio profondo, fa parte del JPL (Jet Propulsion Laboratory) della NASA. Il sistema è costituito da 3 antenne (riflettori parabolici ad alto guadagno che sfruttano poste in zone concave della terra e distanziate di circa 120° tra loro (nel deserto del Mojave, California; a Madrid, Spagna, Italia con SDSA in Sardegna; e a Canberra, Australia), in modo da coprire 360° di campo utile per le comunicazioni, nonostante la rotazione terrestre.

moto della Luna intorno alla Terra. Quest'ultima orbita durerà circa 6 giorni e permetterà al controllo missione di raccogliere dati sulle performance dei sistemi di bordo di Orion.

Il viaggio di ritorno di Orion verso la Terra inizierà con un fly-by a circa 100km dalla Luna, una ulteriore accensione della propulsione fornita dal modulo di servizio europeo, congiuntamente all'accelerazione gravitazionale della Luna, garantirà l'accelerazione iniziale verso l'orbita di rientro sulla Terra. Rientro che avverrà a una velocità di circa 11km/s e porterà Orion a una temperatura di 2.760°C. L'atterraggio avverrà nelle acque di fronte a Baja nel campo visivo della nave recupero e Orion resterà alimentato finché il team di recupero composto da sommozzatori della Marina americana e dell'Exploration Ground System della NASA non avranno ispezionato e assicurato il veicolo ai cavi di rimorchio.

5.1.2. *Exploration Mission-2*.- La seconda missione sarà Artemis 2, ufficialmente "Exploration Mission-2", è pianificata per il 2023, sarà con equipaggio a bordo e avrà lo scopo di verificare le funzionalità del sistema nell'effettivo trasporto umano. Il lancio avverrà dal Kennedy Space Center di Cape Canaveral, in Florida, utilizzando il lanciatore STS in configurazione block 1. Il piano di volo è costruito intorno a un profilo orbitale a traiettoria "*hybrid free return*", che prevede due orbite intere intorno alla Terra (per verificare il corretto funzionamento di tutti i sistemi di bordo) prima della successiva accensione dei motori in direzione lunare.

In particolare, dopo la prima orbita completa intorno alla Terra (a una quota di circa 150km e con un periodo di circa 90 minuti), Orion accenderà i motori (RL10) dello stadio ICPS la cui spinta gli permetterà di salire ulteriormente di altitudine e portarsi in un'orbita terrestre fortemente ellittica (con una quota tra gli 800 e i 30.400 km, con un periodo di circa 24 ore) con una manovra chiamata *partial translunar injection*, prima di dirigere definitivamente verso la Luna. Terminata quest'ultima manovra, lo stadio ICPS si sgancerà da Orion e quest'ultimo utilizzerà il modulo di servizio europeo per un'ultima manovra propulsiva, chiamata *translunar injection*. Grazie a tale manovra Orion disegnerà un "otto" intorno alla Luna e, senza bisogno di ulteriori accensioni (sfruttando la fionda gravitazionale della Luna), tornerà indietro verso la Terra. L'intera manovra durerà circa 8 giorni, prolungabili fino a 21 in caso di necessità di ulteriori test durante il volo.

5.1.3. *Space Launch System, Orion e Gateway.*- Come precedentemente accennato, il numero di lanci inizialmente necessario per il posizionamento in orbita cislunare del Gateway orbitante è piuttosto ridotto, si prevede nell'ordine di 5 o 6 lanci totali. Per questo, almeno nella prima fase, il progetto prevede principalmente l'impiego del vettore americano SLS congiuntamente al veicolo Orion, entrambi attualmente in fase di sviluppo. L'SLS è un vettore pesante, non riutilizzabile, derivato dallo Space Shuttle. Di progettazione NASA, è sviluppato a partire dal 2011, in seguito alla decisione del Presidente Obama di cancellare il programma Constellation, col conseguente accorpamento dei due vettori Ares I e Ares V in un unico razzo (più potente e più economico) adatto al trasporto sia di carico che di equipaggio.

Il progetto di Boeing prevede tre configurazioni: Block 1, Block 1B, e Block 2. Il primo alimentato da razzi a propellente solido e motori a propellente liquido. Il Block 1B, invece, consentirà il trasporto della capsula Orion con equipaggio insieme a sistemi di esplorazione. L'ultimo blocco, Block 2, sarà l'elemento necessario per trasportare carichi di oltre 45 tonnellate nello spazio profondo. Sebbene nasca dal riadattamento delle tecnologie dello Shuttle, si tratta di soluzioni pionieristiche per ciò che riguarda la nuova esplorazione umana del nostro satellite e, in futuro, dello spazio profondo¹⁵⁹. Il vano motori (ES), alto più di 5 m, è costituito da 4 motori RS-25D/E, altrimenti conosciuti come SSME (Space Shuttle Main Engine). È un motore a propellente liquido, che impiega ossigeno liquido e idrogeno liquido, e accoppiato ai due booster a propellente solido¹⁶⁰ permette di raggiungere circa 500s di impulso ponderale. Altri vettori di classe e prestazioni simili attualmente disponibili sono soltanto il Falcon Heavy di SpaceX e il New Glenn di Blue Origin (quest'ultimo ancora in fase di sviluppo).

¹⁵⁹ Dati delle configurazioni da:

- C. Bergin, *SLS trades lean towards opening with four RS-25s on the core stage*, NASA Spaceflight, 4 ottobre 2011. Disponibile su: <https://www.nasaspaceflight.com/2011/10/sls-trades-opening-four-rs-25s-core-stage/>

- C. Bergin, *Acronyms to Ascent – SLS managers create development milestone roadmap*, NASA Spaceflight, 23 febbraio 2012. Disponibile su: <https://www.nasaspaceflight.com/2012/02/acronyms-ascent-sls-managers-create-developmental-milestone-roadmap/>

- *Space Launch System: America's Rocket for Deep Space Exploration*, NASA, agosto 2018. Disponibile su: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/0080_sls_fact_sheet_10092018.pdf

¹⁶⁰ Perclorato d'ammonio e polibutadiene acrilonitrile.

L'SLS sarà utilizzato congiuntamente al veicolo spaziale Orion, anch'esso in via di sviluppo e anch'esso derivato dal precedente progetto del Crew Exploration Vehicle del programma Constellation. Orion è stato lanciato (dal razzo Delta IV Heavy della Boeing) senza equipaggio umano nel 2014 per un volo di collaudo di due orbite intorno alla Terra e il primo volo con equipaggio a bordo è previsto durante la Exploration Mission-2. Orion è costituito da due moduli principali, entrambi progettati pensando al modulo di comando e servizio del programma Apollo.

Di produzione della Lockheed Martin Co., il Crew Module è costruito in lega di alluminio e può trasportare fino a 6 astronauti ed è parzialmente riutilizzabile (fino a circa 10 voli). Misura 5,029m di diametro e 3,302m di lunghezza, per una massa di 8,5 tonnellate e circa 9m³ di volume. Il CM è controllato digitalmente da un cockpit di vetro di derivazione dal Boeing 787 e da un computer di bordo e ha la capacità di "auto-agganciarsi" per il docking e passare in aggancio a controllo manuale in caso di emergenza (diversamente dai programmi Apollo e Space Shuttle che richiedevano sempre il controllo manuale per l'aggancio). Lo scudo termico è prodotto dalla Boeing specificamente per resistere alle temperature molto più alte raggiunte in fase di rientro a Terra dopo un'orbita lunare (circa 2760 °C) in materiale ablativo¹⁶¹, che quindi si consuma durante il rientro (diversamente da quello riutilizzabile dello Space Shuttle). Il sistema di recupero della capsula durante il rientro è formato da un insieme di retrorazzi (o potrebbero essere airbag) e paracaduti: ciò potrebbe consentire un eventuale atterraggio su terra, come per la capsula Soyuz, risparmiando il costo della flotta di recupero. Tuttavia, questa soluzione comporta problemi di peso e la sua fattibilità è ancora in fase di valutazione.

Il modulo di servizio è fornito dall'ESA e realizzato da Airbus con il contributo di Thales Alenia Space, utilizzando un progetto appositamente adattato dell'Automated Transfer Vehicle¹⁶², in cambio della copertura da parte della NASA del costo di mantenimento della parte europea di ISS. Il modulo di servizio ha lo scopo di fornire energia, propulsione e supporto vitale (termoregolazione, aria e acqua) al CM. Ha un diametro di circa 5m e una lunghezza di circa 4m; una massa di 3500kg (a vuoto) e può trasportare un massimo di 6600kg di propellente. Il veicolo è inoltre dotato di un sistema di emergenza in

¹⁶¹ Phenolic Impregnated Carbon Ablator (PICA).

¹⁶² Veicolo spaziale prodotto dall'ESA con funzione di trasporto automatizzato (senza equipaggio) di rifornimenti alla Stazione Spaziale Internazionale.

grado di separare il CM dal resto del veicolo in caso di pericolo in fase di lancio o di volo iniziale, chiamato Launch Escape System (LES). Il LES ha due motori, uno a getto (JM) e uno per il controllo d'assetto (ACM), e si avvale di un razzo a propellente solido. Il sistema è progettato da Orbital Sciences (con un sub-appalto ad Alliant Techsystems) e da Aerojet (con la collaborazione di Orbital Sciences e Lockheed Martin).

La stazione orbitante in orbita cislunare è un progetto di NASA e Roscosmos, con la partecipazione di ESA e forse dell'ASI in bilaterale, la cui costruzione dovrebbe iniziare nel 2022 e terminare 11 anni dopo, con l'obiettivo di stabilire permanentemente in orbita cislunare una stazione orbitante concettualmente simile all'attuale Stazione Spaziale Internazionale. Il duplice scopo è quello di operare sia come base d'appoggio per le missioni (umane e robotiche) sulla Luna, sia come stazione intermedia tra la Terra e Marte per il c.d. Deep Space Transport (DST)¹⁶³. Il primo lancio, nel 2022, avverrà presumibilmente con un vettore privato, e porterà in orbita lunare il modulo propulsivo. Il secondo lancio sarà una missione di 4 astronauti a bordo del veicolo Orion, lanciato tramite SLS, che porterà il primo modulo abitativo e un altro piccolo modulo per iniziare esperimenti scientifici.

Nella sua configurazione¹⁶⁴ attualmente ipotizzata (che potrebbe non essere quella definitiva), la LOP-G (Lunar Orbit Platform-Gateway) prevede un volume abitabile di circa 125m³, un braccio robotico canadese (simile all'attuale CanadArm in orbita sulla ISS) e 7 diversi moduli:

¹⁶³ Veicolo, ancora in fase concettuale, che dovrebbe servire al trasporto interplanetario verso Marte con un'autonomia di 1000 giorni e provvisto di modulo abitativo.

¹⁶⁴ Dati configurazione da:

- P. Sloss, *NASA updates Lunar Gateway plans*, NASA Spaceflight, 11 settembre 2018. Disponibile su: <https://www.nasaspaceflight.com/2018/09/nasa-lunar-gateway-plans/>
- *Nuova stazione tra Luna e Terra: accordo fra ESA e Thales Alenia Space per i primi moduli*, Il Messaggero, 4 settembre 2018. Disponibile su: https://www.ilmessaggero.it/tecnologia/scienza/stazione_spaziale_luna_terra_accordo_esa_thales_alenia_space_moduli-3952226.html
- A. Zak, *ESA develops logistics vehicle for cis-lunar outpost*, Russian Spaceweb, 7 agosto 2017. Disponibile su: <http://www.russianspaceweb.com/imp-lcub.html>
- A. Zak, *Our first cis-lunar habitat*, Russian Spaceweb, 6 ottobre 2017. Disponibile su: <http://www.russianspaceweb.com/imp-che.html>
- E. R. Hedman, *LOP-G meets ISECG*, The Space Review, 9 luglio 2018. Disponibile su: <http://www.thespacereview.com/article/3529/1>
- A. Colangelo, *Gateway Logistics Services*, Main Engine Cut Off, 24 ottobre 2018. Disponibile su: <https://mainenginecutoff.com/blog/2018/10/gateway-logistics-services>
- A. Zak, *Russian airlock for the cis-lunar base*, Russian Spaceweb, 22 gennaio 2019. Disponibile su: <http://www.russianspaceweb.com/imp-shm.html>

- Power and Propulsion Element: deputato alla propulsione (ionica) e alla generazione di energia tramite impianto fotovoltaico;
- European System Providing Refuelling, Infrastructure and Telecommunications (ESPRIT), un progetto che verrà sviluppato da Thales Alenia Space e Airbus, con l'obiettivo di fungere da attracco e serbatoio di stoccaggio di idrazina e xenon;
- Utilization Module: fornisce circa 55m³ di volume abitativo e costituirà il modulo abitativo iniziale;
- International Habitation Module, altro progetto in collaborazione con Thales Alenia Space e Airbus, sarà composto da zone notte, esercizio fisico e cucina. Sarà inoltre un punto d'attracco con 4 portelli (di spessore ridotto rispetto alle specifiche in orbita terrestre, vista l'assenza di detriti spaziali in orbita cislunare);
- U.S. Habitation Module: porzione statunitense del volume abitativo;
- I Gateway Logistics Modules: moduli di rifornimento con 5 ton di capacità di carico pressurizzato e 2,6 ton di capacità di carico non pressurizzato;
- Gateway Airlock Module: di progettazione e realizzazione russa, sarà l'airlock per le EVA.

L'orbita lunare attualmente pianificata è di tipo fortemente ellittico, con un periodo (di rivoluzione) di circa una settimana, definita *near rectilinear halo orbit* (NRHO)¹⁶⁵. Questo tipo di orbita porterà la LOP-G a 1.500 km dalla superficie lunare nel punto più prossimo alla Luna e a 70.000 km nel punto più lontano. Quest'orbita è stata scelta per motivi di economia di propellente, rendendo agevole il transito sia lunare che terrestre.

Diversamente dai lanciatori e dai moduli della stazione orbitante, il progetto di un sistema che permetta il collegamento tra quest'ultima e il suolo lunare (discesa e risalita), compreso il trasporto di esseri umani si trova a una fase ancora antecedente di definizione iniziale, nella quale la NASA sta ancora ricevendo proposte. Le due proposte più significative giungono da due diversi attori privati: Blue Origin e Lockheed Martin. Il 9 maggio 2019, a latere della conferenza

¹⁶⁵ L'orbita di tipo HALO esiste per ogni sistema di tre corpi orbitanti, in cui uno ha una massa trascurabile rispetto agli altri due. Essa sfrutta le peculiari caratteristiche dei punti lagrangiani (punti in cui l'attrazione gravitazionale tra due corpi orbitanti di massa molto maggiore rispetto a un terzo corpo trascurabile "stabilizzano" la propria forza gravitazionale, consentendo al terzo corpo di orbitare mantenendo costante la distanza tra i primi due corpi), nelle cui prossimità il terzo corpo di massa inferiore orbita; ed è il risultato dell'interazione tra l'attrazione gravitazionale dei due corpi e la forza centripeta a cui è soggetto il terzo corpo.

“Satellite 2019”, nel Washington Convention Center, Jeff Bezos ha presentato ufficialmente il progetto (con un modello in scala 1:1) del Blue Moon: il lander lunare pensato da Blue Origin per la missione della NASA. Blue Moon sarebbe dotato di una tecnologia ad apprendimento automatico per atterraggi di precisione e una capacità di carico di circa 4.500kg da e per la Luna. Sarà inoltre ottimizzato e adattato per il lancio tramite SLS, ma potrà essere probabilmente lanciato anche con il razzo New Glenn, attualmente in fase di sviluppo dalla stessa Blue Origin.

Il 10 aprile 2019 (un mese prima la presentazione di Blue Moon), al trentacinquesimo Space Symposium di Colorado Springs, alcuni dirigenti della Lockheed Martin (senza alcun modellino in scala) parlarono del loro progetto per un lander lunare da proporre alla NASA. In realtà questo non fu il primo progetto presentato: 6 mesi prima, infatti, proposero un grande veicolo con un unico stadio in grado di atterrare sulla superficie lunare trasportando fino a 4 persone, operare per due settimane e rientrare sulla Terra. Tuttavia, a seguito della dichiarata volontà da parte della NASA di procedere con la missione nel 2024, la proposta della Lockheed Martin è stata rimodulata a un veicolo di dimensioni inferiori, formato da due stadi, che potrà essere realizzato più velocemente. I dettagli rilasciati sul lander sono ancora scarsi. Lo stadio superiore farà largo uso di elementi tecnologici di Orion (compreso il modulo equipaggio).

In ogni caso, comunque avvenga la scelta del lander adeguato, con la nuova rimodulazione temporale per il 2024 è necessario iniziare la costruzione (e quindi l'accordo per un'eventuale acquisizione e impiego) non più tardi del 2020. I tempi per costruire un lander infatti, come ha affermato Rob Chambers (direttore del volo umano nello spazio e delle strategie di sviluppo aziendale di Lockheed Martin), sono di circa 4 anni. Tra le soluzioni che sta varando attualmente la NASA c'è anche quella di non optare per il sistema “tradizionale” di contratto sulla base del miglior rapporto qualità/prezzo, ma sostanzialmente di pagare per un servizio operato dalla società stessa.

L'obiettivo di riportare l'uomo sulla Luna entro il 2024 rappresenta di sicuro una forte espressione di volontà, ma alla luce dell'attuale livello di sviluppo dell'architettura, esiste comunque un margine di incertezza sulla sua fattibilità temporale. Inoltre, seppur delineate nei suoi elementi principali (soprattutto lanciatori e stazione orbitante, più vaga invece la valutazione dei lander lunari), gli elementi tecnici di dettaglio (fino al livello di componente di veicolo o

modulo) potrebbero ancora subire variazioni anche sostanziali in fase di realizzazione. L'intero progetto, seppur a guida statunitense, apre le porte a una collaborazione estesa, sia a livello internazionale tra agenzie governative, sia tra attori pubblici e privati.

5.2. Architettura proposta dalla Russia.- Le ambizioni russe sul nostro satellite naturale sono di più lungo termine, sia sul lato della progettazione, sia sul lato della “stabilità” sulla Luna. I piani di Mosca, infatti, sono quelli di costruire una vera e propria base lunare abitabile entro un periodo di tempo compreso tra il 2031 e il 2040. Lo scopo è quello di fornire un ambiente stabile dove astronauti e ricercatori possano condurre esperimenti scientifici e al contempo raccogliere dati e know-how per una futura base simile su Marte. Per farlo, l'agenzia spaziale russa sta lavorando su un nuovo veicolo in grado di trasportare essere umani dal nome Federazione. Il veicolo dovrebbe essere in grado di trasportare almeno 27 tonnellate di carico in orbita e sulla superficie lunare e dovrebbe poter sostituire l'attuale Sojuz entro il 2021. Tale progetto è comunque portato avanti parallelamente alla collaborazione con gli Stati Uniti sul LOP-G e la base lunare sarà pensata come una base internazionale di ricerca. Attualmente si conoscono ancora pochi dettagli operativi, considerando anche la fase prodromica in cui si trova il progetto. Congiuntamente alla base, tuttavia, la Russia invierà in orbita lunare anche alcuni satelliti con funzione di telerilevamento, navigazione e comunicazione.

5.3. Architettura proposta dalla Cina.- Il programma lunare cinese Chinese Lunar Exploration Program (CLEP), iniziato nel 2007 con la sonda Chang'e 1, mira nel lungo periodo a portare la presenza di astronauti cinesi sulla superficie lunare (come indicato dal logogramma cinese della missione, raffigurante il carattere che indica “luna” con al centro due impronte umane). Attualmente la finestra temporale per un simile progetto è centrata tra il 2025 e il 2030. Fino ad allora l'agenzia spaziale cinese farà tesoro dell'esperienza acquisita fino ad oggi con le prime tre fasi (tecnologicamente collegate tra loro) del programma cinese di esplorazione lunare. La Fase 1 (missioni orbitali) è iniziata nel 2007 quando il razzo Lunga Marcia 3A ha lanciato Chang'e 1, che ha orbitato tra i 100 e i 200 km di quota sulla superficie della Luna e ha prodotto una mappa mineralogica a microonde del suolo lunare, per poi precipitare intenzionalmente sulla Luna due anni dopo. Durante la sua analisi del suolo, Chang'e 1 ha

anche esplorato la presenza di elio-3, che potrebbe essere impiegato nei reattori nucleari.

Successivamente, nel 2010, un razzo Lunga Marcia 3C ha lanciato Chang'e 2 verso la Luna, che ha migliorato la risoluzione della precedente mappa mineralogica, individuando anche eventuali zone di allunaggio per futuri lander. Dopo la mappatura, sono state eseguite anche delle prove di volo e di controllo della navigazione, spostando la sonda nel punto lagrangiano 2 tra Terra e Sole: l'agenzia spaziale cinese è così diventata la terza agenzia a raggiungere questo punto e ha effettuato prove di tracking radio e comunicazioni per future missioni nello spazio profondo. Nel 2012 la sonda ha anche effettuato un fly-by dell'asteroide 4179 Toutatis. Un passaggio ravvicinato di Chang'e 2 alla Terra è atteso nel 2020.

La Fase 2 (soft-landing e operazioni con rover è iniziata nel 2013 quando un razzo Lunga Marcia 3B ha lanciato Chang'e 3, un lander di trasporto per il rover Yutu¹⁶⁶ (da 140kg) con lo scopo di effettuare osservazioni astronomiche, tuttavia in seguito ad alcuni guasti meccanici ha completato la missione solo parzialmente. A gennaio del 2019 (nonostante fosse stata programmata per il 2015, con parte dei materiali di back-up di Chang'e 3, poi posticipata per testare parte della tecnologia necessaria alla successiva fase 3), anche Chang'e 4 è riuscito ad allunare (dopo poco meno di un mese dalla partenza dalla base spaziale di Xichang), questa volta col primato di primo lander a farlo sulla superficie nascosta della Luna (precisamente atterrando nel bacino polo sud-Aitken, un cratere meteorico di grandi dimensioni, circa 2500km di diametro).

L'allunaggio sul lato nascosto della Luna (che è anche quello più riparato dalle interferenze elettromagnetiche terrestri, quindi luogo privilegiato per studiare l'ambiente spaziale) ha richiesto uno speciale ponte radio, effettuato tramite il satellite (appositamente lanciato nel maggio 2018) Queqiao. Le operazioni di allunaggio si sono concluse correttamente, compreso il rilascio del rover Jade Rabbit 2 (Yutu-2), come osservato dai primi fotogrammi arrivati dalla sonda. Gli obiettivi della missione erano quelli di esplorare la composizione geologica della Luna, per missioni di tipo ISRU, e l'analisi dei venti solari. Inoltre, era stata testata la capacità di sopravvivenza di semi di

¹⁶⁶ Dal nome del coniglio lunare della dea Chang'e nella mitologia cinese.

soia e uova di insetto, riproducendo l'ecosistema¹⁶⁷ necessario per la loro crescita. Tuttavia, essendo stati esposti alla temperatura della notte lunare in seguito a un guasto, la maggior parte dei germogli sono morti, portando alla sospensione dell'esperimento¹⁶⁸.

La Fase 3 (recupero di campioni lunari, c.d. *sample return*) comprende le missioni Chang'e 5 e Chang'e 6. Chang'e 5, il cui lancio è previsto per la seconda metà del 2020, mentre Chang'e 6 è prevista per il 2023-2024. L'obiettivo di entrambe le missioni sarà quello di riportare dei campioni di materiale lunare sulla Terra (primi a ripetere tale operazione, dopo la sonda russa Luna 24 nel 1976), a partire da Chang'e 5 che prevedere di recuperare 2kg di materiale. Chang'e 5 inizialmente previsto per il 2017, è stato posticipato per via di problemi tecnici al razzo Lunga Marcia 5 (con cui doveva essere lanciato). A seguito della variazione del programma, il lancio è previsto col vettore Chang Zheng 5, diretto verso l'Oceanus Porcellarum. Il lander preleverà 2kg circa di suolo lunare fino a 2m di profondità, che saranno successivamente inviati a Terra tramite un veicolo di ascesa e un orbiter lunare. Chang'e 5 ha una massa prevista (al lancio) pari a 3.780 kg, rispettivamente 1.200 kg per il lander e 120 kg per il veicolo di ascesa. I sensori del lander saranno in grado di osservare il visibile (telecamere), analizzare la composizione di gas e del suolo e anche la temperatura¹⁶⁹.

5.4. Altre architetture.- Anche altri paesi con capacità spaziali, come Israele e India, si sono dimostrati interessati al nostro satellite naturale. Israele ha effettuato un primo tentativo, da parte dell'organizzazione israeliana privata SpaceIL, istituita nel 2011 per partecipare al Google Lunar X Prize (GLXP): iniziativa promossa dalla X Prize Foundation e sponsorizzata da Google, a cui potevano partecipare solo organizzazioni private. La gara consisteva in un premio in denaro fino a 30 milioni di dollari per chiunque fosse riuscito a fare allunare un veicolo, farlo muovere per 500m sul suolo lunare e inviare sulla Terra immagini e video ad alta definizione come prova dell'allunaggio.

¹⁶⁷ La biosfera, molto elementare, era costituita da cotone, patate, colza, arabidopsis, uova dei moscerini della frutta e alcuni lieviti. Il cotone è stato l'unico a dare apprezzabili "segni di vita", germogliando, ma senza sopravvivere.

¹⁶⁸ F. Pettini, 2019, *ecco le prossime missioni lunari*, Galileo, 27 maggio 2019. Disponibile su: <https://www.galileonet.it/missioni-lunari-nasa-luna-sbarco/>

¹⁶⁹ D. R. Williams, *Future Chinese Lunar Missions*, NASA, 29 gennaio 2019. Disponibile su: https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/cnsa_moon_future.html

SpaceIL ha prodotto Beresheet, un veicolo che doveva essere in grado di effettuare un allunaggio morbido e di muoversi con un piccolo rover sulla Luna. Il nome deriva dall'ebraico "in principio" e il veicolo aveva un peso massimo di 585kg (con il pieno di propellente), un'altezza di 1m e una larghezza di 2,3m e trasportava un payload comprendente: un magnetometro per la misura del campo magnetico lunare, dei riflettori laser per la misurazione precisa della distanza Luna-Terra e una "capsula del tempo" con dentro una Torah, una copia di tutta Wikipedia in inglese, dei disegni di bambini ispirati allo spazio, l'inno e la bandiera israeliani. Il lancio è avvenuto il 21 febbraio 2019, con un razzo Falcon 9 di SpaceX, da Cape Canaveral.

La zona prescelta per l'allunaggio era il Mare della Serenità, zona dell'ultimo allunaggio della missione Apollo. Il "punto di non ritorno" (dopo il quale non sarebbe più stato possibile frenare la discesa della sonda e farla permanere in orbita lunare) era a 25km dalla superficie lunare, ma la sonda ha iniziato a mostrare problemi al motore principale a 22km di quota. Il motore fu quindi riavviato a seguito di un reset del sistema, ma la sonda aveva ormai perso troppa quota e finì per trovarsi (ultimo dato di telemetria) a 149m dal suolo con una velocità orizzontale di 946 m/s e una velocità verticale di 134 m/s (in discesa), non lasciando alternative allo schianto sulla Luna.

Anche l'India nutre interesse per l'esplorazione robotica della Luna. La prima missione in tal senso è stata Chandrayaan 1 (da "Chandra", luna e "yaan", viaggio), lanciata nel 2008 e conclusa circa un anno prima del previsto, nel 2009. L'obiettivo era quello di porre una sonda in orbita lunare allo scopo di analizzare il suolo lunare (per individuare gli elementi in esso contenuti, l'eventuale presenza di acqua e la composizione mineralogica) e dimostrare di saper compiere e realizzare tutti i passaggi per una missione di spazio profondo (dalla costruzione e integrazione di tutti i componenti, fino al lancio e alle operazioni in orbita). In seguito ad alcuni malfunzionamenti riportati dalla sonda (tra cui il funzionamento dei sensori stellari) l'ISRO (l'agenzia spaziale indiana) ha perso la comunicazione radio con la sonda dopo poco più di 300 giorni di operazioni, dichiarando di conseguenza la missione conclusa (con tuttavia più del 90% degli obiettivi raggiunti, tra cui l'interessante risultato del ritrovamento di molecole d'acqua sulla Luna). Il payload era costituito da sensori avanzati nei campi: visibile, infrarossi e raggi x. L'outcome previsto era la produzione di una mappa lunare dettagliata, con particolare riguardo alle zone polari (in cerca di eventuale acqua). La sonda aveva

dimensione cubica con 1,5m di lunghezza per lato e il peso al lancio di 1380kg. La successiva missione Chandrayaan 2 ha invece visto lo schianto del lander Vikram sul suolo lunare.

Le architetture analizzate in questo capitolo hanno evidenziato non solo un progresso tecnologico e un ritrovato interesse per le missioni lunari, ma anche, data la loro criticità, una necessità maggiore di sicurezza che potrebbe determinare la buona riuscita delle missioni. Per questo motivo, nel capitolo che segue, si prendono in esame alcuni dei rischi che minacciano le nuove esplorazioni lunari.

CAPITOLO 6

RISCHI, MINACCE E NUOVE ESPLORAZIONI LUNARI

FRANCESCA CASAMASSIMA

Come analizzato nei capitoli precedenti, le risorse spaziali rivestono da sempre un ruolo chiave nelle attività degli Stati, in quanto dalla loro funzionalità dipende in larga misura anche quella di tutta una serie di applicazioni che ad oggi sono fondamentali per la società, facendo delle risorse spaziali vere e proprie infrastrutture critiche. Infrastrutture caratterizzate dalla necessità di possedere un altissimo livello di sicurezza, sia in termini di sostenibilità dell'ambiente spaziale ma anche in termini di integrità fisica e operativa degli oggetti artificiali nello spazio e delle loro stazioni terrestri. Difatti, per via della natura ostile dell'ambiente spaziale, con fenomeni fisici estremi quali temperature, vuoto e radiazioni, le architetture spaziali sono sottoposte a una serie di minacce che minano gravemente la loro sopravvivenza. Le priorità dei programmi spaziali nazionali quali elementi strategici di politica estera e interna, la crescente importanza dell'industria spaziale commerciale, e gli ingenti investimenti necessari per poterli sviluppare, sono tutti elementi critici che determinano la sicurezza spaziale complessiva.

L'analisi dei rischi¹⁷⁰ e delle minacce dei programmi spaziali, specie se è prevista la presenza di equipaggio a bordo, assume dunque una valenza primaria nella pianificazione e nella gestione di un programma, e deve rispondere ad alcuni criteri fondamentali. L'elaborazione degli scenari di rischio che evidenzino tutte le possibili *failures*, di natura tecnica o umana, rappresenta il primo e il principale passaggio per poter condurre un'analisi dettagliata e sviluppare contro-misure efficaci. Di ogni singolo scenario individuato va misurata, in

¹⁷⁰ Esistono quattro categorie di rischio: Catastrofico (include la perdita di vite umane, la distruzione del sistema e la distruzione parziale dell'ambiente circostante); Critico (include la presenza di ferite gravi non permanenti e danni ambientali limitati); Significativo (le ferite riportate dall'equipaggio sono lievi e la missione viene bloccata senza tuttavia aver perso il sistema); Minore (corrisponde a problemi riportati agli elementi del sistema senza conseguenze sulla buona riuscita della missione).

Vedesi: M. Spagnolo, *Elementi di management dei programmi spaziali*, Springer-Verlag, Milano, 2012, p. 165.

base allo studio della frequenza, la probabilità che questo accada, gli impatti che potrebbe avere in termini di missione ed economici, e infine il grado di incertezza associato allo stato della conoscenza in merito alle risposte precedentemente identificate¹⁷¹.

Questo capitolo si pone come obiettivo quello di esporre e analizzare alcuni dei rischi e delle minacce che caratterizzano i programmi spaziali, in particolare le nuove esplorazioni lunari. Per via dell'assenza di progetti dettagliati, tuttavia, non è stato possibile condurre un'analisi strutturata sulle nuove architetture lunari proposte dagli attori pubblici e privati analizzati nel capitolo precedente.

6.1. *Quali minacce per le missioni spaziali?*.- Lo spazio è un ambiente estremo che richiede particolari tecnologie, capacità e conoscenze per utilizzarlo. Dalla presenza di detriti spaziali che viaggiano a velocità altissime, alla composizione della superficie lunare, sono molteplici le minacce poste alle missioni spaziali. Minacce che necessitano un'attenta valutazione preliminare, poiché il grado di intervento e operabilità nello spazio è molto limitato. Tuttavia, la complessità dei cambiamenti fisici nello spazio, il rapido sviluppo tecnologico, e l'aumento dell'utilizzo dello spazio da parte di attori pubblici e privati a livello internazionale, rende l'identificazione delle minacce e gli sforzi per la loro riduzione un compito assai arduo.

Ovviamente in rischi identificati di seguito non rappresentano una lista esaustiva di tutte le complessità che vanno affrontate in un programma spaziale. Per lo scopo di questo elaborato, sono state selezionate le minacce più rilevanti nell'ambito delle future esplorazioni lunari, senza tralasciare l'importanza dell'aspetto *cyber*, un aspetto che viene a volte sottovalutato eccessivamente ma che, ad oggi, rappresenta forse una delle minacce più strutturate e di difficile identificazione.

6.1.1. *Minacce dallo spazio. Space Debris*.- Dall'inizio dell'era spaziale nel 1957, l'attività umana in orbita ha prodotto grandissime quantità di rifiuti che rappresentano una vera e propria minaccia alla sicurezza fisica delle infrastrutture spaziali e alla sostenibilità a lungo termine delle regioni orbitali. Per *space debris* si intendono tutti gli oggetti non più funzionali, tra cui carichi utili, "carcasce" dei razzi

¹⁷¹ National Research Council, *Limiting future collision risk to spacecraft: An assessment of NASA's meteoroid and orbital debris programs*, National Academies Press, Washington, D.C., 2011, p. 40.

utilizzati, e vari detriti legati a una missione come detriti derivanti dalla degradazione superficiale o da frammentazione in orbita¹⁷².

Secondo lo U.S. Space Surveillance Network (SSN), attualmente ci sono circa 23.000 frammenti di detriti tracciabili con un diametro di 10 cm, e altri 500.000 tra 1 e 10 cm¹⁷³ di diametro troppo piccoli per essere tracciati ma con il potenziale di causare danni seri ai veicoli spaziali. Minaccia questa particolarmente grave se si considera il rischio al quale vengono sottoposti gli astronauti che operano in orbita, in particolar modo quando si vedono impegnati in attività extra-veicolari¹⁷⁴.

Per via dell'alta velocità con la quale viaggiano i detriti spaziali, l'impatto con detriti di diametro maggiore di 1 mm causa perforazioni, mentre quello con detriti di diametro maggiore di 10 cm può risultare nella perdita totale del sistema oltre che nella produzione di ulteriori detriti¹⁷⁵. In caso di *manned missions*, ovvero missioni con equipaggio a bordo, l'impatto con i *Micrometeoroid and Orbital Debris* (MMOD) potrebbe comportare il ferimento dell'equipaggio, la necessità di evacuarlo, la perdita dell'equipaggio (Loss Of Crew, LOC), fino alla perdita, nel caso di un grande evento catastrofico, sia dell'equipaggio che del veicolo (Loss Of Crew and Vehicle, LOCV)¹⁷⁶. Per questo motivo la possibile penetrazione di MMOD viene considerata quale programma prioritario di rischio nell'analisi che viene condotta preliminarmente. Va considerata, inoltre, la possibilità che l'impatto con piccoli detriti nell'ordine dei microni possa passare inosservata pur potendo causare danni all'operatività dei sistemi spaziali¹⁷⁷.

Con l'esperienza sviluppata dalle prime missioni spaziali ad oggi, pur cambiando il grado e la probabilità d'impatto con gli MMOD che, come evidenziato precedentemente, sono aumentati in termini numerici, sono state sviluppate una serie di misure di tipo passivo e attivo. L'importanza di queste misure risiede nella necessità di garantire, per

¹⁷² R. A. Madler, D. S. McKnight, *Space mission analysis and design*, Microcosm Press, Kluwer Academic Publishers, El Segundo, CA, 1999, p. 842.

¹⁷³ J. West, *Space Security Index 2018*, Spacesecurityindex.org, Ontario, Canada, 2018, p. 19.

¹⁷⁴ K. U. Schrogl, et al. *Handbook of space security*, Springer Science+Business Media, New York, 2015, p. 17.

¹⁷⁵ *Ivi*, p. 685.

¹⁷⁶ K. Cartner-Journet, et al. *Two Case Studies Illustrating the Management of Risks for the International Space Station*, in "International Journal of Performability Engineering", vol. 9, n. 6, 2013, p. 590.

¹⁷⁷ National Research Council, *Limiting future collision risk to spacecraft: An assessment of NASA's meteoroid and orbital debris programs*, cit., p. 74.

future missioni spaziali anche in vista di quelle che sono le nuove politiche di esplorazione umana verso la Luna e Marte, la minor produzione possibile di detriti che inevitabilmente incroceranno le traiettorie dei veicoli spaziali.

Le misure di tipo passivo vengono impiegate prima che il veicolo venga lanciato nello spazio, durante la fase di progettazione, e si applicano alla struttura fisica del veicolo. Tipicamente queste misure includono la schermatura dei veicoli spaziali, la progettazione di sistemi ridondanti, fino alla selezione della traiettoria migliore per ridurre i rischi di impatto¹⁷⁸. Tra le misure passive vengono incluse anche quelle identificate come *passive collision avoidance*, ovvero tutte le misure strutturali necessarie per evitare collisioni senza dover intervenire fisicamente sul cambio di traiettoria. Queste includono, tra tante, anche l'opzione di ridurre al minimo le dimensioni effettive del veicolo¹⁷⁹. Tuttavia, le misure di *passive collision avoidance* non sono applicabili in caso di *manned missions*, ragion per cui questo tipo di missioni esplorative richiedono l'intervento di misure attive.

A differenza delle misure passive, quelle attive si applicano una volta che il veicolo è in orbita, e includono l'eliminazione dei detriti dalla traiettoria, l'evitare collisioni direzionando il veicolo manualmente oppure rimuovere gli oggetti di grandi dimensioni per eliminare anche la possibilità di generare detriti futuri¹⁸⁰. Tra le misure attive, come nel caso di quelle passive, vengono incluse quelle di *active debris avoidance*. Ad oggi, solo sistemi critici spaziali quali la Stazione Spaziale Internazionale (ISS) o anche le costellazioni satellitari in orbita terrestre bassa (LEO), che forniscono una serie di servizi essenziali, hanno adottato o comunque progettato l'uso delle misure di *active debris avoidance*. Poiché l'adozione di questa tipologia di misure prevede il monitoraggio attivo dei detriti, ma soprattutto la presenza di propellente aggiuntivo a bordo, oltre che un certo grado di coordinamento con le strutture di localizzazione satellitare, l'*active debris avoidance* risulta essere pratica solo per evitare l'impatto con frammenti di grandi dimensioni. Inoltre, a livello di progettazione, per via del carburante extra richiesto, non risulta

¹⁷⁸ National Research Council, *Limiting future collision risk to spacecraft: An assessment of NASA's meteoroid and orbital debris programs*, cit., p. 47.

¹⁷⁹ R. A. Madler, D. S. McKnight, *Space mission analysis and design*, cit., p. 848.

¹⁸⁰ National Research Council, *Limiting future collision risk to spacecraft: An assessment of NASA's meteoroid and orbital debris programs*, cit., p. 47.

essere un'opzione economicamente vantaggiosa, motivo per cui si applica solo ed esclusivamente alle missioni più critiche¹⁸¹.

Risultano quindi essere limitate le soluzioni, a breve, medio e lungo termine, a disposizione per evitare quanto più possibile impatti con gli MMOD. Innanzitutto, è fondamentale avere una conoscenza quanto più dettagliata sulla popolazione di *debris* presenti in orbita. Lo scopo della sorveglianza spaziale è proprio quello di inventariare gli oggetti al di sopra di una determinata dimensione, permettendo così di fornire informazioni circa l'origine e la traiettoria dell'oggetto.

Nel breve termine, una volta fatti gli accertamenti del caso, una delle soluzioni più gettonate è la protezione fisica del veicolo tramite schermature e architetture adatte alla missione. Nel medio termine risulta invece essere necessario ridurre quanto più possibile la creazione di nuovi detriti che andrebbero solamente a esacerbare il problema già esistente. Tuttavia, l'adozione di misure preventive, pur agendo significativamente nella riduzione complessiva del numero di detriti, non risolverebbe il problema di vecchi detriti già esistenti. Per questo motivo, nel lungo termine, bisognerà pensare allo sviluppo e all'adozione di tecnologie che siano in grado di ripulire l'ambiente spaziale, recuperando e rimuovendo i detriti più grandi. Tuttavia, oltre alle sfide tecniche e tecnologiche poste da questa necessità, sorgono una serie di altri ostacoli di tipo politico, normativo ed economico che richiederanno la cooperazione di tutti gli stati. Difatti, le operazioni di rimozione dei vari detriti potrebbero in realtà coprire azioni militari non consentite dal diritto dello spazio.

A livello normativo, invece, l'ostacolo si pone dal momento in cui, secondo i trattati delle Nazioni Unite, nello spazio gli oggetti configurati rimangono proprietà dello Stato di registrazione, risultando pertanto necessario dover chiedere l'autorizzazione per la rimozione degli oggetti. Infine, a livello economico, chiaramente questa tipologia di missione richiederebbe un investimento ingente e presenterebbe delle difficoltà riguardo al metodo di pagamento, l'accordo per la cifra da investire dei singoli Stati, e soprattutto la conformità e l'impegno di tutti gli Stati a versare contributi per portare avanti programmi di questo genere¹⁸².

6.1.2. *Minacce alla sicurezza dell'equipaggio.*- Le future missioni di esplorazione umana, come ad esempio la creazione di una base

¹⁸¹ R. A. Madler, D. S. McKnight, *Space mission analysis and design*, cit., p. 849.

¹⁸² K. U. Schrogl, et al. *Handbook of space security*, cit., pp. 685-697.

lunare abitata permanente, aggiungeranno una nuova dimensione alla sicurezza del volo umano nello spazio, tenendo maggiormente conto di fattori quali la distanza di viaggio, i livelli di radiazione, e l'isolamento a cui verrà sottoposto l'equipaggio. Ovviamente non vanno considerate solo le minacce fisiche ma anche quelle psicologiche che, a lungo andare, potrebbero avere risvolti negativi sulla riuscita della missione.

Il primo fattore di minaccia fisico da prendere in considerazione è la transizione attraverso vari livelli di gravità e gli effetti che questa ha sul corpo umano. Difatti, la permanenza prolungata in condizioni di microgravità comporta danni al sistema immunitario e a una serie di sintomi decondizionati, quali la perdita di massa muscolare e ossea, cambiamenti nelle capacità motorie e una ridotta capacità cardiovascolare¹⁸³. Trascorsi sei mesi, è stato osservato che il cuore modifica la propria forma assumendone una più rotonda, il che potrebbe comportare una minor efficienza nelle contrazioni del muscolo cardiaco¹⁸⁴. A porre ulteriori rischi alla salute degli astronauti, specie in vista delle prossime missioni lunari, è proprio la composizione della Luna stessa. Infatti secondo alcuni studi¹⁸⁵, le polveri lunari hanno un effetto caustico sia sulle cellule polmonari e cerebrali, sia sulle tute spaziali. Minaccia questa di notevole rilevanza, visto che le tute spaziali non sono altro che veicoli portatili che forniscono ossigeno all'equipaggio e consentono il mantenimento della pressione e una termoregolazione continua¹⁸⁶.

Vanno inoltre presi in seria considerazione i rischi derivanti dall'esposizione dell'equipaggio alle radiazioni. Difatti, la presenza di radiazioni nell'ambiente spaziale limita la durata del soggiorno per via degli effetti deleteri che queste hanno sul DNA e l'aspettativa di vita dell'equipaggio. Oltre ai possibili effetti tardivi dell'esposizione, quali tumori maligni, vanno esaminati quelli che sono invece gli effetti più

¹⁸³ G. Hornek, et al., *HUMEX: Study on the Survivability and Adaptation of Humans to Long-Duration Interplanetary and Planetary Environments*, 2006, p. 6. Disponibile su: <https://www.dlr.de/me/PortalData/25/Resources/dokumente/publikationen/humex-summary.pdf>

¹⁸⁴ G. Saladini, *Space Oddity: i rischi di un viaggio su Marte*, in "Upside Risk", n. 7, Accapierre S.r.l., 2016, p. 20.

¹⁸⁵ K. Hebden, *ESA investigates health risk of living on the Moon*, Room, 6 luglio 2018. Disponibile su: <https://room.eu.com/news/esa-investigates-health-risk-of-living-on-the-moon>

¹⁸⁶ R. Berva, *I rischi connessi all'attività dell'uomo nello spazio: L'intervista all'astronauta italiano, Paolo Nespoli*, in "Upside Risk", n. 7, Accapierre S.r.l., 2016, p. 18.

immediati in seguito al rientro quali affaticamento, nausea, anoressia¹⁸⁷, eccetera.

Pertanto, al fine di ridurre quanto più possibile il rischio derivante dalle radiazioni spaziali, incrementando quindi i limiti di tolleranza fisica umana in vista di quelle che saranno le prossime esplorazioni verso Marte, dovrebbero essere adottate una serie di contromisure mediche, essenzialmente sottoponendo gli astronauti a terapie radioprotettive e nutrizionali specifiche per garantire il minor assorbimento possibile di radiazioni¹⁸⁸.

6.1.3. *Cyber minacce*.- La criticità e strategicità dei sistemi spaziali li rende automaticamente degli obiettivi attraenti. Secondo alcuni studi¹⁸⁹ fatti in merito ad attacchi *cyber* a sistemi satellitari, la maggior parte di questi non erano mirati alla distruzione o compromissione del sistema spaziale in sé, bensì alla tecnologia abilitata tramite il sistema spaziale. Difatti, per via degli elevati costi associati alla sicurezza informatica, la probabilità che ci siano vulnerabilità sfruttabili da attori non statali, per motivazioni puramente dimostrative, o statali, per spionaggio industriale, concorrenza sleale o furto di proprietà intellettuale, è molto alta. Poiché i sistemi spaziali sono composti dal segmento di volo e il segmento di terra, è chiaro che le minacce *cyber* si applicano a entrambi e al collegamento *space-link*, ovvero il collegamento tra un veicolo spaziale e il suo segmento di terra. Tra le minacce *cyber* identificate che si applicano al segmento di volo e di terra si riscontrano: accesso non autorizzato, minacce al software, negazione del servizio (c.d. *denial-of-service*, DOS). Tra quelle che si applicano al segmento di volo, di terra e al collegamento *space-link*: replay, jamming, corruzione dei dati. Non va inoltre tralasciata, nell'analisi, l'importanza della sicurezza fisica del segmento di terra quale segmento portante dell'intero sistema spaziale.

L'accesso non autorizzato, come indica il nome stesso, solitamente avviene in assenza di solide politiche di controllo degli accessi. Difatti, un sistema che garantisca una forte autenticazione fornisce un mezzo attraverso il quale solo le entità autorizzate possono eseguire azioni. Una breccia nel controllo di accesso e autenticazione potrebbe

¹⁸⁷ G. Hornek, et al., *HUMEX: Study on the Survivability and Adaptation of Humans to Long-Duration Interplanetary and Planetary Environments*, cit., pp. 5-6.

¹⁸⁸ *Ivi*, p. 6.

¹⁸⁹ G. Falco, *Job One for Space Force: Space Asset Cybersecurity*, 2018, p. 6. Disponibile su: [https://www.belfercenter.org/sites/default/files/files/publication/CSP%20Falco%20Space%20Asset%20-%20FINAL.p df](https://www.belfercenter.org/sites/default/files/files/publication/CSP%20Falco%20Space%20Asset%20-%20FINAL.pdf)

consentire l'acquisizione o la contaminazione di dati sensibili, l'acquisizione di controllo di un segmento di terra o di volo, fino al completo fallimento di una missione spaziale. Anche le minacce ai software potrebbero avere impatti simili su una missione. Spesso l'errore umano sembra essere il fattore determinante. Difatti, utenti, operatori di sistema e programmatori possono commettere errori, installare software non autorizzati o non controllati, o semplicemente introdurre nei codici degli errori di logica che mettono a repentaglio la sicurezza del sistema. Le vulnerabilità causate dalle operazioni prima elencate potrebbero essere sfruttate da agenti di minaccia esterna modificando il software o la configurazione. Una violazione di questo tipo potrebbe comportare la perdita dei dati, la perdita di controllo dei veicoli spaziali, l'acquisizione del controllo di veicoli spaziali da parte di terzi non autorizzati, fino, anche in questo caso, alla perdita di missione. Infine, attacchi DOS impedirebbero l'accesso autorizzato ai sistemi, facendo così perdere la disponibilità del sistema e di conseguenza impedirne il controllo¹⁹⁰.

Tra le minacce *cyber* che si applicano a tutti e tre i componenti di un sistema spaziale, il *replay* potrebbe rappresentare forse quella più rilevante. Come suggerisce la parola stessa, il *replay* intercetta e registra le trasmissioni da o verso il sistema di volo, o anche quelle tra i sistemi di terra, riproducendole poi in un secondo momento. In questo modo, i comandi che vengono ripetuti e non respinti potrebbero risultare in una breccia di manovra che potrebbe in ultimo portare al fallimento della missione. Altra minaccia estremamente rilevante è il link *jamming*. Questo altro non è che un'interferenza nel segnale tra segmenti di volo e segmenti di terra che porta alla perdita del collegamento e possibilmente del controllo della missione. L'interferenza può essere ottenuta "iniettando" rumore o trasmettendo sulla stessa frequenza così da disturbare la comunicazione. Il link *jamming* minerebbe la capacità del segmento di terra di ricevere dati da quello di volo, oltre che potenzialmente bloccare l'accesso autorizzato ritardando così, in caso di crisi, l'adozione delle azioni necessarie per farla rientrare. La corruzione dei dati si riferisce invece all'alterazione, intenzionale o meno, dei dati, implicando quindi una violazione dell'integrità del dato stesso. La corruzione può avvenire alla fonte o anche durante la loro trasmissione tramite errori del software, guasti hardware, o anche per via dell'utilizzo di software non autorizzati. Un

¹⁹⁰ Consultative Committee for Space Data Systems, *Security threats against space missions*, CCSDS Secretariat, Washington, D.C., 2015, pp. 5-8.

comando danneggiato che viene riconosciuto come legittimo e non scartato potrebbe provocare la perdita totale del sistema.

Pur non facendo parte di minacce *cyber*, la perdita fisica del segmento di terra, per ragioni ambientali o antropiche, va considerata all'interno di questa categoria. Difatti, la perdita del sistema comporterebbe impatti quali la perdita dei dati fino alla perdita della missione. Inoltre, un attacco fisico potrebbe permettere lo sfruttamento di una vulnerabilità disabilitando la struttura di terra e influire così direttamente sul funzionamento della missione e dei servizi forniti¹⁹¹.

Gli attacchi informatici sulle infrastrutture spaziali, nonostante gli impatti notevoli che potrebbero comportare, ricevono forse troppa poca attenzione considerata la loro strategicità. Difatti, oltre a fornire dati sensibili sulla missione e potenzialmente portare alla distruzione del veicolo spaziale, gli attacchi *cyber* sono difficilmente identificabili o riconducibili a un attore solo, specie se gli attaccanti ricorrono al *Distributed Denial-of-Service* (DDOS). Il DDOS è un particolare attacco DOS che, se rilevato, risulta originare da più luoghi contemporaneamente impedendo così l'identificazione della sorgente dell'attacco. Spesso gli attacchi passano anche inosservati, e la perdita di dati sensibili emerge solo dopo un lungo periodo. Nell'ottica delle nuove *manned missions* verso la Luna, l'aspetto *cyber* della missione assume una valenza ancora maggiore. In particolare, l'accesso non autorizzato comporterebbe l'interruzione delle operazioni e potrebbe danneggiare il sistema, mettendo a repentaglio anche la vita dell'equipaggio.

6.1.4. *Minacce lunari*.- La superficie lunare, caratterizzata da crateri e fratture, rappresenta una minaccia all'atterraggio, specie se a bordo del veicolo è presente l'equipaggio. Nell'atterraggio lunare si susseguono una serie di processi molto rapidamente, partendo dalla scansione dell'area per determinare possibili siti di atterraggio, fino alla fase di discesa e conseguente *touch-down* del veicolo. Ogni processo è intrinsecamente rischioso e determinante nella buona riuscita dell'atterraggio. Uno dei rischi da considerare è la dispersione durante la navigazione, che potrebbe avvenire nella fase di posizionamento sul luogo di discesa prima della manovra di lancio. La dispersione dei parametri di discesa, data da incertezze nelle prestazioni del motore o anche per via di errori nella mappatura della superficie lunare, comprometterebbe poi il corretto posizionamento

¹⁹¹ *Ibidem*.

del veicolo sull'area selezionata, e quindi ritarderebbe i passi seguenti¹⁹². La corretta mappatura del terreno è un requisito fondamentale per garantire un atterraggio di successo. La selezione di un *landing site* viene fatta sulla base di dati acquisiti in precedenza con missioni di telerilevamento, e l'integrazione in tempo reale della sensoristica. Tuttavia, questo non sarà l'unico elemento su cui si baseranno le discese. Infatti, l'incapacità del sensore di rilevare con precisione pendenze e pericoli potrebbe compromettere in modo grave la missione. Per questo motivo l'incertezza delle prestazioni del sensore viene integrata con l'interazione umana. Anche in questo caso, tuttavia, è fondamentale per l'equipaggio saper leggere l'elaborazione dei dati del sensore di rilevamento. In base a questo verranno intraprese una serie di azioni che confermeranno il punto di atterraggio o lo riprogetteranno a favore di uno più sicuro. L'incertezza, in questo caso, risiede non tanto nella capacità di valutazione dell'equipaggio, bensì nella quantità di tempo richiesto per confermare il punto di atterraggio selezionato o designarne un secondo¹⁹³ avendo a disposizione una perfetta mappatura della superficie e i relativi DEM. Il rischio di atterraggio, più che alla superficie lunare, è dovuto dalle competenze e conoscenze dell'equipaggio, anche se, ovviamente, la superficie lunare non gioca a favore. È piuttosto l'attività sulla superficie lunare, condizionata da eventi naturali, a destare preoccupazione per l'installazione di una futura base lunare permanente e abitata.

Durante le missioni Apollo, dal 1969 al 1977, sulla superficie della Luna furono installati quattro sismometri per rilevare l'attività sismica lunare. Gli *Apollo Passive Seismic Experiments* (APSE), negli otto anni di funzionamento, rilevarono oltre 12.000 eventi sismici e identificarono quattro categorie distinte di sorgenti naturali sismiche: sismi lunari profondi, sismi lunari termali, impatti con meteoroidi, e sismi lunari superficiali¹⁹⁴. Sebbene l'ultimo dato risalga al 1977, dal confronto dei dati sismici Apollo e le immagini raccolte dal Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) della NASA, a differenza di quanto si ipotizzi, la Luna sembrerebbe essere ancora sismicamente attiva. Difatti, nel raffreddarsi, sulla superficie si sono create faglie tettoniche

¹⁹² C. Mattenberger, et al., *Lunar landing operational risk model*, NASA, 2010, p. 5. Disponibile su: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20100018589.pdf>

¹⁹³ *Ivi*, pp. 6-7.

¹⁹⁴ S. Mottaghi, H. Benaroya, *Lunar seismic structural analysis*, in "Safety, Reliability, Risk and Life-Cycle Performance of Structures and Infrastructures", CRC Press/Balkema, Leiden, 2013, pp. 491-497.

sulle quali, secondo analisi recenti¹⁹⁵ e visto il continuo restringimento della Luna quale conseguenza del raffreddamento interno, potrebbero generarsi lunamoti. Da un nuovo algoritmo ideato da alcuni ricercatori che hanno analizzato nuovamente i dati ottenuti dagli ASPE e sovrapposti a quelli ottenuti dal LRO, è emerso che, per via della vicinanza dei lunamoti registrati da Apollo alle faglie tettoniche identificate da LRO, la possibilità che ci sia attività tettonica lungo le faglie sia più alta di quanto ipotizzato, suggerendo quindi che la Luna sia ad oggi ancora sismicamente attiva.

Dai dati raccolti dalle missioni Apollo è emerso che, sempre negli otto anni di attività della rete sismica, i sismi lunari profondi erano i più frequenti con 973 eventi registrati e confermati. Sia i dati Apollo che i nuovi dati LRO hanno evidenziato come la loro occorrenza sia fortemente correlata con le forze di marea, poiché all'apogeo dell'orbita terrestre si registra un picco nella tensione sulla superficie lunare portando così, probabilmente, le faglie tettoniche a scivolare¹⁹⁶. Tuttavia, essendo questi eventi a bassa frequenza e bassa magnitudo, non rappresentano un potenziale pericolo per la costruzione e permanenza di una base lunare. Lo stesso vale per i sismi lunari termici, che sono piccoli eventi sismici causati da variazioni nella temperatura della superficie lunare¹⁹⁷.

Gli impatti con i meteoroidi, per un totale di 1734 impatti, sono risultati essere gli eventi con maggiore frequenza registrati dal 1969 al 1977. Il numero effettivo, tuttavia, viene considerato essere maggiore poiché i sismografi dell'APSE rilevavano principalmente gli impatti provocati da oggetti di massa pari a o superiore a 0,1 kg. Gli impatti con i meteoroidi rappresentano la minaccia più grande a un'ipotetica base lunare. Difatti, meteoroidi di dimensioni notevoli potrebbero distruggere qualsiasi struttura artificiale. Anche meteoroidi di dimensioni più piccole potrebbero causare danni alla struttura e lesioni agli astronauti potenzialmente letali¹⁹⁸.

Insieme ai meteoroidi, anche i sismi lunari superficiali rappresentano una minaccia concreta a una base lunare permanente. Pur essendo i fenomeni più rari registrati, i sismi lunari superficiali hanno una magnitudo stimata tra i 5 e i 5.5 gradi Richter, rendendoli

¹⁹⁵ S. Mauri, *Quando la Luna trema*, Media INAF, 13 maggio 2019. Disponibile su: <https://www.media.inaf.it/2019/05/13/quando-la-luna-trema/>

¹⁹⁶ S. Mottaghi, H. Benaroya, *Lunar seismic structural analysis*, cit., p. 491, cfr. Mauri, 2019.

¹⁹⁷ *Ibidem*.

¹⁹⁸ S. Mottaghi, H. Benaroya, *Lunar seismic structural analysis*, cit., p. 492.

le fonti sismiche più energetiche. Gli effetti dei sismi lunari, a causa delle differenze strutturali interne tra la Terra e il suo satellite, non sono paragonabili a quelli causati da un terremoto. Basti considerare la difficoltà che si incontra nel prevedere e determinare il grado di movimento del suolo terrestre, una difficoltà ulteriormente aggravata sulla Luna per via della differenza ambientale. Inoltre, le onde sismiche lunari sono meno attenuate rispetto a quelle terrestri, determinando una propagazione, in termini di superficie coperta, maggiore rispetto alla posizione dell'epicentro e quindi interessando un'area più ampia di quella che ci si aspetterebbe per un terremoto di simile magnitudo¹⁹⁹. Un altro elemento da considerare nella valutazione della costruzione di una base lunare è la superficie altamente fratturata della Luna. Questa caratteristica rende la dispersione delle onde sismiche più intensa. Mentre i segnali sismici sulla Terra sono relativamente brevi e impulsivi, quelli sulla Luna hanno registrato un aumento graduale di intensità nei primi minuti di attività, seguito poi da un declino talmente lento che spesso dura per svariate ore²⁰⁰.

6.2. *Analisi e gestione del rischio.*- I rischi sono elementi intrinseci, non eliminabili, introdotti da situazioni problematiche con effetti indesiderati in termini di costi, prestazioni tecniche e pianificazione, e si misurano in termini di probabilità di accadimento e gravità dell'impatto, in questo caso su una missione spaziale. Nell'analisi dei rischi vanno fissati i margini, ovvero la probabilità di occorrenza di un guasto, entro i quali un progetto viene considerato sicuro o non sicuro. Nel primo caso, si definisce sicura l'architettura spaziale che risulti essere libera da qualsiasi fenomeno catastrofico. Tuttavia, considerando che nessun sistema può essere del tutto privo di rischi e non incorrere in minacce, lo stato di "sicuro totale" non è raggiungibile. Nel secondo caso, invece, possono verificarsi uno o più eventi catastrofici, e la probabilità che uno qualsiasi di questi eventi si verifichi è direttamente proporzionale al grado in cui il sistema è "non sicuro", ovvero vulnerabile²⁰¹. Poiché risulta essere impossibile il raggiungimento di uno stato di piena sicurezza di un sistema spaziale,

¹⁹⁹ J. Oberst, Y. Nakamura, *A seismic risk for the lunar base*, NASA, 1992, p. 232. Disponibile su: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19930008250>

²⁰⁰ *Ibidem*.

²⁰¹ R. P. Ocampo, *Defining, Characterizing, and Establishing "Safe Enough" Risk Thresholds for Human Space Flight*, in "Aerospace Engineering Sciences Graduate Theses & Dissertations", 2016, p. 47.

come qualsiasi altro sistema, l'analisi del rischio serve a rendere il sistema il meno vulnerabile possibile.

La valutazione dei rischi e delle minacce inizia con la raccolta di dati sulle aree minacciate e l'analisi delle informazioni, assegnando alle varie risorse un valore numerico tenendo conto del valore intrinseco del bene e degli impatti a breve e lungo termine qualora questo venisse compromesso. Le minacce contro i beni devono essere identificate e analizzate per determinare la probabilità di accadimento e il loro potenziale di infliggere danno. Se ci sono minacce che possono verificarsi ed esistono vulnerabilità di sistema che potrebbero essere sfruttate dalla minaccia, è necessario determinare se esiste un modo per contrastare la minaccia, sia con mezzi tecnici che con strumenti politici. Qualora nessuna delle due opzioni risultasse essere valida, o qualora risultassero essere eccessivamente dispendiose per implementare le azioni necessarie, allora il rischio residuo deve essere documentato e accettato dalle autorità di missione²⁰².

Sia le probabilità che gli impatti sull'affidabilità possono essere misurati in termini quantitativi e qualitativi. Generalmente l'Analisi del Rischio considera una scala da 1 a 5, la cui divisione varia a seconda del soggetto d'analisi. In generale la probabilità si divide in: "Molto bassa" (1), quantitativamente posizionata tra 0% e il 20%, mentre viene indicata qualitativamente come improbabile e che non richiede una gestione nella maggior parte dei casi; "Bassa" (2), quantitativamente tra il 20% e il 40%, qualitativamente improbabile e la gestione non è richiesta in nessun caso; "Moderata" (3), quantitativamente tra il 40% e il 60%, qualitativamente potrebbe verificarsi e la gestione è richiesta in alcuni casi; "Alta" (4), quantitativamente tra il 60% e l'80%, qualitativamente molto probabile che si verifichi e nella maggior parte dei casi è richiesta la gestione; "Molto alta" (5), quantitativamente superiore all'80%, qualitativamente quasi sicuro che si verifichi e richiede gestione immediata²⁰³.

Per quanto riguarda invece le conseguenze (Effects), la scala nella quale vengono posizionati dipende dal tipo di missione, dai costi, dalla flessibilità dell'azienda nell'accettare i rischi e gli impatti che ne conseguono. Anche in questo caso, tuttavia, è possibile fornire una scala approssimativa della divisione degli impatti a seconda della

²⁰² K. U. Schrogl, et al. *Handbook of space security*, cit.

²⁰³ NASA, *Risk Management Plan*, Exploration Systems Mission Directorate, 2007, p. 7.
Disponibile su: https://www.nasa.gov/pdf/413721main_ESMD-RMP-04.06_Rev_2_FINAL.pdf

loro gravità. Se si considera invece l'analisi dell'effetto di un evento sulla sicurezza dell'equipaggio: un effetto "Molto basso" (1) equivale a lesioni minori che richiedono semplicemente un trattamento di primo soccorso; "Basso" (2), infortuni moderati; "Moderato" (3), grave infortunio; "Alto" (4), lesione permanente invalidante; "Molto alto" (4), morte²⁰⁴. Gli impatti di determinati eventi, invece, sul successo della missione, in particolare sugli obiettivi e le operazioni si divide in: "Molto basso" (1), impatto trascurabile sugli obiettivi di missione; "Basso" (2), impatto minore sulle operazioni con soluzioni alternative disponibili; "Moderato" (3), impatto moderato con soluzioni alternative disponibili; "Alto" (4), impatto importante sulle operazioni senza soluzione alternativa; "Molto alto" (5), incapacità di raggiungere l'obiettivo principale della missione²⁰⁵. La classificazione degli impatti sui costi e sulla tabella di marcia dipende invece dalle disponibilità economiche e tempistiche stabilite nelle prime tre fasi di un programma spaziale.

Le azioni da poter intraprendere sono generalmente quattro. Qualora venisse identificato un rischio i cui effetti sono tollerabili allora il rischio può essere accettato. Questa categoria di rischio va periodicamente ricontrollata per assicurarsi che le condizioni nelle quali viene considerato tollerabile rimangano tali. In presenza invece di rischi che necessitano di misure proattive, si ricorre alla mitigazione. Alcuni rischi richiedono ulteriori informazioni, quindi una ricerca e un'analisi più approfondita, prima che una decisione possa essere presa. Infine si possono osservare quelle categorie di rischio i cui effetti, se il rischio si dovesse realizzare, sono tollerabili dati determinati parametri e circostanze²⁰⁶. Gli effetti possono essere tuttavia intollerabili con un cambio dei fattori che lo rendevano prima tollerabile.

Se si considera che il fattore di rischio (R) è il risultato della moltiplicazione della minaccia (M), vulnerabilità (V) e impatto (I)²⁰⁷, e considerando che non si può agire su R in quanto fattore non eliminabile e tantomeno su M in quanto evento esistente, la gestione del rischio si focalizza sul diminuire il grado di vulnerabilità di un sistema e il conseguente impatto. La gestione del rischio è, infatti, un processo proattivo, finalizzato all'ottimizzazione di determinate risorse per ridurre al minimo V e I.

²⁰⁴ *Ivi*, p. 8.

²⁰⁵ *Ivi*, p. 9.

²⁰⁶ NASA, *Risk Management Plan*, cit., p. 11.

²⁰⁷ $\text{Rischio} = \text{Minaccia} \times \text{Vulnerabilità} \times \text{Impatto}$

Il rischio può essere gestito adottando tre misure principali. La prima, quella preventiva, prevede l'implementazione di azioni tali da poter diminuire la probabilità²⁰⁸ di realizzazione dell'evento pur mantenendo inalterato I. In questo modo, anche se l'impatto sul sistema dovesse essere molto alto, la probabilità che succeda sarebbe bassa e quindi poco vulnerabile a minacce varie. La seconda è quella dell'azione, che prevede la diminuzione di I mantenendo inalterata P. Il rischio a questo punto diventa un rischio tollerabile, nonostante il sistema sia maggiormente vulnerabile. Infine, si può ricorrere all'assicurazione, dove essenzialmente I viene trasferito a terzi rendendo così il rischio accettabile²⁰⁹.

La gestione del rischio si effettua tramite l'elaborazione di analisi strutturate che identifichino, analizzino e valutino, anche matematicamente, il fattore di rischio e i possibili impatti. Una delle tecniche maggiormente utilizzata è la *Probabilistic Risk Analysis* (PRA). Questo è un approccio di modellamento quantitativo del rischio che fornisce un'analisi completa, logica e strutturata con l'obiettivo di identificare e valutare i rischi per l'ottimizzazione, anche in termini economici, della sicurezza e delle prestazioni di un sistema spaziale²¹⁰. La PRA, infatti, stima il rischio e l'incertezza sviluppando modelli logico-matematici assegnando probabilità a eventi più o meno catastrofici²¹¹. Tuttavia, la PRA standard è dispendiosa in termini di risorse e non veloce abbastanza da riuscire a tenere il passo con lo sviluppo tecnologico e di design²¹². Per questo motivo risulta essere estremamente utile per la fase di analisi del rischio di entrambi i processi complementari di *Risk-Informed Decision Making* (RIDM) e *Continuous Risk Management* (CRM), che forniscono una base per la gestione proattiva dei rischi durante tutto il ciclo di vita di un programma.

Il RIDM ha come obiettivo principale quello di fornire al decisore tutte le informazioni necessarie sui rischi per permettergli di poter prendere una decisione che sia maggiormente adatta per il raggiungimento, con successo, degli obiettivi della missione. È quindi proget-

²⁰⁸ Lavorando sulla Probabilità (P) che un evento accada implica lavorare sulla Vulnerabilità (V) di un sistema poiché, come sopra indicato, P è direttamente proporzionale a V. maggiore la vulnerabilità di un sistema, maggiore la probabilità che il rischio si realizzi.

²⁰⁹ M. Spagnulo, *Elementi di management dei programmi spaziali*, cit. pp. 167-168.

²¹⁰ K. Cartner-Journet, et al. *Two Case Studies Illustrating the Management of Risks for the International Space Station*, cit., p. 589.

²¹¹ R. P. Ocampo, *Defining, Characterizing, and Establishing "Safe Enough" Risk Thresholds for Human Space Flight*, cit., p. 54.

²¹² C. Mattenberger, et al., *Lunar landing operational risk model*, cit. p. 2.

tato per facilitare e documentare la selezione di alternative decisionali che siano informate degli eventuali e possibili rischi, c.d. *risk-informed*. Una volta presa la decisione e impostati i requisiti di programma, il processo di CRM viene messo in moto. Il CRM ha l'obiettivo di tracciare e controllare i rischi che sono stati identificati e associati all'alternativa selezionata alla fine del RIDM. Inoltre, il CRM serve per identificare nuovi rischi che potrebbero emergere una volta implementata l'alternativa²¹³.

Un'altra tecnica che viene adottata per l'analisi del rischio è l'analisi attuariale. A differenza delle altre, che stimano il rischio basandosi su modelli logico-matematici, l'analisi attuariale misura il rischio sommando il numero totale di determinati fattori per un determinato periodo. Ad esempio, per calcolare il rischio legato a incidenti spaziali mortali, l'analisi attuariale sommerebbe il numero totale degli incidenti di veicoli spaziali per un determinato periodo, descrivendo poi il sistema con un rapporto tra il numero di incidenti mortali e il numero totale dei voli effettuati da quel sistema stesso. Tuttavia, essendo quest'analisi niente più che un conteggio di dati storici, non fornisce valori di incertezza associati alle misurazioni che risultano invece essere fondamentali per l'elaborazione di alternative progettuali²¹⁴.

Le minacce e i rischi ai quali vengono sottoposti i sistemi spaziali sono molteplici e di varia natura, dalla presenza di detriti spaziali e meteoroidi alle minacce informatiche. L'importanza, ad oggi, dei sistemi spaziali implica la necessità di adottare tutte le misure di sicurezza possibili per contrastare efficacemente i rischi identificati e associati all'uso di queste infrastrutture. Queste sono problematiche che, con la partecipazione sempre maggiore di attori privati in particolare, necessiteranno di ulteriori studi e analisi più approfondite. In particolare, l'aspetto informatico dei sistemi spaziali, specie in vista delle future missioni equipaggiate verso la Luna, dovrà assumere sempre più un ruolo di primaria importanza per garantire non solo la sicurezza e l'integrità dei dati raccolti e trasmessi alle stazioni di terra, ma anche il raggiungimento di tutti gli obiettivi senza mettere a repentaglio la vita degli astronauti a bordo. Non esiste una metodologia di analisi ottimale, poiché ogni missione richiede una tipologia di approccio diverso, ma se integrate tra loro, le varie tecniche di ana-

²¹³ K. Cartner-Journet, et al. *Two Case Studies Illustrating the Management of Risks for the International Space Station*, cit., p. 588.

²¹⁴ R. P. Ocampo, *Defining, Characterizing, and Establishing "Safe Enough" Risk Thresholds for Human Space Flight*, cit., p. 53.

lisi del rischio, dell'impatto e le analisi di affidabilità garantiscono un livello di sicurezza delle infrastrutture spaziali alto. Anche in questo caso, tuttavia, sarà fondamentale regolamentare l'attività dei privati per far sì che si adottino procedure omogenee nel raggiungimento di determinati standard di sicurezza dei programmi spaziali.

Conclusioni.- La storia di successi, ma anche di fallimenti, che ha portato alla conquista della Luna ha plasmato la conoscenza e l'immaginario che abbiamo di essa. A cinquant'anni dall'allunaggio, la NASA ha ora elaborato il programma Artemis, che ambisce a riportare gli esseri umani sulla Luna, ma per restare. A seguito della portata mediatica di questo annuncio, l'interesse pubblico verso il nostro satellite è tornato a crescere, con il contesto politico che sembra maturo per una nuova era di missioni. Sebbene manifestandosi diversamente, oggi come allora il driver principale dell'esplorazione lunare è la competizione globale tra un numero sempre crescente di attori tra Stati, agenzie e società private.

Nonostante il primo allunaggio umano sia avvenuto cinquant'anni fa, le sfide tecnologiche che le potenze spaziali devono affrontare per pareggiare tale risultato restano ancora monumentali. È però evidente che con grandi obiettivi, ma poca volontà di spesa, sia impossibile ripetere le grandiose imprese degli anni Sessanta e Settanta, che si fondavano proprio sui più alti budget della storia della NASA. Gli Stati Uniti sono ancora oggi i leader indiscussi dell'esplorazione spaziale, ma con queste premesse hanno deciso di trasformare il ritorno alla Luna in un obiettivo da raggiungere con partner internazionali e commerciali. A fronte della riduzione dei costi e della condivisione del rischio, Washington potrà infatti dimostrare nuovamente il proprio status di avanguardia tecnologica globale, rendendo chiaro di non essere disposti a fare passi indietro anche a fronte dell'ascesa di nuove potenze spaziali.

Il rinnovato interesse per la Luna permetterà lo sviluppo di tecnologie innovative, mentre la crescente commercializzazione del settore spazio aiuterà a garantire il superamento degli ostacoli che dagli anni Settanta impediscono all'umanità di tornare sulla Luna. Le nuove architetture presentano proposte innovative, ma le cui tempistiche di sviluppo paiono un po' troppo ottimistiche. Pur essendo sintomo della volontà di raggiungere rapidamente gli obiettivi prefissati, tecnologie e strumentazioni hanno infatti bisogno di lunghi periodi di sviluppo. Forzare i tempi senza le adeguate risorse non è quindi un'opzione praticabile, specialmente per quelle tecnologie che devono essere classificate *human rated*. Tutto ciò potrebbe quindi ripercuotersi sulle deadline annunciate pubblicamente dai vari attori pubblici e privati che parteciperanno alla nuova era dell'esplorazione lunare.

Motivazioni scientifiche, politiche ed economiche richiedono un'attenta analisi delle opportunità, dei rischi e delle minacce da affrontare nella progettazione delle future missioni *manned*. Considerando anche che parte di queste architetture fungeranno da pilastro per la successiva esplorazione dello spazio profondo, condurre analisi del rischio e dell'impatto dettagliate è di vitale importanza per ridurre al minimo le possibilità che tragedie come quelle degli Space Shuttle Challenger e Columbia si verifichino nuovamente. La nuova era di esplorazione lunare va dunque valorizzata e ha bisogno di una sempre maggiore pubblicità, per rendere pienamente cosciente l'opinione pubblica globale di quanto queste grandiose imprese abbiano effettive ricadute nella vita di tutti i giorni. Questo permetterà di compiere nuovamente quel passo, sulla Luna, che altro non è che il primo verso l'ineluttabile destino dell'umanità: la ricerca di una nuova casa nello spazio profondo.

BIBLIOGRAFIA

- A. V., *La sonda israeliana si è schiantata sulla Luna. "Problemi al motore"*, Repubblica, 11 aprile 2019. Disponibile su: https://www.repubblica.it/scienze/2019/04/11/news/il_primo_veicolo_privato_e_pronto_a_posarsi_sulla_luna-223802876
- A.V., *I cosmonauti russi si preparano a sbarcare sulla Luna dopo il 2030*, Sputniknews, 19 novembre 2018. Disponibile su: https://it.sputniknews.com/mondo/20181119_6814124-russi-sbarco-luna-2030/
- A.V., *Nuova stazione tra Luna e Terra: accordo fra ESA e Thales Alenia Space per i primi moduli*, Il Messaggero, 4 settembre 2018. Disponibile su: https://www.ilmessaggero.it/tecnologia/scienza/stazione_spaziale_luna_terra_accordo_esa_thales_alenia_space_moduli-3952226.html
- AA.VV., *Grande atlante dello spazio. 50° anniversario dello sbarco sulla Luna*, ed. Libreria Geografica, 2018.
- Anselmi G., *Alla scoperta della Luna*, Il Castello Editore, Milano, 2019.
- Bednar D., *Space Exploration: It's Always Political*, Medium, 21 febbraio 2018. Disponibile su: <https://medium.com/@danny.bednar/space-exploration-its-always-political-and-its-always-about-geography-8a4cf3a8d3ca>
- Bergin C., *Acronyms to Ascent – SLS managers create development milestone roadmap*, NASA Spaceflight, 23 febbraio 2012. Disponibile su: <https://www.nasaspaceflight.com/2012/02/acronyms-ascent-sls-managers-create-developmental-milestone-roadmap/>
- Bergin C., *SLS trades lean towards opening with four RS-25s on the core stage*, NASA Spaceflight, 4 ottobre 2011. Disponibile su: <https://www.nasaspaceflight.com/2011/10/sls-trades-opening-four-rs-25s-core-stage/>
- Berva R., *I rischi connessi all'attività dell'uomo nello spazio: L'intervista all'astronauta italiano, Paolo Nespoli*, in "Upside Risk", n. 7, Accapierre S.r.l., 2016.
- Bianucci P., *Camminare sulla Luna. Come ci siamo arrivati e come ci torneremo*, Giunti Editore, Firenze, 2019.
- Bignami L., *Gli USA e la NASA promettono di riportare l'uomo sulla Luna entro il 2024*, Focus, 11 aprile 2019. Disponibile su: <https://www.focus.it/scienza/spazio/2024-nasa-sulla-luna>
- Bignami L., *Nel 2020 Europa e Russia insieme sulla Luna?*, Focus, 20 ottobre 2015. Disponibile su: <https://www.focus.it/scienza/spazio/entro-5-anni-europa-e-russia-insieme-sulla-luna>
- Brown L., *Fact Sheets: Moon Express Payload Review Determination*, Federal Aviation Administration, 3 agosto 2016. Disponibile su: https://www.faa.gov/news/fact_sheets/news_story.cfm?newsId=20595

- Byers M., *Cold, dark, and dangerous: international cooperation in the arctic and space*, Cambridge University Press, 2019. Disponibile su: <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/EA8CD98F80BBFF8F14447F3613F6E06A/S0032247419000160a.pdf/div-class-title-cold-dark-and-dangerous-international-cooperation-in-the-arctic-and-space-div.pdf>
- Callahan J., *How Richard Nixon changed NASA*, The Planetary Society, 4 ottobre 2014. Disponibile su: <http://www.planetary.org/blogs/guest-blogs/jason-callahan/2014-10-03-how-richard-nixon-changed-nasa.html>
- Capaccioli M., *Luna rossa. La conquista sovietica dello spazio*, ed. Carocci, 2019.
- Caraveo P., *Conquistati dalla Luna. Storia di un'attrazione senza tempo*, Raffaello Cortina Editore, Milani, 2019.
- Cartner-Journet K., et al. *Two Case Studies Illustrating the Management of Risks for the International Space Station*, in "International Journal of Performability Engineering", vol. 9, n. 6, 2013.
- Cavina S., *Men on the Moon. An American history (1969-2019)*, ed. Moderna, Ravenna, 2018.
- Chang K., *For Artemis Mission to Moon, NASA Seeks to Add Billions to Budget*, The New York Times, 13 maggio 2019. Disponibile su: <https://www.nytimes.com/2019/05/13/science/trump-nasa-moon-mars.html>
- Cichana T., Baileyb S. A., Burchc A., Kirby N. W., *Concept for a Crewed Lunar Lander Operating from the Lunar Orbiting Platform-Gateway*, presentato da Lockheed Martin alla 69° edizione dell'International Astronautical Congress (IAC) a Brema, in Germania, 2018. Disponibile su: <https://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/space/documents/ahead/LM-Crewed-Lunar-Lander-from-Gateway-IAC-2018-Rev1.pdf>
- Cofield C., *President Trump Directs NASA to Return to the Moon, Then Aim for Mars*, Space.com, 11 dicembre 2017. Disponibile su: <https://www.space.com/39050-trump-directs-nasa-humans-to-moon.html>
- Colangelo A., *Gateway Logistics Services*, Main Engine Cut Off, 24 ottobre 2018. Disponibile su: <https://mainenginecutoff.com/blog/2018/10/gateway-logistics-services>
- Consultative Committee for Space Data Systems, *Security threats against space missions*, CCSDS Secretariat, Washington, D.C., 2015.
- Cooper C. R., *Apollo Program Cost: An Investment in Space Worth Retrying?*, 22 ottobre 2017. Disponibile su: <https://christopherrcooper.com/blog/apollo-program-cost-return-investment/>
- Crawford I. A., *Lunar Resources: A Review*, in "Progress in Physical Geography", 2015.

- D'Urso S. C., *Towards the final frontier: using strategic communication activities to engage the latent public as a key stakeholder in a corporate mission*, in "International Journal of Strategic Communication", vol. 12, n. 3, 2018.
- Davis J., *NASA's \$17-billion moon rocket may be doomed before it ever gets to the launch pad*, NBC, 8 aprile 2019. Disponibile su: <https://www.nbcnews.com/mach/science/nasa-s-17-billion-moon-rocket-may-be-doomed-it-ncna99106>
- Dillon R. L., Madsen P. M., *Faster-Better-Cheaper Projects: Too Much Risk or Overreaction to Perceived Failure?*, in "IEEE Transactions on Engineering Management", vol. 62, n. 2, 2015.
- Dyson F., "The dawn of the space economy, 1950-1970: the innovation process stage", in A. Sommariva, *The Political Economy of the Space Age*, Vernon Press, Wilmington, 2018.
- Erwin S., *Pentagon report: China's space program 'continues to mature rapidly'*, SpaceNews, 20 agosto 2018. Disponibile su: <https://spacenews.com/pentagon-report-chinas-space-program-continues-to-mature-rapidly/>
- F. Q., *Luna, la Russia ci prova 60 anni dopo gli USA. Nel 2029 il "grande passo"*, Il Fatto Quotidiano, 14 aprile 2015. Disponibile su: <https://www.ilfattoquotidiano.it/2015/04/14/missione-luna-russia-ci-prova-60-anni-dopo-gli-usa-nel-2029-grande-passo/1589311/>
- Falco G., *Job One for Space Force: Space Asset Cybersecurity*, 2018. Disponibile su: <https://www.belfercenter.org/sites/default/files/files/publication/CSP%20Falco%20Space%20Asset%20-%20FINAL.pdf>
- Flam F., *U.S. Should Go Back to the Moon, But Not Because the Chinese Have*, Bloomberg, 9 gennaio 2019. Disponibile su: <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2019-01-09/should-land-on-moon-again-but-not-because-the-chinese-have>
- Fotia F., *Spazio: Stati Uniti e Giappone insieme per la Luna*, Meteoweb, 31 maggio 2019. Disponibile su: <http://www.meteoweb.eu/2019/05/stati-uniti-giappone-insieme-luna/1268490/>
- Foust J., *NASA seeks a rapid launch for a lunar lander*, Spacenews, 28 maggio 2019. Disponibile su: <https://spacenews.com/nasa-seeks-a-rapid-launch-of-a-lunar-lander/>
- Goswami N., *China in Space: Ambitions and Possible Conflict*, in "Strategic Studies Quarterly", 2018. Disponibile su: [https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/SSQ/documents/Volume-12_Issue-1/Go swami.pdf](https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/SSQ/documents/Volume-12_Issue-1/Go%20swami.pdf)
- Grush L., *NASA's future Moon rocket will probably be delayed and over budget yet again: audit*, The Verge, 19 gennaio 2019. Disponibile su:

<https://www.theverge.com/2019/6/19/18691230/nasa-space-launch-system-orion-artemis-moon-human-exploration>

Guidoni U., *Dalla terra alla luna. Il progetto Apollo 40 anni dopo*, ed. Di Renzo Editore, 2011.

Hale W., *Culture change at NASA*, 22 gennaio 2010. Disponibile su: https://blogs.nasa.gov/waynehalesblog/2010/01/22/post_1264172421785/

Hebden K., *ESA investigates health risk of living on the Moon*, Room, 6 luglio 2018. Disponibile su: <https://room.eu.com/news/esa-investigates-health-risk-of-living-on-the-moon>

Hedman E.R., *LOP-G meets ISECG*, The Space Review, 9 luglio 2018. Disponibile su: <http://www.thespacereview.com/article/3529/1>

Heppenheimer T. A., *The Space Shuttle decision: NASA's search for a reusable space vehicle*, NASA, 1999.

Hornek G., et al., *HUMEX: Study on the Survivability and Adaptation of Humans to Long-Duration Interplanetary and Planetary Environments*, 2006. Disponibile su: <https://www.dlr.de/me/PortalData/25/Resources/dokumente/publikationen/humex-summary.pdf>

Howell E., *NASA Eyes Wild Space Tech Ideas to Mine the Moon (and Asteroids)*, space.com, 13 giugno 2019. Disponibile su: <https://www.space.com/nasa-moon-asteroid-mining-concepts-niac-2019.html>

Hsu J., *The Myth of America's Love Affair with the Moon*, space.com, 13 gennaio 2011. Disponibile su: <https://www.space.com/10601-apollo-moon-program-public-support-myth.html>

Intini E., *Dopo Apollo, Artemide: il nuovo programma lunare della NASA è davvero possibile?*, Focus, maggio 2019, disponibile su: <https://www.focus.it/scienza/spazio/nasa-artemide-nuovo-programma-lunare>

Intini E., *La capsula Orion ha completato un importante test di sicurezza*, Focus, 2 luglio 2019. Disponibile su: <https://www.focus.it/scienza/spazio/capsula-orion-luna-test-launch-abort-system>

Kennedy J.F., *Rice stadium moon speech*. Disponibile su: <https://er.jsc.nasa.gov/seh/ricetalk.htm>

Launius R. D., *Public opinion polls and perception of the US human spaceflight*, in "Space Policy", vol. 19, n. 13, 2003.

Levine A. S., *Managing NASA in the Apollo Era*, NASA, 1982.

Lo Campo A., *Il primo turista lunare sarà un imprenditore giapponese*, La Stampa, 18 settembre 2018. Disponibile su: <https://www.lastampa.it/scienza/2018/09/18/news/il-primo-turista-lunare-sara-un-imprenditore-giapponese-1.34046113>

- Madler R. A., McKnight D. S., *Space mission analysis and design*, Microcosm Press, Kluwer Academic Publishers, El Segundo, CA, 1999.
- Marini M., *Moon Express verso la Luna: via libera ai viaggi privati nello Spazio*, Repubblica, 4 agosto 2016. Disponibile su: https://www.repubblica.it/scienze/2016/08/04/news/moon_express_verso_la_luna_via_libera_ai_privati_per_le_minie_re_sp_aziari-145371971/
- Martini M., *La NASA sulla Luna nel 2024?*, A Live Universe, 3 maggio 2019. Disponibile su: <https://aliveuniverse.today/flash-news/missioni-spaziali/3948-la-nasa-sulla-luna-nel-2024>
- Mattenberger C., et al., *Lunar landing operational risk model*, NASA, 2010. Disponibile su: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20100018589.pdf>
- Mauri S., *Quando la Luna trema*, Media INAF, 13 maggio 2019. Disponibile su: <https://www.media.inaf.it/2019/05/13/quando-la-luna-trema/>
- Moenter R., *The International Space Station: Legal Framework and Current Status*, in “Journal of Air Law and Commerce”, vol. 64, n 4, 1999. Disponibile su: <https://scholar.smu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1524&context=jalc>
- Mortarino A., *La conquista dello spazio. L'entusiasmante avventura dell'uomo nell'universo*, ed. Libreria Geografica, 2018.
- Mottaghi S., Benaroya H., *Lunar seismic structural analysis*, in “Safety, Reliability, Risk and Life-Cycle Performance of Structures and Infrastructures”, CRC Press/Balkema, Leiden, 2013.
- Muscattello A. C., Santiago-Maldonado E., *Mars In Situ Resource Utilization Technology Evaluation*, NASA, 2012. Disponibile su: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20120001775.pdf>
- Mussapi R., *Il sogno della Luna. luglio 1969: quando gli uomini hanno camminato sul loro Mito*, Ponte alle Grazie, Milano, 2019.
- NASA, *America's next decade in Space: A report for the Space Task Group*, 1969. Disponibile su: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19710002945.pdf>
- NASA, *Astronautics and aeronautics*, NASA, Washington, D.C., 1969.
- NASA, *Columbia Accident Investigation Board*, NASA, Washington, D.C., 2003.
- NASA, *Cost-benefit analysis used in support of the Space Shuttle Program*. Disponibile su: <http://archive.gao.gov/f0302/096542.pdf>
- NASA, *NASA's exploration system architecture study*, NASA, Washington, D.C., 2005.
- NASA, *Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle Challenger Accident*, NASA, Washington, D.C., 1986.

- NASA, *Risk Management Plan*, Exploration Systems Mission Directorate, 2007. Disponibile su: https://www.nasa.gov/pdf/413721main_ESMD-RMP-04.06_Rev_2_FINAL.pdf
- NASA, *The post-Apollo space program: directions for the future*, 1969.
- National Research Council, *Limiting future collision risk to spacecraft: An assessment of NASA's meteoroid and orbital debris programs*, National Academies Press, Washington, D.C., 2011.
- Norris P., *When Will the United States Go Back?*, Springer Praxis Books, 2019.
- O'Callaghan J., *Surprise NASA Announcement Puts Future Of New Mega-Rocket In Doubt*, Forbes, 17 maggio 2019. Disponibile su: <https://www.forbes.com/sites/jonathanocallaghan/2019/03/17/surprise-nasa-announcement-puts-future-of-new-mega-rocket-in-doubt/#2e09fef91602>
- Oberst J., Nakamura Y., *A seismic risk for the lunar base*, NASA, 1992, p. 232. Disponibile su: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19930008250>
- Ocampo R. P., *Defining, Characterizing, and Establishing "Safe Enough" Risk Thresholds for Human Space Flight*, in "Aerospace Engineering Sciences Graduate Theses & Dissertations", 2016.
- Pettini F., 2019, *ecco le prossime missioni lunari*, Galileo, 27 maggio 2019. Disponibile su: <https://www.galileonet.it/missioni-lunari-nasa-luna-sbarco/>
- Pyle R., *Missione Luna*, ed. Giunti Editore, 2019.
- Resnick B., *Trump's confusing tweet about "Mars (of which the moon is a part)", explained*, 7 giugno 2019. Disponibile su: <https://www.vox.com/science-and-health/2019/6/7/18656865/trump-moon-mars-tweet-artemis-whaaa>
- Ricci E., *La Cina sulla Luna, tra esplorazione, tecnologia e politica*, le Scienze, 4 gennaio 2019. Disponibile su: http://www.lescienze.it/news/2019/01/04/news/chang_e-4_luna_sbarco_cina_politiche_spaziali_usa_russia-4246110/
- Saladini G., *Space Oddity: i rischi di un viaggio su Marte*, in "Upside Risk", n. 7, Accapierre S.r.l., 2016.
- Sandri M., *Nessun vincitore per il Google Lunar X Prize*, gennaio 2018, disponibile su: <https://www.media.inaf.it/2018/01/29/google-lunar-x-prize/>
- Schrogl K. U., et al. *Handbook of space security*, Springer Science+Business Media, New York, 2015.
- Simberg R., *The legacy of the Challenger disaster*, Popular Mechanics, 28 gennaio 2010. Disponibile su: <https://www.popularmechanics.com/space/a5158/4343994/>
- Sloss P., *NASA updates Lunar Gateway plans*, NASA Spaceflight, 11 settembre 2018. Disponibile su: <https://www.nasaspaceflight.com/2018/09/nasa-lunar-gateway-plans/>

- Smith M. S., *NASA's Space Station Program: Evolution and current status*, Congressional Research Center, 2001. Disponibile su: <https://history.nasa.gov/iss testimony2001.pdf>
- Somma R., *Il programma Lunare cinese*, Presentazione Master SIOI, giugno 2019.
- Spagnulo M., *Elementi di management dei programmi spaziali*, Springer-Verlag, Milano, 2012.
- Traballesi A., *Il ritorno alla Luna: problemi e prospettive*, in "Centro Militare di Studi Strategici", 2008.
- Treanni C., *Sulla Luna. A 50 anni dallo sbarco, un viaggio tra scienza e fantascienza*, ed. Cento Autori, 2019.
- Von Braun W., *The Mars Project*, Apogee Books, Burlington, 2006.
- Wall M., *NASA Plans to Build a Moon-Orbiting Space Station: Here's What You Should Know*, space.com, 2018. Disponibile su: <https://www.space.com/41763-nasa-lunar-orbiting-platform-gateway-basics.html>
- West J., *Space Security Index 2018*, Spacesecurityindex.org, Ontario, Canada, 2018.
- Williams D. R., *Future Chinese Lunar Missions*, NASA, 29 gennaio 2019. Disponibile su: https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/cnsa_moon_future.html.
- Zacny K., Chu P., Craft J., Cohen M. M., James W. W., Hilscher B., *Asteroid Mining*, AIAA SPACE 2013 Conference and Exposition. Disponibile su: http://astrostructure.com/Welcome_files/AIAA-2013-5304_Asteroid_Mining.pdf
- Zak A., *ESA develops logistics vehicle for cis-lunar outpost*, Russian Spaceweb, 7 agosto 2017. Disponibile su: <http://www.russianspaceweb.com/imp-lcub.html>
- Zak A., *Our first cis-lunar habitat*, Russian Spaceweb, 6 ottobre 2017. Disponibile su: <http://www.russianspaceweb.com/imp-che.html>
- Zak A., *Russian airlock for the cis-lunar base*, Russian Spaceweb, 22 gennaio 2019. Disponibile su: <http://www.russianspaceweb.com/imp-shm.html>
- Zapata E., *An assessment of cost improvement in NASA COTS/CRS program and implication for future NASA missions*, 2017. Disponibile su: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20170008895.pdf>

SITOGRAFIA

- Casa Bianca, Presidential Memorandum on Reinvigorating America’s Human Space Exploration Program, 11 dicembre 2017. Disponibile su: <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/presidential-memorandum-reinvigorating-americas-human-space-exploration-program/>
- ESA, *Helium-3 mining on the lunar surface*. Disponibile su: https://www.esa.int/Our_Activities/Preparing_for_the_Future/Space_for_Earth/Energy/Helium-3_mining_on_the_lunar_surface
- ESA, *Il viaggio “sulla Luna” di Chandrayaan 1*, 24 ottobre 2008. Disponibile su: http://www.esa.int/ita/ESA_in_your_country/Italy/Il_viaggio_sulla_Luna_di_Chandrayaan-1
- GAO, *Constellation program cost and schedule will remain uncertain until a sound business case is established*. Disponibile su: <https://www.gao.gov/products/GAO-09-844>
- ISRO, *Chandrayaan 2. Indian Ambitions, Universal Aspirations*. Disponibile su: <https://www.isro.gov.in/chandrayaan2-mission>
- Lunar and Planetary Institute. Disponibile su: <https://www.lpi.usra.edu/exploration/multimedia/NASABudgetHistory.pdf>
- NASA, *Apollo 11 mission overview*. Disponibile su: https://www.nasa.gov/mission_pages/apollo/missions/apollo11.html
- NASA, *Artemis Moon Program Advances – The Story So Far*, 31 maggio 2019. Disponibile su: <https://www.nasa.gov/artemis-moon-program-advances>
- NASA, *Economics and the Shuttle*. Disponibile su: <https://history.nasa.gov/SP-4221/ch6.htm>
- NASA, *Explore Moon to Mars*. Disponibile su: <https://www.nasa.gov/specials/moon2mars/>
- NASA, *Forward to the Moon, NASA’s Strategic Plan for Lunar Exploration*, 6 giugno 2019. Disponibile su: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/america_to_the_moon_2024_artemis_20190523.pdf
- NASA, *Ground Ignition Weights*. Disponibile su: https://history.nasa.gov/SP-4029/Apollo_18-19_Ground_Ignition_Weights.htm
- NASA, *In-Situ Resource Utilization*. Disponibile su: <https://www.nasa.gov/isru>
- NASA, *Interim assessment of the NASA culture change effort*. Disponibile su: https://www.nasa.gov/pdf/108679main_BST_culture_Feb05.pdf
- NASA, *Lunar Impact Uncovered More Than Just Moon Water*, 21 ottobre 2010. Disponibile su: https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2010/21oct_1cross2

- NASA, *Man Circles the Moon, the Eagle Lands, and Manned Lunar Exploration*. Disponibile su: <https://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/SP-4009/v4p3g.htm>
- NASA, *Memorandum of Understanding between the National Aeronautics and Space Administration and the Russian Space Agency concerning cooperation on the civil International Space Station*. Disponibile su: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/nasa_rsa.html
- NASA, *Moon's South Pole in NASA's Landing Sites*, 15 aprile 2019. Disponibile su: <https://www.nasa.gov/feature/moon-s-south-pole-in-nasa-s-landing-sites>
- NASA, *NASA Announces Design For New Deep Space Exploration System*. Disponibile su: https://www.nasa.gov/home/hqnews/2011/sep/HQ_11-301_SLS_Decision.html#.XRY9pugzaUk
- NASA, *NASA Invests in 18 Potentially Revolutionary Space Tech Concepts*, 10 aprile 2019. Disponibile su: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-invests-in-18-potentially-revolutionary-space-tech-concepts>
- NASA, *NASA Selects First Commercial Moon Landing Services for Artemis Program*, 31 maggio 2019. Disponibile su: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-selects-first-commercial-moon-landing-services-for-artemis-program>
- NASA, *NASA's management of the space launch system stages contract*, Office of Inspector General, 10 ottobre 2018. Disponibile su: <https://oig.nasa.gov/docs/IG-19-001.pdf>
- NASA, *Report of the Advisory committee on the future of the U.S. space program*. Disponibile su: <https://history.nasa.gov/augustine/racup2.htm>
- NASA, *Seeking a human spaceflight program worthy of a great nation*. Disponibile su: https://www.nasa.gov/pdf/396093main_HSF_Cmte_FinalReport.pdf
- NASA, *Space Launch System (SLS) Overview*. Disponibile su: <https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/overview.html>
- NASA, *Space Launch System: America's Rocket for Deep Space Exploration*, agosto 2018. Disponibile su: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/0080_sls_fact_sheet_10092018.pdf
- NASA, *Space Shuttle Era Facts*. Disponibile su: https://www.nasa.gov/pdf/566250main_SHUTTLE%20ERA%20FACTS_040412.pdf
- NASA, *Top Five Technologies Needed for a Spacecraft to Survive Deep Space*, 20 luglio 2018. Disponibile su: <https://www.nasa.gov/feature/top-five-technologies-needed-for-a-spacecraft-to-survive-deep-space>
- Outer Space Treaty, 1967. Disponibile su: [http://www.unoosa.org/pdf/publications/STSP ACE11E.pdf](http://www.unoosa.org/pdf/publications/STSP%20ACE11E.pdf)
- Progetto *#dearMoon*. Disponibile su: <https://dearmoon.earth/>

- Retemedia, *La guerra tecnologica tra Stati Uniti e Cina: vincere la nuova corsa alla Luna sarà fondamentale*, Retemedia, 11 dicembre 2018. Disponibile su: [https:// www.reccom.org/2018/12/11/la-guerra-tecnologica-tra-stati-uniti-e-cina-sara-fondamentale-chi-vincera-la-nuova-corsa-alla-luna/](https://www.reccom.org/2018/12/11/la-guerra-tecnologica-tra-stati-uniti-e-cina-sara-fondamentale-chi-vincera-la-nuova-corsa-alla-luna/)
- TGCOM24, *Nuova missione spaziale per il Giappone: sulla Luna con un rover*, 6 marzo 2019. Disponibile su: https://www.tgcom24.mediaset.it/spazio/nuova-missione-spaziale-per-il-giappone-sulla-luna-con-un-rover_3195400-201902a.shtml
- The Planetary Society, *How much did the Apollo Program costs?* Disponibile su: [http:// www.planetary.org/get-involved/be-a-space-advocate/become-an-expert/cost-of-apollo-program.html](http://www.planetary.org/get-involved/be-a-space-advocate/become-an-expert/cost-of-apollo-program.html)
- UNOOSA, *Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies*, UNOOSA, 1979. Disponibile su: <http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/intromoon-agreement.html>

SEZIONE SOCIO-ECONOMICA

SPAZIO 3.0: APPROCCI DI NEW SPACE APPLICATI ALLO SVILUPPO DI UN NUOVO SPAZIO ECONOMICO LUNARE*

ROBERTO BERTACIN – MARCO FLORISSI
JONATHAN MORSIA – FRANCESCO PAGNOTTA – ANIELLO VIOLETTI

SOMMARIO: Introduzione. – Capitolo 1. Esplorazione e colonizzazione della Luna. – 1.1. Lo scenario attuale. – 1.1.1. Stati Uniti. – 1.1.2. Cina. – 1.1.3. Europa. – 1.1.4. Russia. – 1.1.5. Giappone. – 1.1.6. Altri attori. – 1.2. Il programma NASA Artemis. – 1.2.1. Lunar Orbital Platform-Gateway. – 1.2.2. Servizi di rifornimento e trasferimento degli equipaggi al Gateway. – 1.2.3. Servizi di trasferimento dal Gateway alla superficie lunare. – 1.2.4. Servizi logistici di trasferimento direttamente sulla superficie lunare. – Capitolo 2. L'esperienza della ISS. – 2.1. Partnership e accordi internazionali ISS. – 2.2. Impatto del mantenimento della ISS. – 2.3. L'attuale ambiente commerciale LEO. – 2.4. Transizione ISS. – 2.4.1. Principi di transizione ISS. – 2.4.2. Strategia di transizione ISS. – 2.4.3. Una valutazione iniziale dell'STPI. – 2.4.4. Metodologia. – 2.4.5. Potenziali attività della stazione spaziale privata e flussi di entrate. – 2.4.6. Partecipazione del governo federale al mercato della stazione privata. – Capitolo 3. Analisi, sfide, opportunità, ritorni/ricadute – analisi SWOT. – 3.1. Scenario setting. – 3.2. Trend e tendenze in atto. – 3.3. Sfide e opportunità. – 3.4. La matrice SWOT applicabile. – 3.5. Una strategia che massimizzi i benefici e minimizzi i rischi. – Capitolo 4. Concept posizionamento Italia. – 4.1. Space Economy-Moon Exploration Plan. – 4.2. Rafforzamento della cooperazione bilaterale con gli USA-NASA. – 4.3. Partecipazione a programmi multilaterali in ambito ESA ed Unione Europea. – Conclusioni. – Bibliografia.

«Ritrovarsi insieme è un inizio, restare insieme è un progresso, ma riuscire a lavorare insieme è un successo...»
Henry Ford

Introduzione.- L'uomo, fin dai suoi albori, ha sempre viaggiato; avere esplorato l'intero pianeta non ha placato la sua sete di scoprire cosa c'è oltre. Anzi, proprio mentre le spedizioni dei viaggiatori raggiungevano gli angoli più sperduti dei continenti, più forte è diventata l'esigenza di individuare nuove mete: se i luoghi sulla terra sono finiti, l'uomo tende a spingersi verso quella che Kennedy, in un discorso sull'Iniziativa Spaziale Nazionale tenuto alla Rice University nel

* Il presente lavoro è stato redatto sotto la supervisione della Dottoressa Delfina Bertolotto.

1962¹, ha chiamato la «*nuova frontiera*» o il «*nuovo oceano*» (lì, in particolare, lui dettò le linee guida del programma spaziale americano incentrato sulla conquista della Luna).

L'immane sforzo di USA e URSS per impadronirsi delle tecniche necessarie a raggiungere la Luna era stato compiuto in vista di una spedizione umana la cui pianificazione era iniziata nel 1961, subito dopo il discorso del presidente Kennedy. La prima domanda alla quale gli ingegneri della NASA avevano dovuto rispondere era di una difficoltà abissale: come portare esseri umani sulla Luna?

Pur avendo sviluppato le tecniche dell'inserzione in orbita lunare e dell'allunaggio con le sonde automatiche, le missioni umane presentavano problematiche straordinariamente più complesse, per il motivo che gli astronauti avevano bisogno di un ambiente nel quale fosse possibile sopravvivere. Inoltre, dovevano essere riportati a casa.

Il 16 luglio 1969 parte Apollo 11. A bordo ci sono il comandante Neil Armstrong, il pilota del modulo di comando Michael Collins e il pilota del modulo lunare Buzz Aldrin. Sono coetanei, tutti nati nel 1930; sono al secondo volo e nessuno di loro volerà mai più.

La missione fu un trionfo, anche se dalla NASA sapevano benissimo che le possibilità di riuscita non superavano il 50%. Probabilmente, oggi, nessuno accetterebbe un livello di rischio così alto. Rileggendo la descrizione di von Braun², si comprende come fossero molti i momenti critici della missione. Nessuna delle manovre poteva fallire, anche se, in molti casi, si poteva pensare a interventi correttivi. Tuttavia, non era difficile individuare il momento di "non ritorno" nell'accensione dei motori di distacco dalla Luna. Prima di tutto, la manovra non era mai stata provata; inoltre, se il motore di ascesa non avesse funzionato, nulla e nessuno avrebbe potuto salvare i due astronauti sulla Luna. Il rischio era così alto che il presidente Nixon aveva già il testo del discorso funebre che avrebbe dovuto leggere alla nazione in caso di tragedia. Non ci fu bisogno di leggerlo, anche se, durante la missione, i rischi non mancarono di certo³.

¹ John F. Kennedy Address at Rice University on the Space Effort (<https://www.rice.edu/kennedy>)

² Sergio Zavoli incontra Wernher Von Braun, <http://www.raiscuola.rai.it/articoli-programma-puntate/sergio-zavoli-incontra-wernher-von-braun/22590/default.aspx>

³ Patrizia Caraveo, *Conquistati dalla Luna, storia di un'attrazione senza tempo*, Milano, 2009.

Il programma Apollo mobilitò enormi risorse sia in termini di investimento che di innovazione non solo nel settore aerospaziale, ma anche attraverso una molteplicità di altri settori (alimentazione, medicina, capacità di calcolo, materiali, biologia, microbiologia, geologia, elettronica, comunicazioni). Esso produsse una molteplicità di spin-off che non sarebbero sorti, o sarebbero apparsi solo molto più tardi, se non ci fosse stato questo immane impegno collettivo di una intera nazione mirato a un obiettivo chiaro e specifico e guidato dall'innovazione. Un esempio fra i tanti è quello dello sviluppo dei circuiti integrati utilizzati per la prima volta nell'Apollo Guidance Computer (AGC), ovvero il computer di bordo del Programma Apollo, o il trapano senza fili, realizzato dalla Black&Decker per dare ad Armstrong e Aldrin la possibilità di staccare campioni di roccia dal suolo lunare, o la tuta da 12 strati per le attività extraveicolari realizzata dalla International Latex Corporation che diverrà poi Playtex, leader mondiale dell'abbigliamento intimo. Le missioni Apollo ispirarono generazioni di giovani, e il sogno di diventare astronauti ebbe un forte impatto motivazionale sulla promozione dello studio delle materie STEM nelle scuole; richiesero organizzazioni in grado di mettere insieme ricercatori e esperti provenienti dalle più diverse discipline e settori in comune cooperazione per risolvere i problemi con un approccio bottom-up e nuovi sistemi di gestione dei rischi. Lo stesso processo sistematico di innovazione interdisciplinare, intersettoriale e trasversale tra i più vari attori è una delle eredità più significative di quella impresa ancora oggi, a distanza di cinquant'anni, importante tanto quanto le missioni stesse⁴.

Il programma lunare americano è stato chiuso perché la molla della sfida è venuta a mancare e, con essa, è svanito il supporto politico. Inoltre, gli Stati Uniti dovevano fare fronte alla guerra del Vietnam, le condizioni straordinarie che hanno reso possibile l'incredibile sforzo tecnologico necessario per la conquista della Luna non si sarebbero più ripetute. La NASA non ha più ricevuto finanziamenti così ingenti: al culmine del programma Apollo, quando tutto era in pieno sviluppo, la NASA aveva un finanziamento pari al 4,5% del budget federale. Oggi è intorno allo 0,5%.

⁴ European Commission (2018), Mission-oriented R&I policies: Case Study Report Apollo Project (US). Available at: <http://europa.eu/!Fj47uu>.

La sfida di Kennedy aveva conferito una priorità straordinaria al programma spaziale, che, per un breve momento storico, ebbe la precedenza sulla corsa agli armamenti nucleari.

Oltre ai finanziamenti, che rimangono un elemento decisivo, il programma Apollo ha avuto successo perché è riuscito a coniugare un obiettivo chiaro da raggiungere entro una scadenza precisa con una volontà politica di lungo termine.

Nel dicembre 2017, il presidente Donald J. Trump ha dato alla NASA una nuova direzione, dicendo all'agenzia di lavorare con partner internazionali e commerciali per riorientare gli sforzi esplorativi sulla luna, con l'obiettivo di andare avanti su Marte e anche oltre⁵.



Figura 1. Rappresentazione visiva delle attività della NASA in orbita terrestre bassa, la Luna e Marte

Secondo la Space Policy Directive-1 (SPD1), «L'amministratore della NASA deve condurre un programma di esplorazione innovativo e sostenibile con partner commerciali e internazionali per consentire l'espansione umana attraverso il sistema solare e riportare sulla Terra nuove conoscenze e opportunità. Oltre all'orbita terrestre bassa, gli Stati Uniti porteranno il ritorno degli umani sulla Luna per l'esplo-

⁵ «La direttiva che firmo oggi rimetterà a fuoco il programma spaziale americano sulla ricerca e la scoperta umana. Rappresenta un primo passo nel riportare gli astronauti americani sulla Luna per la prima volta dal 1972, per esplorazione e uso a lungo termine. Questa volta, non solo planteremo la nostra bandiera e lasceremo le nostre impronte - stabiliremo le basi per un'eventuale missione su Marte, e forse un giorno, mondi oltre».

razione e l'utilizzo a lungo termine, seguiti da missioni umane su Marte e altre destinazioni».

La National Space Exploration Campaign e di agenzia è focalizzata su tre domini principali: bassa orbita terrestre⁶; orbita/superficie lunare e Marte e spazio profondo. La campagna ha quattro obiettivi strategici⁷:

- transizione del volo spaziale umano statunitense in LEO verso operazioni commerciali, in supporto alla NASA e alle esigenze di un mercato emergente del settore privato;
- estendere le operazioni di volo spaziale umano di lunga durata fino all'orbita lunare;
- abilitare l'esplorazione robotica a lungo termine della Luna;
- abilitare l'esplorazione umana della Luna come preparazione per le missioni umane su Marte e più in profondità nel sistema solare.

Negli ultimi anni, abbiamo assistito a cambiamenti radicali nell'attività spaziale globale verso un maggiore coinvolgimento del settore privato. Questi cambiamenti si uniscono sotto l'espressione dominante *New Space*. Possiamo suddividere così i principali periodi di evoluzione spaziale:

- “Spazio -1”, 1926-1942, periodo pre-spaziale, dagli esperimenti di Goddard, fino al V2;
- “Spazio 0”, 1943-1957, periodo pre-spaziale, la corsa militare per i missili balistici intercontinentali, che termina con il lancio del primo satellite in orbita (Sputnik);
- “Spazio 1.0”, 1958-1975 (Space Race) / 1976-2000 (Space Cooperation), attività spaziale controllata dall'attività nazionale ed è principalmente un campo di gioco statale, motivato da considerazioni nazionali;
- “Spazio 2.0”, 2001-2018, un ecosistema *New Space* per le attività spaziali in quanto si introduce il concetto di privatizzazione dello spazio (dalle operazioni iniziali dell'ISS fino ad oggi); due nuovi tipi di giocatori hanno aderito all'attività spaziale globale: paesi piccoli e in via di sviluppo e attori del settore privato;

⁶ LEO – Low Earth Orbit.

⁷ NASA's Exploration Campaign: Back to the Moon and on to Mars, <https://www.nasa.gov/feature/nasas-exploration-campaign-back-to-the-moon-and-on-to-mars> (16 aprile 2018)

- “Spazio 3.0”, 2019-2035, un ecosistema *New Space* che prevede un nuovo progetto visionario in quanto si passa dalla privatizzazione allo sfruttamento dello spazio: gradualmente gli attori governativi spostano la loro attenzione sulle missioni in uno spazio più profondo. Avvicinandosi a missioni spaziali umane a lunga distanza, i governi riprogettano e cercano di differenziare tra le loro attività e quelle del settore privato.

Per molti analisti, nei cicli storici delle attività spaziali, l'ecosistema generatosi nella fase detta dello Spazio 2.0 sta di nuovo evolvendo verso il cosiddetto Spazio 3.0: progetti visionari, dall'espansione della colonizzazione umana dello Spazio oltre l'orbita bassa, verso altri pianeti, a partire dalla Luna verso Marte. La *vision* sottesa alla spinta verso il nuovo ciclo storico, vede la collaborazione di attori e finanziamenti pubblici e privati in una convergenza coordinata di sforzi, nelle fasi di progettazione e sviluppo, e di coesistenza di interessi strategici, geopolitici, socio-economici e commerciali nella programmazione della fase operativa e di utilizzazione.

Vi sono diversi approcci, da mettere a confronto, in questa fase di Spazio 3.0: vi è una visione più “lunare” di Jeff Bezos⁸ e della NASA (quantomeno nella pianificazione di breve-medio periodo), mentre vi è una visione decisamente “marziana” da parte di Elon Musk⁹.

Nei capitoli seguenti, partiremo dal definire il contesto attuale delle attività di esplorazione spaziale con una analisi strutturale e funzionale del progetto *Lunar Gateway* e del programma *Artemis*, nonché dello schema di transizione che verrà attuato nell'utilizzazione dell'orbita bassa terrestre, quale “benchmark” di parametrizzazione degli approcci di governance, utilizzazione e sfruttamento della Luna che verranno in prospettiva adottati, applicheremo a tale contesto una analisi di impatto mediante matrice SWOT in esito alla quale verranno identificate le opportunità di esplicazione di nuovi approcci “*game-changers*” propri della *Newspace* alla progettazione, realizzazione e allo sfruttamento dell'ambiente lunare.

⁸ Imprenditore statunitense, fondatore, presidente e amministratore delegato di Amazon.com. È anche fondatore di Blue Origin, società di start up per voli spaziali.

⁹ Imprenditore, inventore e filantropo sudafricano, con cittadinanza canadese, naturalizzato statunitense. È fondatore, CEO e CTO di Space Exploration Technologies Corporation, co-fondatore, CEO e product architect di Tesla e co-fondatore e CEO di Neuralink.

CAPITOLO 1

ESPLORAZIONE E COLONIZZAZIONE DELLA LUNA

Gli insediamenti umani permanenti su corpi celesti diversi dalla Terra sono un tema ricorrente della fantascienza. Col progredire della tecnologia e col crescere dei dubbi sulla sostenibilità a lungo termine della crescita della popolazione umana, l'idea della colonizzazione della Luna o di altri pianeti per alcuni sembra essere un obiettivo fattibile e utile.

Per via della sua vicinanza alla Terra e della sua geografia ben studiata, la Luna sembra essere il candidato ideale per una prima colonia umana nello spazio, tuttavia il programma NASA Apollo, pur avendo dimostrato la fattibilità del viaggio, ha raffreddato gli entusiasmi per la realizzazione di una colonia lunare perché i campioni di roccia e sabbia riportati sulla Terra, assieme alle successive missioni esplorative, hanno dimostrato la quasi assenza sulla superficie lunare di quegli elementi chimici leggeri che sono essenziali per sostenere la vita.

Tuttavia la recente scoperta di ghiaccio nelle regioni perennemente in ombra del polo sud lunare, assieme all'utilità di sfruttare la Luna sia come banco di prova tecnologico per le future missioni verso Marte sia come avamposto per la futura esplorazione del Sistema Solare, ha riacceso l'interesse e la corsa verso il nostro satellite.

Questi sono solo alcuni dei vantaggi oggettivi e noti, che riconosce anche Chris Hadfield, l'astronauta NASA divenuto celebre per aver suonato sulla ISS Space Oddity, il capolavoro di David Bowie: «una stazione permanente sulla Luna è il prossimo passo logico, sono solo tre giorni di distanza, possiamo permetterci di sbagliare senza uccidere tutti [...] E abbiamo un sacco di cose che dobbiamo inventare e poi testare prima di poterci spingere più lontano».

A questi tradizionali aspetti scientifico-tecnologici vanno oggi ad aggiungersi potenzialità sia commerciali, a partire dallo sfruttamento di risorse rare (sebbene non sia ancora nota la loro quantità) fino al turismo spaziale, sia sociali ed “ambientaliste” per preservare lo stato del nostro pianeta, trasferendo ipoteticamente sul nostro satellite alcune attività industriali maggiormente responsabili degli effetti climatici o comunque altamente inquinanti.



Figure 1. Concept di un primo insediamento umano sulla luna.

1.1. *Lo scenario attuale.*- Alcune delle maggiori agenzie spaziali prevedono un ritorno sulla Luna con missioni umane prima del 2030 e, di fatto, rappresentano il principale catalizzatore di questa nuova corsa alla Luna.

Con l'avvento del cosiddetto Spazio 2.0, che vede la comparsa di nuovi attori nel settore spaziale, per lo più privati, e all'alba della nuova Fase che per molti sta per aprirsi definita Spazio 3.0, sono tuttavia cambiati in molti Paesi gli approcci rispetto al passato sia per sviluppare le tecnologie necessarie, sia per promuovere la nascita di nuovi servizi commerciali, abbassando di conseguenza i costi delle missioni.

Viene quindi di seguito presentata una breve sintesi dei principali teatri mondiali, a fine di individuare con chiarezza gli approcci “istituzionali” classici e quelli più “disruptive” introdotti da questa nuova era spaziale.

1.1.1. *Stati Uniti.*- Sono passati pochi mesi da quando il Vice Presidente della NASA Mike Pence ha dichiarato che l'Agenzia sarebbe tornata sulla Luna entro il 2024 e da allora si lavora sodo alla realizzazione di un piano che permetta, con le attuali tecnologie e al netto di progetti in fase conclusiva, di portare a termine l'obiettivo.

Con il suo programma denominato “Moon to Mars”¹⁰ l’agenzia spaziale statunitense conferma essere la colonizzazione di Marte il suo vero obiettivo finale, ma con uno step intermedio nell’orbita e sulla superficie lunare, come dichiarato dal suo amministratore capo Jim Bridenstine: «President Donald Trump has asked NASA to accelerate our plans to return to the Moon and to land humans on the surface again by 2024. We will go with innovative new technologies and systems to explore more locations across the surface than was ever thought possible. This time, when we go to the Moon, we will stay. And then we will use what we learn on the Moon to take the next giant leap-sending astronauts to Mars»

Tale piano risolverà ed evolve quanto già concepito nell’ambito dell’International Space Exploration Coordination Group (ISECG¹¹), gruppo di coordinamento volontario del quale sono parte NASA, ESA e le principali Agenzie Spaziali internazionali (ASI, CNES, DLR, JAXA, Roscosmos, CNSA, etc.), e dettagliato nella sua Global Exploration Roadmap (GER 2018).

Questa ultima edizione della Global Exploration Roadmap (Figura 2) riafferma l’interesse delle agenzie partner per espandere la presenza umana nel Sistema Solare, con la superficie di Marte come obiettivo di guida comune. Riflette uno sforzo internazionale coordinato per preparare le missioni di esplorazione spaziale che iniziano con la Stazione Spaziale Internazionale (ISS) e proseguono nelle vicinanze lunari, la superficie lunare, quindi su Marte.

¹⁰ <https://www.nasa.gov/topics/moon-to-mars>

¹¹ Nel 2006, 14 agenzie spaziali hanno iniziato una serie di discussioni sugli interessi globali nell’esplorazione spaziale. Insieme hanno intrapreso il passo senza precedenti di elaborare una visione per l’esplorazione spaziale robotica e umana pacifica, concentrandosi su destinazioni all’interno del sistema solare in cui un giorno gli esseri umani potrebbero vivere e lavorare, e sviluppato un insieme comune di temi chiave di esplorazione dello spazio. Questa visione è stata articolata in *The Global Exploration Strategy: The Framework for Coordination*, che è stato rilasciato nel maggio 2007. Una conclusione chiave di questo documento quadro è stata la necessità di istituire un meccanismo di coordinamento internazionale volontario e non vincolante attraverso il quale le singole agenzie possono scambiarsi informazioni per quanto riguarda interessi, obiettivi e piani di esplorazione spaziale con l’obiettivo di rafforzare sia i singoli programmi di esplorazione sia gli sforzi collettivi. Questo meccanismo di coordinamento è l’International Space Exploration Coordination Group (ISECG).

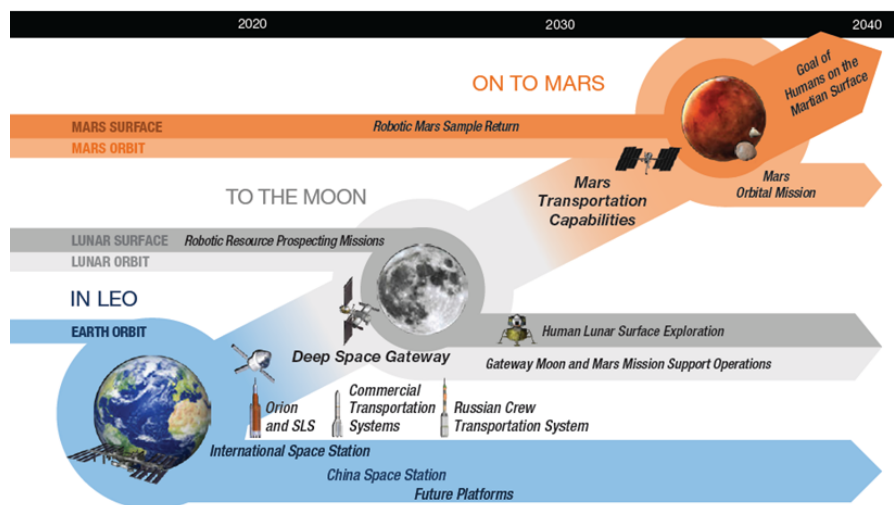


Figura 2. La Global Exploration Roadmap (GER) prodotta nell'ambito dell'ISECG.

Secondo tale ambizioso scenario (Figura 3) veniva previsto che entro la metà del 2020 un Deep Space Gateway (rinominato poi in LOP Lunar Orbital Platform-Gateway LPO) posto nelle vicinanze lunari avrebbe aperto la frontiera spaziale per l'esplorazione umana di Luna, Marte e asteroidi, espandendo gradualmente l'esplorazione umana e le attività verso lo spazio profondo. Il Gateway avrebbe supportato le attività su e intorno alla Luna e sarebbe servito anche come banco di prova per le tecnologie e le operazioni che avrebbe poi consentito agli esploratori umani di affrontare le sfide e i rischi dell'esplorazione dello spazio profondo.

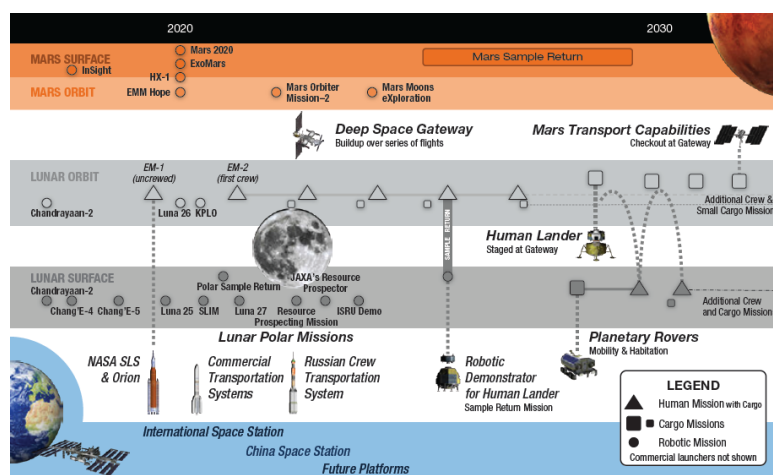


Figura 3. L'ISECG GER Mission Scenario.

All'interno del disegno complessivo di Moon to Mars, il programma Artemis¹² costituisce la prima fase dell'ambizioso programma ed è basato su un approccio a due fasi: una prima fase finalizzata alla realizzazione della base cislunare Lunar Orbital Platform-Gateway (LOP-G) e del ritorno dei primi umani sulla superficie lunare entro il 2024 (con una anticipazione di ben 4 anni rispetto alla precedente ipotesi); una seconda fase con l'obiettivo di stabilire una presenza umana sostenibile sulla e attorno alla Luna entro il 2028.

Artemis viene infatti vista come il primo passo verso l'obiettivo a lungo termine di stabilire una presenza sostenibile sulla Luna, gettando le basi per le compagnie private al fine di costruire una economia lunare, e alla fine inviando esseri umani su Marte.

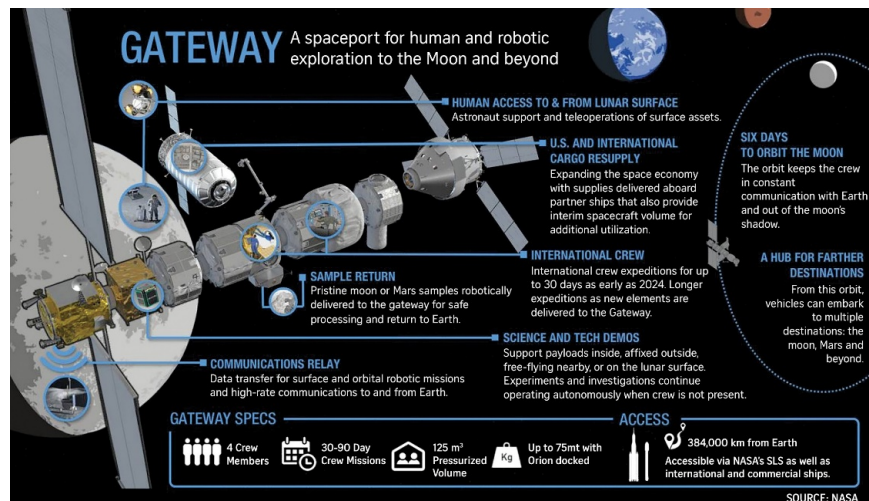


Figura 4. Layout del Lunar Orbital Platform – Gateway.

Una delle immediate conseguenze di tale accelerazione è il fatto che i ruoli principali per i partner internazionali sono per lo più rimandati alla seconda fase, e che la NASA per raggiungere il suo ambizioso primo traguardo ha dovuto trovare nuove soluzioni per minimizzare tempi di sviluppo e rischi. Il principale strumento su cui ha deciso di puntare è rappresentato dalle partnership con il settore commerciale

¹² <https://www.nasa.gov/feature/what-is-artemis/>

privato, sulla scia di quanto sta avvenendo con i Commercial Resupply Services (CRS)¹³ per i rifornimenti della ISS.

Il programma NextSTEP¹⁴ (Next Space Technologies for Exploration Partnerships), gestito dalla divisione Advanced Exploration Systems della NASA, punta infatti attraverso partnership pubblico-privato allo sviluppo commerciale di capacità di esplorazione dello spazio profondo per supportare missioni spaziali umane più estese all'interno e all'esterno dello spazio cislunare. Tale programma rappresenta, come meglio descritto in seguito, l'elemento cruciale in particolare per la costruzione del LOP-Gateway cislunare.

A fianco del piano NASA, grazie all'avvento del cosiddetto Spazio 3.0 e alla comparsa di nuovi attori e visionari privati, stanno prendendo forma anche altri concept per l'esplorazione, la colonizzazione e la commercializzazione del nostro satellite.

Primo fra tutti vi è Jeff Bezos che, con la sua Blue Origin, vuole andare sulla Luna con l'idea di sfruttarne le risorse per permettere agli esseri umani di colonizzarla e perfezionare sistemi di viaggio verso altri pianeti del nostro sistema solare. Bezos ha infatti presentato il suo ambizioso progetto nel corso di un evento riservato a Washington, dove ha anche raccontato la sua visione da fantascienza sul futuro dell'umanità: vivere e lavorare in enormi stazioni spaziali orbitali, che permettano di preservare meglio la Terra e di metterla al riparo dalle nostre attività, che si sono rivelate determinanti nel causare il riscaldamento globale. Con il motto "Going to Space to Benefit Earth", la visione di Bezos, infatti, partendo dalla constatazione della crescita costante della popolazione umana accompagnata da un sempre maggiore consumo di risorse energetiche, identifica gli impatti socio-economici come la determinante futura della esplorazione umana, che obbligherà l'umanità ad attuare un piano d'industrializzazione spaziale, tale da preservare le risorse native ed inquinare il meno possibile il nostro pianeta.

¹³ Commercial Resupply Services (CRS) è il nome dei contratti commerciali che la NASA stipula con aziende private per il trasporto di merci alla Stazione Spaziale Internazionale. Le aziende vincitrici dell'appalto per questi contratti sono la Space Exploration Technologies Corporation (SpaceX) e la Orbital Sciences Corporation (poi Orbital ATK, oggi acquisita da Northrop Grumman Innovation Systems), che si sono aggiudicate rispettivamente 12 e 8 lanci, con opzioni per estendere il servizio. Per questi servizi, SpaceX utilizza le sue navicelle Dragon e i suoi Falcon 9 come vettore, mentre Orbital, utilizza i suoi Cygnus con vettori Antares.

¹⁴ Ref. <https://www.nasa.gov/content/nextstep-overview>

Nel mese di maggio Bezos ha presentato ufficialmente un modello in scala del suo lander Blue Moon che, all'interno dell'omonima missione, dovrebbe consentire il raggiungimento della Luna entro il 2024, fornendo (nella sua versione iniziale) servizi di trasporto di merci ed equipaggio sulla superficie lunare. Tale lander inoltre potrebbe supportare i piani NASA nel realizzare il suo programma Artemis nei tempi prestabiliti, avendo ricevuto un contratto nell'ambito delle varie partnership pubblico-private istituite dall'agenzia statunitense.

Quello che ad oggi manca a Blue Origin è un lanciatore abbastanza potente da arrivare sulla Luna: nemmeno la futura versione del New Glenn sarà probabilmente in grado di lanciare una navicella verso la Luna. Quindi, se la NASA non arriverà a concludere il progetto del nuovo lanciatore super-heavy Space Launch System (SLS), perennemente in ritardo, e in mancanza di un potenziamento del New Glenn, resterebbe per Bezos una sola opzione per raggiungere la Luna in tempi forse brevi: il Falcon Super Heavy del "rivale" Elon Musk.

Differente la visione del visionario imprenditore sudafricano di SpaceX, per il quale l'obiettivo finale resta ancora Marte: «Fondamentalmente, il futuro è molto più eccitante se diventiamo una civiltà spaziale e una specie multi-planetaria». Secondo Musk «È importante avere una base in grado di sostenersi autonomamente su Marte perché è abbastanza lontana dalla Terra nel caso di una guerra, e quindi ha più probabilità di sopravvivere rispetto a una base sulla Luna. Se scoppiasse la Terza Guerra Mondiale vogliamo essere sicuri che ci siano abbastanza semi della civilizzazione umana da qualche parte da poterla riportare indietro, e accorciare la durata di un nuovo medioevo». Ciononostante, sulla lista dei suoi progetti futuri ritroviamo comunque di nuovo la Luna.

Infatti, non prima del 2023 il The dearMoon project¹⁵, pensato e finanziato dal miliardario giapponese Yusaku Maezawa, intende far prendere posto su una navicella di SpaceX ad un gruppo di artisti internazionali facendoli viaggiare per sei giorni in orbita attorno alla Luna.

Il viaggio avverrà a bordo della navicella Starship, messa in orbita mediante il futuro lanciatore riutilizzabile Super Heavy Rocket (la configurazione è nota anche come BFR Big Falcon Rocket), entrambi

¹⁵ <https://dearmoon.earth/>

in fase di sviluppo. Il BFR rappresenterà anche la chiave per SpaceX per raggiungere il pianeta rosso¹⁶ potenzialmente già nel 2022.

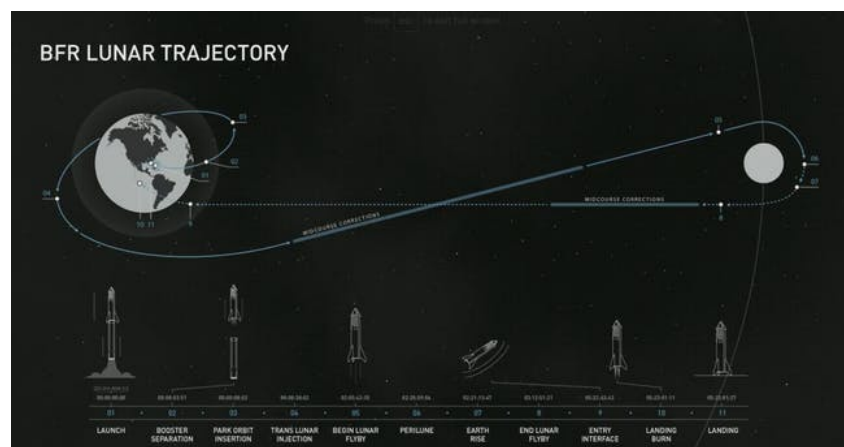


Figure 2. Profilo di missione previsto per il primo volo lunare del BFR.

Infine, sebbene non direttamente contemplato nei piani di Musk, l'utilizzo dei sistemi di lancio Falcon Heavy di SpaceX già disponibili e della capsula Dragon2 (o Crew Dragon), ad oggi da utilizzarsi assieme alla CST-100 Starliner di Boeing per il Commercial Crew Program verso la ISS, rientra invece nel Moon Direct plan presentato da Robert Zubrin, presidente della Mars Society e della Pioneer Astronautics.

Tale piano¹⁷ offrirebbe, secondo Zubrin, notevoli vantaggi rispetto al piano NASA basato sul LOP-G, in termini di costi (prevista una riduzione di circa 40 volte i costi di missione) e di rischi, consentendo l'invio dell'equipaggio umano sulla Luna in minor tempo (basandosi su tecnologie già disponibili) e richiedendo lo sviluppo del solo lander (denominato Lunar Excursion Vehicle – LEV).

¹⁶ <https://www.inverse.com/article/51291-spacex-here-s-the-timeline-for-getting-to-mars-and-starting-a-colony>

¹⁷ <https://spacenews.com/op-ed-lunar-gateway-or-moon-direct/>

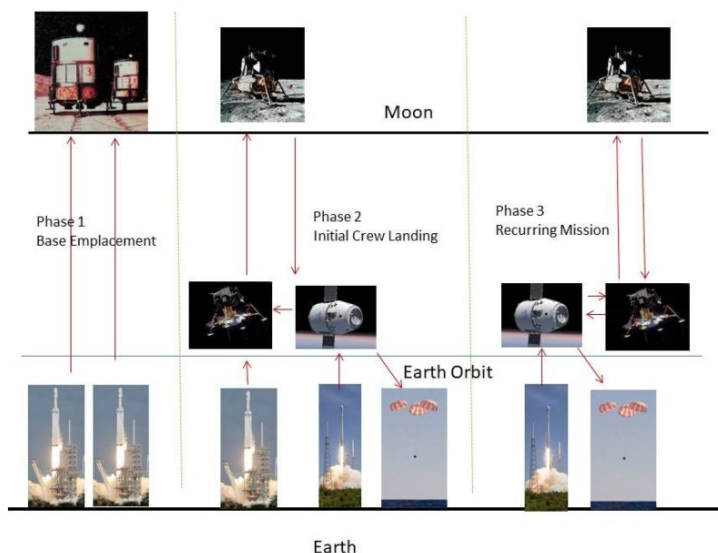


Figure 3. Direct Moon plan. Nella Fase 1 verrebbero utilizzati due Falcon Heavy per trasferire i primi moduli abitativi della base e altri carichi sulla Luna. Nella Fase 2, un Falcon Heavy e un Falcon 9 sarebbero usati per trasportare l'equipaggio sulla Luna a bordo di un Lunar Excursion Vehicle (LEV). Nella Fase 3, solo un Falcon 9 viene utilizzato per trasferire l'equipaggio all'orbita LEO e rifornire di carburante il LEV. Successivamente l'equipaggio raggiungerebbe la superficie lunare a bordo del LEV, che rifornirebbe anche la base lunare.

Oltre alle visioni dei due miliardari americani, si stanno muovendo, seppure in dimensione ridotta, altre iniziative private nell'ambito di progetti legati alla Luna. Ne è stato un esempio il Lunar XPrize di Google che puntava a promuovere nuovi progetti e startup nel mondo.

Benchè il Google Lunar X Prize sia stato ufficialmente concluso, senza vincitori, il 23 gennaio 2018, nel febbraio del 2019, ad esempio, un razzo Falcon 9 di SpaceX ha lanciato il lander lunare Beresheet costruito dalla organizzazione non profit israeliana SpaceIL¹⁸, partecipante a tale competizione, che sta ora preparando il prossimo Beresheet 2.0. Nonostante l'allunaggio fallimentare, questo rappresenta ad oggi il primo tentativo concreto totalmente privato di lanciare un lander sulla superficie lunare.

Un altro esempio è rappresentato dall'azienda privata statunitense Moon Express che, avendo partecipato anch'essa al Lunar XPrize di Google, punta a fare del polo sud della Luna un sito permanente per

¹⁸ <http://www.visit.spaceil.com/>

gli sbarchi, sebbene il lancio è ad oggi previsto avvenire non prima del 2020.

1.1.2. *Cina.*- La China National Space Administration (CNSA) è impegnata da oltre un decennio come unico attore nazionale (che mantiene dunque un approccio completamente istituzionale) nel settore spaziale e, in particolare, nel programma di esplorazione lunare che prevede lo sbarco di robot – ed eventualmente astronauti – sulla Luna.

Nel gennaio 2019 il suo lander Chang'e-4, con il suo rover Yutu-2, è stato il primo velivolo spaziale ad essere arrivato sulla faccia nascosta del satellite, per effettuare analisi e ricerche per ricostruire la storia del mantello lunare. A complemento, il satellite relay Queqiao, precedentemente lanciato in orbita lunare, è in grado di garantire le comunicazioni con la Terra in qualsiasi punto della superficie.

Ma l'aspetto forse più interessante del successo di Chang'e-4 riguarda le politiche spaziali e i rapporti internazionali nel loro complesso. Grazie a queste sue capacità tecnologiche la Cina ha già attratto collaborazioni con diversi altri paesi per portare avanti le proprie politiche spaziali. Non è un caso, per esempio, che a bordo della missione Chang'e-4 ci siano strumenti ed esperimenti frutto di collaborazioni con ricercatori olandesi, tedeschi, svedesi, sauditi.

Dopo essere stata la prima nazione a far atterrare un rover sul lato opposto della Luna, la Cina vuole diventare una superpotenza anche sulla Luna e, per voce del direttore della CNSA Zhang Kejian, ha dichiarato di voler costruire una base di ricerca sul polo del satellite entro 10 anni. I programmi di esplorazione lunare della Cina sono e restano naturalmente sotto stretto controllo governativo anche in termini di fonti di finanziamento e di processi di gestione.

La Cina ha inoltre intenzione di portare in orbita, nel 2020, le parti centrali per la costruzione della sua nuova stazione spaziale Tiangong, che entrerà in attività entro il 2022 e, analogamente alla ISS, sembrerebbe poter aprire la collaborazione a scienziati ed eventualmente astronauti di altri Paesi per ricerche a bordo.

1.1.3. *Europa.*- L'Europa si affianca a Cina e Stati Uniti in una rinvigorita corsa allo spazio, in particolare verso il nostro satellite. Diversi i segnali importanti a sostegno.

Il progetto, soprannominato Moon Village, è stato presentato per la prima volta nel 2015 dal neo direttore generale ESA Johann-

Dietrich Woerner, e l'idea è stata poi pianificata dalla Moon Village Association (MVA)¹⁹, una ONG appositamente fondata nel 2017.

Il Moon Village non sarà solo una stazione spaziale internazionale sulla Luna, ma si propone di essere un insediamento lunare permanente ed espandibile che possa servire come polo di ricerca per l'industria e l'università, per i viaggi commerciali e come terreno di prova per Marte.

«Tutti quelli che vogliono partecipare sono i benvenuti: sono già oltre 70 gli attori che hanno sottoscritto questa azione internazionale», afferma il direttore generale ESA. Il progetto sta prendendo forma, anche se al momento al di fuori del contesto istituzionale ESA, tentando di riprodurre per esso un approccio di NewSpace basato sul coinvolgimento di privati: «già alla fine di quest'anno partiranno alcune missioni private, proprio come ha fatto la recente missione israeliana, sempre nell'ambito del Moon village».

L'ESA intende svolgere comunque un ruolo di attore principale europeo, particolarmente per la realizzazione di missioni robotiche precursori: l'Agenzia sta infatti lavorando assieme a MVA e ad aziende private europee (come ArianeGroup, etc.) per missioni finalizzate, ad esempio, alla estrazione e sfruttamento della regolite lunare per la produzione di acqua e ossigeno o la costruzione di strutture elementari (mediante stampa 3D, ad esempio), ed ha in atto una collaborazione con Roscosmos per la partecipazione, con contributi tecnologici europei, alle prossime missioni russe di esplorazione robotica della superficie lunare del programma Luna²⁰.

L'ESA ha inoltre avviato anche altre iniziative, come il bando Metalysis-Esa Grand Challenge²¹ di 500.000 €, per stimolare le

¹⁹ L'associazione Moon Village (MVA) è stata recentemente creata come organizzazione non governativa (ONG) con sede a Vienna. Il suo obiettivo è la creazione di un forum informale globale permanente per le parti interessate come i governi, l'industria, il mondo accademico e il pubblico interessato allo sviluppo del Moon Village. L'MVA promuove la cooperazione per i programmi di esplorazione globale della luna esistenti o pianificati, siano esse iniziative pubbliche o private. Comprende circa 220 membri provenienti da oltre 39 paesi e 25 membri istituzionali in tutto il mondo, che rappresentano una vasta gamma di campi tecnici, scientifici, culturali e interdisciplinari.

MVA collabora inoltre con organizzazioni non spaziali per promuovere discussioni internazionali e formulare piani per l'implementazione del Villaggio della Luna e sta creando reti internazionali, nazionali e regionali per coinvolgere la società civile in tutto il mondo (<https://moonvillageassociation.org/>).

²⁰https://www.esa.int/Our_Activities/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/Luna

²¹https://www.esa.int/About_Us/Business_with_ESA/ESA_Grand_Challenge/Metalysis_ESA_Grand_Challenge_launched

aziende europee a lavorare su idee e modalità innovative per scovare e usare materiali direttamente sulla Luna.

In parallelo, a valle delle risoluzioni della Ministeriale Space19+ di Siviglia²², l'agenzia prorogherà il suo impegno nelle attività a bordo della ISS fino al 2024, nonché contribuirà alla fornitura dei moduli abitativi (I-HAB) e di supporto (ESPRIT) per la configurazione espansa del Gateway lunare, nell'ambito del programma NASA Artemis. In tale scenario, l'Italia può vantare un duplice coinvolgimento, uno attraverso l'ESA e l'altro con la storica collaborazione con gli USA, da poco rafforzata con una intesa recentemente sottoscritta da ASI e NASA (dedicata alla riconosciuta capacità delle aziende italiane di realizzare moduli pressurizzati abitativi per lo spazio).

Nell'ambito del programma Artemis, l'ESA è inoltre impegnata con le agenzie spaziali canadesi e giapponesi a preparare la missione robotica Heracles sulla Luna, prevista per la fine della decade 2020. Utilizzando il Gateway come base d'appoggio, la missione rilascerà sulla superficie un rover per scopi esplorativi, di dimostrazione tecnologica e per riportare campioni sulla Terra.



Figura 5. Rappresentazione della missione Heracles..

In Europa l'approccio multilaterale si mantiene dunque essenzialmente istituzionale secondo gli schemi di sviluppo tradizionali dell'Upstream Old Space e del public space procurement ESA. A livello dei singoli Paesi, le Agenzie Spaziali nazionali continuano a rappresentare ad oggi l'unico driver per lo sviluppo delle tecnologie da utilizzarsi in questa nuova corsa alla Luna.

²² esa.int/About_Us/Corporate_news/ESA_ministers_commit_to_biggest_ever_budget

Va tuttavia evidenziato come alcune aziende europee (Airbus Defence and Space e l'italiana D-Orbit) abbiano già stipulato accordi o memoranda con alcune delle compagnie private americane coinvolte nel programma NASA CLPS, per la promozione delle partnership pubblico-privato.

Infine, anche in Europa iniziative come il Lunar X Prize di Google hanno incentivato la nascita di nuove startup come la tedesca PTScientists²³, che collabora con Audi e Vodafone per realizzare lander e rover lunari, e che nel mese di gennaio ha ricevuto da ESA un contratto di un anno per uno studio di missione, in collaborazione con ArianeGroup (con la quale già aveva stretto un accordo di lungo termine nel 2018), per l'estrazione di regolite lunare e da lanciarsi non prima del 2025.

1.1.4. *Russia*.- Analogamente a quanto avviene in Europa, anche in Russia l'Agenzia Spaziale Roscosmos, malgrado le difficoltà di budget e una serie di ritardi e cancellazioni, mira a svolgere un ruolo chiave nella colonizzazione del nostro satellite.

Unico attore nello scenario nazionale l'agenzia spaziale russa ha, ad oggi, in programma diversi lander lunari in via di realizzazione nell'ambito del programma Luna (il primo dei quali Luna-25 previsto essere lanciato nel 2021).

Di particolare interesse però è il discorso fatto nel maggio scorso dal capo dell'agenzia Dmitry Rogozin su uno sbarco lunare indipendente con i cosmonauti russi entro il 2030, che si aggiunge a quello fatto a gennaio circa la costruzione di un lanciatore "super-heavy" denominato Yenisei entro il 2028.

Tralasciando la fondamentale domanda su come la Russia possa finanziare una così grande impresa, il tentativo russo di far sbarcare degli umani sulla Luna va a competere con il programma americano Artemis e le ambizioni della Cina.

Il piano russo includerebbe poi lo sviluppo della navicella "Federazione" entro il 2022, con il suo primo volo verso la Stazione Spaziale Internazionale entro il 2023. I voli nello spazio profondo di questo veicolo spaziale seguiranno a metà della prossima decade, insieme al ritorno sulla Terra di campioni di suolo lunare attraverso la sonda Luna-Grunt nel 2027.

²³ <https://ptsScientists.com/>

Infine, nel 2029, inizieranno i voli con equipaggio umano verso l'orbita lunare, insieme ai test di volo di un lander lunare e di un modulo di base lunare gonfiabile. L'atterraggio dell'equipaggio sarebbe previsto nel 2030²⁴, sebbene Rogozin abbia espresso la volontà di anticipare tali date.

In termini di strategia, Rogozin ha confermato di non credere che esista molto potenziale per l'utilizzo industriale della Luna, tema che è invece componente chiave dei piani statunitensi e in generale commerciali per mandare gli umani sulla Luna. Piuttosto, un obiettivo strategico menzionato da Rogozin sarebbe il ruolo di una stazione lunare in difesa contro comete e asteroidi, anche se non viene specificato in che modo.

Alle polemiche che tale intervento ha suscitato si aggiungono altre difficoltà come la preoccupante recente tendenza al fallimento dei lanciatori russi, il futuro incerto della partnership di lunga data con la NASA, problemi di finanziamento e altro ancora. Per tutti questi motivi, è difficile ad oggi immaginare che la Russia, ovvero la sua agenzia spaziale possa lanciare un così ambizioso programma per sbarcare sulla Luna.

1.1.5. *Giappone.*- La Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), l'agenzia spaziale giapponese, ha già storicamente raggiunto il nostro satellite due volte: nel 1990 con la sonda Hiten e nel 2007 con l'orbiter lunare Kaguya (SELENE).

Ad oggi l'agenzia costituisce il principale attore nazionale e, con il suo Lunar Exploration Program, prevede di lanciare entro il 2020 il lander SLIM (Smart Lander for Investigating Moon) con l'obiettivo di testare nuove tecnologie di allunaggio in grado di garantire maggiore precisione sul luogo di sbarco effettivo rispetto all'obiettivo prescelto.

In parallelo, la JAXA sta pianificando di inviare missioni con equipaggio umano sulla Luna tra il 2029 e il 2034 e, nel mese di marzo di quest'anno, ha avviato anch'essa un programma di partenariato pubblico-privato, firmando un accordo con l'azienda Toyota per la costruzione di un nuovissimo rover, da inviarsi sulla superficie lunare mediante un lanciatore americano entro il 2029. Nell'annunciare l'accordo, il presidente della JAXA, Hiroshi Yamakawa, ha espresso la

²⁴

<https://arstechnica.com/science/2019/05/how-russia-yes-russia-plans-to-land-cosmonauts-on-the-moon-by-2030/>

volontà del Giappone di diventare protagonista dell'esplorazione spaziale.

Infine, a fronte della collaborazione ancora in atto nell'ambito della ISS, i governi degli Stati Uniti e del Giappone hanno concordato un'ulteriore cooperazione nello spazio che potrebbe includere voli di astronauti giapponesi sulla luna. Ciò includerebbe contributi come i moduli per il Gateway, che potrebbero garantire degli slot ai paesi contributori nelle missioni successive con allunaggio umano, più o meno nello stesso modo in cui i partner della ISS ottengono posti negli equipaggi delle varie missioni.

1.1.6. *Altri attori.*- Nello scenario mondiale nuovi medi e piccoli attori continuano a contribuire, con i loro programmi spaziali nazionali, alla nuova fase di esplorazione e colonizzazione della Luna.

Ne è un esempio il programma Chandrayaan (noto anche come Indian Lunar Exploration Program) avviato nel 2008 dall'India Space Research Organization (ISRO) ed avente come obiettivo l'esplorazione del satellite al fine di verificare la presenza di risorse (quali depositi di ghiaccio) nel sottosuolo lunare. Una prima missione Chandrayaan-1 lanciata nel 2008, e comprensiva di un orbiter (equipaggiato con strumentazioni europee ed americane) e di un impactor, ha consentito di dimostrare la presenza di ghiaccio solido nel sottosuolo della regione sud polare, nonostante la prematura conclusione a causa della perdita delle comunicazioni con l'orbiter (2009).

Nel luglio 2019 una seconda missione Chandrayaan-2 è stata lanciata con lo scopo di mappare le variazioni nella composizione della superficie lunare, nonché la posizione e l'abbondanza di acqua lunare, mediante un orbiter, il lander Vikram ed il rover lunare Pragyan, tutti sviluppati in India. Il 6 settembre 2019, un problema al software di bordo ha tuttavia causato l'impatto al suolo del lander, nonché la perdita delle comunicazioni, infrangendo così il sogno indiano di diventare il quarto paese a far atterrare con successo un veicolo spaziale sulla Luna.

Nel successivo mese di novembre i funzionari dell'ISRO hanno dichiarato che una nuova missione, denominata Chandrayaan-3, sarebbe stata studiata per il lancio nel novembre 2020. Questa nuova proposta rappresenterebbe un nuovo tentativo di dimostrare le capacità di atterraggio necessarie per la successiva missione di esplorazione

polare lunare (Lunar Polar Exploration Mission) in collaborazione con JAXA (e potenzialmente anche NASA) e prevista per il 2024²⁵.

Seppur con un nuovo approccio multilaterale internazionale a livello di agenzia, ISRO continua a rappresentare ad oggi l'unico driver per lo sviluppo e la fornitura delle tecnologie indiane da utilizzarsi in questa nuova corsa alla Luna

1.2. *Il programma NASA Artemis.*- Il programma Artemis incorpora diversi contributi provenienti sia da progetti NASA cancellati, quale il programma Constellation e la Asteroid Redirect Mission (ARM), che attualmente in corso, come lo sviluppo della capsula Orion, il programma Commercial Lunar Payload Services (CLPS) e la piattaforma spaziale Lunar Orbital Platform-Gateway (ex Deep Space Gateway). Lo Space Launch System (SLS) fungerà da veicolo di lancio principale per Orion, mentre veicoli commerciali di lancio saranno progettati per il lancio di vari altri elementi della campagna, come meglio definito in seguito.

Nel piano della durata di 10 anni (Figura 6) vengono descritti 37 lanci di razzi spaziali sia della NASA sia privati, alcuni includono la presenza dell'uomo, altri invece riguardano missioni del tutto robotiche. Nel 2028, al culmine della missione Artemis, c'è il “Lunar Surface Asset Deployment”, ovvero l'inizio dell'installazione di un avamposto lunare necessario per missioni di lunga durata con presenza di un equipaggio umano.

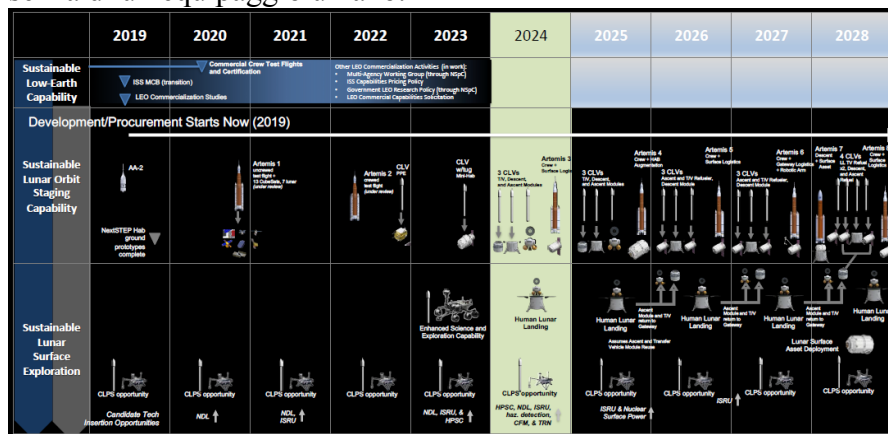


Figura 6. Integrated Artemis Manifest: 2019-2024.

²⁵

<https://timesofindia.indiatimes.com/india/indias-next-moon-shot-will-be-bigger-in-pact-with-japan/articleshow/71030437.cms>

A fronte di questa “accelerazione” del programma è stato chiesto un emendamento di bilancio per lo FY2020 di ulteriori 1,6 B\$ in aggiunta alla iniziale richiesta di budget da 21 M\$ del presidente senza prelevare fondi da altri programmi esistenti della NASA.

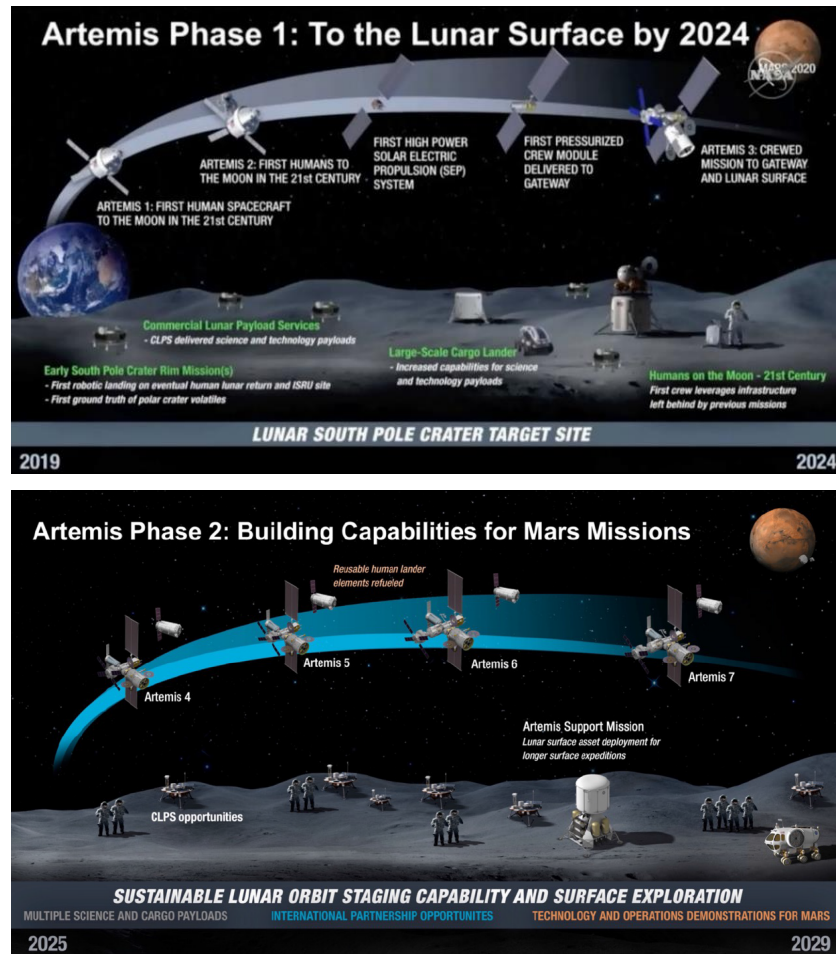


Figura 7. Cronografica delle fasi del programma NASA ARTEMIS Ph1 e Ph2 per l'esplorazione umana del polo sud lunare e la creazione di una base lunare sostenibile.

Il piano proposto dall'agenzia spaziale statunitense prevede di realizzare un complesso sistema, in grado di trasferire gli astronauti dapprima in orbita cislunare e successivamente sulla superficie lunare, che comprende i seguenti elementi:

- 1) Piattaforma orbitante in orbita cislunare di appoggio per il trasferimento da/verso la Terra e da/verso la superficie lunare;
- 2) Servizi di rifornimento e trasferimento degli equipaggi alla piattaforma orbitante;
- 3) Servizi di trasferimento di materiale e personale umano dalla piattaforma orbitante alla superficie della Luna;
- 4) Servizi di trasferimento di payload scientifici e supporti logistici direttamente sulla superficie lunare.

Un ulteriore obiettivo, in linea con la nuova sfida del settore, è quello di rendere il più possibile riutilizzabili questi sistemi di trasferimento e discesa/ascesa.

1.2.1. *Lunar Orbital Platform – Gateway*. - Il Lunar Orbital Platform – Gateway, conosciuto precedentemente anche come Deep Space Gateway, servirà come waypoint per l'Orion MPCV (Multi-Purpose Crew Vehicle) ed il lander lunare.

Il LOP-G sarà una stazione concettualmente molto differente dalla ISS. Sarà decisamente più piccola, circa 40 tonnellate rispetto alle 420 della ISS, e sarà al di fuori dell'azione del campo magnetico terrestre, che non potrà più fornire all'equipaggio protezione dalle radiazioni solari e cosmiche. Seguirà il profilo di un'orbita complessa, chiamata Near-Rectilinear-Halo-Orbit (NRHO), in equilibrio tra i pozzi gravitazionali terrestri e lunari e in un punto privilegiato di osservazione verso la Terra e verso la Luna, permettendo la comunicazione col centro di controllo e la gestione delle operazioni sulla superficie del satellite naturale.

L'annuncio ufficiale della sua creazione da parte del Multilateral Coordination Board (MCB), l'ente che supervisiona e coordina le attività della ISS, è avvenuto a marzo del 2019, dopo anni di studi e negoziati delle cinque agenzie spaziali che lo rappresentano, la statunitense NASA, l'europea ESA, la russa Roskosmos, la giapponese JAXA e la canadese CSA. L'intesa rappresenta per il momento solamente un memorandum: il Canada si è già impegnato con la NASA a fornire un braccio robotico, mentre il Giappone e gli Stati Uniti hanno concluso un accordo di livello governativo per la cooperazione sull'esplorazione lunare nel programma Gateway. L'ESA ha approvato la partecipazione al consiglio ministeriale Space19+ di novembre 2019 e dovrà ora negoziare un accordo in tal senso con la NASA.

Entro il 2024, in relazione al programma Artemis secondo i piani NASA, il Gateway orbitante sarà nella sua fase iniziale e “minimale” di assemblaggio (Figura 8) e sarà costituito da:

- Il Power Propulsion Element (PPE), di circa 7.5 t, ovvero l’elemento di potenza e propulsione, riadattato dalla missione ARM. È a tutti gli effetti un velivolo spaziale elettrico ad alta potenza da 50 kilowatt, tre volte più potente delle attuali capacità. Il PPE sarà portato in orbita lunare già nel 2022 e sarà testato per un anno. Questo primo modulo del Gateway fornirà energia, propulsione e comunicazioni per l’intera stazione orbitante una volta assemblata.

- L’Habitation And Logistics Outpost (HALO), precedentemente noto come Mini-Habitation Module (MHM) o utilization Module, ovvero l’elemento minimale pressurizzato per consentire la sopravvivenza del primo equipaggio.

- Lo Human lunar Landing Systems (HLS), ovvero il veicolo di trasferimento dell’equipaggio dal Gateway alla superficie lunare e ritorno.

Nel mese di maggio 2019, la NASA ha stipulato un contratto (a prezzo fermo e fisso di 375 M\$) con l’azienda americana Maxar Technologies per la realizzazione del modulo PPE, nell’ambito dell’iniziativa Next Space Technologies for Exploration Partnerships (NextSTEP²⁶), per lo sfruttamento delle partnership pubblico-privato.

Il contratto include un periodo di base di 12 mesi e una serie di opzioni che coprono lo sviluppo, il lancio e i test on-space del PPE. Il modulo sarà di proprietà di Maxar per tutto il contratto, al termine del quale la NASA avrà la possibilità di acquistarlo per l’uso sul Gateway (acquisto già incluso nel budget del contratto).

Relativamente al modulo HALO, nel mese di luglio la NASA annunciò di aver individuato in Northrop Grumman Innovation Systems (NGIS), l’unica azienda americana (tra le 6 coinvolte nella progettazione e sviluppo di moduli abitativi nell’ambito del programma NextSTEP-2) in grado di fornire tale modulo entro i limiti temporali previsti dal programma Artemis: «In order to meet NASA’s 2024 human lunar landing deadline, NASA examined the existing

²⁶ NextSTEP (Next Space Technologies for Exploration Partnerships) è un modello di partnership pubblico-privato che punta allo sviluppo commerciale delle capacità di esplorazione dello spazio profondo per supportare missioni spaziali umane sempre più ambiziose. La NASA ha pubblicato l’originale NextSTEP Broad Agency Announcement (BAA) per l’industria nazionale alla fine del 2014 e ha emesso il secondo NextSTEP BAA nell’aprile 2016.

NextSTEP-2 contractors' concepts for deep space habitation modules. ... NGIS was the only NextSTEP-2 contractor with a module design and the production and tooling resources capable of meeting the 2024 deadline»²⁷.

L'azienda americana infatti propone una soluzione basata sul suo Cygnus Cargo resupply module già in uso e prodotto a Torino da Thales Alenia Space Italia, opportunamente adattato per lo specifico scopo, ed in oltre può vantare una catena di produzione già operativa ed una comprovata esperienza tecnica proprio grazie all'accordo industriale detenuto dall'azienda americana con il sub-contractor italiano Thales Alenia Space Italia.

La configurazione "minimale" (o di Phase 1) si completerà con l'invio e l'integrazione in orbita lunare dei tre elementi costitutivi il primo prototipo dello Human lunar Landing Systems (HLS), il lander per il trasferimento dell'equipaggio sulla superficie lunare, ovvero l'elemento per il trasferimento all'orbita lunare bassa, il sistema per la discesa e l'allunaggio (destinato a rimanere sulla superficie) ed il modulo di ascesa per riportare l'equipaggio o i campioni sulla stazione orbitante. Per tale sistema la NASA sta svolgendo una gara aperta alle aziende americane, e prevede di affidare i contratti iniziali di studio a vari candidati entro la fine dell'anno (subordinatamente alla verifica dei finanziamenti che verranno decisi dal Congresso per il FY 2020); successivamente dovrebbero essere selezionati due contraenti per l'affidamento della intera fase di sviluppo e realizzazione di due Lander, di cui uno dovrebbe essere usato per la missione iniziale di Artemis del 2024, e l'altro per la missione del 2025.

²⁷ BA-19-009 JUSTIFICATION FOR OTHER THAN FULL AND OPEN COMPETITION (JOFOC) FOR THE MINIMAL HABITATION MODULE (MHM) <https://spacenews.com/nasa-to-sole-source-gateway-habitation-module-to-northrop-grumman/>

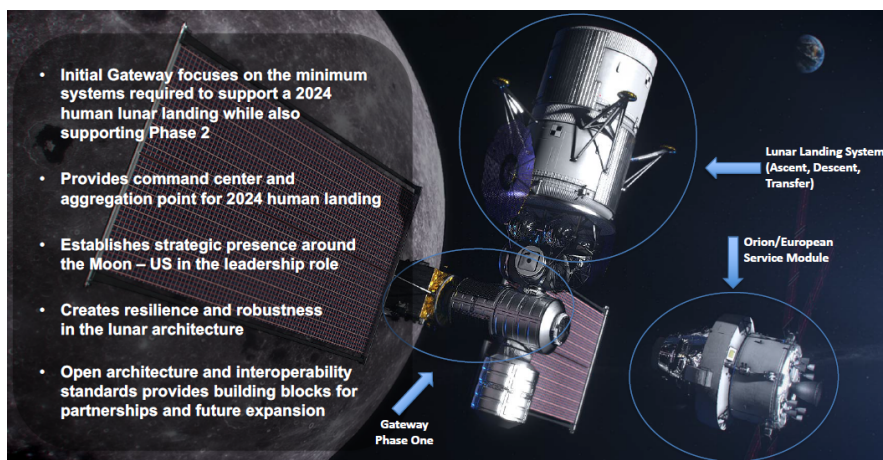


Figura 8. Configurazione minima del Lunar Orbital Platform – Gateway per la fase 1 del programma Artemis.

Nella seconda fase post 2024, la dimensione della piattaforma cislunare verrà incrementata con l'invio e l'assemblaggio di ulteriori moduli abitativi e operativi.

Sebbene la configurazione ad oggi non risulti ancora definitiva, si prevedono ulteriori 5 moduli per un totale di 7 elementi e circa 125 m³ di spazio abitabile (Figura 9):

- L'International Habitation Module (I-HAB) che farà parte della capacità abitativa durante le missioni con equipaggio e costituirà un punto di attracco per altri moduli. Presenta una forma cilindrica con l'aggiunta di quattro portelli, due in asse e due radiali. All'interno ci saranno spazi notte, di cucina e di esercizio fisico. Su di esso sarà inoltre installato il Canadarm3, il braccio robotico contribuito dell'Agenzia Spaziale Canadese (CSA), per le operazioni di attracco e manutenzione.

- L' U.S. Habitation Module (U.S.HAB) che costituirà la parte statunitense del modulo abitativo della stazione, portando a 125 m³ lo spazio abitabile della piattaforma.

- Il modulo European System Providing Refuelling, Infrastructure and Telecommunications (ESPRIT), di circa 4 t, che fornirà una capacità addizionale di stoccaggio per i propellenti xenon e idrazina, nonché addizionale equipaggiamento per le comunicazioni e un airlock per le Attività Extra Veicolari (EVA) e per la strumentazione scientifica.

- I Gateway Logistics Modules che saranno usati come moduli di rifornimento. Il progetto prevede una capacità di carico

pressurizzato di 5 t e 2,6 t di non-pressurizzato, per un totale di 7,6 t (a confronto il Cygnus e l'ATV arrivano a 3,5 t e 9 t).

- Il Gateway Airlock Module fungerà da airlock per eventuali passeggiate spaziali e sarà fornito dalla Russia.

Il modulo europeo ESPRIT verrà fornito come contributo da parte di uno dei partner internazionali, ovvero l'ESA, che ha già avviato due contratti paralleli con i principali LSI europei (Airbus Defence and Space e Thales Alenia Space Italia, con OHB come subco) per lo sviluppo delle prime fasi di definizione (Phase A/B1).

Come per il modulo ESPRIT, anche per l'I-HAB ESA ha già commissionato due studi paralleli di fase A/B1 ai principali LSI europei, ovvero Airbus D&S e Thales Alenia Space Italia. In esito alle decisioni prese dai Ministri degli Stati membri al Consiglio ESA 2019, tale modulo verrà affidato a TAS-I e prodotto negli stabilimenti di Torino. I nuovi moduli risponderanno alle esigenze di avere strutture più leggere, un'architettura funzionale ed avionica migliorata, dei sistemi di controllo termico più efficienti, e soluzioni innovative sia per l'accomodamento di equipaggi e risorse che per gli alloggiamenti, promuovendo spazi interni abitabili più confortevoli.

L'approccio NASA per la realizzazione del modulo abitativo statunitense segue la medesima filosofia di partenariato, dando l'avvio nel mese di marzo 2019 ad una serie di test su diversi prototipi (commissionati già nel 2015) di habitat per lo spazio profondo progettati da compagnie americane commissionate sempre nell'ambito del programma NextSTEP-2.

Con tale approccio, a differenza di quanto fatto per il modulo HALO, la NASA non prevede di selezionare uno specifico prototipo di habitat da destinare al lancio ma, piuttosto, i test previsti per le varie proposte aiuteranno a valutare gli standard di progettazione, le interfacce comuni e i requisiti per il futuro modulo abitativo del LOP-G, riducendo i rischi per eventuali sistemi di volo.

Cinque sono i prototipi sotto analisi ai quali si aggiunge un sesto concept study:

- Lockheed Martin: il prototipo (denominato Habitat Ground Test Article HGTA) è stato realizzato utilizzando il Multi-Purpose Logistics Module (MPLM) "Donatello", originariamente progettato

dall'Italia²⁸ e fornito dall'ASI nel contesto di un accordo intergovernativo Italia-USA per fornire funzionalità logistiche per la Stazione Spaziale Internazionale, nell'ambito del programma ISS. Test effettuati al NASA Kennedy Space Center in Florida;

- Northrop Grumman: il prototipo sfrutta il design della navetta Cygnus, anch'essa della compagnia, che fornisce ancora oggi rifornimenti alla Stazione Spaziale Internazionale ed il cui Modulo Cargo Pressurizzato (PCM), in versione avanzata, è sviluppato e costruito da Thales Alenia Space Italia sempre grazie all'heritage del progetto ASI MPLM. Test effettuati al NASA Johnson Space Center in Texas;

- Boeing: il prototipo (denominato Exploration Habitat Demonstrator) fonda il suo design sulla comprovata esperienza dell'azienda nella realizzazione di moduli della ISS fin dal 1993. Test effettuati al NASA Marshall Space Flight Center in Alabama;

- Sierra Nevada Corporation: il prototipo Large Inflatable Fabric Environment (LIFE) è progettato per il lancio in una configurazione compatta, e viene "gonfiato" una volta nello spazio. Il vantaggio dei moduli gonfiabili (definiti anche espandibili) è la loro configurazione finale in grado di fornire uno spazio vitale molto più ampio rispetto alle strutture rigide tradizionali, che risultano dimensionalmente limitate dal volume del carico utile del lanciatore. Test effettuati al NASA Johnson Space Center in Texas;

- Bigelow Aerospace: il prototipo B330 è un modulo espandibile in grado di fornire 330 m³ di superficie abitabile. Bigelow Aerospace ha già inviato un modulo più piccolo, il Bigelow Expandable Activity Module (BEAM) alla ISS nel 2015. Tale modulo ha completato una dimostrazione di due anni dimostrando con successo la capacità di sopravvivere all'ambiente spaziale e pertanto la NASA ha esteso il tempo di BEAM a bordo della stazione al fine di utilizzarlo quale modulo di stoccaggio. Test previsti presso Bigelow Aerospace in Nevada;

- NanoRacks: il suo concept study propone di rinnovare e riutilizzare il serbatoio del propellente di uno stadio di un razzo esaurito, sfruttando il vuoto naturale dello spazio per drenare i residui di propellente. La società ha già completato uno studio di fattibilità del concept.

²⁸ <https://www.astronautinews.it/2019/03/returning-astronauts-to-the-moon-lockheed-martin-finalizes-full-scale-cislunar-habitat-prototype/>

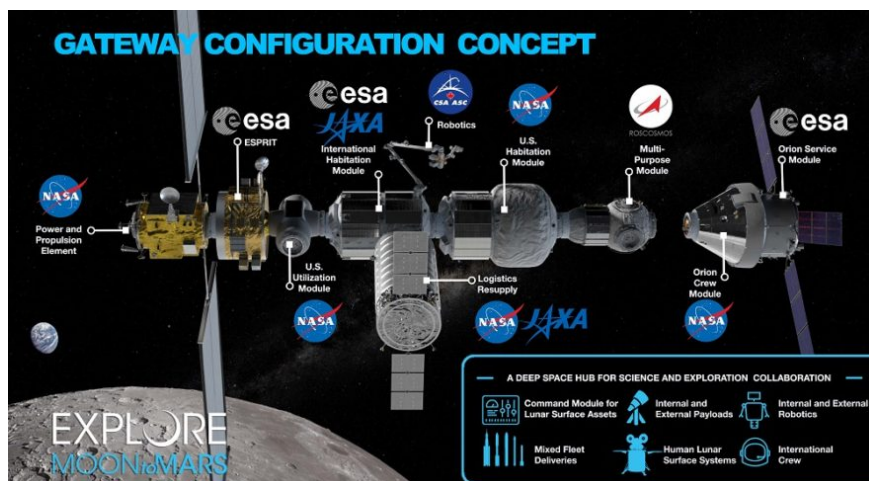


Figura 9. Sebbene la configurazione non sia definitiva, questa infografica mostra l'attuale linea di parti che comprende il Gateway ed i potenziali contributi dei partner internazionali.

1.2.2. *Servizi di rifornimento e trasferimento degli equipaggi al Gateway.*- L'approccio NASA per la realizzazione del programma Artemis è duale, in quanto prevede il ricorso a partner commerciali per la parte cargo, mantenendo sotto il controllo dell'Agenzia la logistica con equipaggio.

Originariamente prevista mediante l'utilizzo del lanciatore pesante SLS, la messa in orbita dei primi tre moduli del Gateway è ad oggi prevista mediante l'utilizzo di sistemi di lancio commerciali, rimandando al SLS le prime due missioni crewed a fronte dei ritardi ad oggi riscontrati nello sviluppo del lanciatore (e in particolare della sua nuova configurazione potenziata denominata Block 1B).

Falcon Heavy (SpaceX), New Glenn (Blue Origin), Omega (Northrop Grumman Innovation Systems, ex Orbital ATK) e Vulcan (ULA) sono alcuni dei potenziali sistemi di lancio commerciali disponibili, o in fase di sviluppo, che potrebbero realizzare questi trasferimenti cargo.

La capsula Orion Multi-Purpose Crew Vehicle (MPCV), il cui prime contractor è Lockheed Martin Corporation, si basa sul progetto del Crew Exploration Vehicle del programma Constellation, precedentemente cancellato.

Il trasferimento orbitale della capsula è garantito dall'European Service Module (ESM), una versione appositamente modificata dell'Automated Transfer Vehicle dell'ESA, che è andato a sostituire il

precedente modulo di fabbricazione americana previsto nel programma Constellation. A compensazione del pagamento a NASA del contributo europeo al mantenimento della Stazione Spaziale Internazionale, l'ESA si è fatta carico di sviluppare e costruire i primi due moduli di servizio (il primo già in test al Kennedy Space Center). Nel novembre 2014 Airbus Defence and Space ha vinto un contratto ESA da 390 M€ per la costruzione del primo ESM e delle componenti per il secondo. Si riconferma ancora qui come l'approccio ESA allo sviluppo degli elementi Upstream dell'esplorazione spaziale continui a seguire gli schemi tradizionali di Old Space propri del public procurement e del project management spaziale secondo gli standard di produzione e di gestione del rischio conservativi affermatasi nelle ere dello Spazio 1.0.

I servizi logistici cargo saranno invece gestiti, secondo l'attuale proposta NASA, mediante l'utilizzo di operatori commerciali nell'ambito dei Gateway Logistics Services (GLS), in maniera analoga a quanto sta avvenendo attualmente con i Commercial Resupply Services (CRS) per la ISS.

Nel mese di giugno 2019 la NASA ha emesso, in versione draft, una sollecitazione all'industria nazionale per la raccolta di commenti per una futura opportunità per le compagnie americane di fornire servizi logistici e di rifornimento al Gateway («We're asking industry to provide a spacecraft to deliver cargo and other supplies to the Gateway. It will dock to the orbital outpost, but will be responsible for generating its own power», Marshall Smith, direttore NASA Human Lunar Exploration Programs).

Questa iniziativa mira nella pratica a rispecchiare i servizi commerciali di rifornimento e logistica, ad oggi effettuati pionieristicamente per la ISS.

«The Gateway, and specifically our logistics supply requirements, enables the deep space supply chain, taking the next step toward further commercialization of space», ha dichiarato Mark Wiese, NASA Gateway Logistics Element Manager presso il Kennedy Space Center. «In addition to delivering cargo, science and other supplies to the Gateway with these services, there's potential for an extension to industry to deliver other elements of our lunar architecture with this solicitation».

Nel mese di agosto 2019 la NASA ha pubblicato formalmente il bando (Gateway Logistics Services Request For Proposals – RFP) per la selezione delle proposte per i servizi di trasporto cargo verso il

Gateway, offrendo contratti a prezzo fisso per un totale di 7 B\$²⁹ (con piano di pagamenti per ogni contratto tale da coprire il 75% prima del lancio) per una durata di 15 anni. La scadenza per l'invio delle proposte è stata fissata all'inizio del mese di ottobre e si prevede dunque la stipula di uno o più contratti entro il 2020.

1.2.3. *Servizi di trasferimento dal Gateway alla superficie lunare.*- Il piano proposto dalla NASA è quello di trasportare gli astronauti in un sistema di allunaggio (lo Human lunar Landing System – HLS) costituito da tre elementi distinti:

- un elemento di trasferimento per il viaggio dal Gateway lunare all'orbita lunare bassa;
 - un elemento di discesa per portarli sulla superficie;
 - un elemento di risalita per tornare sul Gateway
- con l'ulteriore sfida di implementare capacità di rifornimento per rendere questi sistemi riutilizzabili.

Nell'ambito del programma Constellation, la NASA stava sviluppando il proprio lander con equipaggio umano, denominato Altair, che doveva essere lanciato sul lanciatore Ares V, poi convertito nell'attuale Space Launch System (SLS).

A valle della cancellazione del programma Constellation e della definizione della nuova ambiziosa roadmap, la NASA ha voluto sfruttare i sempre maggiori successi dati dalle partnership con il settore commerciale.

Nel mese di maggio 2019 la NASA ha annunciato la stipula di 11 contratti per un totale di 45,5 M\$ per condurre studi e produrre prototipi di veicoli di trasferimento, elementi di discesa sulla superficie lunare. Tramite questi contratti iniziali, della durata di sei mesi, del programma NextSTEP (Appendix E)³⁰, le società selezionate stanno studiando e/o sviluppando prototipi che consentiranno di ridurre i rischi di schedula per gli elementi di discesa, trasferimento e rifornimento di un potenziale sistema di sbarco umano. Uno dei requisiti è che le aziende selezionate dovranno contribuire con almeno il 20% del costo totale del progetto, al fine di ridurre i finanziamenti

²⁹ <https://spacenews.com/nasa-issues-call-for-proposals-for-gateway-logistics/>

³⁰ <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-taps-11-american-companies-to-advance-human-lunar-landers>

pubblici e incoraggiare i primi investimenti privati nell'economia lunare.

Nel dettaglio, le compagnie vincitrici per tali studi sono risultate essere:

- Aerojet Rocketdyne – Canoga Park, California (Studio per il veicolo di trasferimento);
- Blue Origin – Kent, Washington (Studio per l'elemento di discesa, Studio per il veicolo di trasferimento, Prototipo per il veicolo di trasferimento);
- Boeing – Houston (Studio per l'elemento di discesa, due prototipi per l'elemento di discesa, Studio per il veicolo di trasferimento, Prototipo per il veicolo di trasferimento, Studio per il sistema di refueling, Prototipo per il sistema di refueling);
- Dynetics – Huntsville, Alabama (Studio per l'elemento di discesa, Cinque prototipi per l'elemento di discesa);
- Lockheed Martin – Littleton, Colorado (Studio per l'elemento di discesa, quattro prototipi per l'elemento di discesa, Studio per il veicolo di trasferimento, Studio per il Sistema di refueling);
- Masten Space Systems – Mojave, California (Prototipo per l'elemento di discesa);
- Northrop Grumman Innovation Systems – Dulles, Virginia (Studio per l'elemento di discesa, quattro prototipi per l'elemento di discesa, Studio per il sistema di refueling, Prototipo per il sistema di refueling);
- OrbitBeyond – Edison, New Jersey (Due prototipi per il sistema di refueling);
- Sierra Nevada Corporation – Louisville, Colorado e Madison, Wisconsin (Studio per l'elemento di discesa, Prototipo per l'elemento di discesa, Studio per il veicolo di trasferimento, Prototipo per il veicolo di trasferimento, Studio per il Sistema di refueling, SpaceX – Hawthorne, California, Studio per l'elemento di discesa);
- SSL (Space Systems Loral) – Palo Alto, California (Studio per il system di refuelling, Prototipo per il sistema di refueling).

Tra gli studi presentati, due soli sono stati già presentati pubblicamente e descritti in dettaglio, il Lunar Lander di Lockheed Martin ed una versione con serbatoi ridotti del Blue Moon di Blue Origin con un ulteriore elemento di ascesa.

Tali studi non prevedono lo sviluppo di un sistema integrato (ovvero completo di tutti e tre gli elementi) e pertanto, a fronte delle richieste/necessità di accelerare il programma Artemis al fine di portare

l'uomo sulla superficie lunare entro il 2024, la NASA ha sollecitato nell'ambito di un programma NextSTEP parallelo (Appendix H) l'invio di proposte relative ad un sistema integrato e denominato Human Landing System (HLS) da utilizzarsi per questo primo sbarco³¹.

Il 30 settembre 2019, seguendo l'invio di due bozze preliminari (luglio e agosto), la NASA ha pubblicato la versione finale del suo invito a presentare proposte per il HLS, dando alle aziende la possibilità di bypassare almeno inizialmente il Gateway lunare. Rispetto alle bozze preliminari, a valle dei commenti ricevuti dalle aziende interessate, viene inoltre eliminato il requisito di rendere il lander riutilizzabile, nonché viene ridotto il quantitativo di documentazione tecnica da presentare alla NASA. La selezione ha avuto avvio già nel mese di novembre e, come detto, le due aziende che verranno alla fine selezionate per fornire tale sistema, saranno quelle che porteranno i primi astronauti sul suolo lunare nelle due prime missioni del 2024 e 2025.

Parallelamente allo sviluppo del lander, nel mese di ottobre la Nasa ha inoltre pubblicato una Request For information (RFI) rivolta all'industria americana per raccogliere suggerimenti al fine di definire e maturare una strategia di produzione e di manutenzione delle future tute spaziali³² da utilizzarsi nell'ambito del programma Artemis nella prossima decade e oltre. L'agenzia è pronta a sviluppare e certificare le tute spaziali iniziali (denominate Exploration Extravehicular Mobility Unit o xEMU) per supportare una dimostrazione in ambiente spaziale a bordo della ISS nel 2023 ed il primo viaggio sulla superficie lunare nel 2024, come parte della missione Artemis III. Dopo Artemis III, la NASA prevede di trasferire la responsabilità per la produzione, l'assemblaggio, i test, il supporto e la manutenzione delle tute spaziali di volo e di addestramento (e hardware associato) direttamente all'industria statunitense.

1.2.4. Servizi logistici di trasferimento direttamente sulla superficie lunare.- Tali servizi commerciali si differenziano da quelli finalizzati all'assemblaggio e rifornimento del Gateway, così come da quelli per il traffico tra Gateway e superficie lunare, realizzandosi in parallelo.

³¹ <https://spacenews.com/nasa-issues-call-for-proposals-for-human-lunar-landers/>

³² <https://www.nasa.gov/feature/a-next-generation-spacesuit-for-the-artemis-generation-of-astronauts;> <https://www.nasa.gov/feature/nasa-seeks-industry-input-on-hardware-production-for-lunar-spacesuit>

Nel dettaglio, vengono contemplati nell'ambito del programma Commercial Lunar Payload Services (CLPS), istituito dalla NASA per contrattare servizi di trasporto in grado di inviare direttamente dalla Terra alla Luna, e ritorno, strumentazione, piccoli lander robotici e rover sulla Luna con gli obiettivi di esplorazione, utilizzo delle risorse in situ (ISRU), dimostrazione tecnologica e scienza lunare, in supporto al programma Artemis.

Il programma CLPS intende infatti acquistare servizi di trasporto di carico utile end-to-end tra la Terra e la superficie lunare utilizzando contratti a prezzo fisso. Con tali contratti la NASA si aspetta che le aziende contraenti selezionate si facciano carico di tutte le attività necessarie per integrare, ospitare, trasportare e gestire in modo sicuro i carichi utili, inclusi veicoli di lancio, veicoli spaziali lunari, sistemi di superficie lunare, veicoli di rientro a Terra e risorse associate.

I potenziali carichi utili, alcuni selezionati da NASA e altri forniti direttamente da clienti privati o pubblici internazionali, includeranno strumenti che consentiranno la realizzazione di una nuova scienza lunare, il posizionamento e la navigazione di precisione dei lander, la misura della radiazione dell'ambiente lunare, in vista delle successive attività umane.

Nel novembre 2018, la NASA ha annunciato le prime 9 società³³ che saranno autorizzate a fare offerte per tale tipologia di contratti che potranno contare su un budget complessivo combinato di 2,6 B\$ nei prossimi 10 anni.

Nel mese di maggio 2019 sono stati notificati i nominativi dei primi 3 fornitori commerciali per tali servizi di allunaggio: Astrobotic (Pittsburgh), che ha ricevuto 79,5 M\$ per trasferire fino a 14 carichi utili a Lacus Mortis, un grande cratere sul lato vicino della Luna, entro il luglio del 2021; Intuitive Machines (Houston), che ha ricevuto 77 M\$ per trasferire fino a cinque carichi utili nella regione dell'Oceanus Procellarum, un oscuro punto scientifico sulla Luna, entro luglio del 2021; Orbit Beyond (Edison, New Jersey), che ha ricevuto 97 M\$ per trasportare fino a quattro carichi utili nella regione del Mare Imbrium, una pianura di lava in uno dei crateri lunari, entro il 2020.

³³ 1) Astrobotic Technology Inc.: Pittsburgh; 2) Deep Space Systems: Littleton, Colorado; 3) Draper: Cambridge, Massachusetts; 4) Firefly Aerospace, Inc.: Cedar Park, Texas; 5) Intuitive Machines LLC: Houston; 6) Lockheed Martin Space: Littleton, Colorado; 7) Masten Space Systems Inc.: Mojave, California; 8) Moon Express: Cape Canaveral, Florida; 9) Orbit Beyond: Edison, New Jersey

L’ultima delle tre tuttavia, Orbit Beyond (il cui lancio sarebbe stato il primo), ha chiesto di recedere dal contratto nel successivo mese di luglio, ottenendo l’approvazione di NASA, a valle di una riorganizzazione interna e al taglio di alcuni finanziamenti³⁴ che hanno reso impossibile il proseguo del progetto.

Alcune di queste società, come Astrobiotic, hanno già provveduto a pubblicare dei “Payload User’s Guide”, identificando le potenziali tipologie di carico e costi di lancio (indicativamente 1,2 M\$/kg di payload).

Relativamente ai payload oggetto dei CLPS, nel mese di febbraio 2019 la NASA ha selezionato 12 dimostratori scientifici e tecnologici³⁵ da inviare sulla superficie lunare già a partire dal 2020 in funzione della disponibilità dei primi servizi di trasferimento.

Parallelamente, nel mese di ottobre 2019 è stata annunciata la missione VIPER (Volatile Investigating Polar Exploration Rover)³⁶ da 250 M\$, con lancio nel 2022 sempre nell’ambito dei CLPS. Tale progetto, che riprende il concept della precedente missione Resource Prospector (cancellata nel 2018), mira ad inviare un piccolo rover nell’area del polo sud lunare per sondare la presenza ed entità delle formazioni di ghiaccio.

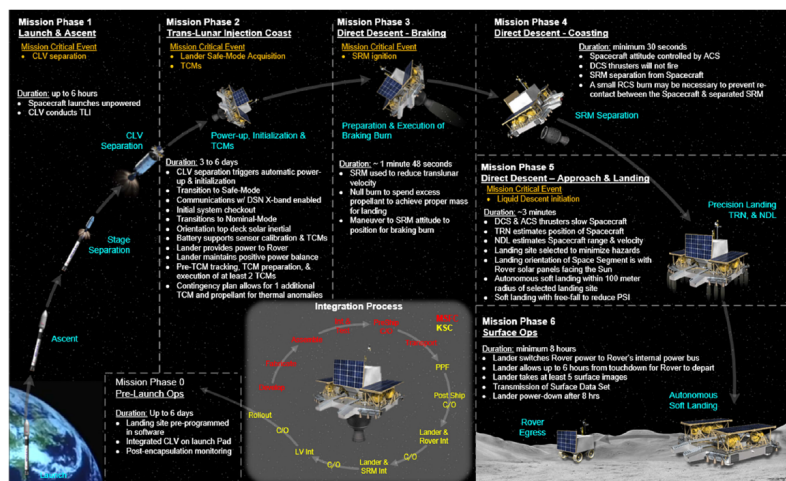


Figura 10. NASA VIPER mission timeline.

³⁴ <https://spacenews.com/commercial-lunar-lander-company-terminates-nasa-contract/>

³⁵ <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-selects-experiments-for-possible-lunar-flights-in-2019>

³⁶ <https://spacenews.com/nasa-confirms-plans-to-send-prospecting-rover-to-the-moon/>

Per poter inviare tale rover (di dimensioni superiori agli attuali payload previsti per CLPS) tuttavia, la NASA ha avviato nel mese di giugno 2019 una ricerca di proposte per lander “mid-sized”, ovvero con prestazioni incrementate, per consentire il trasferimento di simili carichi³⁷.

A seguito delle proposte ricevute, nel mese di novembre 2019 la NASA ha annunciato l’inclusione di 5 nuove aziende americane³⁸ (tra cui SpaceX e Blue Origin) alla lista dei CLPS, portando quindi a 14 il numero totale dei futuri fornitori di tali servizi.

³⁷ NASA/TP-2019-220391 NASA Lunar Lander Reference Design, <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20190033128>

³⁸ 1) Blue Origin; 2) Ceres Robotics; 3) Sierra Nevada Corporation SNC; 4) SpaceX; 5) Tyvak Nano-Satellite Systems. Rif. <https://spacenews.com/nasa-adds-five-companies-to-commercial-lunar-lander-program/>

CAPITOLO 2

L'ESPERIENZA DELLA ISS

Per più di diciotto anni, gli esseri umani hanno vissuto e lavorato a bordo della Stazione Spaziale Internazionale, conducendo migliaia di esperimenti in settori quali la ricerca umana, la biologia e le scienze fisiche e chimiche, nonché lo sviluppo di tecnologie avanzate. Molti di questi esperimenti, condotti attraverso i vari laboratori della Stazione, tra cui l'ISS National Lab, sono stati caratterizzati da ricerca e sviluppo con obiettivi commerciali. Sono ormai necessarie nuove opportunità per andare oltre la ricerca e lo sviluppo e la stazione spaziale internazionale svolgerà un ruolo essenziale nel consentire quelle opportunità per i nuovi mercati commerciali necessari per costruire un ecosistema sostenibile nell'orbita bassa terrestre.

2.1. Partnership e accordi internazionali ISS.- La Stazione Spaziale Internazionale è un programma cooperativo tra Europa, Stati Uniti, Russia, Canada e Giappone per lo sviluppo e l'utilizzo congiunti di una Stazione Spaziale permanentemente abitata in orbita bassa terrestre, regolato da una struttura legale costruita su tre livelli di accordi di cooperazione internazionale. In particolare:

- L'Accordo intergovernativo della Stazione spaziale internazionale (Intergovernmental Agreement – IGA) è un trattato internazionale firmato il 29 gennaio 1998 dai quindici governi coinvolti nel progetto (Stati Uniti d'America, Canada, Giappone, Federazione russa e 10 Stati membri dell'Agenzia spaziale europea ovvero Belgio, Danimarca, Francia, Germania, Italia, Paesi Bassi, Norvegia, Spagna, Svezia e Svizzera). Questo documento chiave a livello governativo definisce una cooperazione a lungo termine basata su una vera partnership, per la progettazione dettagliata, lo sviluppo, il funzionamento e l'utilizzo di una stazione spaziale civile permanentemente abitata per fini pacifici, in conformità con il diritto internazionale;

- Quattro memorandum d'intesa (MoU) tra la NASA e ciascuna agenzia spaziale cooperativa (Agenzia spaziale europea ESA, Agenzia spaziale canadese CSA, Agenzia spaziale federale russa Roscosmos e Japan Aerospace Exploration Agency JAXA) con l'obiettivo di descrivere in dettaglio i ruoli e le responsabilità delle agenzie nella pro-

gettazione, nello sviluppo e nell'utilizzo della Stazione e stabilire una struttura di gestione e di interfaccia necessarie a garantire efficacemente l'utilizzo della stessa, individuando inoltre i costi operativi (ad esempio per il segmento degli Stati Uniti, la NASA paga il 76,6 per cento, il JAXA il 12,8 per cento, l'ESA 8,3 per cento e CSA 2,3 per cento);

- Diversi accordi bilaterali di attuazione tra le agenzie spaziali per la definizione di linee guida e compiti concreti tra le agenzie nazionali, ripartendo la responsabilità per lo sviluppo di vari elementi della ISS. Ad esempio, gli Stati Uniti e la Russia hanno prodotto i moduli fondamentali della Stazione, mentre l'ESA e la JAXA hanno fornito ulteriori laboratori e CSA ha sviluppato il braccio di servizio robotico.

Inoltre, il comitato di controllo del programma della stazione spaziale e i suoi consessi e gruppi di lavoro forniscono forum ai partecipanti per discutere di questioni come la sicurezza della missione e l'integrazione della ricerca.

Nel 2005, il *NASA Authorization Act* designa il Segmento USA come National Lab allo scopo di aumentare l'utilizzo del laboratorio da parte di altre entità federali e promuovere l'interesse commerciale nella ricerca sulla Stazione. Successivamente, il *NASA Authorization Act* del 2010 promuove collaborazioni con un'organizzazione non profit per gestire il 50 per cento delle risorse di ricerca disponibili dell'Agenzia sulla ISS. Nell'agosto 2011, la NASA firma un accordo di cooperazione con CASIS (*Center for the Advancement of Science in Space*) stanziando \$ 15 milioni ogni anno per gestire tutte le ricerche non NASA sulla ISS.

2.2. Impatto del mantenimento della ISS.- Dopo più di 20 anni in orbita, la ISS si sta avvicinando a un bivio proprio quando la NASA deve prendere decisioni riguardanti le ricerche cruciali e non completate, necessarie per consentire i viaggi spaziali profondi. Accanto ai numerosi successi e opportunità di ricerca, ci sono gli enormi costi necessari per mantenere la ISS e – in assenza di un aumento significativo dei finanziamenti complessivi della NASA – la necessità di reindirizzare gran parte di quei fondi verso future missioni spaziali oltre la bassa orbita terrestre.

Dalle proiezioni di budget della NASA per l'anno fiscale 2019-2023, continuare a supportare l'ISS ad un costo di \$ 3- \$ 4 miliardi all'anno oltre la fine dell'anno 2024 probabilmente avrà conseguenze

significative sulla capacità dell'Agenzia di supportare le altre attività prioritarie di esplorazione umana, comprese le missioni sulla Luna o su Marte. Altri gruppi non-NASA hanno raggiunto conclusioni simili evidenziando che l'allocazione di risorse fisse per il volo spaziale umano renderà i rimanenti budget insufficienti per l'esecuzione di qualsiasi esplorazione su Marte fino alla fine del Programma ISS.

Contestualmente il 1 dicembre 2017, il Presidente Trump firmava una Direttiva sulla politica spaziale che richiedeva un ritorno degli umani sulla Luna per esplorazioni caratterizzate da utilizzo a lungo termine. Questo scenario, ha spinto l'Agenzia a presentare una strategia di transizione della ISS (*Nation Transition Authorization Act* del 2017) per individuare l'impatto dell'estensione della vita operativa dell'ISS oltre il 2024 sulle capacità di esplorazione dello spazio profondo. Va evidenziato infine che la proposta di bilancio dell'Agenzia per l'anno fiscale 2019 aveva proposto di chiudere i finanziamenti federali diretti per la ISS a partire dall'anno fiscale 2025 e includeva \$ 150 milioni nel 2019 per sostenere lo sviluppo di nuove piattaforme e capacità commerciali per orbita bassa terrestre.

2.3. L'attuale ambiente commerciale LEO.- Oggi la NASA sta sostenendo lo sviluppo di un'economia spaziale commerciale nelle orbite basse attraverso partnership pubblico-private utilizzando contratti e accordi sulla piattaforma ISS. In particolare, la NASA ha adottato una strategia di acquisizione COTS (*Commercial Orbital Transportation Services*) per il carico verso la ISS: in pratica una dimostrazione della capacità dei partner commerciali. Invece di specificare i requisiti dettagliati come un tipico programma della NASA, il programma COTS ha identificato diverse capacità di trasporto merci e di equipaggio: gli offerenti hanno potuto scegliere quali funzionalità offrire. Ciò ha dato all'industria l'opportunità di innovare e di concentrare il proprio sistema sulle capacità più adatte ai propri piani aziendali e alle proiezioni del mercato. La NASA avrebbe quindi assicurato la copertura delle capacità nella selezione di un portafoglio di società per i finanziamenti COTS. L'annuncio COTS ha chiesto alle aziende di selezionare un banco di prova LEO (che sia la ISS o un obiettivo orbitale) per la dimostrazione in volo delle loro capacità. Nel caso le aziende avessero optato per l'utilizzo della ISS come banco di prova, avrebbero dovuto soddisfare i requisiti di integrazione dei veicoli in visita sulla ISS.

Negli annunci COTS, la NASA richiedeva che i suoi partner commerciali condividessero il costo dello sviluppo e della dimostrazione del sistema con la logica di abbassare i costi da un lato, e di incentivare i partner di COTS a progettare, costruire e dimostrare i loro sistemi in modo tempestivo, dall'altro. Tale "*skin in the game*", combinata con i termini e le condizioni dei relativi accordi, ha stabilito una condivisione dei costi e dei rischi appropriata per una partnership NASA / industria e incentivi per entrambe le parti: in particolare, i partner commerciali continuano a mantenere ampiamente i diritti di proprietà intellettuale, così come quelli di proprietà materiale.

I principali obiettivi di una simile strategia possono essere di seguito elencati:

- attuare la politica di esplorazione spaziale degli Stati Uniti con investimenti per stimolare l'industria spaziale commerciale;
- facilitare la dimostrazione da parte del settore privato degli Stati Uniti di capacità di trasporto spaziale del carico e dell'equipaggio con l'obiettivo di raggiungere un accesso sicuro, affidabile ed economico all'orbita terrestre bassa;
- creare un ambiente di mercato in cui i servizi di trasporto spaziale commerciale siano disponibili per i clienti del settore pubblico e privato.

L'approccio tradizionale della NASA era quello di creare sistemi di proprietà e gestiti dal governo, lavorando in un rapporto governo / appaltatore con l'industria. Per aiutare a stimolare il volo spaziale commerciale, il nuovo approccio impiega invece una strategia diversa in cui l'industria crea sistemi di trasporto spaziale di proprietà privata e gestiti, con la NASA che funge da investitore principale e cliente dei servizi di trasporto. Inoltre, la NASA fornisce assistenza tecnica man mano che l'industria sviluppa e dimostra i suoi servizi.

Quando la NASA ha avviato la strategia COTS (*Commercial Orbital Transportation Services*), l'Agenzia aveva bisogno dei sistemi di trasporto merci per la ISS in un momento in cui gli Stati Uniti avevano perso quasi tutto il mercato globale dei servizi di lancio commerciale: con il nuovo approccio COTS sono stati risolti con successo entrambi questi problemi. La NASA, infatti, sta attualmente acquistando servizi di trasporto merci commerciali da e verso la ISS e i sistemi di lancio competitivi dei partner commerciali stanno permettendo agli Stati Uniti di riguadagnare la leadership di lancio commerciale globale. Dal 2005, anno in cui la NASA ha iniziato a lavorare con i suoi partner, la quota degli Stati Uniti del mercato di lancio

commerciale è cresciuta dal 9 percento nel 2006 al 52 percento nel 2016 e continua ad aumentare tutt'oggi.

L'attivazione dello sviluppo di servizi commerciali di lancio, di merci e carichi utili, attraverso la partnership COTS pubblico-privato si è rivelata un vantaggio per la NASA: di rilievo le collaborazioni con le società Orbital ATK, oggi Northrop Grumman Innovation Systems e SpaceX (principali partner commerciali dell'Agenzia) che finanziano la maggior parte dei loro costi di sviluppo. Durante la partnership COTS, la NASA ha contribuito con 396 milioni di dollari allo sviluppo dei sistemi di trasporto di carichi commerciali di SpaceX (navicella spaziale Dragon e razzo Falcon), mentre la società SpaceX stima il proprio contributo aziendale per circa \$ 450 milioni. Allo stesso modo, la NASA ha contribuito con 288 milioni di dollari allo sviluppo del sistema Northrop Grumman Innovation Systems (allora Orbital Sciences con la navicella Cygnus e razzo Antares), mentre Northrop stima che il loro contributo aziendale sia di circa \$ 500 milioni. Si può, dunque, affermare che lo sforzo della strategia COTS si è rivelato economicamente vantaggioso per la NASA rispetto ai tradizionali approcci di sviluppo.

Oltre alle iniziative di trasporto merci e equipaggio, la NASA sta sfruttando la ISS per abilitare altre capacità commerciali. Con l'aumentare della domanda di progetti di ricerca e sviluppo spaziale, numerose società commerciali stanno sviluppando, gestendo e mantenendo i propri impianti di carico commerciale sulla ISS. Queste organizzazioni gestiscono le loro strutture internamente ed esternamente alla Stazione fornendo agli utenti più scelte per soddisfare esigenze di ricerca uniche; sono i *pathfinder* per un mercato in LEO. Molte di queste organizzazioni hanno utilizzato le proprie risorse per investire in ricerca orbitale e strutture di sviluppo, riducendo il rischio per il settore federale di sviluppare queste strutture e servizi. Il meccanismo è molto semplice: quando una di queste aziende è in grado di fornire funzionalità che soddisfano le esigenze della NASA, l'Agenzia stipula un contratto come uno dei potenziali clienti allo scopo di utilizzare i loro servizi unici. Attualmente, sono diverse le società che forniscono servizi in orbita: le più importanti sono BioServe, Made In Space, NanoRacks, Space Tango, TechShot e Teledyne Brown Engineering.

Attraverso particolari tipologie di contratti, la NASA ha iniziato la transizione da un modello in cui realizzava "*in house*" la propria integrazione di *payload*, sviluppo ingegneristico e servizi di supporto a uno in cui tali servizi possono essere acquistati da uno dei tanti

fornitori commerciali attraverso un processo competitivo. Questo approccio è stato sviluppato per consentire alle società di assumere lentamente funzioni storicamente governative in modo graduale utilizzando i loro approcci commerciali per fare profitto. Consentendo all'industria di assumere il controllo di tali funzioni, le aziende sono spinte a sviluppare approcci più efficienti che saranno più economici e ridurranno ulteriormente i costi di gestione dell'attività nello spazio.

Nel tentativo di ampliare le opportunità di ricerca di questa piattaforma senza eguali, la ISS è stata designata come Laboratorio Nazionale degli Stati Uniti nel 2005 dal Congresso (*NASA Authorization Act*), consentendo l'accesso alla ricerca e allo sviluppo spaziale a una vasta gamma di utenti commerciali, accademici e governativi. US National Lab risulta responsabile della gestione di tutte le ricerche non NASA e della promozione di tutte le sperimentazioni in microgravità per la risoluzione di problematiche complesse allo scopo di migliorare la vita sulla Terra.

L'ISS National Lab è stato uno dei fattori chiave per l'espansione dell'uso commerciale delle orbite basse. Dal 2011 sono stati portati sulla ISS oltre 200 progetti di ricerca del National Laboratory ISS, dallo sviluppo di nuove terapie farmacologiche, al monitoraggio dei cicloni tropicali, al miglioramento delle attrezzature per i primi soccorritori sul terreno, alla produzione di materiali esclusivi in fibra ottica. Negli ultimi anni, almeno il 50 per cento dei progetti ISS National Lab erano clienti *new space* e oltre il 50 per cento ha coinvolto utenti commerciali (ad esempio, aziende *for-profit*). L'ISS National Lab sta attualmente aprendo le possibilità dell'ambiente di ricerca della Stazione a una gamma diversificata di ricercatori, imprenditori e innovatori che potrebbero creare mercati interamente nuovi nello spazio. Queste aree includono, ma non si limitano, a sistemi di somministrazione di farmaci, scienza delle colture, medicina di rigenerazione, chimica dei materiali, dinamica dei fluidi e fenomeni di trasporto, produzione in orbita e materiali abilitati alla microgravità, crescita dei cristalli proteici (noto anche come la crescita dei cristalli macromolecolare), l'osservazione della Terra e il telerilevamento.

Queste attività fanno parte di un giovane portafoglio di progetti non NASA che stanno iniziando a beneficiare di un maggiore accesso all'ISS e di tempi più brevi dall'ideazione del progetto all'implementazione sulla ISS. L'attuale posizione del portafoglio ISS National Lab prevede una crescita nei prossimi dieci anni in settori quali la terapia cellulare e genica e i progetti aerospaziali che utilizzano la piattaforma

LEO per aumentare i livelli di prontezza tecnologica e i sistemi infrastrutturali.

Queste iniziative rappresentano un grande progresso verso la creazione di un'economia spaziale commerciale attorno alle orbite basse; tuttavia, oggi la domanda del mercato non-NASA non è in grado di compensare i costi senza un significativo sostegno del governo. E' per questo motivo che la stessa Agenzia ha elaborato una strategia di transizione della Stazione Spaziale Internazionale.

2.4 Transizione ISS

2.4.1. *Principi di transizione ISS.*- Diversi sono stati i principi alla base della strategia di transizione dell'ISS allo scopo di definire il futuro ruolo della NASA in LEO come uno dei numerosi clienti di servizi o capacità forniti dall'industria privata e come partner in un più ampio mercato commerciale. In particolare, gli stessi principi avrebbero dovuto garantire ininterrottamente all'Agenzia e agli Stati Uniti:

- Continuità delle operazioni LEO della NASA, esplorazione dello spazio profondo, attività di sviluppo e ricerca e missioni verso l'espansione della presenza umana nel sistema solare;
- Espansione della leadership dei voli spaziali umani degli Stati Uniti e esplorazione dello spazio profondo, inclusa la continuità della relazione con i partner internazionali della ISS;
- Aumento delle opzioni di piattaforma in LEO per abilitare più percorsi di transizione ISS, sicurezza attraverso capacità ridondanti e capacità industriali in grado di supportare le esigenze di esplorazione spaziale profonda della NASA;
- Stimolazione di una vivace attività commerciale nel LEO;
- Mantenimento della conoscenza e dell'esperienza del volo spaziale umano critico all'interno del governo, in settori come salute e prestazioni degli astronauti, supporto vitale, sicurezza, terra e equipaggiamenti operativi critici;
- Accesso continuo sponsorizzato dal governo alle strutture di ricerca LEO per consentire agli altri governi, agenzie, università e industria privata di aumentare la competitività industriale degli Stati Uniti e fornire beni e servizi per i cittadini;
- Riduzione dei costi a lungo termine del governo attraverso partnership nel settore privato e strategie di acquisizione competitive.

2.4.2. *Strategia di transizione ISS.*- Come parte di una strategia di esplorazione condivisa, la NASA intende iniziare a spostare la respon-

sabilità per soddisfare i suoi bisogni e requisiti nelle orbite basse sfruttando la capacità del settore privato, l'innovazione e la competitività che offrirebbe al governo la prospettiva di costi inferiori consentendo alla NASA di impiegare più personale e risorse con lo scopo di espandere il volo spaziale umano oltre le LEO e migliorare la leadership americana nel settore. Oltre alla prospettiva di ridurre i costi operativi per una piattaforma LEO, spostare l'attenzione sull'industria potrebbe ridurre ulteriormente il carico infrastrutturale della NASA stessa. Da un punto di vista dell'analisi dell'integrità strutturale, infatti, la piattaforma ISS dovrebbe garantire le operazioni ben oltre il 2028 (basandosi sui dati attuali, molti dei moduli, lanciati negli ultimi anni, hanno probabilmente una vita operativa ben oltre il 2030). Se da un lato, però, è probabile che tecnicamente sia possibile continuare a gestire la ISS ben oltre il 2028, è anche necessario considerare i costi di gestione (si stima circa \$ 1,1 miliardi all'anno per i prossimi anni).

Al fine di garantire che l'industria privata sia pronta a fornire i servizi e le funzionalità a supporto delle esigenze in LEO, e per consentire all'industria privata di sviluppare mercati e attrarre clienti al di fuori del governo, la NASA propone il seguente approccio:

– iniziare una transizione graduale delle operazioni di volo umano spaziale in LEO da un'attività governativa diretta a un modello in cui l'industria privata diventa responsabile di come soddisfare ed eseguire i requisiti della NASA stessa: ciò non significa che si stia procedendo alla "commercializzazione dell'ISS". Infatti, l'Agenzia continuerà a mantenere la leadership e le responsabilità di governo verso gli altri Partner internazionali, come delineato negli accordi di partenariato, e continuerà a gestire gli elementi essenziali del volo umano spaziale come la sicurezza degli astronauti e i sistemi di esplorazione ad alto rischio. A tal proposito, lo scorso 7 giugno la NASA ha ufficialmente annunciato che le compagnie private possono ora candidarsi per lanciare missioni con equipaggi commerciali di breve durata sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS) per condurre attività *for profit* come la produzione fuori atmosfera terrestre, il marketing e la pubblicità. Gli astronauti privati riceveranno il necessario addestramento astronautico dalla NASA per assicurarsi che siano qualificati per il volo spaziale e potranno essere lanciati con veicoli commerciali come SpaceX's Crew Dragon e il CST-100 Starliner della Boeing. Al fine di effettuare una transizione senza intoppi, la NASA propone una *road map* graduale che si concluderà nel 2025 dando la possibilità di trasformare le numerose attività dirette dalla NASA (attualmente

eseguite attraverso diversi contratti) in più di un modello di partnership e/o servizi pubblici/privati. Questo periodo di tempo fornirà inoltre l'opportunità all'Agenzia e all'industria privata di interagire con le parti interessate per poter procedere a valle di una maturità industriale. Questa transizione all'industria privata dovrà essere effettuata in modo economicamente efficace non superando gli attuali costi operativi. Coerentemente con i principi di transizione ISS, la NASA continuerà comunque le discussioni con i partner internazionali allo scopo di individuare una strategia condivisa per le attività in LEO a lungo termine.

– Richiedere, fin da subito, all'industria studi sullo sviluppo e le operazioni di moduli e/o piattaforme orbitali che la NASA potrebbe utilizzare per soddisfare i propri requisiti LEO a lungo termine (coerenti con i Principi di transizione ISS). In particolare, gli studi di cui sopra dovranno essere focalizzati alle attività di riduzione del rischio, nuovi moduli o elementi collegati o liberi, obiettivi del settore privato in orbita LEO, incluse analisi di mercato e piani aziendali.

2.4.3. *Una valutazione iniziale dell'STPI.*– L'Istituto per la politica della scienza e della tecnologia (*Science and Technology Policy Institute* – STPI) ha condotto una valutazione iniziale nel 2017 della redditività di una piattaforma LEO privata.

Di seguito una breve sintesi del rapporto completo.

Lo studio ha cercato di rispondere a due semplici domande: quanto è probabile che il settore privato subentrerà e gestirà l'ISS su base commerciale? I governi, incluso quello degli Stati Uniti, continueranno ad essere i proprietari, operatori e i clienti primari per le stazioni spaziali?

Punto di partenza della valutazione, dunque, è stato quello di considerare la Stazione Spaziale Internazionale (ISS) un modello in cui la NASA risulterebbe uno dei tanti clienti di un'impresa non governativa in grado di possedere e gestire una stazione spaziale, tendenzialmente umana, in orbita terrestre bassa (LEO) con lo scopo di valutare se un simile approccio (stazione spaziale privata) potrebbe generare entrate sufficienti per coprire le operazioni e i costi.

2.4.4. *Metodologia.*– È stata ipotizzata una stazione spaziale interamente posseduta e gestita da parti private in grado di definire le capacità della stazione stessa, i mercati da servire e i prezzi per i servizi. Sono state poi definite attività generatrici di reddito, immaginando la

stazione come un "parco industriale" nello spazio in cui diversi Enti ne affittano delle parti per le loro attività. Sono state quindi ipotizzate stime "alte" e "basse" delle entrate che la stazione privata potrebbe generare affittando lo spazio o fornendo servizi. Le stime di cui sopra sono state definite intervistando oltre 70 esperti, esaminando le attuali attività dell'ISS e attingendo ad altre fonti per determinare le probabili dimensioni del mercato al fine di sviluppare metodologie di costo separate per ciascuna attività.

Nell'analisi sono stati incorporati una serie di ipotesi di costo per il 2025 e oltre; tra i più critici ci sono: costo di lancio di un astronauta, circa \$ 20 milioni; carico incapsulato, circa \$ 20.000 per chilogrammo (kg); trasporto di propellente, \$ 5,000 per kg (dati che risalgono a periodo tra maggio e ottobre 2016).

2.4.5. Potenziali attività della stazione spaziale privata e flussi di entrate.- STPI ha identificato 21 tipi diversi di attività che potrebbero generare entrate su una stazione spaziale LEO privata suddivise in cinque categorie principali: (1) Habitat per i partecipanti al volo spaziale o per gli astronauti governativi, (2) attività a sostegno del settore satellitare, in particolare assemblaggio orbitale di satelliti, (3) produzione di prodotti e servizi per l'uso nello spazio e sulla Terra (4) ricerca e sviluppo (R & S), test e osservazione della Terra e (5) Media, pubblicità e istruzione.

I risultati, per i ricavi totali annualizzati da attività condotte su una stazione spaziale privata, oscillerebbero da una stima "bassa" di circa \$ 460 milioni a una stima "alta" di circa \$ 1,2 miliardi. La categoria (3) di cui sopra, ossia la produzione di prodotti e servizi per l'uso sulla Terra, fornirebbe il maggiore contributo alle entrate complessive, rappresentando quasi il 35% della stima "alta" e più della metà di quella "bassa" (la produzione potenzialmente redditizia di fibre ottiche guiderebbe queste entrate). Il supporto satellitare garantirebbe, invece, il 30% delle entrate totali nella stima "alta".



Figure 4. Distribuzione delle entrate annuali previste per la stazione spaziale³⁹

L'ampia differenza tra la stima "alta" e "bassa" riflette la natura altamente incerta dei costi associati: in particolare risultano altamente incerte le proiezioni sulla concorrenza di altre nazioni, i nuovi sviluppi tecnologici che annullerebbero il bisogno di produzione in condizioni di microgravità e i nuovi modelli di crescita del mercato. Le proiezioni, dunque, forniscono valutazioni empiriche e speculative di quasi tutte le attività alla base delle potenziali fonti di reddito per una stazione spaziale privata.

Inoltre sono state esaminate particolari configurazioni di stazione spaziale in grado di generare i ricavi migliori: in particolare una costruita con moduli di eredità ISS e una costruita con moduli espandibili, confrontandole con una stazione simile a Skylab come punto di riferimento di cui si hanno stime dei costi rese pubblicamente disponibili. Nella ripartizione della stima del costo annuale sono stati presi a riferimento tre elementi in particolare: (1) i costi di progettazione e costruzione della stazione (ammortizzati in 10 anni), (2) costi delle operazioni e (3) costi per il trasporto degli astronauti da e per la stazione e relativi rifornimenti. Nel grafico seguente, i risultati dell'analisi.

³⁹ NASA International Space Station Transition Report - 30 Marzo 2018.

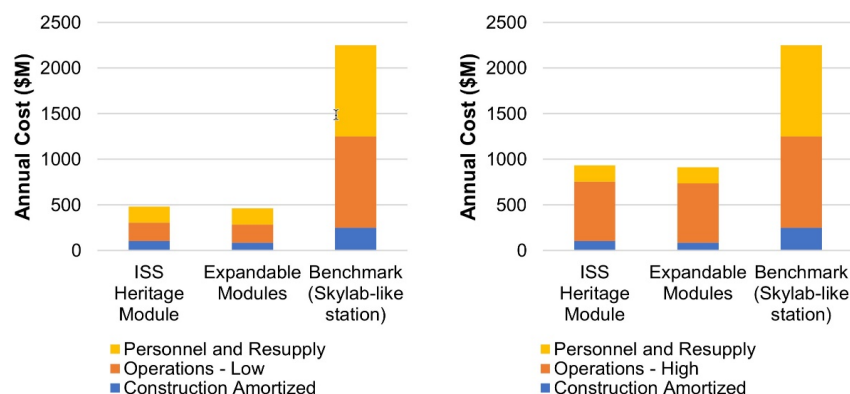


Figure 5. Stima costi annuali dei concetti di stazione privata. Basso (a sinistra)⁴⁰ e alto (a destra)

Le stime dei costi di cui sopra sono state successivamente confrontate con le stime dei ricavi annuali, individuando quattro scenari limite, come da tabella a riferimento. In particolare, tra i quattro scenari limite, solo nella stima a basso costo e ad alto reddito la stazione risulterebbe redditizia. I *venture capitalist* intervistati per il progetto hanno evidenziato che le proiezioni di entrate e probabili costi hanno un tale livello di incertezza da rendere trascurabile (o nullo) l'interesse a finanziare una stazione spaziale privata fino a quando le entrate previste sarebbero in grado di mostrare segni di materializzazione effettiva.

⁴⁰ NASA International Space Station Transition Report - 30 marzo 2018.

Cost	High	Low Revenue \$455 M High Cost \$2,250 M Annual Loss = -\$1,795 M	High Revenue \$1,187 M High Cost \$2,250 M Annual Loss = -\$1,063 M
	Low	Low Revenue \$455 M Low Cost \$463 M Annual Loss = -\$8 M	High Revenue \$1,187 M Low Cost \$463 M Annual Profit = +\$724 M
		Revenue	
		Low	High

Figure 6. Stime annualizzate di costi e ricavi per una stazione spaziale privata⁴¹

Un'ulteriore analisi sui risultati ottenuti, ha evidenziato inoltre che i costi di lancio rappresenterebbero il principale motore di entrate e costi. Se i costi di lancio fossero dimezzati, come risultato di una svolta tecnologica o di un sussidio governativo (o forse anche, si potrebbe pensare, per effetto dell'entrata in operazione dei servizi commerciali di trasporto cargo al Gateway lunare, che aumenterebbe senz'altro le economie di scala dei fornitori), le stime delle entrate per la stazione a basso costo aumenterebbero dal 23% per lo scenario "alto" al 53% per quello "basso", con una diminuzione dei costi del 16%. Nel caso limite di un contributo governativo al 100 % dei costi di lancio, i ricavi per una stazione spaziale privata a basso costo aumenterebbero dal 46% al 106 %, rispettivamente per gli scenari "alto" e "basso" con una riduzione dei costi del 33 %.

2.4.6. *Partecipazione del governo federale al mercato della stazione spaziale privata.*- Per ridurre potenzialmente i rischi di mercato, di finanziamento, di regolamentazione, di politica e di tecnologia per gli operatori e i loro investitori, si potrebbe dunque ipotizzare un coinvolgimento governativo nell'ambito di una stazione spaziale privata o più stazioni. Le opzioni che potrebbero essere individuate,

⁴¹ NASA International Space Station Transition Report - 30 marzo 2018.

separatamente o congiunte, per una strategia di partecipazione governativa includono:

- Investimento nella fase iniziale attraverso un partenariato pubblico-privato. Essendo una stazione spaziale privata intrinsecamente rischiosa, il governo degli Stati Uniti potrebbe partecipare come investitore in una partnership pubblico-privata, nell'ambito della quale andrebbe individuato un proprietario della stazione spaziale e un operatore per garantire le operazioni e influenzare il design in aderenza alle esigenze della NASA. I partner privati potrebbero essere rappresentati da un consorzio no-profit di università o altre organizzazioni con la possibilità di accedere a fondi privati.

- Contratti di acquisto o di leasing anticipati: attraverso accordi di acquisto anticipati e contratti di noleggio a lungo termine della stazione spaziale privata, il governo degli Stati Uniti potrebbe impegnarsi a garantire nei confronti dei clienti condizioni di acquisto di servizi a condizioni più favorevoli rispetto ai prezzi di mercato, a valle del completamento della stazione. In questo modo si sposterebbero gli investimenti e le spese più vicino alla consegna del prodotto o del servizio rispetto a un investimento diretto nella stazione.

- Acquisti diretti di servizi di stazioni spaziali: il governo degli Stati Uniti potrebbe scegliere di attendere fino al completamento della stazione spaziale, quindi affittare uno spazio per la ricerca e lo sviluppo o acquistare altri servizi forniti dalla stazione, se necessario. In questo caso, gli acquisti di servizi risulterebbero equivalenti ai prezzi di mercato e probabilmente superiori ai prezzi previsti in caso di acquisto anticipato e soggetti, tra l'altro, a vincoli di disponibilità. Tuttavia, gli acquisti a queste condizioni offrirebbero flessibilità al governo, non dovendo impegnarsi in alcun modo per l'acquisto di servizi prima dell'effettiva disponibilità degli stessi.

CAPITOLO 3

ANALISI, SFIDE, OPPORTUNITÀ, RITORNI/RICADUTE ANALISI SWOT

*“The Earth is the cradle of humanity,
but mankind cannot stay in the cradle forever”*

Konstantin Tsiolkovsky

Lo scenario attuale, come detto nei capitoli precedenti, è quello di una progressiva espansione della colonizzazione umana verso lo spazio, a partire dall’orbita bassa passando dalla Luna, per giungere sino a Marte, pur nella differente declinazione dovuta alle *vision* (ed alle *mission*) dei vari attori coinvolti. Ciò che, in questo capitolo, andremo ad esaminare sono le sfide e le opportunità o, se vogliamo, i rischi sottesi all’impresa ed i benefici, soprattutto economici e sociali, conseguenti alla colonizzazione lunare, dando per assunto che, in ogni progetto futuro e futuribile, la Luna è e rimane il primo necessario passo per l’Umanità verso lo spazio. Vediamo, innanzitutto, qual è lo scenario di riferimento sul quale andare ad verificare, con il metodo della SWAT analysis, la migliore strategia di sfruttamento dello spazio economico lunare che si andrà a creare.

3.1. *Scenario setting.*- Secondo Sam Scimemi, direttore dell’International Space Station ISS della NASA, intervistato da M. della Magessa di Airpress⁴², l’Agenzia americana punta a tornare sulla luna, ed in particolare al polo sud del satellite, entro il 2024, nell’ambito del programma “Artemis”. Tale progetto, come affermato dal numero uno dell’agenzia, Jim Bridestine, potrà contare su un finanziamento di 1,6 miliardi di dollari nel 2020, oltre ai 21 miliardi già stanziati. Ciò consentirebbe, secondo le intenzioni dell’amministrazione Trump, di stabilire una presenza umana sostenibile sulla luna entro il 2028. Ma l’obiettivo finale è quello di fare nuove scoperte e creare una vera e propria economia lunare a vantaggio, in particolare, dei privati. Tra le tecnologie che beneficeranno sicuramente dei finanziamenti, vi sono quelle del trasporto ovvero il sistema di lancio Space Launch System SLS e la capsula, per il trasporto degli Astronauti, Orion, finanziati e sviluppati direttamente dalla NASA sotto il proprio finanziamento e

⁴²Airpress n.100, giugno 2019 – Così andremo sulla Luna e poi su Marte.

controllo governativo, secondo il modello classico di gestione pubblica dei programmi spaziali. Entrambi dovranno lavorare in sinergia con le tecnologie sul suolo lunare mirate a sviluppare i "lander", che invece, come già visto, la NASA intende sviluppare mediante forme di partenariato pubblico/privato.

Centrale nei piani della NASA è, come detto in precedenza, il Lunar Gateway, un vero e proprio porto spaziale orbitante strutturato per partenze e arrivi dei futuri equipaggi verso la Luna. Secondo Scimemi, il Gateway, situato in orbita cislunare, è uno "snodo di transito", diversamente dal *concept* della Stazione Spaziale Internazionale che, invece, costituisce un avamposto permanente per la ricerca e lo sviluppo di nuove tecnologie. Il gateway è centrale anche nella strategia che porta successivamente a raggiungere Marte: esso è un elemento di sicurezza in quanto gli ambienti lunari e del pianeta rosso sono indubbiamente ostili e molto diversi dalla Terra, in primis, in quanto privi di acqua allo stato liquido, di atmosfera, di ossigeno nonché di risorse per il sostentamento. Peraltro, anche le distanze sono molto differenti: circa 228 milioni di chilometri la distanza della Terra da Marte, mentre la Luna è a soli (si fa per dire) 386.000 km e, dunque, costituisce una tappa, concettualmente, intermedia. Va considerato, infatti, che con la ISS, che dista 400 km dalla Terra⁴³, vengono effettuati circa 15 voli ogni anno che trasportano e ricambiano gli equipaggi ed i supporti logistici (cibo, acqua, parti di ricambio, ecc.) impiegando meno di due giorni lungo la tratta, configurando, in tal modo, un sistema in continua interazione. Con la Luna e, ancor più con Marte, il viaggio richiederà tempi molto più lunghi, anche fino a 2 anni (Marte) e ciò postula la necessità di un sistema indipendente dalla Terra che consenta tappe intermedie e stazioni di posta, come in una staffetta medievale. È necessario, pertanto, sviluppare nuove capacità da riutilizzare per le missioni future.

Alcune di queste capacità chiave tecnologiche, per raggiungere e stabilirsi sulla Luna e per passare successivamente su Marte, sono in fase di sviluppo già a bordo della ISS, e molte di esse sono caratterizzate da una intrinseca capacità funzionale "duale": pensate per abilitare il soggiorno di lungo periodo dell'uomo nello spazio e sui pianeti, hanno a loro volta intense ricadute sia economiche che sociali sulla Terra. Si pensi, ad esempio, alle metodiche per il riciclo dell'acqua, il

⁴³ Circa un fattore 100 in meno, rispetto alla distanza Luna-Terra.

cui obiettivo, a bordo della ISS, è un tasso di riutilizzo di circa il 98%, e che vengono oggi utilizzate per supportare la vita nelle zone più aride e desertificate della Terra. Non va sottovalutata la capacità medica che, considerati i tempi lunghissimi di viaggio, sarà necessario avere a bordo o garantire attraverso un sistema di telemedicina (già mutuato sulla Terra per garantire il supporto medico alle regioni rurali e remote), combinato con un supporto basato su intelligenza artificiale⁴⁴ che aiuti coloro che sono a bordo delle missioni di lunga durata ad eseguire la diagnostica e le iniziali ed essenziali operazioni di primo soccorso, in attesa del collegamento telematico dalla Terra.

Ulteriore sfida, che si sta testando a bordo della ISS, è quella della conservazione degli alimenti. Quella relativa al cibo, in particolare, è una tecnologia critica a causa della deperibilità delle vitamine, nonché della difficoltà nella produzione delle proteine. Il modello lunare sarà un banco di prova per arrivare su Marte: molte capacità manifatturiere andranno “reinventate” sul suolo lunare, in particolare la capacità di estrarre ed utilizzare l’acqua. Motivo per cui le missioni sono dirette al Polo Sud del satellite, ove si pensa vi possano essere risorse idriche consistenti.

Una delle criticità, come si diceva, è il sistema composto dal lanciatore SLS e dalla navicella Orion, destinata al trasporto degli equipaggi: la NASA stima di essere giunta circa alla metà dello sviluppo del programma e, in particolare in questi mesi, si sta testando il motore del primo stadio del lanciatore. Ciò dà credito del basso stato di maturità del programma: ad oggi, il lanciatore sviluppato dalla Boeing è fuori budget di \$1.8bn e in ritardo di 19 mesi sul cronoprogramma. Tra il 2020 e il 2021, partirà la prima delle missioni del programma Artemis, senza equipaggio ed è ormai certo che non impiegherà il sistema SLS/Orion bensì quelli messi a disposizione dagli operatori commerciali. Successivamente, verranno testati i servizi cargo, con equipaggio a bordo; a seguire, verranno lanciati i primi moduli del Lunar gateway, essenziali per l’allunaggio umano, secondo la strategia di sviluppo della NASA.

In termini di collaborazione internazionale e di partecipazione di partner commerciali, Sam Scimemi afferma che la NASA andrà sulla

⁴⁴ “Medici e computer. La sfida tra radiologi e intelligenza artificiale” - di Marta Musso, La Repubblica.it del 7 marzo 2019 www.repubblica.it/salute/medicina-e-ricerca/2019/03/07/news/dici_o_ai_la_sfida_al_congresso_europeo_di_radiologia-220942721/.

luna assieme/congiuntamente con le agenzie spaziali europee, tra le quali anche l'ASI. Si tratta di un'attività che si protrarrà potenzialmente per decenni e prevedrà una intensa partnership istituzionale e importanti ricadute per alcuni Stati partner. Per quanto riguarda, invece, la collaborazione con la Cina⁴⁵, essa attualmente è vietata "per legge", secondo la NASA. Non si esclude, però nel lungo periodo, che possa aprirsi una finestra di collaborazione istituzionale, giusto quanto avvenuto, sulla ISS, con la Russia⁴⁶.

3.2. Trend e tendenze in atto.- Rispetto al passato, prendendo ad esempio il riferimento al programma Apollo, qualcosa sta cambiando, perché oggi nello spazio ci si va in misura sempre maggiore con i capitali privati⁴⁷. Ciò cambia drasticamente le prospettive e le implicazioni. Il programma Apollo terminò a causa dei costi esorbitanti. E questo non variò neanche con l'entrata in servizio degli Space Shuttle, benché fossero riutilizzabili, a causa di alcuni difetti di progettazione e di oggettivi limiti tecnologici. Ad oggi, però, alla luce dell'ingresso di capitali privati, è stato sviluppato uno studio, denominato "Evolvable Lunar Architecture"⁴⁸, che è alla base dell'approccio attuale della NASA per tornare sulla Luna in tempi brevi. Lo scenario dello studio, infatti, prevede che la NASA ritorni sulla Luna nel giro di 4-8 anni dall'avvio del programma, a fronte di un investimento contenuto e sostenibile, in quanto condiviso con i privati. L'obiettivo del Presidente Trump, come noto, è quello di passare alla storia per aver riportato l'America sulla Luna; pertanto, la presenza americana deve giungere sul satellite, necessariamente, prima di quella cinese ed in anticipo rispetto a quella degli europei dell'ESA.

Benché la NASA sia rimasta bloccata per decenni a causa delle contraddizioni interne alle diverse amministrazioni americane, nel frattempo, alcuni imprenditori come Jeff Bezos ed Elon Musk hanno

⁴⁵ In questo caso, sarebbe forse più opportuno parlare di competizione.

⁴⁶ "Venti anni di Stazione Spaziale Internazionale: il 20 novembre 1998 il primo blocco" su <https://www.focus.it/scienza/spazio/iss-20-anni-stazione-spaziale-internazionale-1998-2018>

⁴⁷ "Ritorno alla Luna: il coinvolgimento dei privati lo renderà più economico e rapido. Prospettive ed implicazioni" del 14 set. 2018 su <https://www.reccom.org/2018/09/14/ritorno-alla-luna-il-coinvolgimento-dei-privati-lo-rendera-piu-economico-e-rapido-prospettive-ed-implicazioni/>

⁴⁸ "Economic Assessment and Systems Analysis of an Evolvable Lunar Architecture that Leverages Commercial Space Capabilities and Public-Private-Partnerships". Pubblicato da NexGen Space LLC il 13 lug. 2015.

reso i loro lanci estremamente competitivi ed economici. L'approccio *game-changer*, che intenderebbe adottare la NASA, sta per l'appunto in una estensiva *partnership* commerciale tra l'agenzia e questi visionari/privati che sveltirebbe il programma e permetterebbe di fare affidamento su capitali privati ed una maggiore *attitude* commerciale.

L'obiettivo è quello di arrivare ad una architettura evolutiva: non è importante solo tornare sulla luna, quanto piuttosto stabilirvisi. La sfida, infatti, è quella di insediare una colonia permanente e svolgere attività che siano autofinanziate ed autosufficienti, rispetto alla Terra: si va dal turismo, all'estrazione mineraria in cerca di materie prime (elio-3, uranio, metalli) sino all'accumulo di ossigeno ed idrogeno da utilizzare come carburante per le navette. In un futuro prossimo, sul suolo lunare, si deve puntare ad assemblare parti pesanti delle navi spaziali dirette verso Marte e lo Spazio profondo.

L'insediamento di una base permanente sul suolo lunare o nell'orbita cislunare avrà ricadute sul piano occupazionale dirette e indotte mediante la creazione di posti di lavoro sia nell'ambito della produzione industriale che negli indotti relativi alle attività collaterali allo sfruttamento del suolo lunare. Ulteriore *trend* di sviluppo sarà dovuto alla radicale diminuzione dei costi del trasporto e dei viaggi spaziali. Si pensi che, ad oggi, Space-X già recupera circa il 50% di quanto utilizzato in un lancio spaziale. Ad ogni lancio, quindi, Elon Musk ricapitalizza circa il 50% in più rispetto ad un lancio tradizionale. Secondo uno studio della US Air Force⁴⁹, attraverso la collaborazione con aziende private, sarà possibile indurre un ciclo virtuoso che porterà ad una riduzione anche di 10 volte sui costi attualmente necessari per lo spostamento Terra Luna.

3.3. *Sfide e opportunità*.- La corsa alla luna, dunque, è partita e gli atleti alla linea di partenza sono almeno tre: gli Stati Uniti, la Cina e l'Europa. Tutto sembra suggerire che si sia aperta una nuova era nella esplorazione lunare nel quale le agenzie spaziali nazionali lavoreranno assieme all'industria privata, per consentire tale colonizzazione e per sfruttarne le risorse.

Dan Hendrickson⁵⁰ di Astrobotics⁵¹, nel corso di un recente intervento⁵², ha dimostrato che le tecnologie per i Landers per le missioni

⁴⁹“Fast Space: leveraging ultra low-cost Space access for 21st century challenges”, 22 dec. 2016, Ed. Air University Maxwell AFB, AL.

⁵⁰Dan Hendrickson - Vice President of Business Development Astrobotics

su corpi celesti al fine di procurare beni e servizi commerciali sono già disponibili. Non vi è dubbio che la luna è la destinazione di più breve termine, come afferma anche Airbus, leader in materia di sistemi di trasporto spaziale. L'acqua sembra essere la risorsa più importante sulla superficie lunare: Ben Roberts di Moon Express⁵³ si spinge a definirla "*the oil of the solar system*". Quando, nel 2008, alcuni esemplari provenienti dalle missioni Apollo degli anni settanta furono riesaminati, venne rinvenuta la presenza di acqua e ciò dischiuse grandi speranze di poter stabilire una colonia sul suolo lunare. Ad oggi, molti studi confermano che, effettivamente, vi è la presenza di acqua sulla Luna in quantità ritenute sufficienti per autosostenere una colonizzazione. L'Acqua si troverebbe allo stato solido (ghiaccio) nelle aree oscure vicino ai poli⁵⁴ e potrebbe aprire molte possibilità, tra cui quella di produrre propellente, in loco, per i razzi. Idrogeno e ossigeno, infatti, possono essere separati mediante elettrolisi e conservati allo stato liquido, in modo da poter rifornire i lanciatori. Ma l'acqua è necessaria anche per le future attività di "*moon mining*", ovvero di prospezione del sottosuolo lunare. Essa infatti è essenziale sia per le operazioni tecniche che per il sostentamento degli equipaggi adibiti a tale attività. George Sowers della *Colorado School of Mining* ha, di recente, presentato uno studio⁵⁵ sull'esplorazione della risorsa ghiaccio sulla superficie lunare ed, in particolare, sul costo della produzione del propellente sulla Luna, rispetto al costo di produzione sulla Terra, evidenziando la convenienza del relativo *business plan*.

In merito all'utilizzo delle risorse lunari e di quelle disponibili sugli asteroidi, secondo Ian Crawford⁵⁶ potrebbe essere addirittura conveniente l'installazione di un vero e proprio "Moon Village". Appare, infatti, confermata l'esistenza di molti minerali e di risorse quali idrogeno, Elio-3, Elio-4 e ciò riafferma che la Luna possiede abbondanti risorse grezze d'interesse economico potenziale per i

⁵¹ Astrobotic Technology, Inc. is a space robotics company that seeks to make space accessible to the world. l'azienda progetta un lander lunare "Peregrine".

⁵² Workshop Milan "Mining the Moon for profit", march 2019 – SDA Bocconi.

⁵³ Ben Roberts di Moon Express

⁵⁴ "Non c'è dubbio: sulla Luna c'è ghiaccio d'acqua" *Le Scienze* del 24 ago. 2018 http://www.lescienze.it/news/2018/08/24/news/luna_ghiaccio_acqua_poli_crateri_ombra-4086267/

⁵⁵ Si veda la nota 11.

⁵⁶ Ian Andrew Crawford (born 1961) is a British professor of planetary science and astrobiology at Birkbeck, University of London in the United Kingdom.

mercati. Al riguardo, ad esempio, della presenza di Elio-3, alcuni studi condotti da università cinesi⁵⁷ fanno ritenere che la Luna ne sia così ricca da soddisfare la domanda energetica terrestre per migliaia di anni, qualora esso venga impiegato mediante fusione nucleare.

La conferma dell'enorme potenziale di business delle attività di prospezione del suolo lunare viene anche da parte di Roger Lenard⁵⁸, pur con alcuni *caveats*. Per quanto attiene, infatti, all'attività di *mining* della Luna, l'ipotesi va presa con una certa cautela, considerando che, nella storia del genere umano, solo 12 persone hanno posato il piede sulla superficie del satellite. Inoltre, vanno considerate le enormi spese iniziali di una impresa del genere e non va sottovalutata la difficoltà posta dall'ambiente: la temperatura della Luna varia fra circa 120 gradi centigradi fino a -230. Ciò rende le attività meccaniche ed, in generale, una ipotesi di colonizzazione umana alquanto difficoltosa. Inoltre, sulla Luna vi è solo un sesto della gravità terrestre e ciò complica l'attività di perforazione del suolo in maniera consistente.

In ultimo vi sono aspetti economici e finanziari: ad oggi, il settore spaziale attrae molta attenzione del mercato finanziario in quanto gli investitori (pubblici e privati) cercano nuove fonti di crescita ed innovazione e la Space Economy è divenuta un dominio rilevante per l'innovazione hi-tech nonché per le opportunità commerciali e di sviluppo strategico. Ma il settore spaziale ha anche alcune controindicazioni: in particolare, esso ha un significativo ritorno di investimento (ROI) solo sulle attività di lunga durata; anche per tale ragione, lo spazio è stato a lungo un settore dominato dagli attori statali/istituzionali. Non va sottovalutato, inoltre, che l'accesso a tale *layer* strategico è storicamente controllato da autorità militari e di sicurezza e, benché i governi possano decidere di investire in attività (spaziali) anche senza intento di lucro, i privati, invece, devono stabilire un efficiente modello di business se vogliono trarne un risultato concreto. Tali considerazioni hanno indotto Peter Marquez⁵⁹ ad effettuare una valutazione attenta delle risorse spaziali, a partire dall'identificazione di beni e servizi,

⁵⁷“N-TV: Cina intende estrarre sulla Luna la fonte d'energia del futuro” su <https://it.sputniknews.com/mondo/201710255187464-Cina-Luna-energia-spazio/>

⁵⁸Chief Executive Officer di Zodiac Planetary Service

⁵⁹Peter Marquez, Vice President Planetary Resources, served as the Director of Space Policy for Presidents Bush and Obama. He was responsible for the development and execution of U.S. national space policy.

delle entrate, dei profitti che conseguirebbero ad un piano "commerciale" di esplorazione spaziale.

A oggi, pur essendo trascorsi 50 anni dal primo allunaggio, ancora non abbiamo una completa conoscenza del potenziale economico della Luna. Per lo sviluppo di un *business plan* coerente, andrebbe considerato il *Net Present Value* degli investimenti di lungo termine necessari (per molti anni a venire) nell'ambito della esplorazione lunare e tale valore (NPV) andrebbe comparato con un *Return On Investments* (ROI) su altri investimenti alternativi. Tale comparazione non è stata, in passato, mai condotta, perché l'attività di esplorazione spaziale è sempre stata dominio esclusivo statale. Oggi, invece, con la partecipazione dei privati, quest'analisi diviene quantomeno opportuna.

Pierre Larroque⁶⁰, ad esempio, solleva alcune importanti domande relativamente alle ricerche minerarie lunari, conducendo una comparazione con alcuni progetti simili sulla Terra che hanno portato ad una perdita netta di capitali. Per ragioni tecniche, infatti, non siamo in grado di quantificare la capacità mineraria o le risorse grezze della Luna, né ciò sarà possibile nel breve/medio termine. Conseguentemente, che un piano di *moon-mining* non ha un risultato né prevedibile né certo.

In ultimo, va considerato che le teorie economiche richiedono anche una stima dei c.d. "rischi politici" relativi alla stabilità dei governi (in particolare, quello americano), rispetto all'influenza dei conflitti interni, dovuti a questioni etniche e culturali o alle tensioni religiose. E benché il dettaglio possa apparire eccessivo, tale valutazione deve essere ben fatta per progetti, come la colonizzazione lunare, la cui durata stimata è di alcuni decenni.

3.4. *La matrice SWOT applicabile.*- Riassumendo quanto sinora emerso, è possibile condurre una speditiva analisi SWOT, mediante matrice, per valutare i punti di forza (*Strengths*), le debolezze (*Weaknesses*), le opportunità (*Opportunities*) e le minacce (*Threats*) della costituzione di un nuovo spazio economico coerente e produttivo, nell'ambito ed alla luce dei progetti di espansione e colonizzazione umana dello spazio, a partire, per l'appunto, dalla Luna.

⁶⁰Pierre Larroque "Financing Mining Projects on the Moon Key Considerations - An Industry Perspective". 11 marzo, 2019.

L'analisi riguarda l'organizzazione "interna" (punti di forza e di debolezza) e l'ambiente "esterno" (minacce ed opportunità).

<i>Strengths</i>	<i>Weaknesses</i>
Forte spinta politica ed emozionale verso la colonizzazione umana dello spazio, a partire dalla Luna. (Direttiva Presidente)	Rischio di incidente fatale agli equipaggi e conseguente perdita di credibilità e d'immagine.
Partnership pubblico-privato come cardine della strategia di acquisizione delle risorse	La proprietà delle infrastrutture e delle facilities sviluppate in partenariato o su base commerciale rimarrebbe ai privati.
Risparmi consistenti con il modello COTS	Elevati investimenti iniziali
Il rischio di guasto agli equipaggiamenti, grazie all'avanzamento tecnologico, è gestibile, a livello industriale ed, in parte, è anche trasferibile.	Considerato il basso turn-over con la Terra, eventuali guasti agli equipaggiamenti, porterebbero ad un rallentamento delle operazioni.
Le aziende private, operando in maniera indipendente dalle attività di Ricerca e Sviluppo governative, possono ottenere risultati migliori.	C'è il rischio che l'attività di Ricerca e Sviluppo abbia una durata maggiore rispetto alle stime
Le compagnie private (principalmente statunitensi) hanno chiaramente indicato la loro volontà di lanciare missioni esplorative sulla Luna, nella speranza di future opportunità commerciali	Difficile "convivenza" ed interazione tra compagnie private e attori pubblici sul suolo lunare (mancanza di regole e di prassi).
Indipendenza energetica: risorse confermate di Elio-3.	Incertezze sulla presenza e sulla concentrazione delle risorse spaziali
La riusabilità ed i voli frequenti riducono costantemente i rischi ed aumentano la sicurezza.	Basso livello di sviluppo tecnologico (veicoli di lancio, elementi spaziali/gateway, lander lunari, elementi di superficie, ecc.)
Benefici pubblici sia sociali che economici in termini di ricadute grazie agli investimenti in tecnologia avanzata (ad esempio, nel settore della robotica, dell'Intelligenza Artificiale, ecc.)	La carenza di dati rende difficili e inaffidabili le stime iniziali di costo/ricavi e le analisi di business plan
Creazione di nuove opportunità di business e valvola di sfogo dell'economia terrestre	Negative cash flow nel corso dei primi 5/10 anni.
La ridotta Forza di gravità, presente sulla Luna, dischiude nuove opportunità di business (assemblaggio di navi spaziale, industria farmaceutica, ecc.)	La ridotta Forza di gravità rende più difficoltose alcune attività manifatturiere (ad es. la perforazione del suolo lunare, la stampa 3D, ecc).
Posizionamento geopolitico-salvaguardia delle posizioni di leadership nel settore spaziale, sia civile che militare	Rischi sia politici che commerciali derivanti dall'assenza di una regolamentazione internazionale cogente in materia di utilizzazione dei corpi celesti e delle loro risorse, e di contesti legislativi nazionali fortemente variegati o lacunosi.
<i>Opportunities</i>	<i>Threats</i>

3.5. *Una strategia che massimizzi i benefici e minimizzi i rischi.*- Per citare l'astronauta Roberto Vittori⁶¹: «quando saliamo le scale, è opportuno procedere un gradino alla volta». Ciò, come egli afferma è valido sia per logica ma anche e soprattutto per sicurezza. È, infatti, opportuno nell'esplorazione umana del sistema solare, concentrarsi *in-primis* sulla Luna che, come abbiamo visto, ipoteticamente consente le condizioni per creare un nuovo spazio economico coerente e stabile.

L'obiettivo enunciato dalle Direttive del Presidente Trump si differenzia, rispetto al programma Apollo, per il fatto che l'uomo non torna sulla luna giusto per arrivarci quanto piuttosto per colonizzare e reinventare, in loco, il processo manifatturiero. Ciò significa andare, tornare ma, anche e soprattutto, lavorare e produrre sulla superficie lunare in maniera stabile e continuativa. Non certo un "villaggio lunare" per fini turistici quanto più una zona industriale ovvero un insediamento, al di fuori del nostro pianeta, che crei valore e sia la base operativa di ulteriori avanzamenti della presenza umana nel Sistema Solare. Ciò che lascia perplessi è che, sulla base dell'interpretazione erronea degli annunci della Casa Bianca, l'attenzione si stia spostando sui moduli di un'ipotetica stazione spaziale in orbita cislunare piuttosto che su un insediamento sul suolo lunare, ed uno sfruttamento dell'intero spazio economico che esso potrebbe creare. È opportuno riflettere, infatti, sul fatto che il *gateway* lunare non può e non deve rappresentare un "cancello" ed una "barriera" rispetto all'ingresso delle attività commerciali e dei privati.

È opportuno ricordare, infatti, che il primo annuncio del lancio dell'ISS è stato proclamato nel 1984 e ci sono voluti 14 anni fino alla messa in orbita del primo modulo (avvenuto nel 1998) mentre il completamento della stazione è stato dichiarato solamente nel 2011. L'ISS è l'espressione di una capacità tecnologica di un'intera generazione ed è sicuramente un grandissimo successo ma non è necessariamente l'approccio che si deve adottare per la creazione di uno spazio economico lunare.

D'altra parte, occorre anche evitare di riprodurre uno schema, come quello del programma Apollo, basato su singole missioni "*one-shot*" dirette sulla superficie lunare, che lascerebbe nuovamente alla mercé delle evoluzioni geopolitiche e budgettarie dei governi ogni garanzia di continuità del processo di colonizzazione lunare, che inve-

⁶¹ "Allunaggi di ieri e di oggi" di Roberto Vittori su Airpress n.100 di giugno 2019.

ce diviene essenziale, per poter arrivare a traguardi effettivi in termini di utilizzo socio-economico, oltre che scientifico e tecnologico, dell'ambiente spaziale oltre l'Orbita Bassa. Ecco perché lo schema complessivo di esplorazione lunare tracciato dalla NASA è ben più complesso rispetto alla semplice installazione del Gateway: esso è concepito come una infrastruttura orbitante con funzione di snodo intermodale e logistico permanente, destinato a "stabilizzare" la sequenza delle missioni, umane e robotiche, di colonizzazione lunare.

Nel Gateway gli astronauti potranno trascorrere mesi svolgendo sperimentazioni e testando soluzioni tecnologiche; da lì gli astronauti potranno comandare mezzi robotici di superficie per l'analisi scientifica dell'ambiente e del sottosuolo e per le operazioni di allestimento degli habitat lunari di superficie (con una notevole economia di costo rispetto a operazioni umane dirette), da lì, infine, essi potranno discendere su qualunque punto della superficie lunare, senza dover essere limitati dalla scelta della zona di allunaggio di singole missioni di andata e ritorno dalla Terra, come quelle del programma Apollo. L'obiettivo finale dello schema NASA è quello di tornare sulla Luna, stabilire una presenza umana sulla sua superficie, impiegarla per sviluppare le tecnologie per portare astronauti su Marte e altre destinazioni planetarie: *"We are going forward to the Moon to stay"*.

L'approccio più adatto al nostro satellite, è dunque quello in cui si parallelizzano alcune attività: da un lato, qualcuno si fa carico di realizzare le strutture sulla superficie lunare, mentre, dall'altro, si mandano in orbita cislunare le infrastrutture per attività di sperimentazione e trasferimento. È opportuno inoltre differenziare le linee di produzione tra coloro che decideranno di realizzare strutture sulla superficie lunare e coloro che invece si occuperanno dei servizi di trasporto logistico e decideranno di realizzare e portare i *lander* o i macchinari per l'estrazione delle risorse. "Parallelizzare", in questo caso, è la strategia che, anche in base all'analisi condotta sembra massimizzare i benefici e minimizzare i rischi. È anche la strategia che consente di modulare le forme di coinvolgimento di tutti gli attori della catena globale del valore del settore spaziale, nonché le forme di finanziamento delle diverse linee di produzione, promuovendo, alimentando e sfruttando al massimo il potenziale di impatto economico e sociale che può dispiegarsi nella colonizzazione umana della Luna verso la creazione di un vero e proprio "Spazio Economico Lunare".

CAPITOLO 4

CONCEPT POSIZIONAMENTO ITALIA

Nel dicembre 2014, l'Advanced Exploration Systems (AES)⁶² della NASA ha individuato un nuovo modello di Partnership Pubblico-Privata (PPP) finalizzato allo sviluppo commerciale di capacità di esplorazione dello spazio profondo per supportare missioni spaziali umane di lunga durata all'interno nelle orbite basse della Terra e all'esterno nello spazio cislunare. Tale modello di PPP, denominato NEXTSTEP, è finalizzato a stimolare l'industria spaziale commerciale per aiutare la NASA ad espandere le frontiere della conoscenza, capacità e opportunità offerte dall'esplorazione umana dello spazio, nonché conseguire gli obiettivi strategici indicati dal decisore politico, supportando nel contempo i piani di commercializzazione del settore.

Con il NEXTSTEP2, pubblicato nel mese di marzo 2015, come più sopra evidenziato la NASA ha selezionato 12 *Next Space Technologies for Exploration Partnerships* con l'obiettivo di avviare studi concettuali e progetti di sviluppo tecnologico soprattutto nelle aree di propulsione avanzata, abitazione e piccoli satelliti. Attraverso queste partnership pubblico-private, le aziende selezionate hanno avuto modo di acquisire il know-how necessario per avviare la progettazione di sistemi in grado di operare, con personale a bordo, intorno alla luna (spazio cis-lunare), su Marte e nello spazio profondo. Come affermato da *William Gerstenmaier*⁶³: «I partner commerciali sono stati selezionati per la loro capacità tecnica di maturare le tecnologie chiave e il loro impegno per le potenziali applicazioni sia per gli usi del settore pubblico che privato».

I risultati di questi studi e gli sviluppi dell'*hardware* hanno, tra l'altro, consentito di: determinare il ruolo del coinvolgimento dei partner internazionali, mappando le capacità dell'industria statunitense e delle missioni di *Orion* e *Space Launch Systems* nello spazio cis-luna-

⁶² AES: La Divisione AES della NASA si occupa di valutare e definire nuovi approcci per lo sviluppo di prototipi di sistemi, dimostratori di capacità chiave e convalida di concetti operativi per future missioni umane oltre l'orbita bassa terrestre. Le attività di AES sono principalmente legate alla sicurezza dell'equipaggio e alle operazioni di missione nello spazio profondo e sono fortemente associate allo sviluppo futuro del veicolo.

⁶³ Former Associate Administrator for Human Exploration and Operations at NASA Headquarters

re; migliorare la performance delle componenti dei moduli abitativi della Stazione Spaziale Internazionale; selezionare i sistemi di habitat e le architetture, individuando una capacità abitativa modulare per missioni di lungo periodo nello spazio profondo⁶⁴.

Come affermato da *Jason Crusan*⁶⁵ «Questo tipo di partnership pubblico-privata ha consentito alla NASA di stimolare l'industria spaziale statunitense espandendo al contempo le frontiere della conoscenza, delle capacità e delle opportunità nello spazio».

L'impiego delle Partnership Pubblico-Private nel settore della esplorazione spaziale, in particolare in orbita cis-lunare, ha inoltre consentito di fondare una analisi ragionata dei pros & cons sviluppata da NASA per motivare la propria strategia di accesso alla superficie lunare basata sulla infrastruttura Gateway che, come già sopra evidenziato, differisce significativamente da quella impiegata negli anni '60 nel programma Apollo:

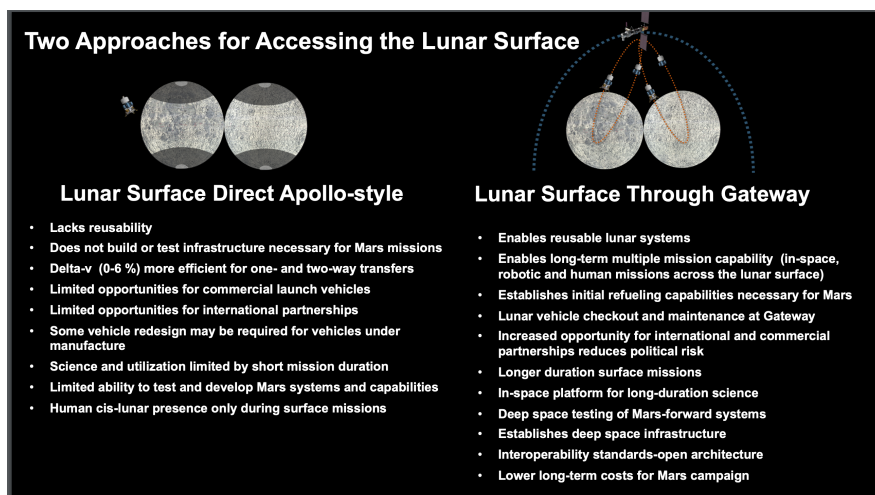


Figura 11. Confronto tra i due principali approcci di accesso alla superficie lunare.

Dal confronto dei due approcci, sono emerse le considerevoli opportunità già più sopra evidenziate offerte dal Gateway cis-lunare,

⁶⁴ In particolare Orion è il primo componente dell'esplorazione umana oltre l'orbita terrestre bassa ed è in grado di ospitare un equipaggio di quattro persone per 21 giorni nello spazio profondo e riportarli sani e salvi sulla Terra

⁶⁵ direttore della Advanced Exploration Systems Division (AESD) della missione esplorativa e operativa della NASA Direzione a Washington

non solo come elemento per l'allunaggio, ma quale stazione di lancio per lo spazio profondo.

Anche grazie all'iterazione con la filiera industriale, mediante le PPP, è emerso che la Stazione orbitante attorno alla Luna consente:

- il raggiungimento di molteplici destinazioni e missioni esplorative;
- all'esplorazione umana dello spazio di svilupparsi a ritmi sostenibili;
- di valorizzare le partnership commerciali ed internazionali;
- di impiegare la *International Space Station* come stazione di *test, demonstration e validation* dei sistemi di esplorazione;
- di dimostrare le capacità di trasporto commerciale verso lo spazio profondo;
- di validare/abilitare operazioni riutilizzabili nello spazio, nonché avviare opportunità commerciali nello spazio profondo.

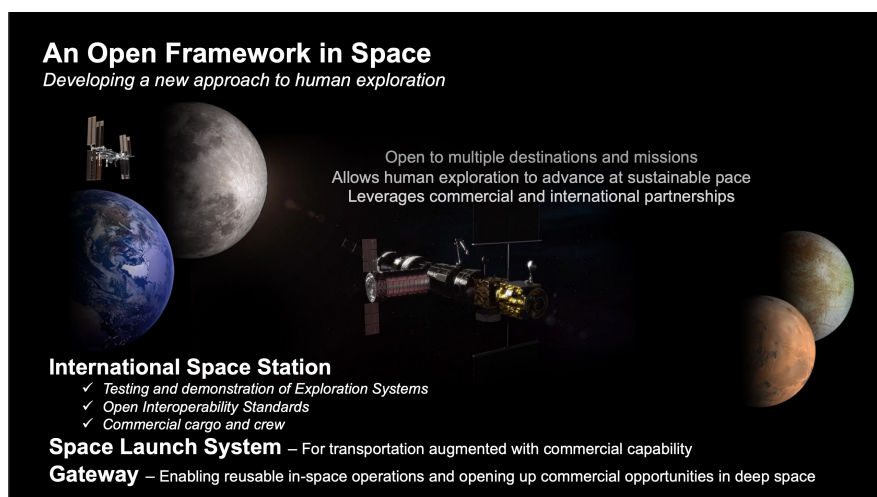


Figura 12. Infografica del nuovo approccio all'esplorazione umana del Sistema Solare.

Dalla consapevolezza delle capacità tecnologiche ed industriali acquisite, si sono quindi potute individuare le prime configurazioni del Gateway e soprattutto la *roadmap* per lo sviluppo dello stesso.

Sulla base del principio di parallelizzazione delle iniziative che, come si è sopra dimostrato, è stato ritenuto l'approccio più efficiente ed efficace nell'impostazione della architettura complessiva di colonizzazione della Luna, la NASA iniziò già nel 2014 a ipotizzare, nelle varie possibili configurazioni del Gateway, i moduli e i sottosistemi strategici di proprietà del Governo americano, quelli da sviluppare in

ambito internazionale e le parti che eventualmente potevano essere oggetto di negoziazione con i Partner e con gli attori privati.

Parallelamente, gli studi e le analisi condotte dalla NASA hanno ipotizzato le possibili missioni di esplorazione e utilizzazione della Luna, al fine di testare le tecnologie e le operazioni di lungo periodo su Marte e nello spazio profondo (vedi Figura seguente).

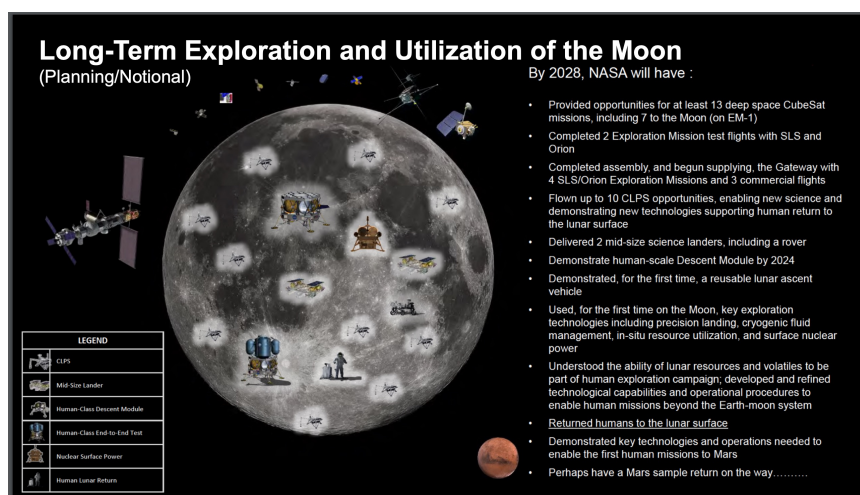


Figura 13. Pianificazione di lungo termine della NASA per lo sfruttamento della Luna.

Nel mese di dicembre 2017, il Presidente Trump sottoscrive la Space Policy Directive n. 1 che prevede un programma integrato a guida USA con partner privati finalizzato al ritorno umano sulla Luna (nel polo sud della Luna), seguito da una sostenuta presenza sul satellite terrestre e attorno alla sua orbita, nonché missioni su Marte e nello spazio profondo.

Mediante la direttiva politica, si chiede all'amministratore della NASA di avviare «un programma di esplorazione innovativo e sostenibile con partner commerciali e internazionali per consentire l'espansione umana attraverso il sistema solare e riportare sulla Terra nuove conoscenze e opportunità».

L'allora Amministratore della NASA, Robert Lightfoot dichiarò: «Questo progetto rappresenta uno sforzo nazionale su molti fronti, e vede gli USA tecnologicamente all'avanguardia. Coinvolgeremo i migliori scienziati e i più brillanti progettisti tra il governo e l'industria privata e i nostri partner in tutto il mondo per raggiungere nuove pietre miliari nell'esplorazione umana».

Nel mese di marzo 2019 il Vice Presidente USA Mike Pence, a capo del *National Space Council*, ha annunciato che l'obiettivo di portare gli americani sulla Luna doveva essere anticipato e perseguito entro il 2024. Il progetto ARTEMIS⁶⁶, dunque, si struttura secondo direttive strategiche americane, avviando una nuova era dell'esplorazione umana dello spazio, partendo dal polo sud della Luna, su cui nessun piede umano ha mai camminato.

Come descritto e approfondito al capitolo 2, seguendo le indicazioni presidenziali ARTEMIS si compone di due fasi, la prima si concluderà, almeno nominalmente, nel 2024 con lo sbarco degli astronauti sulla superficie lunare e la seconda post 2024 nella quale si stabilirà una presenza sostenibile a lungo termine sulla Luna.

Come indicato dai risultati delle analisi di approccio, l'accesso alla Luna passerà attraverso lo sviluppo di una stazione in orbita cislunare, il cui primo modulo sarà lanciato già nel 2022 (il Power and Propulsion Module), seguito nel 2023 dal secondo Modulo HALO a completare la configurazione minimale dell'infrastruttura, necessaria e sufficiente a supportare la missione umana al polo sud della Luna e completare con successo la fase 1 entro il 2024. Entrambi i moduli sono stati commissionati da NASA mediante contratti commerciali. In parallelo, per tutto il periodo, si succederanno una serie di missioni commerciali – *Commercial Lunar Payload Services* (CLPS) – gestite dalla Direzione delle attività scientifiche della NASA che si attende che i privati forniscano tutte le attività necessarie per integrare, ospitare, trasportare e gestire in modo sicuro i carichi utili della NASA, inclusi i veicoli di lancio, veicoli spaziali lunari, sistemi di superficie lunare, veicoli di rientro alla Terra.

Nel dettaglio, i primi building blocks essenziali per garantire il buon esito della missione lunare nel 2024 sono:

- *Power Propulsion Element* (PPE): l'elemento di potenza e propulsione è un velivolo spaziale elettrico ad alta potenza da 50 kilowatt, tre volte più potente delle attuali capacità. Il PPE sarà portato in orbita lunare con un vettore commerciale nel 2022 e sarà testato per un anno. Questo primo modulo del Gateway fornirà energia, propul-

⁶⁶ Artemis è la sorella gemella di Apollo e dea della Luna nella mitologia greca. Rappresenta pertanto il percorso degli USA e dell'umanità verso la luna come il nome del programma NASA.

sione e comunicazioni per l'intera stazione orbitante una volta assemblata.

- *Habitation And Logistics Outpost (HALO), o Minimal Habitat*: HALO sarà essenzialmente un “nodo” pressurizzato, ovvero un modulo per collegare altre parti del Gateway e sarà portato in orbita con un vettore commerciale nel 2023.

- *Human Landing System (HLS)*: sarà il sistema che consentirà il trasferimento dell'equipaggio dal Gateway alla superficie lunare e ritorno.

- *Initial Capability suit*: configurazione iniziale delle tute che saranno utilizzate nella missione lunare nel 2024.

Focalizzando l'attenzione sulle opportunità offerte dalla prima fase del programma di esplorazione lunare del 2024, l'Italia è chiamata a definire una strategia che sfrutti, valorizzi e accresca le proprie capacità tecnologiche e massimizzi le potenzialità di impatto socio economico sul Paese. Come le analisi fin qui svolte hanno indicato, la strategia di approccio vincente appare dunque essere quella della parallelizzazione delle linee di sviluppo e produzione, in uno schema che identifichi la combinazione ottimale: di intervento pubblico e coinvolgimento privato; di sviluppi gestiti secondo i processi e gli schemi di gestione conservativi di Old Space verso le produzioni gestite secondo i nuovi modelli e le soluzioni *game-changers* in atto negli Stati Uniti e a livello globale; gli obiettivi ed il livello di ambizione che si vuole acquisire nell'arena geostrategica globale verso i posizionamenti, bilaterali e/o multilaterali nelle cooperazioni internazionali che meglio supportino la crescita sociale ed economica del Paese.

L'Italia – attraverso i programmi nazionali, le cooperazioni bilaterali e la partecipazione ai progetti multilaterali – è una delle poche Nazioni al mondo a disporre di un comparto spaziale ed aerospaziale caratterizzato da una filiera completa di prodotti e servizi. La Legge, promossa dal Parlamento italiano, dell'11 gennaio 2018, n.7, all'avanguardia nel contesto europeo, conferisce al Presidente del Consiglio dei Ministri l'alta direzione, la responsabilità politica generale e il coordinamento delle politiche dei Ministeri relative ai programmi spaziali ed istituisce il “Comitato interministeriale per le politiche relative allo spazio e all'aerospazio” (COMINT), cui partecipano 12 Ministri e il Presidente della Conferenza delle Regioni. Una specifica Struttura di Coordinamento interministeriale, che presiede il segretario del COMINT, è stata istituita presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri per coordinare le attività istruttorie e di analisi, nonché verifi-

care l'attuazione delle decisioni assunte in ambito Comitato Interministeriale.

Tra le più recenti attività finalizzate dal Comitato interministeriale, si evidenzia la definizione degli *Indirizzi del Governo in materia spaziale e aerospaziale* – approvati dal Presidente del Consiglio dei Ministri lo scorso 25 marzo e pubblicati sul sito della presidenza del Consiglio dei Ministri (pagina dell'Ufficio del Consigliere Militare⁶⁷) – che rappresentano il primo atto di indirizzo politico nel settore spaziale nazionale.

Come si evince negli Indirizzi del Governo, l'esplorazione robotica e umana dello spazio rientrano tra i settori strategici nazionali. In particolare, il Governo italiano ritiene indispensabile: consolidare i programmi della Stazione Spaziale Internazionale; garantire un ruolo rilevante nel presidio dell'orbita lunare; valutare le opportunità offerte dalla futura presenza robotica ed umana sulla superficie lunare.

L'esplorazione robotica e umana della Luna rientra tra le priorità dell'Esecutivo allo scopo di mantenere il ruolo di eccellenza conquistato dall'Italia nell'ambito della ricerca scientifica e delle capacità tecnologiche acquisite con l'esperienza della Stazione Spaziale Internazionale in orbita bassa.

Fissato l'obiettivo politico-strategico, è necessario identificare le linee d'azione che il Governo potrà intraprendere, tenendo conto che gli USA e la NASA sembrano fortemente intenzionati a valorizzare le iniziative pubblico-private avviate, come accennato, con NEXTSTEP2, ma anche con CLPS, sostenendo un ruolo importante della *new space economy* nell'esplorazione spaziale e quindi l'attrazione di capitali privati nella ricerca e sviluppo dei sistemi e piattaforme che saranno utilizzate per offrire servizi all'utenza istituzionale e commerciale.

Le linee d'azione potrebbero essere essenzialmente tre: Space Economy – Moon Exploration Plan; Rafforzamento della cooperazione bilaterale con gli USA-NASA; Partecipazione a programmi multilaterali in ambito ESA/UE.

4.1. *Space Economy – Moon Exploration Plan.* - L'onda della *new space economy* ha raggiunto anche il nostro Paese e si ritiene che tra i

⁶⁷http://presidenza.governo.it/AmministrazioneTrasparente/Organizzazione/ArticolazioneUffici/UfficiDirettaPresidente/UfficiDiretta_CONTE/COMINT/DEL_20190325_aerospazio.pdf

motivi che hanno portato l'Italia a rivedere, con la Legge 7/2018, la propria *governance*, vi sia anche quello di rispondere alla “contaminazione” che la *new space*, e l'ingresso di imprenditori del calibro di Elon Musk⁶⁸, Richard Branson⁶⁹ e Jeff Bezos⁷⁰, sta causando al mercato dello spazio nel mondo.

Con il *Piano Strategico Nazionale per la Space Economy* elaborato in seno alla “Cabina di Regia Spazio” sono state indicate «le linee strategiche d'intervento in grado di consentire all'Italia di trasformare il settore spaziale nazionale in uno dei motori propulsori della nuova crescita del paese» in una prospettiva di lungo periodo (con orizzonte al 2030).

Nel 2016, con l'approvazione da parte del CIPE⁷¹ del “*Piano Stralcio Space Economy*” si è potuto dare avvio agli interventi più urgenti con la formula innovativa per l'Italia e, abbiamo visto anche in Europa, di creare una sinergia finanziaria basata su tre attori:

- lo Stato, con i Fondi di Sviluppo e Coesione assegnati dal CIPE al MISE (circa 360M€);
- le Regioni che, per la prima volta, hanno realizzato un Piano Multiregionale per la “Space Economy”;
- i Privati che sono invitati ad aderire in progetti in cui realisticamente credono vi possa essere un concreto ritorno di competitività sul mercato globale.

La previsione è di movimentare ulteriori fondi attraverso contribuzioni regionali e private, fino ad arrivare a circa 1 miliardo di euro a favore della crescita e dell'occupazione nel settore spaziale nazionale.

L'obiettivo della “*New Space Economy all'Italiana*” è pertanto quello di coagulare in Italia – utilizzando anche le risorse messe a disposizione dall'Unione Europea – Consorzi di Imprese anche e soprattutto PMI con idee e soluzioni innovative da proporre alle Istituzioni e al mercato.

La sfida proposta dagli Stati Uniti potrebbe quindi essere colta dall'Italia anche prevedendo l'avvio di una specifica linea di intervento nel Piano Nazionale Space Economy e nel correlato Piano Multiregionale. Tale linea di intervento dovrebbe essere orientata all'esplorazione della Luna, individuando un c.d. “*Moon exploration Plan*”.

⁶⁸ Elon Musk: SPACE X, TESLA, SOLAR CITY

⁶⁹ VIRGIN GALACTIC

⁷⁰ AMAZON

⁷¹ Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica

Il *Moon Exploration Plan* dovrebbe individuare ed elencare le esigenze, nonché aggregare la domanda, dell'utenza istituzionale (scienza, sperimentazione e ricerca tecnologica) e commerciale interessata a sfruttare l'esplorazione spaziale anche al fine di:

- acquisire capacità di trasferimento di carichi utili/persone tra il Gateway e la superficie lunare;
- estrarre risorse naturali con cui produrre carburanti per future missioni o basi stabili sulla Luna;
- estrarre l'acqua, anidride carbonica e altre sostanze per creare l'autosussistenza nello spazio (colonizzazione dello spazio);
- spostare sulla Luna l'industria pesante e tutte le attività che inquinano, per mitigare il fenomeno del cambiamento climatico;
- sostenere il turismo spaziale e lunare;
- sviluppare modalità innovative di logistica nello spazio;
- sperimentare nuove tecniche di costruzione ad elevata affidabilità ed automazione con il sistema dell'*additive manufacturing*;
- massimizzare le opportunità di ricaduta in termini di applicazioni a Terra dei servizi/prodotti sviluppati per l'esplorazione lunare.

Una volta individuato tale *Moon Exploration Plan* ed associate le risorse da parte dello Stato (ad esempio: Fondi per lo Sviluppo e Coesione) e delle Regioni (Piemonte, Campania e Puglia sono piuttosto attive ed interessate ad investire in tale settore), l'Agenzia Spaziale Italiana potrà essere incaricata di svolgere il ruolo di Stazione Appaltante che procederà a pubblicare le "*chiamate a manifestare interesse*" per ciascun programma.

I Consorzi di imprese che risponderanno a tali *call* potranno – co-finanziando i progetti al 50% – sviluppare una propria capacità di esplorazione ed offrire all'utenza istituzionale e commerciale una serie di servizi nello spazio la cui vendita potrà sostenere i piani di business aziendali.

4.2. Rafforzamento della cooperazione bilaterale con gli USA-NASA.- Tenuto conto che la collaborazione tra Italia e Stati Uniti ha una lunga storia di successi iniziati negli anni '60, grazie alla costruttiva cooperazione tra le comunità aerospaziali dei due Paesi, l'Italia potrebbe dare continuità al rapporto privilegiato che la lega alla NASA nell'ambito dello sviluppo e della utilizzazione della ISS, proponendo agli USA una partecipazione nazionale al modulo *HALO* per il quale,

peraltro, la NASA ha già selezionato l'azienda americana che ha un accordo industriale con l'azienda italiana che è leader mondiale nella realizzazione di moduli abitativi spaziali grazie all'heritage derivante dall'utilizzo di un progetto, quello del MPLM, di proprietà ASI. Di fatto, l'industria nazionale è tecnicamente in grado di sviluppare anche in modo autonomo HALO, avendo realizzato già più della metà dello spazio pressurizzato nel segmento non russo della ISS.

Per suggellare la forte cooperazione tra Italia e USA, il modulo *HALO*, fornito dall'Italia, potrebbe chiamarsi "*Amicitia*" e sarebbe operativamente consegnato dall'ASI alla NASA entro il 2023 per essere posto in orbita cis-lunare nei tempi previsti con un servizio di lancio commerciale. Lo schema di cooperazione e lo stesso processo di procurement e di gestione in questo caso seguirebbe un approccio in buona parte tradizionale (anche se si potrebbero sperimentare alcune innovazioni di processo che potrebbero consentire schemi di incentivazione e di ripartizione del rischio in grado di accelerare lo sviluppo), analogo a quello che ha presieduto agli accordi per la ISS e allo sviluppo dei moduli pressurizzati italiani in orbita bassa, e consentirebbe all'Italia di negoziare in cambio quote di capacità di utilizzo del Gateway, nonché opportunità di volo per astronauti italiani, nella prospettiva di abilitare, nella seconda fase del programma Artemis, ovvero quella della vera e propria colonizzazione lunare, i diritti di accesso al Gateway per tutti i prodotti /servizi che il sistema economico nazionale avrà nel frattempo sviluppato grazie al Moon Exploration Plan.

Tale rafforzamento della cooperazione tra Italia e USA si dovrebbe sostanziare in un *Implementing Arrangement* tra ASI e NASA, secondo le disposizioni dall'accordo intergovernativo quadro di cooperazione bilaterale spaziale del 2016, che preveda una *roadmap* serrata finalizzata all'obiettivo 2023.

Offrire, mediante un Accordo bilaterale, il mini-hab italiano "*Amicitia*" non solo aiuterebbe la NASA a mantenere il Gateway nella configurazione minimale, ma al contempo risolverebbe l'attuale tensione tra NASA e l'Office of Management and Budget (OMB) della Casa Bianca⁷² e il Congresso in merito ai fondi addizionali

⁷² "OMB is definitely trying to kill Gateway," a senior spaceflight source told Ars. "OMB looks at what the vice president said about getting to the Moon by 2024 and says you could do it cheaper if you didn't have Gateway, and probably faster. They are fighting tooth and nail to nix the Gateway." Stralcio dall'articolo pubblicato su ARS-TECHNICA di Eric Berger

richiesti dall'agenzia per Artemis nel FY 2020, in quanto le risorse economiche per il mini-hab sarebbero italiane. La posizione italiana non è mai stata così forte: il Paese è dotato di una capacità tecnologica e industriale unica in Europa nello sviluppo di infrastrutture umane orbitali ed il Governo ha riconosciuto, formalmente con i propri Indirizzi politici, il valore geostrategico di posizionare un modulo fondamentale sul Gateway da cui saranno avviate tutte le missioni lunari e, in prospettiva, verso lo spazio profondo (Marte e oltre).

4.3. Partecipazione a programmi multilaterali in ambito ESA ed Unione Europea. - Per acquisire una capacità avanzata di esplorazione spaziale è necessario valorizzare il c.d. *Sistema Paese Spazio*, realizzabile mettendo in sinergia e consonanza di intenti: vertice politico, regioni, comparto industriale e comunità scientifica, sostenendo lo sviluppo di tecnologie sempre più innovative ed abilitanti, quindi in grado di spostare sempre più lontano il nostro orizzonte di esplorazione profonda dell'universo.

La nuova *governance* dello spazio ed aerospazio italiana assegna il compito di stimolare e valorizzare il Sistema Paese Spazio alla Presidenza del Consiglio dei Ministri, tramite l'azione di coordinamento interministeriale attuata dal Sottosegretario alla Presidenza del Consiglio con delega allo Spazio.

La “*Struttura di Coordinamento per le politiche relative allo spazio all'aerospazio e ai correlati servizi applicativi*” – istituita in Presidenza del Consiglio⁷³ e presieduta dal Segretario del COMINT (Ammiraglio Carlo MASSAGLI) – oltre ad assicurare che le funzioni di coordinamento, di supporto e di segreteria svolte dall'Ufficio del Consigliere Militare del Presidente del Consiglio siano improntate alla massima condivisione interministeriale e inter-agenzia:

- garantisce una coerente e tempestiva attuazione delle decisioni del COMINT;
- sottopone all'esame del COMINT questioni rilevanti per la

del 3 luglio 2019: <https://arstechnica.com/science/2019/07/heres-a-reality-check-on-nasas-artemis-moon-landing-program/>

⁷³ Con il DPCM 20 dicembre 2018, è stata costituita una “*Struttura di coordinamento per le politiche relative allo spazio e all'aerospazio*” - presieduta dal Consigliere Militare e costituita dai rappresentanti delle Amministrazioni del COMINT, dell'ASI e di altre Amministrazioni e da esperti provenienti dal mondo della ricerca e dall'industria potenzialmente interessati a specifici temi – con il compito di svolgere l'attività preparatoria e di analisi, nonché l'istruttoria dei dossier da sottoporre all'esame del COMINT

definizione di una posizione unitaria di indirizzo politico del Governo su progetti in corso di sviluppo;

- è coinvolta nella fase istruttoria e di definizione della posizione che l'Italia, per il tramite dei propri delegati, presenta in ambito bi-multilaterale.

In merito a quest'ultimo punto, l'azione del Sistema Paese Spazio dovrebbe essere mirata ad evitare duplicazioni e ridondanze nelle due principali organizzazioni (UE e ESA) di cui l'Italia è membro che investono in tecnologie abilitanti per lo sviluppo di capacità nel settore dell'esplorazione umana e robotica dello spazio.

Pertanto, nei prossimi programmi multilaterali che saranno avviati in ambito ESA (Consiglio Ministeriale di novembre 2019) ed Unione Europea (Horizon Europe, European Space Programme, European Defence Fund, InvestEU Fund), l'Italia dovrebbe sostenere la definizione di chiari obiettivi tecnologici e strategie condivise per lo sviluppo e conseguimento degli stessi. L'auspicio è quindi quello di sviluppare in multilaterale (ESA e/o UE) programmi ambiziosi e visionari, anche a medio-lungo termine, che siano complementari e non concorrenti a quelli nazionali, portatori di complessità e sfide tecnologiche e scientifiche tali da motivare il coordinamento degli sforzi e delle capacità a livello multilaterale non solo europeo, ma globale.

Conclusioni. L'uomo è sempre stato un esploratore e la sua brama di scoprire nuovi luoghi lo ha portato fino ad interessarsi della Luna. La conquista della Luna, naturalmente, non placava – almeno durante la cosiddetta *Space Race* – solo un desiderio di esplorazione extra-terrestre, ma andava molto più in là. Con il suo innocuo bip-bip, lo Sputnik rappresentava una plateale dimostrazione che i missili balistici intercontinentali sovietici potevano colpire gli Stati Uniti come e quando volevano. Il messaggio per i politici americani era forte e chiaro. Il futuro presidente Lyndon Johnson, che nel 1961 sarà vicepresidente con Kennedy, non perse occasione per sottolineare il potenziale pericolo che i satelliti sovietici rappresentavano per i cittadini americani. Queste sono sue parole (1957): «Agli occhi del mondo, primo nello spazio significa primo, punto e basta. Chi arriva secondo nello spazio sarà secondo in tutto⁷⁴».

L'opinione pubblica americana, alle fine degli anni '50, era preoccupata per l'apparente vantaggio tecnologico dei sovietici. Anche gli USA – per ridare fiducia al paese – dovevano lanciare qualcosa nello spazio, giusto per dimostrare che non erano secondi a nessuno. Cominciarono quindi ad agire in tal senso, grazie soprattutto all'unico capace di questa magia, Wernher von Braun, un ex nemico nazista, divenuto cittadino americano.

Grazie a questa competizione, lo spazio è entrato nella vita di tutti noi. Mentre l'uomo ha conquistato lo spazio, le tecnologie spaziali hanno conquistato la società. Oggi siamo tutti spazio-dipendenti: per programmare un viaggio guardiamo le immagini satellitari e poi ci facciamo guidare dai satelliti per il posizionamento globale. La protezione civile può sempre contare su immagini satellitari delle aree colpite da catastrofi naturali. Le previsioni del tempo hanno smesso di essere un'arte e sono diventate sempre più precise e affidabili.

I satelliti per le telecomunicazioni ci consentono di essere connessi ovunque ci si trovi e quelli di osservazione della Terra ci rimandano in tempo reale immagini da tutto il mondo. Tutto è nato con il lancio dello Sputnik, ma nessuno, allora, avrebbe potuto immaginare come la corsa allo spazio avrebbe cambiato (in meglio) la nostra vita.

⁷⁴ *In the eyes of the world, first in space means first, period. Second in space is second in everything.*

Se guardiamo la lista delle missioni verso la Luna, possiamo vedere che, dopo l'ultima visita sovietica del 1976, c'è il vuoto assoluto per 14 anni, fino alla prima missione giapponese, nel 1990. Dopo essere stata oggetto di attenzione spasmodica da parte delle due grandi potenze antagoniste, la Luna era passata di moda.

Il nuovo millennio ha portato con sé una vera propria rinascita dell'interesse per la Luna, che viene studiata con missioni robotiche mentre si ricomincia a programmare l'esplorazione umana. Accanto al moltiplicarsi delle agenzie spaziali che vogliono studiare la Luna, con missioni in orbita e al suolo, si è aperto il mondo tutto nuovo dell'imprenditoria privata, che, ricercando il profitto spaziale, potrebbe favorire il ritorno di uomini e donne sulla Luna. Anche i privati si sono fatti portatori di nuove "vision" motivazionali per l'esplorazione e la colonizzazione interplanetaria: con il motto «Going to Space to Benefit Earth», la visione di Jeff Bezos di Blue Origin, partendo dalla constatazione della crescita costante della popolazione umana accompagnata da un sempre maggiore consumo di risorse energetiche, identifica gli impatti socio-economici come la determinante futura della esplorazione umana, che obbligherà l'umanità ad attuare un piano d'industrializzazione spaziale, tale da preservare le risorse native ed inquinare il meno possibile il nostro pianeta. Differente la visione del visionario imprenditore sudafricano di SpaceX, Elon Musk, per il quale l'obiettivo finale resta ancora Marte: «Fondamentalmente, il futuro è molto più eccitante se diventiamo una civiltà spaziale e una specie multi-planetaria».

Secondo Musk: «È importante avere una base in grado di sostenersi autonomamente su Marte perché è abbastanza lontana dalla Terra nel caso di una guerra, e quindi ha più probabilità di sopravvivere rispetto a una base sulla Luna. Se scoppiasse la Terza Guerra Mondiale vogliamo essere sicuri che ci siano abbastanza semi della civilizzazione umana da qualche parte da poterla riportare indietro, e accorciare la durata di un nuovo medioevo».

Tuttavia, il clima è molto diverso da quello degli anni che hanno portato alla conquista della Luna. Oggi si procede con ritmi meno convulsi. Dal 2001 al marzo 2019 la Luna è stata raggiunta da 13 missioni (più due riconvertite)⁷⁵: una europea, una giapponese, una

⁷⁵ Patrizia Caraveo, *Conquistati dalla Luna, storia di un'attrazione senza tempo*, Raffaello Cortina Editore, Milano, 2009.

indiana, quattro (più due) statunitensi e sei cinesi. Inoltre, nel febbraio 2019 è stata tentata la prima missione interamente privata israeliana. Se il numero di missioni è decisamente inferiore a quello degli anni precedenti alla conquista, bisogna però osservare che almeno fino al 2018 non si è registrato alcun fallimento. Tutte le sonde sono riuscite nel loro intento e hanno svolto il compito per il quale sono state progettate, fatta eccezione per i due falliti allunaggi del lander israeliano privato Beresheet e di quello indiano Vikram nel 2019 (a dimostrazione del fatto che, come già avvertiva John F. Kennedy nel 1962, andare sulla Luna non è facile).

Nel dicembre 2017 Donald Trump ha firmato la prima di quattro direttive sulla politica spaziale, riportando l'esplorazione umana della Luna in cima all'agenda della NASA. Il tipo di spedizione cui gli Stati Uniti puntano, prevede di rimanere sulla Luna e in orbita intorno ad essa a lungo. Punto focale del nuovo sistema sarà proprio il *Lunar Orbital Platform-Gateway*: una mini-stazione spaziale in orbita intorno alla Luna, formata da uno o due moduli abitabili ciascuno delle dimensioni di un piccolo autobus, più un modulo per la propulsione e altri due che servirebbero come punto di attracco, oltre a permettere il passaggio tra la parte abitata della stazione e l'esterno per lo svolgimento delle attività extraveicolari. Gli astronauti ci arriverebbero a bordo del nuovo sistema di trasporto deep space SLS/Orion sviluppato dalla NASA, ma anche delle nuove navicelle spaziali "commerciali" attualmente in costruzione da parte di SpaceX e Blue Origin.

Nel mese di marzo 2019 il Vice Presidente USA Mike Pence, a capo del *National Space Council*, ha annunciato che l'obiettivo di portare gli americani sulla Luna deve essere anticipato e perseguito entro il 2024 e, da allora, si lavora sodo alla realizzazione di un piano che permetta di portare a termine l'obiettivo. Tale piano rispolvera ed evolve quanto già concepito nell'ambito dell'International Space Exploration Coordination Group, gruppo di coordinamento volontario del quale sono parte NASA, ESA e le principali Agenzie Spaziali internazionali (ASI, CNES, DLR, JAXA, Roscosmos, CNSA, ecc.), e dettagliato nella sua Global Exploration Roadmap (GER 2018), dove viene riaffermato l'interesse delle agenzie partner per espandere la presenza umana nel Sistema Solare, con la superficie di Marte come obiettivo di guida comune.

Questo, riflette uno sforzo internazionale coordinato per preparare le missioni di esplorazione spaziale che iniziano con la Stazione

Spaziale Internazionale (ISS) e proseguono nelle vicinanze lunari, la superficie lunare, quindi su Marte.

Secondo tale ambizioso scenario si prevede che, entro la metà della decade 2020, un *Gateway* posto nelle vicinanze lunari aprirebbe la frontiera spaziale per l'esplorazione umana di Luna, Marte e asteroidi, espandendo gradualmente l'esplorazione e la colonizzazione umana e le attività verso lo spazio profondo. Il Gateway supporterebbe le attività su e intorno alla Luna e servirebbe anche come banco di prova per le tecnologie e le operazioni che consentiranno agli esploratori umani di affrontare le sfide e i rischi dell'esplorazione dello spazio profondo. Il programma della NASA ha, come primo obiettivo, la Luna, come passo obbligato in vista della futura esplorazione e colonizzazione umana di Marte.

Il programma Artemis rappresenta il primo passo verso l'obiettivo a lungo termine di stabilire una presenza sostenibile sulla Luna, gettando le basi per le compagnie private al fine di costruire una economia lunare, e, alla fine, inviando esseri umani su Marte. L'approccio NASA per la realizzazione del programma Artemis è duale, in quanto prevede il ricorso a partner commerciali per lo sviluppo dei moduli del Gateway e la parte dei servizi cargo, mantenendo sotto il controllo dell'Agenzia la logistica con equipaggio. La NASA sta infatti sviluppando il nuovo sistema di trasporto SLS/Orion, mentre i servizi logistici cargo saranno invece gestiti mediante l'utilizzo di operatori commerciali nell'ambito dei Gateway Logistics Services, in maniera analoga a quanto sta avvenendo attualmente con i Commercial Resupply Services (CRS) per la ISS.

Infine, con il programma Commercial Lunar Payload Services la NASA intende acquistare servizi di trasporto di carico utile end-to-end tra la Terra e la superficie lunare utilizzando contratti a prezzo fisso. Con tali contratti la NASA si aspetta che le aziende contraenti selezionate si facciano carico di tutte le attività necessarie per integrare, ospitare, trasportare e gestire in modo sicuro i carichi utili, inclusi veicoli di lancio, veicoli spaziali lunari, sistemi di superficie lunare, veicoli di rientro della Terra e risorse associate.

Per 20 anni, gli esseri umani hanno vissuto e lavorato a bordo della Stazione Spaziale Internazionale, che è stata l'opera di ingegneria umana più grande mai realizzata nello spazio e il fulcro delle attività spaziali con equipaggio degli ultimi 20 anni, conducendo migliaia di esperimenti in settori quali la ricerca umana, la biologia e le scienze fisiche e chimiche, nonché lo sviluppo di tecnologie

avanzate. Dopo più di 20 anni in orbita, la ISS si sta avvicinando a un bivio proprio quando la NASA deve prendere decisioni riguardanti le ricerche cruciali e non completate, necessarie per consentire i viaggi spaziali profondi. Accanto ai numerosi successi e opportunità di ricerca, ci sono gli enormi costi necessari per mantenere la ISS e – in assenza di un aumento significativo dei finanziamenti complessivi della NASA – la necessità di reindirizzare gran parte di quei fondi verso future missioni spaziali oltre la bassa orbita terrestre. Oggi la NASA sta sostenendo lo sviluppo di un'economia spaziale commerciale nelle orbite basse attraverso partnership pubblico-private la commercializzazione dei servizi logistici utilizzando contratti e accordi sulla Stazione Spaziale Internazionale.

Come parte di una strategia di esplorazione condivisa, la NASA intende iniziare a spostare la responsabilità per soddisfare i suoi bisogni e requisiti nelle orbite basse sfruttando la capacità del settore privato; la prospettiva di costi inferiori consentirà alla NASA di impiegare più personale e risorse nel volo spaziale umano oltre le LEO. Oltre alla prospettiva di ridurre i costi operativi per una piattaforma LEO, spostare l'attenzione sull'industria potrebbe ridurre ulteriormente il carico infrastrutturale della NASA stessa. La Stazione Spaziale Internazionale, infatti, dovrebbe garantire le operazioni ben oltre il 2028⁷⁶. Se da un lato, però, è probabile che tecnicamente sia possibile continuare a gestire la ISS ben oltre il 2028, è anche necessario considerare i costi di gestione che si stimano di circa \$ 1,1 miliardi all'anno.

Al fine di garantire che l'industria privata sia pronta a fornire i servizi e le funzionalità a supporto delle esigenze in LEO, e per consentire all'industria privata di sviluppare mercati e attrarre clienti al di fuori del governo, la NASA propone un approccio di transizione ISS basato su due linee di azione: 1) iniziare una transizione graduale delle operazioni di volo umano spaziale in LEO da un'attività governativa diretta a un modello in cui l'industria privata diventa responsabile di come soddisfare ed eseguire i requisiti della NASA stessa: ciò non significa che si stia procedendo alla "commercializzazione dell'ISS".

Infatti, l'Agenzia continuerà a mantenere la leadership e le responsabilità di governo verso gli altri Partner internazionali, come

⁷⁶ Basandosi sui dati attuali, molti dei moduli, lanciati negli ultimi anni, hanno probabilmente una vita operativa ben oltre il 2030

delineato negli accordi di partenariato, e continuerà a gestire gli elementi essenziali del volo umano spaziale come la sicurezza degli astronauti e i sistemi di esplorazione ad alto rischio; 2) richiedere, fin da subito, all'industria studi sullo sviluppo e le operazioni di moduli e/o piattaforme orbitali che la NASA potrebbe utilizzare per soddisfare i propri requisiti LEO a lungo termine (coerenti con i Principi di transizione ISS). In particolare, gli studi di cui sopra dovranno essere focalizzati alle attività di riduzione del rischio, nuovi moduli o elementi collegati o liberi, obiettivi del settore privato in orbita LEO, incluse analisi di mercato e piani aziendali.

L'Istituto per la politica della scienza e della tecnologia (Science and Technology Policy Institute -STPI) ha condotto una valutazione iniziale nel 2017 della redditività di una piattaforma LEO privata. I risultati, per i ricavi totali annualizzati da attività condotte su una stazione spaziale privata, oscillerebbero da una stima "bassa" di circa \$ 460 milioni a una stima "alta" di circa \$ 1,2 miliardi, a fronte di una stima di costi che andrebbe da un'ipotesi "a basso costo" di 463 M\$ a una ad "alto costo" di ben 2.250 M\$ per anno.

Un'ulteriore analisi sui risultati ottenuti, ha evidenziato inoltre che i costi di lancio rappresenterebbero il principale motore di entrate e costi. Se i costi di lancio fossero dimezzati, come risultato di una svolta tecnologica o di un sussidio governativo (o forse anche, si potrebbe pensare, per effetto dell'entrata in operazione dei servizi commerciali di trasporto cargo al Gateway lunare, che aumenterebbe senz'altro le economie di scala dei fornitori), le stime delle entrate per la stazione a basso costo aumenterebbero dal 23% per lo scenario "alto" al 53% per quello "basso", con una diminuzione dei costi del 16%. Nel caso limite di un contributo governativo al 100 % dei costi di lancio, i ricavi per una stazione spaziale privata a basso costo aumenterebbero dal 46% al 106 %, rispettivamente per gli scenari "alto" e "basso" con una riduzione dei costi del 33 %.

In ogni caso la corsa alla luna, dunque, è partita e gli atleti alla linea di partenza sono almeno tre: gli Stati Uniti, la Cina e l'Europa. Tutto sembra suggerire che si sia aperta una nuova era nella esplorazione lunare nel quale le agenzie spaziali nazionali lavoreranno assieme all'industria privata, per consentire tale colonizzazione e per sfruttarne le risorse.

Benché la NASA sia rimasta bloccata per decenni a causa delle contraddizioni interne alle diverse amministrazioni americane, nel frattempo, alcuni imprenditori come Jeff Bezos ed Elon Musk hanno

reso i loro lanci estremamente competitivi ed economici. L'approccio game-changer, che intenderebbe adottare la NASA, sta per l'appunto in una estensiva *partnership* commerciale tra l'agenzia e questi visionari/privati che sveltirebbe il programma e permetterebbe di fare affidamento su capitali privati con una maggiore *attitude* commerciale. L'obiettivo è quello di arrivare ad una architettura evolutiva: non è importante solo tornare sulla luna, quanto piuttosto stabilirvisi. La sfida, infatti, è quella di insediare una colonia permanente e svolgere attività che siano autofinanziate ed autosufficienti, rispetto alla Terra: si va dal turismo, all'estrazione mineraria in cerca di materie prime (elio-3, uranio, metalli) sino all'accumulo di ossigeno ed idrogeno da utilizzare come carburante per le navette. In un futuro prossimo, sul suolo lunare, si deve puntare ad assemblare parti pesanti delle navi spaziali dirette verso Marte e lo Spazio profondo.

L'insediamento di una base permanente sul suolo lunare o nell'orbita cislunare avrà ricadute sul piano occupazionale dirette e indotte mediante la creazione di posti di lavoro sia nell'ambito della produzione industriale che negli indotti relativi alle attività collaterali allo sfruttamento del suolo lunare. Ulteriore trend di sviluppo sarà dovuto alla radicale diminuzione dei costi del trasporto e dei viaggi spaziali. Si pensi che, ad oggi, Space-X già recupera circa il 50% di quanto utilizzato in un lancio spaziale. Ad ogni lancio, quindi, Elon Musk ricapitalizza circa il 50% in più rispetto ad un lancio tradizionale. Secondo uno studio della US Air Force, attraverso la collaborazione con aziende private, sarà possibile indurre un ciclo virtuoso che porterà ad una riduzione anche di 10 volte sui costi attualmente necessari per lo spostamento Terra-Luna.

In ultimo vi sono aspetti economici e finanziari: ad oggi, il settore spaziale attrae molta attenzione del mercato finanziario in quanto gli investitori (pubblici e privati) cercano nuove fonti di crescita ed innovazione e la Space Economy è divenuta un dominio rilevante per l'innovazione hi-tech nonché per le opportunità commerciali e di sviluppo strategico. Ma il settore spaziale ha anche alcune controindicazioni: in particolare, esso ha un significativo ritorno di investimento solo sulle attività di lunga durata; anche per tale ragione, lo spazio è stato a lungo un settore dominato dagli attori statali/istituzionali.

L'analisi dei punti di Forza/Debolezza e delle Opportunità/Minacce che caratterizzano lo scenario attuale sembra produrre una sostanziale simmetria tra i fattori e le variabili in gioco e in azione. Ecco perché l'approccio più adatto al nostro satellite risulta essere

proprio quello adottato dagli Stati Uniti, ovvero è quello in cui si parallelizzano alcune attività: da un lato, qualcuno si fa carico di realizzare le strutture sulla superficie lunare, mentre, dall'altro, si mandano in orbita cislunare le infrastrutture per attività di sperimentazione e trasferimento.

È opportuno inoltre differenziare le linee di produzione tra coloro che decideranno di realizzare strutture sulla superficie lunare e coloro che invece si occuperanno dei servizi di trasporto logistico e decideranno di realizzare e portare i lander o i macchinari per l'estrazione delle risorse. "Parallelizzare", in questo caso, è la strategia che, anche in base all'analisi condotta sembra massimizzare i benefici e minimizzare i rischi. È anche la strategia che consente di modulare le forme di coinvolgimento di tutti gli attori della catena globale del valore del settore spaziale, nonché le forme di finanziamento delle diverse linee di produzione, promuovendo, alimentando e sfruttando al massimo il potenziale di impatto economico e sociale che può dispiegarsi nella colonizzazione umana della Luna verso la creazione di un vero e proprio "Spazio Economico Lunare".

Sulla base del principio di parallelizzazione delle iniziative che, come si è sopra dimostrato, è stato ritenuto l'approccio più efficiente ed efficace nell'impostazione della architettura complessiva di colonizzazione della Luna, la NASA iniziò già nel dicembre 2014, ad ipotizzare, nelle varie possibili configurazioni del Gateway, i moduli e i sottosistemi strategici di proprietà del Governo americano, quelli da sviluppare in ambito internazionale e le parti che eventualmente potevano essere oggetto di negoziazione con i Partner e con gli attori privati.

Parallelamente, gli studi e le analisi condotte dalla NASA hanno ipotizzato le possibili missioni di esplorazione e utilizzazione della Luna, al fine di testare le tecnologie e le operazioni di lungo periodo su Marte e nello spazio profondo, oggi portate avanti nell'ambito del programma commerciale CLPS.

Nel 2014, l'Advanced Exploration Systems della NASA ha individuato un nuovo modello di Partnership Pubblico-Privata finalizzato allo sviluppo commerciale di capacità di esplorazione dello spazio profondo per supportare missioni spaziali umane di lunga durata all'interno nelle orbite basse della Terra e all'esterno dello spazio cislunare. Tale modello di PPP, denominato NEXTSTEP, è finalizzato a stimolare l'industria spaziale commerciale per aiutare la NASA ad espandere le frontiere della conoscenza, capacità e

opportunità offerte dall'esplorazione umana dello spazio, nonché conseguire gli obiettivi strategici indicati dal decisore politico, supportando nel contempo i piani di commercializzazione del settore.

Con il NEXTSTEP2, pubblicato nel mese di marzo 2015, la NASA ha quindi selezionato 12 *Next Space Technologies for Exploration Partnerships* con l'obiettivo di avviare studi concettuali e progetti di sviluppo tecnologico soprattutto nelle aree di propulsione avanzata, abitazione e piccoli satelliti. Attraverso queste partnership pubblico-private, le aziende selezionate hanno avuto modo di acquisire il know-how necessario per avviare la progettazione di sistemi in grado di operare, con personale a bordo, intorno alla luna (spazio cis-lunare), su Marte e nello spazio profondo.

L'accesso alla Luna passerà attraverso lo sviluppo di una stazione in orbita cislunare, il cui primo modulo sarà lanciato già nel 2022 (il Power and Propulsion Module) seguito nel 2023 dal secondo Modulo HALO a completare la configurazione minimale dell'infrastruttura, necessaria e sufficiente a supportare la missione umana al polo sud della Luna e completare con successo la fase 1, entro il 2024; entrambi i moduli verranno commissionati da NASA mediante contratti commerciali. In parallelo, per tutto il periodo, si succederanno una serie di missioni commerciali – Commercial Lunar Payload Services (CLPS) – gestite dalla Direzione delle attività scientifiche della NASA che si attende che i privati forniscano tutte le attività necessarie per integrare, ospitare, trasportare e gestire in modo sicuro i carichi utili della NASA, inclusi i veicoli di lancio, veicoli spaziali lunari, sistemi di superficie lunare, veicoli di rientro alla Terra.

Gli elementi essenziali per garantire il buon esito della missione lunare nel 2024, sono il *Power Propulsion Element* (elemento che fornirà energia, propulsione e comunicazioni), il modulo *HALO* (un “nodo” pressurizzato, ovvero un modulo abitabile per collegare altre parti del Gateway), l'*Initial Capability suit* (configurazione iniziale delle tute che saranno utilizzate nella missione lunare nel 2024).

Focalizzando l'attenzione sulle opportunità offerte dalla prima fase del programma di esplorazione lunare del 2024, l'Italia è chiamata a definire una strategia che sfrutti, valorizzi e accresca le proprie capacità tecnologiche e massimizzi le potenzialità di impatto socio economico sul Paese. La strategia di approccio vincente appare dunque essere quella della parallelizzazione delle linee di sviluppo e produzione, in uno schema che identifichi la combinazione ottimale: di intervento pubblico e coinvolgimento privato; di sviluppi gestiti se-

condo i processi e gli schemi di gestione conservativi di Old Space verso le produzioni gestite secondo i nuovi modelli e le soluzioni game-changers in atto negli Stati Uniti e a livello globale; gli obiettivi e il livello di ambizione che si vuole acquisire nell'arena geostrategica globale verso i posizionamenti, bilaterali e/o multilaterali nelle cooperazioni internazionali che meglio supportino la crescita sociale ed economica del Paese.

L'Italia dispone di un comparto spaziale ed aerospaziale caratterizzato da una filiera completa di prodotti e servizi. La Legge n. 7/2018⁷⁷, tra le altre cose, prevede la definizione degli Indirizzi del Governo in materia spaziale e aerospaziale⁷⁸. Gli Indirizzi sono stati firmati dal Presidente del Consiglio dei Ministri lo scorso 25 marzo e contemplano l'esplorazione robotica ed umana dello spazio tra i settori strategici nazionali. In particolare, il Governo italiano ritiene indispensabile consolidare i programmi della Stazione Spaziale Internazionale, garantire un ruolo rilevante nel presidio dell'orbita lunare e valutare le opportunità offerte dalla futura presenza robotica ed umana sulla superficie lunare.

L'esplorazione robotica e umana della Luna rientra tra le priorità dell'Esecutivo allo scopo di mantenere il ruolo di eccellenza acquisito dall'Italia nell'ambito della ricerca scientifica e delle capacità tecnologiche acquisite con l'esperienza della Stazione Spaziale Internazionale in orbita bassa.

È necessario identificare le linee d'azione che il Governo potrà intraprendere, tenendo conto che gli USA e la NASA, sembrano fortemente intenzionati a valorizzare le iniziative pubblico-private avviate con NEXTSTEP2, ma anche con CLPS, sostenendo un ruolo importante della *space economy* nell'esplorazione spaziale e, quindi, l'attrazione di capitali privati nella ricerca e sviluppo dei sistemi e piattaforme che saranno utilizzate per offrire servizi all'utenza istituzionale e commerciale.

Per quanto precede, sono state proposte tre linee di intervento.

La prima linea prevede l'accoglimento della sfida proposta dagli Stati Uniti con l'avvio di una specifica linea di intervento nel Piano Nazionale Space Economy e nel correlato Piano Multiregionale. Tale

⁷⁷Rif. <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:legge:2018-01-11;7!vig=>

⁷⁸Rif.

http://presidenza.governo.it/AmministrazioneTrasparente/Organizzazione/ArticolazioneUffici/UfficiDirettaPresidente/UfficiDiretta_CONTE/COMINT/DEL_20190325_aerospazio.pdf

linea di intervento dovrebbe essere orientata all'esplorazione della Luna, individuando un "*Moon exploration Plan*".

Il Moon Exploration Plan dovrebbe individuare ed elencare le esigenze, nonché aggregare la domanda dell'utenza istituzionale (scienza, sperimentazione e ricerca tecnologica) e commerciale interessata a sfruttare l'esplorazione spaziale anche al fine di: acquisire capacità di trasferimento di carichi utili/persone tra il Gateway e la superficie lunare; estrarre risorse naturali con cui produrre carburanti per future missioni o basi stabili sulla Luna, estrarre l'acqua, anidride carbonica e altre sostanze per creare l'autosussistenza nello spazio (colonizzazione dello spazio); spostare sulla Luna l'industria pesante e tutte le attività che inquinano, per mitigare il fenomeno del cambiamento climatico; sostenere il turismo spaziale e lunare; sviluppare modalità innovative di logistica nello spazio e sperimentare nuove tecniche di costruzione ad elevata affidabilità ed automazione con il sistema dell'*additive manufacturing*; massimizzare le opportunità di ricaduta in termini di applicazioni a Terra dei servizi/prodotti sviluppati per l'esplorazione lunare.

Una volta individuato tale Moon Exploration Plan ed associate le risorse da parte dello Stato (ad esempio: Fondi per lo Sviluppo e Coesione) e delle Regioni (Piemonte, Campania e Puglia sono piuttosto attive ed interessate ad investire in tale settore), l'Agenzia Spaziale Italiana potrà essere incaricata di svolgere il ruolo di Stazione Appaltante che procederà a pubblicare le "chiamate a manifestare interesse" per ciascun programma. I Consorzi di imprese che risponderanno a tali call potranno – co-finanziando i progetti al 50% – sviluppare una propria capacità di esplorazione ed offrire all'utenza istituzionale e commerciale una serie di servizi nello spazio la cui vendita potrà sostenere i piani di business aziendali.

La seconda linea tiene conto della cooperazione bilaterale con gli USA-NASA, nella considerazione che la collaborazione tra Italia e Stati Uniti ha una lunga storia di successi iniziati negli anni '60, grazie alla costruttiva cooperazione tra le comunità aerospaziali dei due Paesi. Il Governo italiano potrebbe offrire agli USA una partecipazione nazionale al modulo *HALO*, che l'industria nazionale è tecnicamente in grado di sviluppare anche in modo autonomo, avendo realizzato già più della metà dello spazio pressurizzato nel segmento non russo della ISS.

Per suggellare la forte cooperazione tra Italia e USA, il Minimal Habitat, fornito dall'Italia, potrebbe chiamarsi "*Amicitia*" e sarebbe

operativamente consegnato dall'ASI alla NASA entro il 2023 per essere posto in orbita cis-lunare nei tempi previsti con un servizio di lancio commerciale. Lo schema di cooperazione e lo stesso processo di procurement e di gestione in questo caso seguirebbe un approccio in buona parte tradizionale e consentirebbe all'Italia di negoziare in cambio quote di capacità di utilizzo del Gateway, nonché opportunità di volo per astronauti italiani, nella prospettiva di abilitare, nella seconda fase del programma Artemis, ovvero quella della vera e propria colonizzazione lunare, i diritti di accesso al Gateway per tutti i prodotti /servizi che il sistema economico nazionale avrà nel frattempo sviluppato grazie al Moon Exploration Plan. Tale rafforzamento della cooperazione tra Italia e USA si dovrebbe sostanziare in un Memorandum of Understanding/Letter of Intent tra ASI e NASA che preveda una roadmap serrata finalizzata all'obiettivo 2023.

Offrire, mediante un Accordo bilaterale, il mini-hab italiano "Amicitia" non solo aiuterebbe la NASA a mantenere il Gateway nella configurazione minimale, ma al contempo risolverebbe l'attuale tensione tra NASA e l'Office of Management and Budget (OMB) della Casa Bianca, in quanto le risorse economiche per il mini-hab sarebbero italiane. La posizione italiana non è mai stata così forte: il Paese è dotato di una capacità tecnologica e industriale unica in Europa nello sviluppo di infrastrutture umane orbitali ed il Governo ha riconosciuto, formalmente con i propri Indirizzi politici, il valore geostrategico di posizionare un modulo fondamentale sul Gateway da cui saranno avviate tutte le missioni lunari e, in prospettiva, verso lo spazio profondo (Marte e oltre).

La terza linea di intervento è quella della partecipazione a programmi multilaterali in ambito ESA e/o Unione Europea. Anche al fine di complementare le attività delle altre due linee d'azione, l'Italia dovrebbe, nei prossimi programmi multilaterali che saranno avviati in ambito ESA (Consiglio Ministeriale di novembre 2019) ed Unione Europea (Horizon Europe, European Space Programme, European Defence Fund, InvestEU Fund), sostenere la definizione di chiari obiettivi tecnologici e strategie condivise per lo sviluppo e conseguimento degli stessi. L'auspicio è quindi quello di sviluppare in multilaterale (ESA e/o UE) programmi ambiziosi e visionari, anche a medio-lungo termine, che siano complementari e non concorrenti a quelli nazionali, portatori di complessità e sfide tecnologiche e scientifiche tali da motivare il coordinamento degli sforzi e delle capacità a livello multilaterale non solo europeo, ma globale.

BIBLIOGRAFIA

- ❖ *A Decade of Commercial Space Travel—What's Next?* – Rif. <https://singularityhub.com/2018/09/28/a-decade-of-commercial-space-travel-whats-next/>
- ❖ *Alla conquista (economica) della Luna* – Rif. <https://www.wired.it/economia/business/2019/03/23/luna-economia-costi/>
- ❖ *Artemis, online il piano della NASA per tornare sulla Luna: 37 lanci e un avamposto* – Rif. https://www.hwupgrade.it/news/scienza-tecnologia/artemis-online-il-piano-della-nasa-per-tornare-sulla-luna-37-lanci-e-un-avamposto_82449.html
- ❖ *Assessment of the socioeconomic impact of the ESA participation to the International Space Station (ISS) Programme* – Rif. https://esamultimedia.esa.int/docs/business_with_esa/Assessment_of_the_socio-economic_impact_of_the_ESA_participation_to_the_ISS_Programme_Executive_Summary_Sept_2016.pdf
- ❖ *Commercial Crew Program* – Rif. <https://www.nasa.gov/exploration/commercial/crew/index.html>
- ❖ *Commercial Orbital Transportation Services (COTS)* – Rif. <https://www.nasa.gov/commercial-orbital-transportation-services-cots>
- ❖ *Commercial Space Economy* – Rif. <https://www.nasa.gov/exploration/commercial/index.html>
- ❖ *Elon Musk says SpaceX is on track to launch people to Mars within 6 years — here's the full timeline of his plans to populate the red planet* – Rif. <https://www.businessinsider.com/elon-musk-spacex-mars-plan-timeline-2018-10?IR=T#2100s-onward-terraform-mars-into-an-earth-like-planet-12>
- ❖ *ESA develops logistics vehicle for cis-lunar outpost* – Rif. <http://www.russianspaceweb.com/imp-lcub.html>
- ❖ *Explore Moon to Mars* – Rif. <https://www.nasa.gov/topics/moon-to-mars>
- ❖ *Gateway to the Moon: NASA Testing Wraps Up for Lunar-Orbiting Habitat Prototype* – Rif. <https://www.space.com/northrop-grumman-nasa-moon-habitat-prototype.html>
- ❖ *How Russia (yes Russia) plans to land cosmonauts on the Moon by 2030* – Rif. <https://arstechnica.com/science/2019/05/how-russia-yes-russia-plans-to-land-cosmonauts-on-the-moon-by-2030/>
- ❖ ISECG, *The Global Exploration Roadmap*, gennaio 2018
- ❖ *Jeff Bezos just gave a private talk in New York. From utopian space colonies to dissing Elon Musk's Martian dream, here are the most notable things he said* – Rif. <https://www.businessinsider.com/jeff-bezos-blue-origin-wings-club-presentation-transcript-2019-2?IR=T>
- ❖ *Lo spazio è una miniera d'oro: così la space economy può far ripartire l'Italia (se si saprà investire)* – Rif. <https://www.linkiesta.it/it/article/2019/06/10/spazio-ricerca-italia-economia/42454/>
- ❖ *Making life multiplanetary* – Rif. <https://www.spacex.com/mars>
- ❖ *Moon and Mars* – Rif. https://www.reddit.com/r/spacex/comments/8ztx71/moon_and_mars/

- ❖ *Multilateral Coordination Board Joint Statement* – Rif. <https://www.nasa.gov/feature/multilateral-coordination-board-joint-statement>
- ❖ *NASA Begins Testing Habitation Prototypes* – Rif. <https://www.nasa.gov/feature/nasa-begins-testing-habitation-prototypes>
- ❖ *NASA making its moon mission commercial could signal a paradigm shift for deep-space travel* – Rif. <https://www.theverge.com/2019/3/15/18265417/nasa-space-launch-system-orion-em-1-commercial-space-tugs-docking-assembly>
- ❖ *NASA to Partner with American Industry to Supply Artemis Moon Missions* – Rif. <https://www.nasa.gov/feature/nasa-to-partner-with-american-industry-to-supply-artemis-moon-missions>
- ❖ *NASA unveils timeline for Artemis manned and unmanned Moon missions starting 2020* – Rif. <https://www.firstpost.com/tech/science/nasa-unveils-timeline-for-artemis-manned-and-unmanned-moon-missions-starting-2020-6694501.html>
- ❖ *NASA, Forward to the Moon: NASA's Strategic Plan for Lunar Exploration*, 6 giugno 2019
- ❖ *NASA, International Space Station Transition Report*, 30 marzo 2018
- ❖ *NASA, Management and Utilization of the International Space Station*, 30 luglio 2018
- ❖ *NASA, National Space Exploration Campaign Report*, settembre 2018
- ❖ *NASA's Commercial Crew Program by the Numbers* – Rif. <http://www.parabolicarc.com/2016/10/24/nasas-84-billion-commercial-crew-program/>
- ❖ *Northrop Grumman, NASA test Cygnus-derived lunar gateway habitat* – Rif. <https://www.nasaspaceflight.com/2019/05/ngis-nasa-test-cygnus-derived-lunar-gateway-habitat/>
- ❖ *Op-ed / Lunar Gateway or Moon Direct?* – Rif. <https://spacenews.com/op-ed-lunar-gateway-or-moon-direct/>
- ❖ *Ritorno alla Luna: il coinvolgimento dei privati lo renderà più economico e rapido. Prospettive ed implicazioni* – Rif. <https://www.reccom.org/2018/09/14/ritorno-alla-luna-il-coinvolgimento-dei-privati-lo-rendera-piu-economico-e-rapido-prospettive-ed-implicazioni>
- ❖ *SpaceX Has a Bold Timeline for Getting to Mars and Starting a Colony* – Rif. <https://www.inverse.com/article/51291-spacex-here-s-the-timeline-for-getting-to-mars-and-starting-a-colony>
- ❖ *SpaceX's Elon Musk shows off a shiny Starship in landscapes of moon and Mars* – Rif. <https://www.geekwire.com/2019/elon-musk-spacex-starship-moon-mars/>
- ❖ *The future of the European space sector* – Rif. https://www.eib.org/attachments/thematic/future_of_european_space_sector_en.pdf