

CENTRO MILITARE DI STUDI STRATEGICI
Ricerca B 11/AA

Il ritorno sulla Luna: problemi e prospettive

a cura di

Alberto Traballesi

2007

Si ringraziano per il generoso supporto gli amici e colleghi del Moon Base Italia Working Group e dell'Ufficio Innovazione Tecnologica dell'Istituto Nazionale di Astrofisica, il Prof. Piero Spillantini, Addetto scientifico dell'Ambasciata d'Italia a Mosca, e l'amico Klaus P. Heiss, animatore di High Frontier e di Jamestown on the Moon.

Alberto Traballesi (direttore della ricerca) ha frequentato il corso Urano 2° dell'Accademia Aeronautica, che gli è valso il conferimento della laurea in Scienze Aeronautiche. Inoltre, è laureato in matematica ed in ingegneria elettronica ed è specializzato in ricerca operativa. Ha assolto incarichi operativi e di stato maggiore in forza armata e in campo interforze. Ha comandato il 155° Gruppo C.B. ed il 51° Stormo ed è stato Addetto Aeronautico presso le Ambasciate d'Italia a Parigi e Bruxelles.

Ha lasciato l'Aeronautica Militare nel 1995, con il grado di Generale B.A., ed è stato nominato esperto della Presidenza del Consiglio dei Ministri, presso l'Ufficio del Consigliere Militare, dove si occupa in particolare delle problematiche connesse con la politica industriale per il settore aerospaziale e della difesa e con la protezione delle infrastrutture critiche.

Fa parte del Moon Base Italia Working Group, un think tank che ha promosso in campo internazionale lo sviluppo delle tematiche relative alla costituzione di un insediamento umano permanente sulla Luna.

È associato all'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) e si interessa di Sistemi Informativi Geografici.

Oltre che con il CeMiSS, collabora con l'Istituto Affari Internazionali. Svolge attività pubblicistica.

INDICE

SOMMARIO	7
SUMMARY	11
INTRODUZIONE	15
CAPITOLO 1	19
Dalle teorie dell'Universo all'esplorazione della Luna	19
Le teorie dell'Universo.....	19
L'esplorazione della Luna ed il programma Apollo	23
L'esplorazione della Luna dopo il programma Apollo	26
Il ritorno dell'uomo sulla Luna	30
CAPITOLO 2	31
Introduzione alla Luna	31
La formazione della Luna	31
L'atmosfera	33
Il campo magnetico	34
La crosta, il mantello ed il nucleo	34
I crateri e le altre strutture lunari.....	36
Le risorse della Luna	37
CAPITOLO 3	41
Come arrivare sulla Luna	41
Trasferimento alla Hohmann.....	42
Trasferimenti WSB	43
La discesa e l'allunaggio	48
CAPITOLO 4	51
I vincoli legali.....	51
CAPITOLO 5	57
Le questioni aperte	57
L'accelerazione di gravità	60
Le radiazioni.....	62
I problemi psicologici.....	67
L'habitat	69
La propulsione.....	72

Sistemi chimici	73
Sistemi elettrici.....	74
Sistemi a fusione nucleare.....	75
Le vele spaziali.....	76
L'aerocattura	77
L'ascensore spaziale lunare.....	77
Le comunicazioni	80
Il supporto logistico.....	81
CAPITOLO 6	85
La situazione internazionale.....	85
Gli Stati Uniti d'America	87
La Russia.....	93
La Cina	94
Il Giappone.....	97
L'India.....	97
L'Unione Europea.....	99
CAPITOLO 7	103
Considerazioni conclusive.....	103
La struttura della cooperazione internazionale.....	105
Il Moon Laboratory	106
Le implicazioni per la sicurezza.....	108
Appendice 1.....	112
Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies	112
BIBLIOGRAFIA.....	122

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Il logo della conferenza “ <i>Moon Base: a challenge for humanity</i> ”	18
Figura 2: Immagine dello Sputnik 1.....	22
Figura 3: La Terra che sorge, ripresa dall’Apollo 8 in orbita lunare,.....	25
Figura 4: Visione artistica di Smart-1.....	27
Figura 5: Profilo della missione Kaguya (Selene).....	29
Figura 6: Immagine, dell’impronta lasciata sul suolo lunare dalla calzatura dell’astronauta Buzz Aldrin durante la missione Apollo11, che evidenzia la consistenza del suolo.....	33
Figura 7: Trasferimento alla Hohmann.....	42
Figura 8: I punti lagrangiani in un sistema a tre corpi.....	43
Figura 9: I punti di Lagrange nella Regione Terrestre.....	44
Figura 10: Visione artistica dell’Interplanetary Superhighway (IPS).....	45
Figura 11: Rappresentazione artistica di una porzione dell’IPS nell’Earth’s Neighborhood.....	47
Figura 12: Trasferimento a bassa energia e cattura balistica da parte della Luna.....	47
Figura 13: Rappresentazione dei circuiti di lancio ed allunaggio di un Lander.....	49
Figura 14: La sequenza di allunaggio.....	50
Figura 15: Valori della dose radioattiva, calcolati in funzione dello spessore della schermatura e per differenti materiali, nell’orbita dell’ISS e per condizioni minime di influenza solare.....	63
Figura 16: L’attività di una macchia solare, vista lateralmente.....	64
Figura 17: Comparazione tra protezione passiva e protezione attiva dalla componente direzionale delle particelle solari energetiche.....	66
Figura 18: Visione artistica di un lunar lander e di tre astronauti al lavoro nell’area intorno ad esso.....	71
Figura 19: Studio della NASA per una vela solare quadrata, stabilizzata sui tre assi.....	76
Figura 20: Potenziale configurazione dell’ascensore spaziale lunare.....	78
Figura 21: Rappresentazione della “rotaia sospesa” per raggiungere i poli lunari.....	79
Figura 22: Grafico di una rete interplanetaria di supporto all’esplorazione spaziale.....	82

Figura 23: Visione artistica di Ares I, durante il lancio e con sulla cima Orion, e di Ares V, sulla rampa di lancio.....	88
Figura 24: Visione artistica del CEV Orion agganciato al lander, in orbita lunare e con i pannelli solari estesi.....	91
Figura 25: Profilo della missione “Luna-Glob”.....	93
Figura 26: La prima foto della superficie della Luna ripresa da Chang’e 1.....	96
Figura 27: Profilo della missione lunare indiana Chandrayaan-1.....	98
Figura 28: Visione artistica dell’ATV “ <i>Jules Verne</i> ”.....	102

SOMMARIO

L'uomo è arrivato sulla Luna con le missioni Apollo della fine degli anni '60, ma poi si è fermato e ha lasciato il passo alle sonde automatiche.

Oggi, ha deciso di tornare lui stesso sulla Luna, per poi proseguire verso Marte. L'annuncio, nel 2004, dell'Amministrazione americana di un nuovo programma dedicato alla Luna, ha dato grande impulso al processo. Tutte le principali Nazioni, che hanno una politica spaziale e che, quindi, sono impegnate nella conquista dello Spazio, si sono date o stanno dandosi come obiettivo primario il ritorno sulla Luna. La Cina ha lavorato per anni duramente per acquisire la capacità di mandare astronauti in orbita con le proprie forze e alla fine ci è riuscita. L'India ha seguito da vicino. E anche Russia e Giappone sono della partita.

L'Europa ha una lunga tradizione scientifica e non ha solamente cominciato una sua riflessione sul programma lunare: le competenze tecniche di base sono già pronte per essere sviluppate nel momento in cui sia il supporto politico che le risorse necessarie saranno disponibili.

Anche per l'Italia, e per l'industria italiana, c'è posto in questo contesto altamente competitivo, perché il nostro Paese ha un'eccezionale tradizione in campo spaziale: è tra i paesi fondatori delle organizzazioni spaziali europee ed è il terzo contribuente dell'Agenzia Spaziale Europea. Inoltre, l'Italia si è costruita una relazione preferenziale con gli Stati Uniti, com'è testimoniato dai numerosi progetti comuni, quali i programmi bilaterali tethered satellites, Iris, la missione Cassini verso Saturno ed il ruolo preminente dell'industria italiana nella Stazione Spaziale Internazionale.

La Luna è particolarmente adatta a divenire un laboratorio sperimentale, perché relativamente vicina e ci si può anche servire della ISS, la Stazione Spaziale Internazionale, come eventuale scalo intermedio. Ci si potrà abituare a vivere lontano dalla Terra ed a svincolarci dalle orbite basse e ci si potrà preparare alla colonizzazione di Marte, se non a missioni umane in zone ancora più remote.

Sarà un banco di prova unico della risposta del corpo umano in situazioni di ridotta forza di gravità.

Le sperimentazioni riguarderanno anche sistemi chiusi di supporto ecologico e biologico alla vita, per arrivare all'autonomia ed indipendenza degli equipaggi dal supporto esterno.

A questo proposito, recenti osservazioni hanno rilevato la quasi sicura presenza nelle regioni polari del pianeta di enormi quantità di ghiaccio, da cui si pensa di

ricavare acqua, ossigeno e, ricombinando ossigeno ed idrogeno, combustibile per una comunità umana.

Al polo Sud, poi, vi è una zona che è assolata per oltre il 75% del periodo di rotazione della Luna ed è in vista della Terra: sarebbe l'ideale per installare pannelli solari e sistemi di comunicazione.

Altre sperimentazioni saranno focalizzate sulle nuove tecnologie per il trasporto spaziale, quali quelle “*fuel-less*” (ad esempio la propulsione elettrica ed elettromagnetica, le vele spaziali, l'ascensore spaziale lunare).

Ma l'aspetto di determinante rilievo è la presenza sulla Luna di enormi giacimenti di minerali, quali titanio, alluminio e ferro, per citarne solo qualcuno. Un'altra risorsa lunare di particolare interesse è rappresentata dall'Elio 3. Mentre sulla Terra questo gas è rarissimo, sul nostro satellite è presente a tonnellate. Gli scienziati ritengono che sarebbe un combustibile pulito per reattori a fusione nucleare, in quanto la sua utilizzazione produrrebbe una quantità di scorie radioattive irrilevante.

Le motivazioni scientifiche stimolano il ritorno sulla Luna, ma da sole non sarebbero sufficienti per giustificare costi e rischi.

Gli investimenti delle missioni Apollo furono legittimati da motivazioni politiche legate alla guerra fredda, oggi permangono ragioni geostrategiche e di supremazia, ma sono legate strettamente alla ricerca e sfruttamento di nuove risorse.

D'altra parte, tra le misure per contenere il riscaldamento del Pianeta, proposte ai Governi dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) a maggio 2007, c'è il ricorso alle fonti rinnovabili e, soprattutto, al nucleare. Le risorse della Luna potrebbero darci un forte aiuto nell'applicazione di queste misure. In particolare, se risulterà conveniente estrarre e trasportare sulla Terra l'Elio 3, ci sarà offerta la capacità sia di produrre energia nucleare con scarse emissioni, sia di diminuire la dipendenza dalle fonti energetiche fossili, causa prima del rialzo delle temperature. Comunque, ci sono ampie possibilità di produzione e trasporto di energia solare, con un'efficienza decisamente superiore e non paragonabile con quella possibile sulla Terra per svariati fattori.

Per meglio comprendere, quindi, le potenzialità dell'obiettivo Luna, lo studio passa in rassegna ed analizza i principali fattori che sono connessi con il suo perseguimento.

Innanzitutto, nel **Capitolo 1** viene sintetizzato il percorso che l'uomo ha seguito sin dall'antichità per trovare la risposta ai quesiti fondamentali su da dove viene e dove va l'Universo e come egli, uomo, si collochi in esso. Sono, poi, descritti i risultati sinora conseguiti nell'esplorazione della Luna e sono enunciate le attività già programmate.

Il **Capitolo 2** introduce alla conoscenza della Luna, sulla base delle risposte ai quesiti che ci siamo posti e che siamo già riusciti a soddisfare. Il livello di

informazioni al quale siamo arrivati è significativo ed ha degli aspetti molto interessanti ed esaurienti per la programmazioni delle prossime missioni.

Il **Capitolo 3** affronta la questione delle traiettorie di trasferimento dalla Terra alla Luna, soffermandosi sulle opportunità, soprattutto come risparmio energetico, che possono essere sfruttate con l'utilizzazione delle autostrade interplanetarie (*Interplanetary Superhighway – IPS*) connesse con le orbite ad alone situate nei punti lagrangiani. Un cenno è anche riservato alle modalità di discesa sulla Luna.

Il **Capitolo 4** è dedicato all'analisi dei vincoli legali ai quali sono attualmente sottoposte le attività nello spazio, con particolare riferimento al “*Moon Treaty*”. È un set di accordi e trattati internazionali che di massima non rispondono più in modo esaustivo alle esigenze, perché sviluppato per buona parte quando ancora non era stata consolidata una sufficiente esperienza nel settore.

Chiude il Capitolo la proposta di un insieme di principi dai quali si potrebbe partire per regolare la libertà d'azione ed il diritto di proprietà nello Spazio.

Il **Capitolo 5** evidenzia la complessità di un programma che intende riportare l'uomo sulla Luna, per restarci ed installarvi una base permanente, *Moon Base*. Le condizioni nello Spazio differiscono enormemente da quelle sulla Terra. La superficie lunare è continuamente esposta ad agenti esogeni che potrebbero costituire rischi per gli equipaggi. Anche le mutazioni virali potranno avere una non trascurabile influenza sui viaggi spaziali. È questo un argomento sinora poco trattato, ma da affrontare seriamente, perché potrebbe condizionare l'evoluzione della permanenza umana nell'Esospazio.

Il supporto biomedico potrà aiutarci a risolvere questo interrogativo assieme a molti altri, come la sindrome di adattamento allo Spazio, le variazioni della forza di gravità, l'osteoporosi, l'atrofia muscolare e l'anemia.

Sono, quindi, enunciati i vincoli ai quali dovrà attenersi il progetto Moon Base.

Si ricorda, inoltre, che tale progetto dovrà risolvere anche tutte le questioni legate ad un idoneo ed efficace supporto logistico alla vita ed opera dell'insediamento umano. Per affrontare le modalità di una vita al di fuori della Terra, si suggerisce la metodologia della “biosfera”, con la quale incapsulare un'abbastanza larga porzione della vita terrestre e dove far ampio ricorso alle risorse locali (*In Situ Resources Utilization – ISRU*).

Infine, l'approfondimento è riservato ad alcune questioni specifiche, come gli effetti dell'accelerazione di gravità o delle radiazioni cosmiche.

Il **Capitolo 6** descrive le strategie delle maggiori Nazioni spaziali, in vista di una fattiva cooperazione e di una onesta competizione.

In merito alla cooperazione internazionale, il Capitolo menziona l'accordo sottoscritto da quattordici organizzazioni spaziali (*The Global Exploration Strategy*).

Il **Capitolo 7** trae le considerazioni conclusive, riprendendo ed evidenziando le possibilità di cooperazione e soffermandosi sulle forme che potrà assumere tale cooperazione. Particolare enfasi viene data alla posizione che potrà essere assunta in questo contesto dall'Europa e dall'Italia.

Per sviluppare le nuove tecnologie ed i nuovi sistemi, che saranno necessari per questa impresa, viene proposta e descritta la costituzione di una rete di eccellenze, il *Moon Laboratory*, del quale l'Italia potrebbe farsi promotrice e del quale forza propulsiva potrebbe essere l'Unione Europea, per le capacità presenti negli Stati membri.

Chiudono lo studio alcune riflessioni sulle implicazioni sulle tematiche della difesa e sicurezza, che conseguiranno a questa seconda corsa allo Spazio.

SUMMARY

Man landed on the moon with the Apollo missions conducted at the end of the 1960s, but then he came to a standstill and gave way to automatic probes.

Today, man himself has decided to return to the moon before moving on to Mars. The announcement by the American administration in 2004 of a new lunar programme has given a great boost to the process. All the leading nations that have a space policy and that are therefore involved in conquering space have set themselves or are setting themselves the primary goal of returning to the moon. China has worked hard for years to acquire the capacity to send astronauts into orbit using its own forces, and it has succeeded in the long run. India has been close on its heels. And Russia and Japan have also joined this group.

Europe has a long scientific tradition and it has not just started to take into consideration the lunar programme. The basic technical know-how is already there to be developed as soon as political support and necessary resources become available.

There is also room for Italy and Italian industry in this highly competitive context given that Italy enjoys an exceptional tradition in the field of space. It features among the founding countries of European space organisations and is the number three contributor to the European Space Agency. Moreover, Italy has established a preferential relationship with the United States as can be seen from the numerous joint projects such as the bilateral tethered satellites programmes, Iris, the Cassini mission to Saturn and the Italian industry's leading role in the International Space Station.

The moon is especially suitable for being used as an experimental laboratory since it is relatively near and the ISS, International Space Station, can also be used as a possible intermediate stopover. We can get used to living away from the Earth and free ourselves from the low orbits and we can get ready for the colonisation of Mars, as well as possible human missions to even more distant areas.

It will be a unique test bench for monitoring the human body's response in situations of reduced force of gravity.

Experiments will also concern closed ecological and biological life support systems in order to achieve the autonomy and independence of crews from external support.

In this regard, recent observations have revealed the almost certain presence in the planet's polar regions of enormous quantities of ice, from which it is thought possible to obtain water, oxygen and fuel (by recombining oxygen and hydrogen) for a human community.

In the south pole, there is an area which is exposed to the sun for over 75% of the moon's period of rotation and which can be seen from the Earth. It would be the ideal spot for installing solar panels and communications systems.

Other experiments will focus on the new technologies for space transport such as "fuel-less" technologies (for example, electric and electromagnetic propulsion, space sails, the lunar space elevator).

But the aspect of crucial importance is the presence on the moon of enormous stores of minerals such as titanium, aluminium and iron, to mention just a few.

Helium 3 represents another lunar resource of specific interest. While this gas is extremely rare on the Earth, it is present in huge quantities within our satellite. Scientists maintain that it would be a clean fuel for nuclear fusion reactors insofar as its use would produce an insignificant amount of radioactive waste.

Scientific reasons push for a return to the moon, but said reasons alone would not be enough to justify the costs and the risks.

The investments in the Apollo missions were justified by political reasons linked to the cold war. In today's world, geo-strategic and supremacy-related reasons still exist, but they are strictly linked to the research and exploitation of new resources.

On the other hand, the measures to limit heating of our planet, proposed to governments by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in May 2007, include the use of renewable sources and, above all, nuclear energy. The moon's resources could give us a major hand in applying these measures. Specifically, if it proves to be advantageous to extract and transport Helium 3 to the Earth, we will have the ability both to produce nuclear energy with low levels of greenhouse emissions and reduce the dependency on fossil fuel sources which are the leading cause of the rise in temperatures. In any case there are numerous possibilities of producing and transporting solar energy, with a decidedly higher level of efficiency that cannot be compared to the level of efficiency on the Earth for a variety of factors.

Therefore, in order to better understand the potential of the goal of returning to the moon, this paper reviews and analyses the main factors connected with achievement of said goal.

Firstly, **Chapter 1** summarises the route which man has taken since ancient times to find an answer to the fundamental questions regarding where he comes from and where the universe is heading and the position of man in all of this. The results achieved to date with regard to exploration of the moon are then described together with the activities that have already been planned.

Chapter 2 offers an introduction to our knowledge of the moon, on the basis of answers to the questions already asked and which we have already managed to answer. The level of information we have achieved is significant and has extremely interesting and comprehensive aspects for the programming of forthcoming missions.

Chapter 3 looks at the question of transfer trajectories from the Earth to the moon, stopping to consider the opportunities, especially in terms of energy saving, which can be grasped by using interplanetary superhighways (IPS) connected with the halo orbits situated in Lagrangian points. Space is also reserved for a description of the ways of landing on the moon.

Chapter 4 is dedicated to an analysis of the legal restrictions which activities in space are currently subjected to, with specific reference to the Moon Treaty. The latter is a set of international agreements and treaties which, generally speaking, no longer cater thoroughly for needs since said treaty was largely developed when sufficient experience in the sector had still to be consolidated.

The chapter ends with a proposal of a set of principles which could be used to regulate freedom of action and the right of property in space.

Chapter 5 highlights the complexity of a programme which aims to bring man back to the moon in order to stay there and install a permanent base known as the moon base. The conditions in space differ enormously from those on the Earth. The lunar surface is constantly exposed to exogenous agents which could represent risks for crews. Viral mutations can also have a not-to-be-overlooked influence on space travel. And this is a question which has not been considered in depth up to now, but which must be tackled seriously since it could condition evolution of the human presence in space.

Biomedical support could help us resolve this question together with many others such as the space adaptation syndrome, changes in the force of gravity, osteoporosis, muscular atrophy and anaemia.

Therefore the restrictions which the Moon Base project must comply with are listed herein.

Moreover it is to be remembered that said project must also resolve all the questions linked to suitable and effective logistic support for the life and work of the human colony. In order to deal with life away from the Earth, the “biosphere” method is suggested in which a fairly large portion of terrestrial life is encapsulated and wide use of local resources is made (*In Situ Resources Utilization – ISRU*).

Lastly, in-depth study is reserved for some specific matters such as the effects of acceleration of gravity or of cosmic radiation.

Chapter 6 describes the strategies of the leading space nations in view of fruitful cooperation and honest competition.

About the international cooperation, the Chapter mentions the agreement signed by fourteen space organisations (*Global Exploration Strategy*).

Chapter 7 draws some conclusions, repeating and highlighting the possibilities of cooperation and dealing with the forms that said cooperation may take. Specific emphasis is given to the position that Europe and Italy may take within said context.

The establishment of a network of excellences, the Moon Laboratory, is proposed and described with the aim of developing the new technologies and systems needed for this new adventure. Italy could serve as a promoter of said laboratory and the European Union as its driving force due to the capacities boasted by its member states.

The paper ends with some observations on the implications on defence and security that result from this second race to explore space.

INTRODUZIONE

La stessa sete di conoscenza, che ha portato l'uomo nei territori più inaccessibili della Terra, l'ha spinto a pensare di esplorare i pianeti a noi più vicini come collocazione e conformazione fisica: la Luna e Marte. Per poi fare il salto anche oltre, alla ricerca di nuove forme di vita.

L'uomo è arrivato sulla Luna con le missioni Apollo della fine degli anni '60, ma poi si è fermato e ha lasciato il passo alle sonde automatiche.

Oggi, ha deciso di tornare lui stesso sulla Luna, per poi proseguire verso Marte. L'annuncio, nel 2004, dell'Amministrazione americana, di un nuovo programma dedicato alla Luna, ha dato grande impulso al processo. Tutte le principali Nazioni, che hanno una politica spaziale e che, quindi, sono impegnate nella conquista dello Spazio, si sono date o stanno dandosi come obiettivo il ritorno sulla Luna¹.

La Cina ha lavorato per anni duramente per acquisire la capacità di mandare astronauti in orbita con le proprie forze, e alla fine ci è riuscita. L'India ha seguito da vicino. E anche Russia e Giappone sono della partita.

In questo quadro, è difficile immaginare che l'Europa possa lasciare alle altre Nazioni lo studio, l'esplorazione, il "saggio" sfruttamento delle risorse e l'insediamento sulla Luna, senza prenderne parte.

Infatti, l'Europa non ha solamente cominciato una sua riflessione sul programma di esplorazione dello Spazio: le competenze tecniche di base sono già pronte per essere sviluppate nel momento in cui sia il supporto politico che le risorse necessarie saranno disponibili. Insieme alle agenzie spaziali di 14 nazioni, l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) sta partecipando al dibattito su come rispondere all'iniziativa americana, nel quadro di una cooperazione internazionale, e, allo stesso tempo, dell'interesse europeo².

Per l'Italia e per l'industria italiana, c'è posto in questo contesto altamente competitivo? La risposta è obbligata: sì. Rimane aperta, però, la domanda circa il ruolo che l'Italia sarà capace di ritagliarsi. L'Italia ha un'eccezionale tradizione in campo spaziale: è tra i paesi fondatori delle organizzazioni spaziali europee ed è il terzo contribuente dell'Agenzia Spaziale Europea. Inoltre, l'Italia si è costruita una relazione preferenziale con gli Stati Uniti, com'è testimoniato dai

¹ Alberto Traballesi *“La sfida scientifica e tecnologica di Lisbona. Europa versus Stati Uniti”* CeMiSS, Roma, 2006, pag. 55-58.

² Jean-Jacques Dordain *“Europe's journey to the Moon”* in Fabio Compagnone ed Ettore Perozzi (editors) *“Moon Base – A challenge for humanity”* Donzelli Editore, 2007, pag. XXVII.

numerosi progetti comuni, quali i programmi bilaterali tethered satellites, Iris, la missione Cassini verso Saturno ed il ruolo preminente dell'industria italiana nella Stazione Spaziale Internazionale³.

Questi piani non si fermeranno e il loro completamento genererà un impulso a favore dell'esplorazione spaziale che non deve essere arrestato.

Ma, è opportuno ribadirlo, sarà un ritorno, che non sarà solo tappa verso Marte. Sarà un progetto più articolato di insediamento permanente, che si intreccerà con profondi interessi economici.

Innanzitutto, la Luna è particolarmente adatta a divenire un laboratorio sperimentale, perché relativamente vicina e ci si può anche servire della ISS, la Stazione Spaziale Internazionale, come eventuale scalo intermedio. Ci si potrà abituare a vivere lontano dalla Terra ed a svincolarci dalle orbite basse e ci si potrà preparare alla colonizzazione di Marte, se non a missioni umane in zone ancora più remote⁴.

Proprio per la preparazione alle missioni umane nello Spazio di lunga durata, due anni ed oltre, la Luna è un banco di prova unico della risposta del corpo umano in situazioni di ridotta forza di gravità. Infatti, sulla Luna la gravità è un sesto di quella terrestre. I dati, che saranno ricavati, potranno essere confrontati con quelli relativi all'ambiente terrestre ad 1 G ed a quello in microgravità della Stazione Spaziale.

Le sperimentazioni riguarderanno anche sistemi chiusi di supporto ecologico e biologico alla vita, per arrivare all'autonomia ed indipendenza degli equipaggi dal supporto esterno.

A questo proposito, recenti osservazioni hanno rilevato la quasi sicura presenza nelle regioni polari del pianeta di enormi quantità di ghiaccio, da cui si pensa di ricavare acqua, ossigeno e, ricombinando ossigeno ed idrogeno, combustibile per una comunità umana.

Al polo Sud, poi, vi è una zona che è assolata per il 75% del periodo di rotazione della Luna ed è in vista della Terra: sarebbe l'ideale per installare pannelli solari e sistemi di comunicazione.

Altre sperimentazioni saranno focalizzate sulle nuove tecnologie per il trasporto spaziale, quali quelle "fuel-less" (ad esempio la propulsione elettrica ed elettromagnetica, le vele spaziali, l'ascensore spaziale lunare).

Ma l'aspetto di determinante rilievo è la presenza sulla Luna di enormi giacimenti di minerali, quali titanio, alluminio e ferro, per citarne solo qualcuno. Un'altra risorsa lunare di particolare interesse è rappresentata dall'Elio 3. Mentre sulla Terra questo gas è rarissimo, sul nostro satellite è presente a tonnellate. Gli scienziati ritengono che sarebbe un combustibile pulito per

³ Pier Francesco Guarguaglini "The second space race" in Fabio Compagnone ed Ettore Perozzi (editors) "Moon Base – A challenge for humanity" Donzelli Editore, 2007, pag. XXIX.

⁴ Claudia Di Giorgio "Ritorno alla Luna" Limes, n. 5/2004, pag. 67 e seg.

reattori a fusione nucleare, in quanto la sua utilizzazione produrrebbe una quantità di scorie radioattive irrilevante.

Pertanto, le motivazioni scientifiche stimolano il ritorno sulla Luna, ma da sole non sarebbero sufficienti per giustificare costi e rischi.

Gli investimenti delle missioni Apollo furono legittimati da motivazioni politiche legate alla guerra fredda, oggi permangono ragioni geostrategiche e di supremazia, ma sono legate strettamente alla ricerca e sfruttamento di nuove risorse. Si spera che gli obiettivi di prestigio, di ricchezza e di sicurezza, intesa come militarizzazione dello Spazio, non prevalgano su quelli di conoscenza e di conseguimento dell'utilità dell'umanità, soprattutto se si incontreranno nello Spazio altre forme di vita. E qui l'intervento dell'Europa potrà essere decisivo per configurare lo Spazio come bene pubblico e non come solo strumento di dominio. Ovviamente, l'Unione Europea non potrà dimenticare che senza potere spaziale non avrà la forza per essere un attore globale⁵.

D'altra parte, tra le misure per contenere il riscaldamento del Pianeta, proposte ai Governi dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) a maggio 2007, c'è il ricorso alle fonti rinnovabili e, soprattutto, al nucleare⁶. Le risorse della Luna potrebbero darci un forte aiuto nell'applicazione di queste misure. In particolare, se risulterà conveniente estrarre e trasportare sulla Terra l'Elio 3, ci sarà offerta la capacità sia di produrre energia nucleare con scarse emissioni-serra che di diminuire la dipendenza dalle fonti energetiche fossili, causa prima del rialzo delle temperature. Comunque, ci sono sempre ampie possibilità di produzione e trasporto di energia solare, con un'efficienza decisamente superiore e non paragonabile con quella possibile sulla Terra, per svariati fattori. Per meglio comprendere, quindi, le potenzialità dell'obiettivo Luna, esamineremo difficoltà e vantaggi del progetto, dopo un'analisi del passato e del futuro del percorso dell'uomo verso la conoscenza dell'Universo e del suo pianeta ed una descrizione della conformazione della Luna, degli accordi internazionali sullo sfruttamento dei corpi celesti e delle strategie delle principali potenze spaziali.

La principale fonte di informazione nello sviluppo di questo studio sono stati gli atti dei tre workshop della conferenza internazionale "*Moon Base: a challenge for humanity*", che come membri del "*Moon Base Italia Working Group*", dell'associazione culturale Solidarietà e Sviluppo, abbiamo organizzato, tra il 2005 ed il 2006, a Venezia, Washington e Mosca.

I workshop sono stati momenti di riflessione e di confronto tra i principali operatori spaziali, istituzionali e non. A Venezia, si è iniziato con la trattazione degli aspetti tecnici, architettonici e logistici, nonché di quelli economici e scientifici del programma Moon Base.

⁵ Lucio Caracciolo "*Editoriale – Assalto al cielo*" Limes, n. 5/2004, pag. 7 e seguenti

⁶ Marco Magrini "*Salvare la Terra costa poco*" Il Sole-24 Ore, 5 maggio 2007, pag. 5.

Riconosciuto l'interesse degli stakeholder a partecipare al programma e la disponibilità delle tecnologie base necessarie, il passo successivo è stato quello di analizzare le attività da svolgere sulla Luna e le tecniche necessarie per realizzare e mantenere un insediamento umano sulla sua superficie. È stato questo l'obiettivo del secondo workshop, quello di Washington, che è stato chiamato "*Jamestown on the Moon*", su suggerimento dei colleghi statunitensi, quale trasposizione del nome del primo insediamento britannico sul territorio americano al primo insediamento di pionieri terrestri sul nostro satellite.



Figura 1: Il logo della conferenza *Moon Base: a challenge for humanity*.

A Mosca, il terzo workshop è stato dedicato alla prima fase del programma, quella che può essere chiamata "*the precursor age*", completando così un percorso che ha visto coinvolte le prime tre Nazioni che hanno messo in orbita un loro satellite: Russia, Stati Uniti ed Italia.

CAPITOLO 1

Dalle teorie dell'Universo all'esplorazione della Luna

Le teorie dell'Universo

L'origine ed il divenire dell'Universo che ci circonda sono state tra le prime domande alle quali l'uomo ha cercato di rispondere, per comprendere e dare un valore alla sua collocazione nel Cosmo.

A tal fine, sono state elaborate delle rappresentazioni mentali dell'Universo, dei modelli di ciò che ci attornia, passando progressivamente dal mito alla realtà, oscillando tra credenze popolari e pseudo-religiose, tra dati sicuri e fantascientifici, non escludendo fantasia ed immaginazione⁷.

I primi che cercarono di raggruppare le osservazioni terrestri e celesti in schemi logici, per spiegare razionalmente il Cosmo, furono gli antichi Greci, da Platone in poi. In particolare Aristotele (384-322 a.C.), discepolo del filosofo Platone e dello scienziato Eudosso, elaborò un modello di Universo sferico e finito. Sferico perché è la forma più perfetta, finito perché ha un centro, il centro della Terra, ed un corpo se ha un centro non può essere infinito.

Secondo Aristotele, la Terra, costituita dai quattro elementi fondamentali (terra, aria, acqua e fuoco), era ferma al centro dell'Universo. Su di essa si potevano produrre solo moti imperfetti, come quello rettilineo, che ha un inizio ed una fine. Attorno alla Terra, i cieli, visti come sfere cristalline, perfette ed eterne, si muovevano di moto circolare, che è il moto più perfetto, perché senza principio e fine. In questi cieli erano posizionati tutti gli astri. In particolare, c'erano sette cieli, dei quali il secondo era quello della Luna e gli altri cinque ospitavano tutti gli astri. Nel settimo cielo erano posizionate le stelle fisse.

Un modello dell'Universo finito, ma anche gerarchizzato, perché il mondo sovralunare è perfetto ed il mondo sublunare è imperfetto. Il mondo sovralunare è fatto di etere e l'etere è dotato di moto circolare che, come evidenziato, non ha né principio né fine, per cui rende eterna ed incorruttibile la zona. I quattro elementi di cui è fatto il mondo sublunare, invece, sono imperfetti, perché, avendo moto rettilineo, hanno un principio ed una fine e, pertanto, sono corruttibili.

⁷ Federica Pizzetti *"Il Cosmo tra arte, filosofia e scienza....."*
http://astrocultura.uai.it/tesi/federica_rizzetti/intro.htm .

Il sistema aristotelico, dopo un'integrazione da parte di Tolomeo nel II secolo d.C., fu opportunamente adattato alla teologia cristiana, tra gli altri da S. Agostino nel IV secolo d.C., e fu adottato anche dalla Chiesa.

Persino Dante, mille anni dopo, utilizzò il modello aristotelico-tolemaico per descrivere il Paradiso nella Divina Commedia.

È solo nel XVI secolo, con Copernico, che si cominciò a porre in discussione la centralità dell'uomo, con la teoria eliocentrica che vede il Sole al centro dell'Universo e tutti gli altri pianeti ruotargli intorno, a parte la Luna che ruota intorno alla Terra. L'Universo copernicano, a differenza di quello aristotelico, è omogeneo, cioè non esistono differenze tra le sue parti. In comune ha l'esistenza di un centro e l'essere contenuto nel cielo chiuso e finito delle stelle fisse, divenuto ottavo con Tolomeo. Inoltre, accettava la perfezione del moto circolare delle sfere celesti, reali ed incorruttibili.

Alla fine del 1500, il danese Tico Brahe, un astronomo di accuratezza e precisione eccezionali per quei tempi, negò la natura reale ed incorruttibile delle sfere celesti. Ideò il sistema ticonico, nel quale i pianeti giravano intorno al Sole, il quale a sua volta girava intorno alla Terra, che rimaneva al centro dell'Universo.

Il suo discepolo Keplero, forte dei precisi dati sulle posizioni dei pianeti lasciategli dal maestro, ritornò al modello eliocentrico e formulò le sue famose tre leggi, che enunciò nelle tavole rudolfine, così chiamate in onore di Rodolfo II. Nelle stesse tavole introdusse anche i logaritmi neperiani per agevolare i calcoli astronomici. Ricordiamo la prima legge che sintetizza la rivoluzione in atto rispetto all'astronomia antica: l'orbita descritta da un pianeta è un'ellisse, della quale il Sole occupa uno dei due fuochi.

Nello stesso periodo, il filosofo Giordano Bruno partecipò anch'egli alla rivoluzione astronomica, che con una nuova visione dell'Universo diede il via alla rivoluzione scientifica. Avvenimento che contribuì al passaggio dall'età medioevale a quella moderna, con un processo che coinvolse astronomia, filosofia e teologia. Egli riprese il modello copernicano, ma arrivò ad affermare l'infinità dell'Universo⁸. Le sue tesi lo portarono a superare il dualismo aristotelico-tolemaico tra mondo sovralunare e mondo sublunare, unificando il Cosmo in un'unica, immensa regione. Lo Spazio era per Bruno eccentrico, perché in esso non esisteva alcun punto assoluto di riferimento.

⁸ *“È dunque l'Universo uno, infinito, immobile; una è la possibilità assoluta, uno l'atto, una la forma o anima, una la materia o corpo, una la cosa, uno lo ente, uno il massimo et ottimo; il quale non deve poter essere compreso; e perciò infinibile e interminabile, e per tanto infinito e interminato e per conseguenza immobile; questo non si muove localmente, perché non ha cosa fuor di sé ove si trasporte, atteso che sia il tutto; non si genera perché non è altro essere che lui possa derivare o aspettare, atteso che abbia tutto l'essere; non si corrompe perché non è altra cosa in cui si cange, atteso che lui sia ogni cosa; non può sminuire o crescere, atteso che è infinito, a cui non si può aggiungere, così è da cui non si può sottrarre, per ciò che lo infinito non ha parti proporzionabili”* (Giordano Bruno, *De la causa, principio et uno*, 1584).

Non ebbe, però una grande accoglienza da parte dei più grandi astronomi dell'epoca, che lo considerarono un esaltato e rifiutarono la sua idea di infinità dell'Universo. Per non parlare della Chiesa, che lo mandò al rogo.

Nel XVII secolo, Galileo Galilei partecipò alla distruzione della concezione aristotelica-tolemaica, trovando la conferma matematica alle nuove teorie. Le sue scoperte nell'osservazione del cielo rafforzarono il sistema copernicano, a discapito della Cosmologia tradizionale. Contemporaneamente Newton teorizzò la gravitazione universale, riconoscendo implicitamente la validità della legge di Galileo sulla gravità terrestre.

Fu, però, nel XVIII secolo che scienziati e filosofi incominciarono a discutere in termini di dimensioni decisamente significative dell'ordine di migliaia di miliardi di chilometri. È in quest'ambito che Kant elaborò la sua teoria sull'evoluzione dell'Universo, da materia informe, a masse mobili e separate, fino alla generazione dei pianeti.

In questo secolo ebbe inizio anche la meccanica celeste, quale applicazione della meccanica universale allo studio dei moti e degli equilibri dei corpi celesti.

Mentre nel XIX secolo, oltre ad arrivare a dimostrare in modo evidente che è la Terra a girare intorno al Sole, l'astronomia assunse, grazie agli effetti della seconda rivoluzione industriale, una particolare importanza, come scienza che studia i principi che governano l'Universo.

L'uomo smise di considerarsi il centro di un Universo chiuso, ma cominciò a rendersi conto della sua posizione marginale in un Universo sempre più esteso. Leopardi, ad esempio, ribadendo nelle "Operette morali" la teoria sulla pluralità dei mondi, avversa al geocentrismo, ridusse l'uomo ad un granellino di sabbia nell'immensa vastità del Cosmo⁹.

Ma è nel '900 che si collocano le grandi scoperte dell'astronomia. Una grande trasformazione delle teorie sull'Universo fu provocata nel 1929 dall'astronomo americano Edwin Hubble. Con le sue osservazioni, oltre a individuare migliaia di altre galassie simili alla nostra, si accorse che queste galassie si allontanavano

⁹ Sole.mi debbo io curare se certa poca quantità di creaturine invisibili, lontane da me i milioni delle miglia, non veggono, e non possono reggere al freddo, senza la luce mia?...è ragionevole che volendo la famiglia scaldarsi, venga essa intorno al focolare, e non che il focolare vada intorno alla casa. Per questo se alla Terra fa di bisogno della presenza mia, cammini ella e adoprasi per averla: che io per me non ho bisogno di cosa alcuna dalla Terra, perché io cerchi di lei.....Copernico.Ma ora se noi vogliamo che la Terra si parta da quel suo luogo di mezzo; se facciamo che ella corra, che ella si voltoli, che ella si affanni di continuo, che eseguisca quel tanto, né più né meno, che si è fatto di qui addietro dagli altri globi; in fine che ella diventi del numero dei pianeti; questo porterà seco che sua maestà terrestre, e le loro maestà umane, dovranno sgomberare il trono, e lasciar l'impero; restandosene però tuttavia co' loro cenci, e colle loro miserie, che non sono poche..... E qui non vi starò a dire del povero genere umano, divenuto più che nulla già innanzi, in rispetto a questo mondo solo; a che si ridurrà egli quando scoppieranno fuori tante migliaia di altri mondi, in maniera che non ci sarà una minutissima stelluzza della via lattea, che non abbia il suo. (Giacomo Leopardi "Il Copernico, dialogo" Operette Morali, 1827).

da noi ad una velocità crescente con il crescere della loro distanza¹⁰. La scoperta portò al superamento della concezione di un Universo in equilibrio statico, in favore di quella dell'equilibrio dinamico. Inoltre, ne conseguì anche la teoria del Big Bang, cioè dell'origine del Cosmo da uno stato di densità di energia e temperature enormi.

Il passaggio, dall'elaborazione delle teorie sull'Universo, da parte della scienza e della filosofia, e dalla ricerca di una loro dimostrazione sperimentale, con le osservazioni astronomiche dalla Terra, ad una loro verifica più sicura, utilizzando anche i dati provenienti dall'esplorazione diretta del Cosmo, si ebbe con la messa in orbita del primo satellite, effettuata dall'URSS il 4 ottobre 1957.

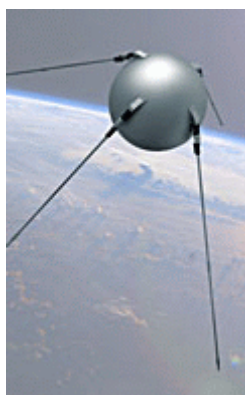


Figura 2: Immagine dello Sputnik 1.

Fonte: Roscosmos.

Lo Sputnik (compagno di viaggio) sovietico, seguito il 3 novembre dello stesso anno da un secondo satellite, provocò ovviamente la reazione degli Stati Uniti, terrorizzati dalla possibilità d'inferiorità nei confronti del loro antagonista.

Dopo un primo insuccesso, gli Americani riuscirono, il 31 gennaio 1958, a mettere in orbita il loro primo satellite, l'Explorer 1. Seguirono altri tre satelliti della stesa serie e con queste missioni si riuscì a confermare l'esistenza intorno alla Terra di fasce di radiazioni, le cosiddette fasce di van Allen.

Nel 1959, la Russia iniziò una serie di missioni verso la Luna con le sonde spaziali Lunik o Luna, delle quali la prima sfiorò la Luna, la seconda cadde sull'equatore lunare e la terza riuscì a circunnavigarla. L'URSS si dedicò, quindi, al volo umano nello Spazio con le capsule Vostok¹¹. Il 12 aprile 1961 il Cosmonauta Jurij Alekseevic Gagarin divenne il primo essere umano ad orbitare intorno alla Terra.

Dopo la serie Explorer, gli Americani svilupparono il programma Mercury, il primo programma americano di missioni spaziali con equipaggio¹². Il primo americano nello Spazio fu, il 5 maggio 1961, Alan B. Shepard, con un volo

¹⁰ Roberto Fantini "Concezione moderna dell'Universo"

http://www.robertofantini.it/Materia_oscura/Materia_oscura2.htm .

¹¹ Wikipedia "Vostok 1" http://it.wikipedia.org/wiki/Vostok_1 .

¹² Wikipedia "Programma Mercury" http://it.wikipedia.org/wiki/Programma_Mercury .

suborbitale di 15 minuti (missione Freedom 7). Mentre, il primo americano in orbita intorno alla Terra fu John Glenn, con la missione Friendship 7 del 20 febbraio 1962.

Ma non va dimenticato che il terzo Paese al Mondo ed il primo in Europa a porre un satellite in orbita fu l'Italia, con il suo San Marco 1, su iniziativa del Prof. Luigi Broglio, Generale del Genio Aeronautico. Il satellite fu lanciato dalla base americana di Wallops Island il 15 dicembre 1964. Luigi Broglio, con il concorso dell'Aeronautica Militare e dell'Università di Roma, realizzò due piattaforme di lancio al largo di Malindi nel Kenia, da dove furono lanciati altri satelliti.

L'esplorazione della Luna ed il programma Apollo

Tra le tante ragioni che hanno portato e porteranno ad approfondire la conoscenza della Luna, sino a progettare di stabilirvi una base permanente, la prima è che è una tappa irrinunciabile per l'esplorazione del Sistema Solare.

Un primo importante risultato in tal senso fu conseguito dalla sonda sovietica Luna 3 nell'ottobre 1959. Infatti, tra le immagini della superficie del pianeta, che inviò a Terra, vi furono quelle della faccia nascosta, mai prima osservata dall'uomo.

Il programma lunare sovietico consistette in una serie di missioni senza equipaggio effettuate da 24 sonde della serie Luna¹³ e da cinque del tipo Zond¹⁴. Furono riprese interessanti immagini stereoscopiche panoramiche, effettuati i primi allunaggi e le prime perlustrazioni del suolo lunare. Ma il maggior successo del programma fu la capacità di prelevare dei campioni rocciosi e riportarli sulla Terra.

All'epoca, i Russi preferirono dedicare all'esplorazione della Luna solo missioni automatiche e focalizzare l'impiego degli equipaggi umani nelle missioni orbitali di lunga durata.

Per quanto riguarda gli Americani, invece, il 25 maggio 1961 il Presidente John Kennedy annunciò al Congresso il suo progetto per mandare il primo uomo sulla Luna prima della fine del decennio¹⁵.

Per preparare il perseguimento di questo obiettivo, furono perfezionate le tecniche di volo spaziale umano, con il programma Gemini, ed eseguite missioni senza equipaggio e robotiche verso la Luna.

¹³ Wikipedia "Programma Luna" http://it.wikipedia.org/wiki/Programma_Luna .

¹⁴ Wikipedia "Programma Zond" http://it.wikipedia.org/wiki/Programma_Zond .

¹⁵ "...I believe that this nation should commit itself to achieving the goal, before this decade is out, of landing a man on the Moon and returning him safely to the Earth. No single space project in this period will be more impressive to mankind, or more important in the long range exploration of space, and none will be so difficult or expensive to accomplish..."

Il programma Gemini¹⁶ fu, appunto, dedicato a sviluppare le tecniche per i voli spaziali avanzati, quali quelli che avrebbero portato l'uomo sulla Luna. Si svolse tra il 1963 ed il 1966, impiegando delle navicelle spaziali che potevano ospitare un equipaggio di due uomini. Nelle missioni furono previste attività extraveicolari e furono provate manovre orbitali, tra le quali quelle di rendez-vous e di aggancio.

Il telerilevamento della Luna, per la mappatura della superficie e la scelta del sito di allunaggio, fu affidata alle sonde Pioneer e Ranger, ma soprattutto alle navicelle del programma Lunar Orbiter, che orbitarono intorno al nostro pianeta tra l'agosto 1966 e l'agosto 1967.

Ma la più alta priorità del momento fu far scendere sulla Luna un sistema robotizzato per effettuare l'esplorazione automatica e raccogliere campioni. Questo risultato fu conseguito nel maggio del 1966 dalla prima delle missioni Surveyor. Seguirono altre sei missioni di questo tipo e, tranne la seconda e la terza, anche le altre ebbero successo e poterono eseguire operazioni di scavo e di analisi delle proprietà dei campioni e, parzialmente, anche chimica. Riuscirono anche a saggiare la consistenza del terreno.

Contemporaneamente a queste attività, partì anche lo sviluppo del progetto finalizzato a far sbarcare un uomo sulla Luna e riportarlo a Terra, il programma Apollo, terza fase delle attività spaziali umane degli USA, dopo quelle delle capsule Mercury e Gemini. Esso si svolse tra il 1961 ed il 1972; originariamente concepito dall'amministrazione Eisenhower come una prosecuzione del Mercury, fu convertito da Kennedy, con il suo annuncio, per il più ambizioso obiettivo dell'allunaggio¹⁷.

La capsula Apollo era più grande delle precedenti e poteva ospitare tre astronauti. La navicella era composta da due moduli, il CSM e l'LM. Il CSM (*Command and Service Module*) era formato dal Modulo di comando, dove stavano i tre astronauti, e dal Modulo di servizio, che conteneva i motori per l'entrata e l'uscita dall'orbita lunare. L'LM (*Lunar Module*) doveva garantire, una volta separato dal CSM, la sopravvivenza dell'equipaggio nella discesa sul suolo lunare e nel successivo riaggancio con il CSM, per il ritorno sulla Terra. Il modulo lunare. Il profilo di missione fu il cosiddetto LOR (*Lunar Orbit Rendezvous*).

Fu la missione Apollo 8 che portò per la prima volta un equipaggio umano ad orbitare intorno alla Luna, che raggiunse il 24 dicembre 1968.

¹⁶ Wikipedia "Programma Gemini" http://it.wikipedia.org/wiki/Programma_Gemini.

¹⁷ Wikipedia "Programma Apollo" http://it.wikipedia.org/wiki/Programma_Apollo.



Figura 3: La Terra che sorge, ripresa dall' Apollo 8 in orbita lunare.
Fonte: NASA.

Mentre la missione Apollo 11 realizzò l'obiettivo di far scendere sul suolo lunare degli esseri umani, il 21 luglio 1969 (Neil Armstrong ed Edwin Aldrin). Con l' Apollo 15 fu utilizzato per la prima volta un veicolo per gli spostamenti sulla Luna, il Lunar Rover. L'ultimo allunaggio fu quello dell' Apollo 17, nel dicembre del 1972, e da allora nessun uomo è tornato sulla Luna. Originariamente erano state pianificate altre tre missioni, ma vennero cancellate soprattutto a causa di tagli al bilancio della NASA, l' Agenzia spaziale americana.

Il programma era stato spinto, nel contesto del confronto bipolare, dalla paventata inferiorità nella conquista dello Spazio nei confronti dell'URSS ed a tal fine fu ottenuto senza dubbio un totale esito positivo. Ma fu anche un notevole successo per il contributo alla conoscenza scientifica ed allo sviluppo tecnologico. Furono impiantati in alcuni siti di allunaggio dei laboratori che hanno continuato ad operare ben dopo il rientro degli astronauti.

Fu conseguito un deciso incremento nella conoscenza della composizione e dell'evoluzione nel tempo della superficie lunare. Fu misurato il debole campo magnetico ed i risultati mostrarono significative variazioni nella sua intensità da luogo a luogo, comunque più bassa di almeno cento volte rispetto a quella terrestre. Altre misurazioni riguardarono il flusso di calore dall'interno del suolo lunare verso l'esterno, le attività sismiche e vulcaniche.

Specifici strumenti furono dedicati all'analisi della tenue atmosfera lunare. Nella sua composizione furono rilevati in primo luogo tre gas, approssimativamente in ugual percentuale, il neon, l'elio e l'idrogeno. Fu constatata anche la presenza di metano, anidride carbonica, ammoniaca ed acqua, nonché di argon 40, quest'ultimo soprattutto nei momenti di maggior attività sismica.

Furono riprese immagini ad alta risoluzione e stereoscopiche della Luna, che sono state utilizzate per gli studi geologici e per l'elaborazione di accurate mappe e modelli digitali della superficie lunare.

Tra le ricadute nell'innovazione tecnologica, un cenno particolare meritano gli impulsi che queste missioni hanno dato allo sviluppo dei circuiti integrati e delle celle combustibile.

Infine, da tutte le missioni Apollo sono stati portati sulla Terra un totale di 382 kg. di campioni di rocce lunari, che, insieme a quelli delle sonde russe, sono ancora oggi oggetto di studio.

L'esplorazione della Luna dopo il programma Apollo

Nel frattempo ebbero inizio le prime missioni interplanetarie verso Venere e Marte con le sonde Venera e Mars dell'URSS e Mariner degli USA. I dati e le immagini inviati a Terra furono molto interessanti. Seguirono le sonde Pioneer e Voyager verso altri pianeti del Sistema Solare. Le Voyager resteranno in contatto con la Terra sino al 2017.

Ma di particolare interesse, per la lunga permanenza nello Spazio di equipaggi umani, furono negli anni '70 il programma russo Salyut, per una stazione spaziale che fu in servizio sino al 1985, e quello americano Skylab, che impiegò il terzo stadio del vettore Saturno V per ospitare tre uomini in orbita per alcune settimane.

Nei decenni seguenti furono lanciate altre sonde interplanetarie, anche da parte dell'Europa, che permisero, assieme ai satelliti astronomici, di accrescere decisamente la conoscenza dell'Universo. Furono messi in orbita numerosi satelliti per la meteorologia, il telerilevamento, le telecomunicazioni e per soddisfare le esigenze di difesa e sicurezza.

Ai fini della lunga permanenza nello Spazio, furono questi gli anni delle navette spaziali Shuttle e Soyuz, della Stazione spaziale russa Mir, in servizio dal 1986 al 2001, e della Stazione Spaziale Internazionale (ISS), ancora in sviluppo.

Dopo le missioni Apollo, invece, non furono eseguite sino agli anni '90 missioni sulla Luna. Nel 1990 e nel 1992 la sonda Galileo utilizzò il sistema Terra-Luna per le manovre assistite dalla gravità per guadagnare sufficiente slancio per il suo viaggio verso Giove. Durante i suoi flyby¹⁸, Galileo riprese delle interessanti immagini multispetrali sia della faccia vicina che di quella nascosta del nostro Satellite.

¹⁸ *Flyby* (volare sopra) è il termine utilizzato in astronautica per indicare il passaggio ad alta velocità di una sonda spaziale vicino ad un corpo celeste, generalmente ad una distanza di un migliaio di km..

Il 25 gennaio 1994 la NASA, in collaborazione con il Dipartimento della Difesa, mise in orbita lunare la sonda Clementine, che vi rimase sino al 3 maggio. La responsabilità della progettazione e dell'esecuzione della missione fu affidata al Naval Research Laboratory, mentre la NASA pensò ad un comitato di scienziati ed esperti per interpretare i risultati. Le rilevazioni della sonda restituirono una mappa globale dettagliata del campo gravitazionale della Luna. Furono eseguite mappe nell'infrarosso e nell'ultravioletto e, grazie ad un altimetro laser, la prima topografia globale del satellite. Con la ripresa delle zone dei poli, al momento ancora sconosciute, si ipotizzò negli stessi la presenza di calotte di ghiaccio nelle zone sempre in ombra¹⁹.

La presenza di ghiaccio ai poli fu confermata nel 1998 dalla sonda Lunar Prospector. I dati raccolti, nell'anno di permanenza della sonda in orbita polare, permisero l'elaborazione di una serie di mappe sulla consistenza quantitativa degli elementi presenti sulla superficie lunare ed una miglior comprensione del campo magnetico e di quello gravitazionale. Alla fine della missione, Lunar Prospector fu fatta impattare nella zona polare dove era stata prospettata la presenza di ghiaccio, per osservare da Terra un'eventuale emissione di vapore, ma l'esperimento non riuscì.

All'inizio del 2003, lo Shuttle Columbia, con a bordo sette astronauti, si disintegrò nel cielo del Texas. La commissione d'inchiesta rilevò le cause tecniche dell'incidente, ma anche forti responsabilità del management della NASA. Il tragico evento ebbe una immediata conseguenza sui voli degli Shuttle e sulla prosecuzione delle attività della ISS. Ma, soprattutto, riaprì negli USA la discussione sul futuro dei voli umani nello Spazio e sulla disponibilità delle risorse necessarie per proseguire in sicurezza.



Figura 4: Visione artistica di Smart-1.
Fonte: ESA.

¹⁹ Alberto Aiosa “Breve storia dell’esplorazione umana dello Spazio”
<http://diamante.uniroma3.it/hipparcos/BreveStoriaDellesplorazioneUmanaNelloSpazio.pdf> .

Nel settembre dello stesso anno, l'ESA lanciò la missione Smart-1²⁰ verso la Luna²¹. Alla missione fu assegnato come obiettivo principale il test del motore ionico ad alimentazione elettrica, che sarà una tecnologia fondamentale per la missione “cornerstone” dell'ESA *BepiColombo* verso Mercurio. Inoltre, fu previsto il collaudo delle nuove tecnologie miniaturizzate per le strumentazioni scientifiche e la verifica della loro efficienza e resistenza.

SMART-1 fu lanciata come parte del payload di un vettore Ariane V il 27 ottobre 2003 ed entrò in orbita lunare il successivo 15 novembre. La sonda avrebbe dovuto restare in orbita lunare per sei mesi, con la possibilità di estendere la missione di un ulteriore anno. Invece, la missione continuò sino al 3 settembre 2006, quando il veicolo spaziale impattò la Luna nella regione denominata “Lago dell'Eccellenza”.

Da sottolineare che, utilizzando avanzati sensori per la spettrografia a raggi X e agli infrarossi, si è potuto ottenere una significativa analisi della composizione chimica del suolo, in particolare della consistenza di magnesio, alluminio e silicio. Inoltre, i dati così ottenuti potranno essere utilizzati per affinare le teorie sull'origine e l'evoluzione della Luna, sulla presenza di ghiacciai, nonché per migliorare la mappatura delle possibili risorse reperibili sulla Luna.

Il team che ha gestito SMART-1 ha anche aiutato il team giapponese, responsabile per il programma lunare Kaguya, nel collaudo del segmento terrestre, verificando la ricezione del segnale di SMART-1 mentre era in orbita lunare.

Kaguya (precedentemente denominato Selene²²) consiste in un satellite principale e due microsattelliti, un satellite relé ed un satellite VRAD²³. L'orbiter principale è stato posto in orbita lunare polare a 100 km. di altezza ed osserverà la Luna per circa un anno. Il satellite relé, in orbita ellittica con apogeo a 2400 km., opererà come ripetitore delle comunicazioni tra il satellite principale e la stazione terrestre. Il satellite VRAD, con un apogeo dell'orbita polare di 800 km., misurerà il campo gravitazionale della Luna²⁴.

I principali obiettivi di Kaguya saranno ottenere dati scientifici sull'origine e l'evoluzione della Luna e sviluppare la tecnologia per la futura esplorazione della Luna, ma anche verificare le possibilità di utilizzazione del pianeta.

Kaguya è stato lanciato dalla Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) il 14 settembre 2007 con il vettore H-IIA F13 dal Tanegashima Space Center.

La JAXA aveva già lanciato una sonda lunare nel 1991, la Muses-A, poi rinominata Hiten, che trasportava un mini-satellite, conosciuto col nome di

²⁰ *Small Mission for Advanced Research in Technology.*

²¹ Wikipedia “SMART-1” http://it.wikipedia.org/wiki/SMART_1

²² *SELenological and ENgineering Explorer.*

²³ *Very long baseline interferometry RADio.*

²⁴ JAXA “Kaguya (Selene)” http://www.selene.jaxa.jp/index_e.htm.

"Hagaromo", ottenendo dei risultati soddisfacenti. Per la prima volta fu utilizzata una traiettoria a basso consumo energetico, cioè con una contenuta variazione di spinta per il trasferimento dall'orbita terrestre a quella lunare, salvando così una missione che stava fallendo, in quanto il propellente disponibile non le avrebbe permesso di raggiungere l'obiettivo con la rotta usuale.

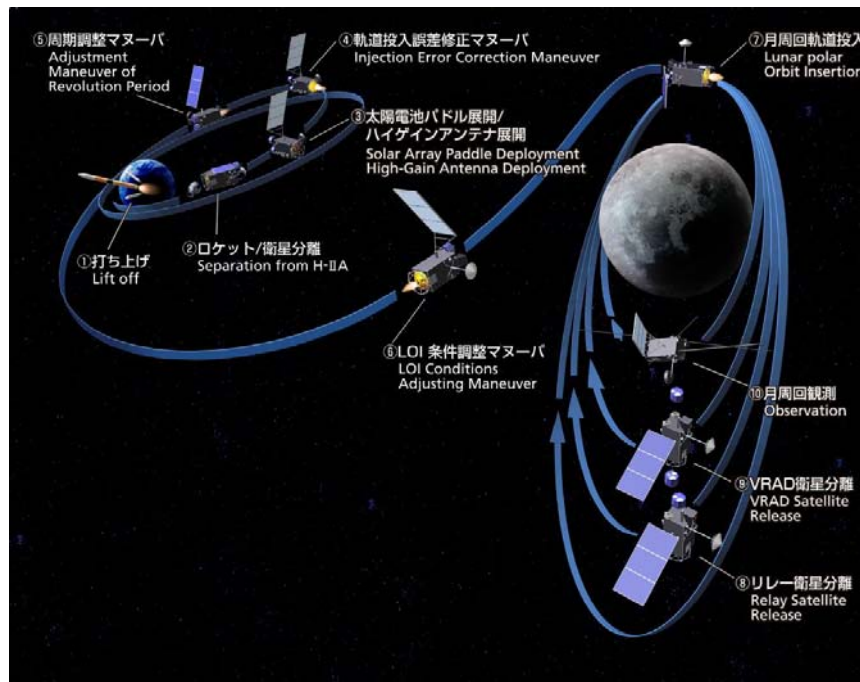


Figura 5: Profilo della missione Kaguya (Selene).
Fonte: Jaxa.

Poche settimane dopo il Giappone, anche il suo competitore regionale, la Cina, ha lanciato la sua prima sonda in orbita intorno alla Luna. Infatti, il 24 ottobre 2007 il satellite Chang'e 1 è partito dalla Stazione di lancio satellitare di Xichang, nella provincia di Sichuan, nella Cina sudoccidentale. L'obiettivo è quello di analizzare la composizione chimica e minerale della superficie lunare. A tal fine, Chang'e 1, che deve il suo nome ad una leggendaria divinità cinese, mapperà la superficie della Luna utilizzando macchine stereo e spettrometri a raggi X.

Anche l'India si unirà presto a questa corsa allo Spazio delle potenze emergenti asiatiche, ponendo in orbita intorno alla Luna un suo satellite nella prima metà del 2008.

Il ritorno dell'uomo sulla Luna

La tragedia del Columbia fu accompagnata da forti perplessità nell'opinione pubblica sull'opportunità di avviare nuove attività dell'uomo nello Spazio, ma i successi dei due lander, Spirit ed Opportunity, su Marte ne contennero la portata. In questa cornice e solo un anno dopo la catastrofe, una nuova direttiva del Presidente degli Stati Uniti ha riportato il ritorno dell'uomo sulla Luna in primo piano nella corsa alla conquista dello Spazio.

La *Vision for Space Exploration*, annunciata dal Presidente Bush il 14 gennaio 2004 al quartier generale della NASA, ha previsto difficili e stimolanti obiettivi a lungo termine per l'esplorazione cosmica, quali una rinnovata presenza umana sulla Luna, con una base permanente, entro il 2020, ed il successivo invio di un equipaggio umano su Marte ed eventualmente oltre²⁵.

L'intendimento è stato quello di mobilitare gli USA in un'ambiziosa sfida tecnologica, naturale conseguenza delle missioni Apollo, delle ricognizioni con sonde del Sole e dei pianeti e delle immagini ottenute con i moderni telescopi spaziali, che hanno rivoluzionato la visione e la conoscenza dell'Universo.

Con il ritorno sulla Luna gli USA vogliono dimostrare, attraverso una presenza prolungata, che noi possiamo sopravvivere in un altro mondo e che, quindi, possiamo avventurarci lontano dalla Terra e starci per un lungo periodo. In aggiunta potranno essere svolte fondamentali ricerche in astrobiologia, geologia, esobiologia, astronomia e fisica.

Gli USA cercheranno la cooperazione internazionale e spingeranno anche per offrire al mondo industriale le opportunità economiche della sfida connessa con le nuove attività umane nello Spazio, perché da soli non potranno soddisfare tecnicamente e finanziariamente le richieste della *Vision for space exploration*.

È una competizione che coinvolgerà tutta l'umanità e gli Europei potranno avere un ruolo decisivo nel superamento delle nuove frontiere scientifiche e tecnologiche, se sapranno efficacemente valorizzare le loro nicchie di eccellenza.

In questo senso dovrà essere sviluppato il programma per l'esplorazione dello Spazio Aurora, che l'Unione Europea ha lanciato sin dal 2001. Senza dimenticare che anche la Russia e le nuove potenze emergenti aspirano a conseguire una posizione di leadership nel ritorno dell'uomo sulla Luna²⁶.

²⁵ Inspired by all that has come before, and guided by clear objectives, today we set a new course for America's space program. We will give NASA a new focus and vision for future exploration. We will build new ships to carry man forward into the universe, to gain a new foothold on the moon, and to prepare for new journeys to worlds beyond our own. It is time for America to take the next steps. Today I announce a new plan to explore space and extend a human presence across our solar system. We will begin the effort quickly, using existing programs and personnel. We'll make steady progress – one mission, one voyage, one landing at a time (*President George W. Bush, January 14, 2004*).

²⁶ Fred Guterl "Race to the Moon" Newsweek, February 5, 2007, pag. 24-29.

CAPITOLO 2

Introduzione alla Luna

La Luna è l'unico satellite naturale della Terra e ruota intorno ad essa con un'orbita leggermente eccentrica ad una distanza media di 384.400 km.. Il suo diametro è 1/4 (3476 km.) di quello terrestre. La sua massa è 1/81, con una densità media che è di soli 3,344 g/cm³, rispetto ai 5,52 della Terra (3/5). La sua forza di gravità è circa 1/6. Ha un'età di circa 4,6 miliardi di anni. La temperatura della sua superficie varia tra un massimo di 127°C al mezzogiorno lunare e un minimo di -173°C subito prima del sorgere del Sole, ma nelle zone permanentemente in ombra si arriva anche a temperature dell'ordine dei -230°C. A causa dell'uguaglianza dei periodi di rivoluzione della Luna intorno alla Terra e di rotazione intorno al suo asse, solo un emisfero è visibile dalla Terra, mentre l'altra faccia della Luna, detta lontana od oscura, è quasi totalmente sempre in ombra. Solo una piccola porzione può essere vista grazie al fenomeno di librazione²⁷, che porta la superficie visibile del suolo lunare al 59% del totale. La sua struttura è stata dedotta dalle osservazioni e dagli esperimenti compiuti durante le missioni di esplorazione lunare, ma molti aspetti devono ancora essere chiariti con indagini più approfondite.

La formazione della Luna

La teoria attualmente più accettata sull'origine della Luna è quella che si basa sull'ipotesi, ampiamente suffragata dai dati raccolti, che al momento della formazione della Terra altri corpi celesti si stavano sviluppando. Verso la fine della crescita della Terra, 4.6 miliardi di anni fa, uno di questi corpi entrò in collisione con essa, proiettando all'esterno dei frammenti rocciosi (*teoria dell'impatto gigante*). Buona parte di questi frammenti, dopo aver orbitato intorno alla Terra, si riunì per effetto della forza gravitazionale e formò la Luna.

²⁷ Il termine *librazione* deriva dal latino *libra* (bilancia) ed esprime l'oscillazione, simile a quella di un pendolo, dei piatti di una bilancia intorno alla posizione di equilibrio. In astronomia, descrive un analogo movimento apparente dell'asse della Luna e, quindi, della Luna stessa rispetto alla Terra, tale da permettere la visione di una piccola parte della faccia nascosta del nostro pianeta. Il fenomeno è conseguenza dell'inclinazione dell'asse di rotazione lunare rispetto alla perpendicolare del piano dell'orbita e dell'eccentricità di tale orbita (Wikipedia "*Librazione*" <http://it.wikipedia.org/wiki/Librazione>)

Una conferma di questa teoria deriva dal fatto che la composizione delle rocce lunari è molto simile a quella del mantello terrestre privato degli elementi più volatili, evaporati per la mancanza di un'atmosfera e di una forza di gravità sufficienti per trattenerli²⁸.

Inoltre, la Luna si sta allontanando molto, molto lentamente dalla Terra. Nel lontano passato, subito dopo la collisione, doveva, invece, essere molto vicina alla Terra.

Seguì un periodo, di circa seicento milioni di anni, di pesanti bombardamenti, da parte di frammenti rocciosi sparpagliati nello Spazio e residui della formazione della Luna stessa e del resto del Sistema solare. Le collisioni provocarono la formazione di vasti bacini sulla superficie lunare.

Successivamente, flussi di lava basaltica penetrarono in parte di questi bacini, in particolare in quelli che risentivano dell'effetto delle forze di marea terrestri. Si formarono, così, soprattutto dalla parte del lato visibile dalla Terra, delle basse pianure scure (*maria*), che occupano circa il 6% della superficie lunare.

I meteoriti continuarono a colpire la superficie lunare, con particolare intensità nell'ultima fase dell'accrescimento del nostro satellite, che iniziò circa 3 miliardi di anni fa.

Sono stati i crateri da impatto di quest'ultima fase, che ricoprendo sino alla saturazione le regioni più chiare dell'originaria crosta superficiale lunare, denominate *terrae o highlands*, ne hanno determinato la morfologia finale.

Quasi tutta la superficie lunare è stata coperta da una miscela di polvere e detriti rocciosi, il "*regolith*", di spessore variabile dai 2 agli 8 metri. Il *regolith* è stato prodotto dall'impatto di grossi e piccoli meteoriti e dal continuo bombardamento di micrometeoriti e di particelle cariche di origine solare o galattica, che hanno frantumato le rocce sulla superficie riducendole a quei fini granelli simili al talco che ricoprono la superficie al giorno d'oggi²⁹.

L'impatto dei micrometeoriti, poi, ad una velocità superiore alle 60.000 mph, genera sufficiente energia per fondere o vaporizzare parzialmente particelle di polvere lunare e modificarne la struttura chimica. La fusione unisce i granelli tra loro in piccoli pezzi vetrosi e dai bordi frastagliati, chiamati "*agglutinati*"³⁰. Gli *agglutinati* hanno una dimensione che varia da pochi micrometri ad alcuni millimetri e sono molto comuni sulla superficie lunare. Appaiono all'occhio umano di colore scuro, soprattutto a causa della presenza di nanoparticelle di ferro.

Durante tutto questo lungo periodo la Luna ha continuato a spostarsi lentamente sino alla posizione attuale.

²⁸ Angioletta Coradini ed altri "*The Moon: an unavoidable step in the exploration of the Solar System*" Agenzia Spaziale Italiana, Roma 2007, pag. 11.

²⁹ Wikipedia "*Regolith*" <http://en.wikipedia.org/wiki/Regolith>.

³⁰ John Mangels "*Coping with a lunar dust-up*" The Seattle Times, February 15, 2007.

Sulle caratteristiche delle diverse zone lunari ci soffermeremo più avanti.



Figura 6: Immagine, dell'impronta lasciata sul suolo lunare dalla calzatura dell'astronauta Buzz Aldrin durante la missione Apollo11, che evidenzia la consistenza del suolo.

Fonte: NASA

L'atmosfera

La Luna non ha che una tenue ed insignificante atmosfera. Una sua origine è data dal degassamento, il rilascio di gas, come il radon, che si forma nelle profondità interne della Luna. Altre sorgenti sono protoni rilasciati dal vento solare e gas generati da spruzzamento catodico da particelle cariche.

Questa atmosfera è prodotta, persa e rigenerata nel giro di ore o di giorni.

La quasi assenza di atmosfera giustifica le differenti conseguenze degli impatti con meteoriti sulla Terra e sulla Luna. Nel primo caso i meteoriti bruciano al contatto con l'atmosfera e si disintegrano prima di raggiungere il suolo, dando luogo a meteore. Sulla Luna, tutta l'energia cinetica dei meteoriti si scarica sul suolo.

È stata rilevata anche, nelle missioni lunari con e senza equipaggio, la presenza di polvere nell'esosfera della Luna. La presenza è stata associata alla visione di bagliori crepuscolari, persistenti per un certo tempo dopo il tramonto del sole.

Per spiegare il meccanismo che porta questa polvere a librarsi lontano dalla superficie della Luna, è stato costruito un particolare modello, il “*dynamic*

fountain model". Secondo questo modello particelle di polvere lunare si sollevano e ricadono sulla superficie lunare costantemente, originando un'*atmosfera di polvere*, che sembra statica ma è composta da particelle in continuo movimento. La polvere è elettrostaticamente caricata dalla luce del Sole e dalle particelle cariche che fluiscono con il vento solare.

Questo fenomeno dovrà essere attentamente monitorizzato, per comprendere a fondo i meccanismi che lo originano, dei quali alcuni sono ancora sconosciuti al giorno d'oggi. A tal fine essenziali saranno i sistemi di osservazione dallo Spazio.

Il campo magnetico

Anche il campo magnetico lunare è molto debole, rispetto a quello terrestre. Non così è stato nel lontano passato. Infatti le rocce lunari sono magnetizzate e quelle più vecchie mostrano valori più alti di magnetismo. Probabilmente, nella fase di accrescimento della Luna il campo magnetico era più consistente ed è andato poi scemando, lasciando il passo agli effetti delle collisioni con gli altri corpi celesti e delle particelle cariche del vento solare. In sintesi, il magnetismo lunare è concentrato in alcuni punti della crosta ed è praticamente assente in altre.

Il perché di questa stato è ancora sconosciuto. È uno dei tanti interrogativi sul nostro satellite!

La crosta, il mantello ed il nucleo

I campioni ed i dati riportati dagli astronauti del ciclo Apollo, dalle sonde sovietiche e da missioni robotiche, come Clementine e Lunar Prospector, hanno permesso di formulare, sia pur con ancora qualche dubbio, un q abbastanza esauriente di come la Luna si è evoluta.

Tra 3.92 e 3.85 miliardi di anni fa, si verificò quello che è stato considerato l'ultimo intenso bombardamento della Luna in accrescimento da parte di grossi corpi celesti, i *planetesimali*. Evento tanto drammatico da essere soprannominato il *cataclisma lunare*. La conseguenza fu una fusione globale della superficie lunare sino alla profondità di parecchie centinaia di chilometri.

Questo evento di fusione globale contraddistinse, con il successivo processo di raffreddamento e solidificazione, la stratificazione della Luna in una crosta a bassa densità, con una prevalente accumulazione di minerali di tipo plagioclasio, ed un sottostante mantello ad alta densità di minerali delle classi olivina e

pirosseno³¹. Ma processi da shock da urto simili e significativi, anche se non tali da rievocare la figura del “cataclisma”, si verificarono pure nelle ricordate precedenti collisioni, avvenute dopo il grande impatto iniziale.

La crosta lunare è più spessa di quella terrestre e varia dai circa 70 km. nella faccia visibile ai circa 150 km. in quella lontana. Questa differenza giustifica la non coincidenza tra centro geometrico e centro di massa del nostro satellite. Infatti, il secondo è spostato di 1.8 km. verso la Terra rispetto al centro geometrico.

Il mantello rappresenta la parte più consistente della Luna. Vi è differenza tra i tipi di rocce che si trovano sopra e sotto i 500 km. di profondità, questo perché dopo la fusione globale i minerali a più bassa densità fluttuarono verso gli strati più esterni, mentre quelli più densi affondarono in profondità. Più recentemente parte del mantello tornò allo stato fuso, probabilmente a causa di calore sviluppatosi in profondità per il decadimento di uranio ed altri elementi radioattivi³².

Al disotto del mantello si colloca un piccolo nucleo. La sua estensione è stata stimata – con i dati forniti dalla missione Lunar Prospector – intorno ai 400 km. di raggio. La sua massa, parzialmente fusa, non supera l’uno per cento di quella totale del satellite e questo giustifica il fatto che il nucleo lunare, al contrario di quello terrestre molto più consistente, non sia in grado di generare, con la rotazione, un campo magnetico significativo. La sua composizione dovrebbe consistere principalmente di minerali ferrosi.

L’analisi chimica dei campioni di rocce ignee³³ lunari hanno permesso di evidenziare quattro tipi come i principali litotipi³⁴ presenti sulla Luna: le anortositi ferrose³⁵, le noriti³⁶ ricche in Mg, i basalti dei mari³⁷ ed i basalti KREEP³⁸.

³¹ Angioletta Coradini ed altri “*The Moon: an unavoidable step in the exploration of the Solar System*” Agenzia Spaziale Italiana, Roma 2007, pag. 18.

³² NASA “Moon” http://www.nasa.gov/worldbook/moon_worldbook_prt.htm.

³³ Le rocce ignee sono quelle che hanno avuto origine dal raffreddamento e cristallizzazione di un magma fuso.

³⁴ Il litotipo è un tipo di roccia formato da un certo numero di minerali e/o altri elementi che lo caratterizzano.....è l’unità elementare di un corpo roccioso, l’equivalente della specie in biologia (Wikipedia “Litotipo” <http://it.wikipedia.org/wiki/Litotipo>).

³⁵ La anortosite è un tipo di roccia ignea, composta quasi interamente da feldspato, un gruppo di minerali che costituiscono circa il 60% della crosta terrestre. In particolare dal feldspato plagioclasio (Wikipedia “Feldspato” <http://it.wikipedia.org/wiki/Feldspato>).

³⁶ La norite è un altro tipo di roccia ignea, formata principalmente da pirosseno e plagioclasio.

³⁷ I basalti dei mari (o maria) sono rocce ignee, presenti anche sulla Terra, generalmente ricche in Fe e povere in Al.. Alcune loro caratteristiche chimiche sono complementari a quelle delle anortositi e questo suggerisce la possibilità che le aree interne alla Luna, dove le lave basaltiche hanno avuto origine, fossero parte dello stesso magma dal quale si sono formate le anortositi. Inoltre, i basalti lunari sono ricchi di vescicole genericamente sferiche, di 1-3 mm. di diametro, che si sono formate durante le eruzioni vulcaniche che hanno portato in superficie le lave basaltiche. La presenza delle vescicole indica che l’interno della Luna conteneva dei gas, probabilmente monossido di carbonio e zolfo gassoso.

³⁸ I basalti KREEP sono una variante delle rocce basalti, nella quale sono presenti, tra l’altro, K (Potassio), REE (Rare Earth Element o terre rare) e P (Fosforo). Con l’acronimo KREEP gli scienziati indicano un composto di

Sulla Luna sono presenti, inoltre, alcuni tipi di brecce³⁹. Un primo tipo è costituito da quelle prodotte da modificazione delle rocce per impatto (*sbrecciature e metamorfismo da impatto*). Le altre brecce sono derivate dal mescolamento dei vari tipi di rocce: i continui bombardamenti produssero frammenti dei diversi tipi di rocce e li distribuirono dappertutto; altri impatti hanno riassembleato questi frammenti, dando origine a *brecce per aggregazione meccanica*⁴⁰.

È evidente che le rocce delle regioni montuose subirono in modo più significativo i processi di shock da impatto che non i basalti dei mari⁴¹.

I crateri e le altre strutture lunari

Sulla Luna, come abbiamo visto, ci sono fondamentalmente due tipi di terreno: le *terrae o highlands*, chiare, fortemente craterizzate e molto antiche, ed i *maria*, più scuri, pianeggianti e la cui formazione, più recente, fu dovuta al flusso di lava basaltica in crateri da impatto. Le terre hanno un'albedo⁴² molto alta, mentre quella dei mari è molto bassa.

I crateri rappresentano la struttura più diffusa sul suolo lunare. Quelli più piccoli – diametro minore di 10 km. – hanno una semplice forma a scodella. Quelli un po' più grandi non riescono a mantenere la sagoma di una scodella, perché, essendo le pareti interne piuttosto ripide, dalle stesse frana del materiale verso il fondo, che diviene pianeggiante.

I crateri più grandi hanno pareti interne a terrazze ed un picco centrale. Quest'ultimo è il risultato di una deformazione del suolo: l'impatto compresso fortemente la superficie, che a sua volta per reazione rimbalzò e formò il picco.

Inoltre, gli impatti, che provocarono la formazione dei crateri, proiettarono all'esterno della cavità frammenti di rocce, che ricadendo formarono coltri di detriti (*ejecta*) molto estese, anche un centinaio di chilometri dai crateri stessi.

Le rocce eiettate diedero in alcuni casi luogo a crateri secondari, che spesso appaiono raccolti in gruppi o allineati su linee rette.

cosiddetti "elementi incompatibili", cioè elementi che non possono entrare a far parte delle strutture dei cristalli e che, quindi, sono lasciati inutilizzati alla superficie del magma (Wikipedia "Luna" <http://it.wikipedia.org/wiki/Luna>)

³⁹ La *breccia* è una roccia composta da numerosi frammenti rocciosi angolosi e di diverse dimensioni cementati, o tenuti assieme, da una matrice di materiale a grana fine. Parlando di meteoriti, sono il prodotto più comune dei processi di impatto (Circolo Astrofili Talmassons "Breccia" <http://www.castfyg.it/zzz/ids/breccia.html>).

⁴⁰ Emanuela Molinaroli e Abhijit Basu "Breve introduzione alla petrologia della crosta lunare e all'origine della Luna" Bollettino della Società Geologica Italiana, 113 (1994), pag. 83.

⁴¹ Ibidem.

⁴² L'*albedo* di una superficie è la frazione di luce o, più in generale, di radiazione incidente che viene riflessa indietro (Wikipedia "Albedo" <http://it.wikipedia.org/wiki/Albedo>)

Nei crateri di diametro superiore ai 200 km. il picco centrale può essere circondato da uno o più anelli concentrici di montagne. Quelli decisamente più estesi, che appaiono poco profondi e pianeggianti e sono circondati da anelli di montagne, sono i cosiddetti *bacini*. Esempio spettacolare è il bacino ad anelli multipli sulla faccia nascosta, chiamato Mare Orientale, che ha un diametro intorno ai 1000 km. e che presenta all'esterno dell'ultimo anello diversi crateri secondari. Ma sulla Luna ci sono bacini anche più grandi.

Infine, altre strutture sono evidenti in particolare nei maria. Si tratta di *valli sinuose*, di linee di frattura o *faglie*, delle quali un tipo particolare sono i *graben*⁴³, e di altre configurazioni di origine vulcanica, come i *domi*⁴⁴.

Le risorse della Luna

Sulla Luna sono presenti sostanze il cui ammontare ed il cui vantaggio economico vanno ulteriormente approfonditi e chiariti, ma tra esse sono presenti elementi che prima o poi sulla Terra scarseggeranno, se non addirittura si esauriranno. Comunque, è indubbia l'utilità economica del loro impiego per la produzione di materiali per le missioni spaziali, acqua, propellenti ed altro, perché i costi di trasporto dalla Luna saranno inferiori a quelli dalla Terra⁴⁵. Se non altro, perché la sua massa è un ottantunesimo di quella terrestre, la sua gravità bassa e l'atmosfera è praticamente assente e perché la Luna potrà essere la base intermedia per mete più lontane.

Questi concetti sono stati sintetizzati dal direttore della NASA, Michael Griffin, quando, intervistato, sottolineò che *“in the long run, we know that Earth and its resources are finite. There are resources in space – solar power or particular material or precious metals, or basic things like water or fuel which, in the contest of a space-based economy, can be very valuable. As we learn and develop the arts and sciences of spaceflight, we will want to make use of those resources rather than bringing them up from the Earth”*⁴⁶.

Pertanto, la disponibilità sulla Luna di risorse materiali ed energetiche investe lo sviluppo di molteplici campi, che riguardano l'espansione dell'uomo nell'universo, la ricerca di fonti energetiche alternative, l'industrializzazione

⁴³ I *graben* sono strisce di terreno che si collocano tra due faglie parallele e sono più basse del suolo circostante.

⁴⁴ I *domi* sono strutture a cupola che hanno assunto vulcani lunari quando la lava si è accumulata poco al disotto della crosta, perché non è riuscita ad uscire dalle fessure del suolo a causa della sua emissione in tempi lunghi e di eccessiva viscosità.

⁴⁵ È quella che gli scienziati hanno chiamato *In-Situ Resources Utilization (ISRU)*, che permetterà agli astronauti di evitare il carico di notevoli quantità di rifornimenti per i loro futuri viaggi e permanenze spaziali. In particolare, la produzione in loco dei propellenti (*In Situ Propellant Production – ISPP*) avrà un sostanziale impatto sulla configurazione della missione.

⁴⁶ Marc Kaufman *“NASA look sto the future with eye on the past”* Washington Post, December 4, 2006.

dello Spazio, l'esplorazione e lo sviluppo del Sistema Solare e l'impiego di infrastrutture scientifiche sulla Luna⁴⁷.

Le rocce lunari contengono tutti gli elementi presenti sulla crosta terrestre, anche se molti di essi, a differenza che sulla Terra, sono rimasti in forma dispersa sulla Luna. Ciononostante, molti materiali utili si trovano nelle rocce in soddisfacente concentrazione.

Altri possono essere ricavati come sottoprodotti dal processamento del regolith o delle rocce per altri scopi. Soprattutto dal regolith possono essere ricavati molti materiali, quali ferro, titanio, silicio e sodio dal regolith dei maria e silicio, alluminio e calcio dal regolith delle terrae. Generalmente questi metalli sono sotto forma di ossido del metallo, per cui un altro abbondante sottoprodotto è l'ossigeno.

Il titanio può essere ottenuto dall'ilmenite, il magnesio dall'olivina, mentre sodio, potassio, stronzio e bario potrebbero essere estratti dal plagioclasio.

I metalli basici, come alluminio o ferro, non possono essere estratti dal suolo allo stato puro, ma processando, con i metodi utilizzati in fonderia, gli elementi composti, per separare questi metalli dagli ossidi o dai silicati.

Ad esempio, l'anortosite delle terrae può essere paragonata ad un minerale metallifero terrestre, la bauxite, dal quale si ricava l'alluminio. Nell'anortosite si ritrovano alluminio, calcio, silicio ed ossigeno ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Col processo di fusione tutti questi elementi potrebbero essere divisi per ricavare alluminio puro ed eventualmente calcio, ossigeno, silice o anche silicio puro. Ma dalle componenti dell'anortosite si potrebbero anche ottenere, al posto dei metalli, prodotti ceramici o vetrosi⁴⁸.

Il ferro, sotto forma di ossido, si trova, come detto, nel regolith dei maria, ad esempio nell'ilmenite. Esistono, però, anche piccoli grani, di poche decine di millimetri, di ferro puro. L'origine di questi grani va ricercata negli impatti sul suolo lunare degli asteroidi, dove questo metallo è abbondante, con il conseguente rilascio di materiali e la non trasformazione in ossido di queste microscopiche porzioni di ferro, per la carenza di acqua ed aria.

Da evidenziare che l'ossigeno è forse l'elemento più abbondante sulla Luna perché unito a molti minerali, i quali con questo legame sono diventati più leggeri e hanno, quindi, contribuito alla formazione della crosta. Altri elementi, invece, non avendo legami con l'ossigeno, sono precipitati verso il nucleo del pianeta e sono più rari sulla crosta.

Elevate concentrazioni di idrogeno dovrebbero trovarsi ai poli lunari sotto forma di ghiaccio, nei crateri sempre all'ombra ed estremamente freddi (-220°C). Questa convinzione è stata dedotta dai dati raccolti dalle missioni Clementine e

⁴⁷ Angioletta Coradini ed altri "The Moon: an unavoidable step in the exploration of the Solar System" Agenzia Spaziale Italiana, Roma 2007, pag. 248 e seg..

⁴⁸ PERMANENT "Major lunar minerals" <http://www.permanent.com/l-minera.htm>.

Lunar Prospector, sulle quali ci siamo soffermati nel paragrafo sulla storia dell'esplorazione lunare. Clementine ha rilevato ai poli crateri che non ricevono mai la luce solare, mentre Lunar Prospector ha confermato, tra l'altro, la presenza in essi di forti concentrazioni di idrogeno.

Queste informazioni hanno associato l'idrogeno alla possibile sussistenza di notevoli quantità di ghiaccio ai due poli, soprattutto al polo nord⁴⁹. Il ghiaccio sarebbe stato originato, tra i due ed i tre miliardi di anni fa, dagli innumerevoli impatti con comete ed asteroidi ricchi di elementi volatili come acqua, idrogeno, carbone ed azoto. Ad ogni collisione sarebbe seguita la vaporizzazione di questi elementi ed una temporanea e molto rarefatta presenza di gas intorno al pianeta. Analogamente avrebbe agito l'interazione tra l'idrogeno del vento solare ed i minerali lunari. Parte di questi gas sarebbe finita contro i crateri polari, condensandosi.

Questi crateri sono permanente in ombra a causa della minima inclinazione dell'asse della Luna (1.5°) che si accoppia ai soli 5° di inclinazione del suo piano orbitale con l'eclittica⁵⁰, con il risultato che ai poli la luce solare è praticamente orizzontale. Ciò significa che i ripidi bordi dei crateri d'impatto polari sono sufficientemente alti per essere illuminati dal Sole per quasi tutti i 29 giorni del mese lunare, fornendo una pressoché continua sorgente di energia solare. Di converso, il loro interno presenta regioni decisamente fredde, perché mai riscaldate dal Sole, che si sono comportate e si comportano come “*cold traps*”⁵¹.

Se le notevoli riserve di ghiaccio, che sarebbero state impiantate dagli impatti e dall'azione del vento solare, sono ancora presenti, i futuri esploratori avrebbero a disposizione tutto quello che può essere ricavato dall'idrogeno e dall'ossigeno: aria per respirare, propellente per i razzi, acqua potabile, elettricità. È necessaria una conferma a quanto prospettato dalle sofisticate rilevazioni dei radar di ultima generazione, ma ci sono pochi dubbi in proposito.

È questa una delle ragioni, che stanno portando verso i poli la scelta della collocazione più favorevole per un insediamento umano.

Un altro importante elemento per la produzione energetica attraverso la fusione nucleare è, come accennato all'inizio, l'Elio 3. Il ³He è molto raro sulla Terra,

⁴⁹ NASA “*Ice on the Moon*” http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/ice/ice_moon.html .

⁵⁰ L'eclittica è l'intersezione del piano d'orbita terrestre con la sfera celeste. Può anche pensarsi come il cerchio massimo della sfera celeste percorso dal Sole nel suo apparente moto annuo. Il piano d'orbita terrestre è il piano geometrico su cui giace l'orbita della Terra ed è anche chiamato *piano dell'eclittica* (<http://it.wikipedia.org/wiki/Eclittica>).

⁵¹ Una *cold trap* (*trappola a freddo*) è un dispositivo che condensa tutti i vapori, ad eccezione dei gas permanenti, in forma liquida o solida (http://en.wikipedia.org/wiki/Cold_trap). In astronomia, una *cold trap* è uno strato superficiale dell'atmosfera che è sostanzialmente più freddo sia degli strati superiori che di quelli inferiori. Si chiama trappola perché trattiene i gas ascendenti con alto punto di fusione, congelandoli fino allo stato di solidi che riprecipitano sulla superficie del pianeta (http://en.wikipedia.org/wiki/Cold_trap_%28Astronomy%29).

mentre si trova in grandi quantità nel regolith lunare, dove è stato impiantato dal vento solare, normalmente in correlazione con il titanio. È stato stimato che 40 ton. di ^3He potrebbero soddisfare l'esigenza di energia degli Stati Uniti per un anno, con una produzione trascurabile di scorie⁵².

Altra vasta risorsa energetica lunare è rappresentata dalle possibilità offerte dalle zone continuamente o quasi soleggiate, una sorgente pulita ed illimitata di energia per gli astronauti, ma anche per la Terra. L'energia prodotta dagli impianti Sole-Luna potrebbe essere trasferita sul nostro pianeta con l'irraggiamento in microonde. La riconversione in elettricità verrebbe effettuata da stazioni terrestri equipaggiate con la cosiddetta "rectenna"⁵³.

La possibilità, di sfruttare queste abbondanti fonti di energia (solare e nucleare) a favore dell'umanità, sarà decisamente utile ed indispensabile per soddisfare la ricerca di nuove e più pulite fonti energetiche e per sostituire gli inquinanti ed in via di esaurimento carburanti fossili.

Peraltro, va anche considerato che la nostra economia richiederà sempre più elettricità, perché sta gradualmente passando dall'energia termica a quella elettrica. Con il presente rateo di sostituzione è stato stimato che la maggior parte degli utilizzatori finali sarà passata all'elettricità intorno al 2050. La ragione è che 1W di potenza elettrica sta progressivamente soddisfacendo beni e servizi precedentemente serviti da 3W di potenza termica. Inoltre, l'elettricità alimenta nuovi tipi di beni e servizi, come i computer e le telecomunicazioni, che non possono essere alimentati con energia termica⁵⁴.

⁵² Silvano Casini "Space exploration a challenge and an opportunity for Europe" ESA/ESTEC, 2006, pag. 158.

⁵³ Una *rectenna* è una speciale antenna utilizzata per convertire direttamente le microonde in corrente continua. Il nome è la contrazione di *rectifying antenna* e questa tipologia di antenne usualmente sono utilizzate in configurazione a griglia e quindi sono esteticamente molto diverse dalle classiche antenne.

⁵⁴ David R. Criswell "Lunar Solar power system: industrial research, development, and demonstration" <http://www.moonbase-italia.org/PAPERS/D1S2-MB%20Assessment/D2S2-06EnergySupport/D2S2-06EnergySupport.Criswell.pdf>.

CAPITOLO 3

Come arrivare sulla Luna

Come accedere alla Luna è ovviamente una delle prime e più importanti tematiche da sviluppare per le complesse missioni pianificate per il prossimo futuro, in particolare in vista della esplorazione umana del satellite. Grande importanza è stata quindi data agli studi sulle possibili traiettorie, che potranno essere seguite per il trasferimento da un'iniziale orbita bassa intorno alla Terra (LEO⁵⁵) ad una finale orbita bassa intorno alla Luna (LLO⁵⁶).

Nell'accoppiamento tra traiettoria di trasferimento e profilo di missioni intervengono più variabili, come il tempo per il trasferimento ed il consumo di propellente. Naturalmente, i trasferimenti più veloci, dell'ordine di qualche giorno, sono più adatti per le missioni con equipaggio umano, per limitare l'esposizione ai raggi cosmici. Mentre, il risparmio energetico, anche se comporta trasferimenti di durata più lunga, da qualche mese a più di un anno, è da privilegiare per missioni di servizio, che spesso richiedono il trasporto di grandi quantità di materiali a scapito della quantità di carburante disponibile.

I trasferimenti cosiddetti alla Hohmann sono la via più veloce, mentre per il risparmio energetico stanno acquisendo sempre maggior interesse le traiettorie che guidano il veicolo spaziale attraverso regioni di equilibrio instabile (“*Weak Stability Boundary – WSB*”) verso l'orbita lunare con l'energia necessaria per essere catturato balisticamente dalla Luna (*Balistic Lunar Transfer*) e sono denominate trasferimenti *WSB*. Questi ultimi profili offrono una apprezzabile riduzione della variazione totale di velocità (*delta-V*), che è necessaria per la loro esecuzione⁵⁷.

La prima tipologia fa riferimento alle dinamiche gravitazionali del sistema di due corpi (la Terra ed il veicolo spaziale), mentre la seconda si basa, appunto, sulla possibilità di sfruttare le zone altamente instabili che si trovano in prossimità del confine tra i domini gravitazionali del Sole, della Terra e della Luna.

⁵⁵ Low-altitude Earth orbit.

⁵⁶ Low-altitude Lunar Orbit.

⁵⁷ Ettore Perozzi, Sergio Ponzi, Filippo Graziani, Paolo Teofilatto, Giacomo Giovangrossi, Fabio Piccolo
“*Highway to Moon Base*” <http://www.moonbase-italia.org/was-PAPERS/Session%203/s3-05-Perozzi.pdf>.

Trasferimento alla Hohmann

Il trasferimento alla Hohmann è una manovra orbitale che permette ad un veicolo spaziale di trasferirsi da un'orbita circolare ad una seconda orbita circolare complanare e cofocale alla prima. È una manovra monoellittica (in quanto nel trasferimento si percorre una semiellisse), bitangente (in quanto l'ellisse è tangente sia all'orbita iniziale che a quella finale)⁵⁸. Fu proposta per la prima volta nel 1925 dall'ingegnere tedesco Wolfgang Hohmann.

Consideriamo il veicolo che orbita attorno alla Terra su di un'orbita circolare di raggio r_1 . Si dà un impulso in modo che il delta-V sia tangente alla traiettoria per immettere la sonda su un'orbita ellittica che ha il pericentro ad r_1 e l'apocentro a r_2 . Dopo il primo Δv_1 , il veicolo si muove sulla nuova orbita ellittica finché non raggiunge l'apocentro, che è tangente all'orbita di destinazione. Se non si eseguono altre manovre la sonda torna indietro, percorrendo l'altro ramo dell'ellisse. Se, invece, si vuole immettere la sonda in un'orbita uguale a quella del corpo celeste di destinazione, si applica un secondo Δv_2 (sempre tangente) che trasforma l'orbita ellittica, detta *orbita di trasferimento*, nell'orbita circolare finale, necessaria premessa per poter successivamente entrare in orbita attorno al Pianeta di destinazione o per atterrarvi⁵⁹.

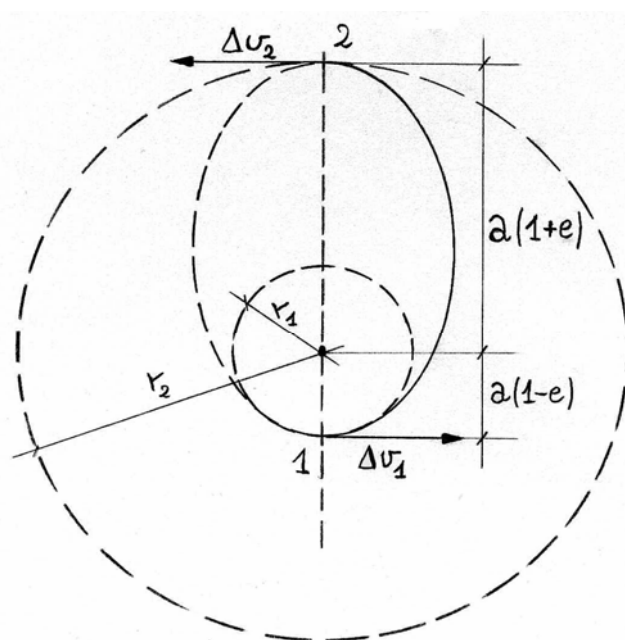


Figura 7: Trasferimento alla Hohmann

Fonte: A. Saccà e M. Varalta, 2007.

⁵⁸ Wikipedia "Trasferimento alla Hohmann" http://it.wikipedia.org/wiki/Trasferimento_alla_Hohmann.

⁵⁹ Alessandro Saccà e Martina Varalta "Fisica e metodologie spaziali – Cap. 5: Moto di satelliti, trasferimenti orbitali, propulsione" http://eureka01.pd.infn.it:5210/~marzari/FISICA_METODOLOGIE/capitolo5.doc, pag. 31-32.

La somma di $\Delta v_1 + \Delta v_2$ dà un'idea dell'accessibilità di un corpo celeste.

Se si applica solo il primo delta-V, il profilo della missione è un *flyby*, cioè un semplice sorvolo del corpo celeste, mentre con il secondo impulso si ha il cosiddetto *rendez-vous*, cioè l'incontro è destinato a durare⁶⁰.

Questo tipo di trasferimento diretto è stato impiegato in tutte le missioni lunari effettuate dagli anni 60 agli anni 80, comprese le missioni Apollo.

Trasferimenti WSB

In alcuni punti particolari dello Spazio, le forze gravitazionali e di Coriolis, che agiscono su un'astronave, sono in equilibrio, cioè si annullano.

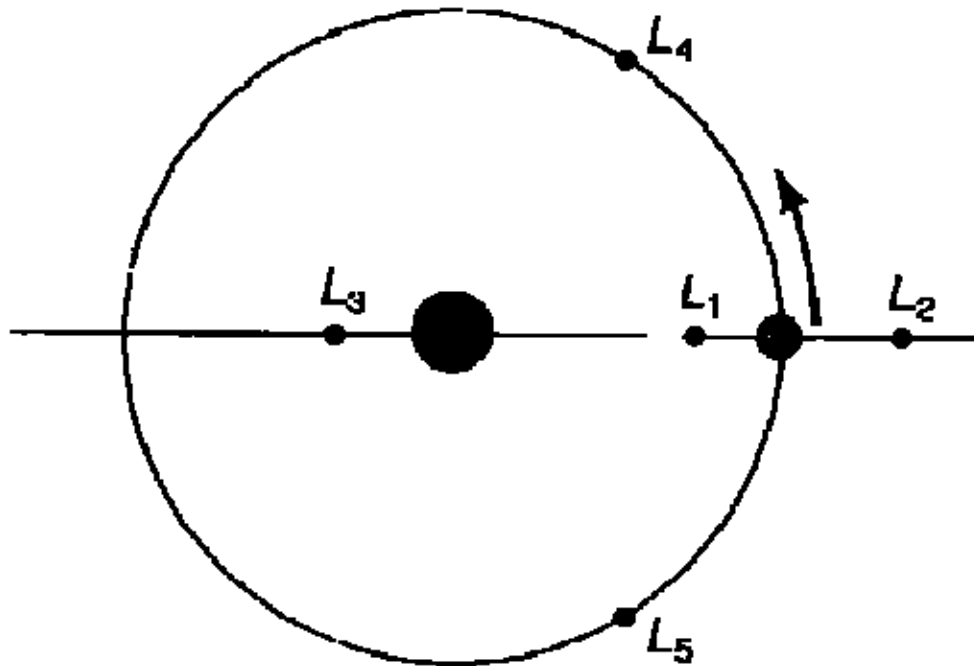


Figura 8: I punti lagrangiani in un sistema a tre corpi.

Con queste caratteristiche ci sono cinque punti – conosciuti come *punti lagrangiani* o *punti di oscillazione (libration points)* – per ogni sistema di tre corpi (ad esempio, Sole-Terra-astronave)⁶¹. Essi furono definiti nel 18° secolo da Leonard Euler (L_1 , L_2 , L_3) e da Joseph-Louis Lagrange (L_4 e L_5).

⁶⁰ Alessandra Celletti ed Ettore Perozzi “Ordine e caos nel Sistema Solare” UTET, 2007, Cap. 8, pag. 209-210.

⁶¹ I movimenti di tre corpi celesti, come il sistema Sole-Terra-Luna, che si muovono sotto l'influenza reciproca delle loro forze, sono studiati dal cosiddetto *problema dei tre corpi*. Una semplificazione di questo problema è

L_1 , L_2 ed L_3 sono detti punti di equilibrio instabile, poiché basta una piccola perturbazione dallo stato di equilibrio, per far sì che l'oggetto si allontani sempre più dal punto lagrangiano stesso. Questi punti non sono dissimili dai punti di massimo di una funzione matematica. Fisicamente è come mettere in equilibrio una sfera su una punta.

I punti L_4 ed L_5 – che formano con i due corpi principali due triangoli equilateri – possono essere generalmente considerati di equilibrio stabile (se di poco perturbati gli oggetti in queste posizioni ritornano alla posizione originaria). Questi punti non sono dissimili dai punti di minimo di una funzione. Fisicamente è come mettere una particella all'interno di una buca di potenziale⁶². La figura sottostante mostra i punti lagrangiani del sistema Terra-Luna e la loro relazione geometrica con i punti L_1 ed L_2 del sistema Sole-Terra. In essa si fa riferimento alla regione dello Spazio, che contiene tutti questi punti ed è chiamata “*Earth’s Neighborhood (Regione Terrestre)*”, una sfera di circa 1.5 milioni di km. intorno alla Terra. Comunemente, i punti lagrangiani del sistema Terra-Luna sono denominati LL_1 (*Lunar Lagrange₁*), etc. e quelli del sistema Sole-Terra EL_1 , etc. (*Earth Lagrange₁*)⁶³.

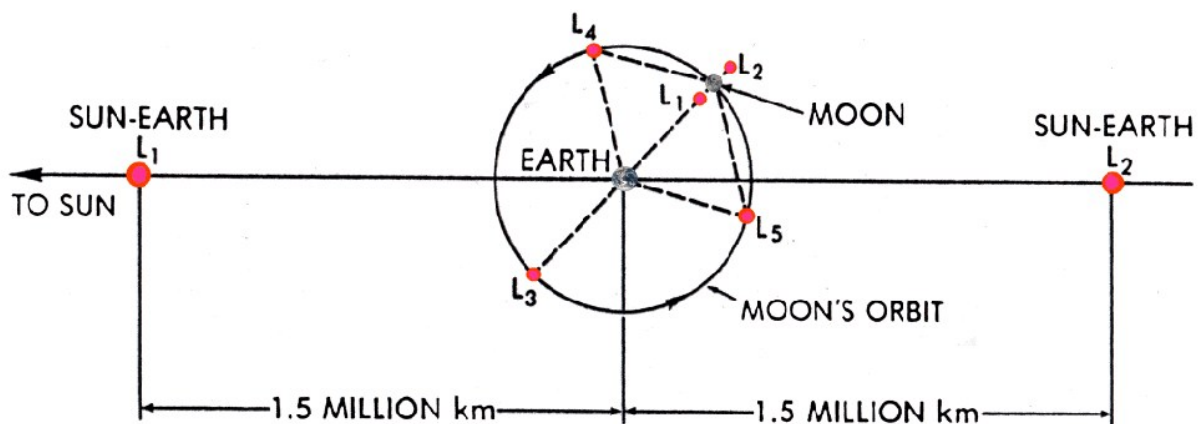


Figura 9: I punti di Lagrange nella Regione Terrestre.
Fonte: Shane D. Ross (website).

Altri autori usano la dicitura più estesa EML_1 (*Earth Moon Lagrange₁*) e SEL_1 (*Sun Earth Lagrange₁*).

chiamata *Circular Restricted Three Body Problem (CRTBP)*, dove il terzo corpo è considerato di massa molto piccola, infinitesimale. Esso, pertanto non esercita alcuna forza sugli altri due, che sono chiamati Primario e Secondario. Il movimento di un'astronave sotto l'influenza della gravità della Terra e della Luna è studiato in questa maniera. Un'ulteriore semplificazione del CRTBP considera che i corpi principali si muovano su orbite circolari, l'una all'interno dell'altra. Se il sistema è costituito da quattro corpi si arriva al *Coupled CRTBP*, cioè all'accoppiamento di due CRTBP.

⁶² Wikipedia “*Punti di Lagrange*” http://it.wikipedia.org/wiki/Punti_di_Lagrange.

⁶³ Martin W. Lo “*The InterPlanetary Superhighway and the Origins Program*” NASA-JPL (Jet Propulsion Laboratory).

Questa rappresentazione è connessa ad un sistema di coordinate che ruota assieme ai corpi celesti di riferimento e quindi rappresenta come fissi dei punti che in realtà sono soggetti a traslazione.

Tra i punti lagrangiani gli instabili e collineari L_1 ed L_2 sono risultati i più interessanti per disegnare le traiettorie spaziali, in accordo con l'affermazione di Jerrold Marsden del California Institute of Technology: “*In nature, unstable things are often more efficient than stable things*”⁶⁴.

Applicando nello studio del problema dei tre corpi, del CRTBP in particolare, la teoria del caos – introdotta alla fine del diciannovesimo secolo dal matematico francese Henry Poincaré – è stato dimostrato che il nostro sistema solare è interconnesso da un sistema di speciali superfici a forma di tubi (*manifolds*), che spiraleggiano intorno al Sole, generate dai punti lagrangiani di tutti i pianeti e delle loro lune all'interno del Sistema Solare⁶⁵. Questi manifolds formano un sistema di autostrade dello Spazio, l'*Interplanetary Superhighway (IPS)*, che permette trasferimenti a bassissimo costo energetico.



Figura 10: Visione artistica dell'*Interplanetary Superhighway (IPS)*.
Fonte: NASA

⁶⁴ Erica Klarreich “*Navigating Celestial Currents*” Science News Online, Week of april 16, 2005, Vol. 167, No. 16.

⁶⁵ Martin W. Lo e Shane D. Ross “*The Lunar L1 gateway: portal to the stars and beyond*” AIAA Space 2001 Conference, Albuquerque, New Messico, august 28-30, 2001.

Gli accessi sono dei portali intorno a tali punti, formati da orbite periodiche e semi-periodiche⁶⁶. In particolare, per quanto riguarda l'“*Earth's Neighborhood*”, sussistono, intorno ai punti collineari L_1 ed L_2 , le cosiddette *orbite ad alone* (*halo orbits*), che sono orbite periodiche caratterizzate da ampie librazioni e che sono così chiamate perché, viste dal corpo primario, sembrano formare un alone intorno al Secondario. La loro ampiezza può essere variata in modo che, ad esempio, sia sempre maggiore del diametro apparente della Luna, consentendo ad una sonda di essere sempre visibile sia dalla Terra che dal lato nascosto della Luna⁶⁷.

La superficie di questi tubi è generata da tutte le traiettorie che asintoticamente portano verso la *halo orbit* od allontanano da essa, senza alcuna manovra, ma grazie solo agli effetti gravitazionali. Il primo tipo di tubi è chiamato nella *teoria dei sistemi dinamici*, meglio conosciuta come *teoria del caos*, lo *stable manifold*, mentre il secondo è l'*instable manifold*.

Va evidenziato che questo sistema di tubi generato dalle orbite periodiche è caotico⁶⁸. Ovvero, i tubi generano caos deterministico, cioè vicino al punto di Lagrange un veicolo spaziale può con una minima energia passare da un tubo all'altro e cambiare completamente traiettoria.

Inoltre, il sistema IPS è stazionario, come già evidenziato, solo quando considerato nel sistema di coordinate fisso con il Sole e la Terra. In realtà, i tubi si dimenano come i getti d'acqua di un impianto di irrigazione impazzito. Per passare da una traiettoria ad un'altra, il veicolo deve compiere il balzo al giusto momento e con la giusta velocità.

Nella sottostante Figura 11 è raffigurata, a titolo di esempio, una porzione della IPS del sistema Sole-Terra-Luna. Precisamente, la connessione con la *halo orbit* in EL_2 di un'astronave in orbita nel gateway in LL_1 . I colori e le frecce differenziano i tunnel che vanno verso le *halo orbits* (*stable manifolds*) da quelli che si allontanano (*instable manifolds*).

Usando gli *stable* e gli *unstable manifolds* nella *weak stability boundary*, la regione intorno alla Luna dove si verificano dinamiche caotiche sotto l'influenza delle forze gravitazionali del Sole, della Terra e della Luna, possiamo appunto calcolare delle rotte dalla Terra al punto dove il veicolo viene balisticamente catturato dalla Luna (*WSB lunar transfer and lunar ballistic capture*⁶⁹), come schematizzato nella Figura 12.

⁶⁶ Le orbite periodiche sono traiettorie chiuse, che si ripetono ad intervalli regolari di tempo. Le altre sono soluzioni delle equazioni del moto che, pur riavvicinandosi indefinitamente alle condizioni iniziali da cui aveva avuto origine il moto, non si richiudono mai esattamente su se stesse

⁶⁷ Alessandra Celletti ed Ettore Perozzi “*Ordine e caos nel Sistema Solare*” UTET, 2007, Cap. 8, pag. 198.

⁶⁸ Wang Sang Koon, Martin W. Lo, Jerrold E. Marsden, Shane D. Ross “*Heteroclinic connections between periodic orbits and resonance transitions in celestial mechanics*” CAOS, volume 10, number 2, June 2000.

⁶⁹ Edward A. Belbruno, John P. Carrico “*Calculation of weak stability boundary ballistic transfer trajectory*” AIAA 2000-4142, AIAA/AAS Astrodynamics Specialist Conference, 14-17 August, 2000, Denver, Colorado.

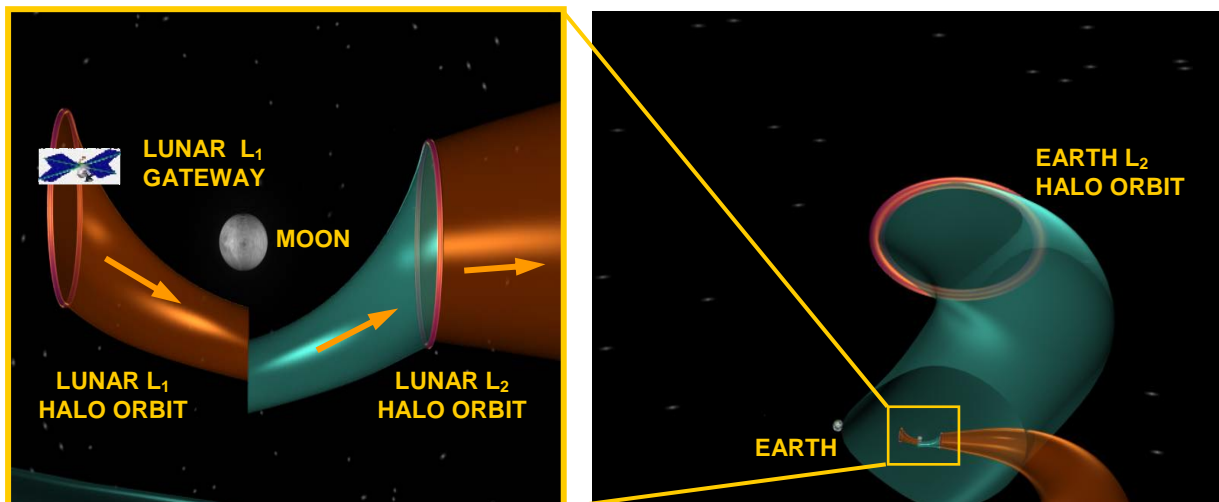


Figura 11: Rappresentazione artistica di una porzione dell'IPS nell'Earth's Neighborhood.
Fonte: Martin W. Lo, NASA-JPL.

Queste traiettorie comportano un lungo tragitto, ma un deciso risparmio energetico, che si traduce in un delta-V totale inferiore di almeno il 25% rispetto ai trasferimenti diretti, a tutto vantaggio del payload trasportabile.

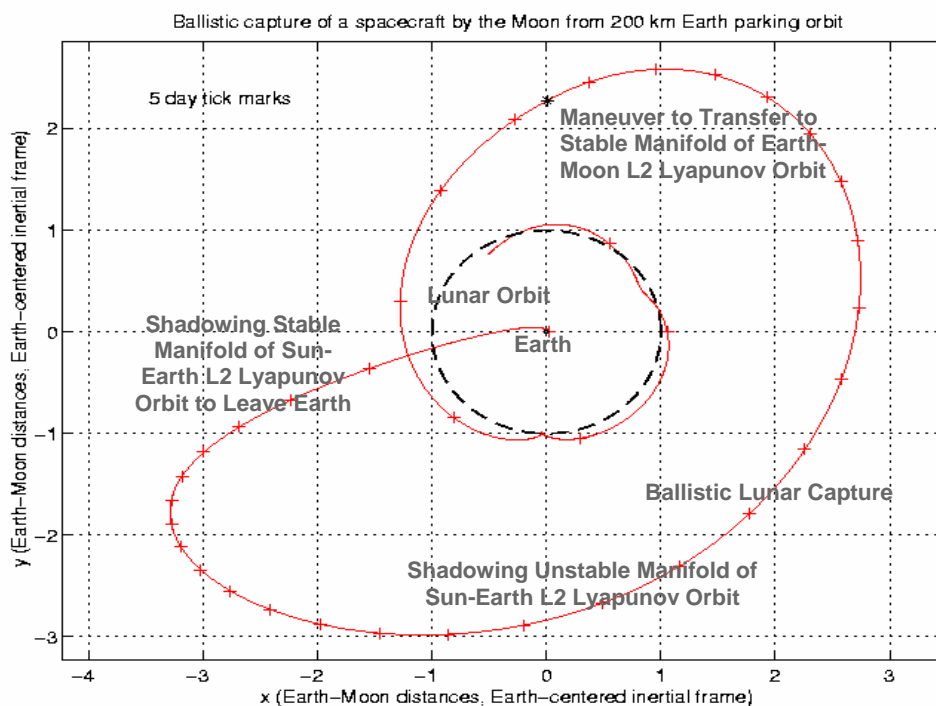


Figura 12: Trasferimento a bassa energia e cattura balistica da parte della Luna.
Fonte: Martin W. Lo, NASA_JPL.

Questo tipo di rotta oltre che con la sonda Hiten fu utilizzato nel 2001 per la missione Genesis, alla quale fu assegnato il compito di raccogliere particelle del vento solare. La Genesis percorse un tubo dalla Terra ad EL_1 , dove effettuò cinque orbite. Per il ritorno seguì la superstrada che la portò sino al punto EL_2 , prima di tornare indietro, senza spesa di energia, verso la Terra.

Anche il satellite europeo Smart-1 seguì una rotta WSB verso la Luna, che raggiunse in circa 400 giorni senza impiego di carburante nel novembre 2004.

Con queste premesse, le halo orbit attorno ad LL_1 (come per altri versi anche quelle attorno ad LL_2) potrebbero essere un'ottima collocazione per una base abitata permanente, un hub spaziale (*Moon Base Harbor-MBH*). I grandi telescopi potrebbero essere assemblati in LL_1 , con il superamento delle difficoltà più critiche connesse con il trasporto dell'intero apparato da Terra, è trasferiti per l'impiego in EL_2 , da dove verrebbero richiamati in LL_1 per la manutenzione. Gli astronauti potrebbero raggiungere l'MBH nel giro di giorni, mentre un veicolo spaziale impiegherebbe qualche ora per arrivare in qualunque punto della Luna. Si potrebbe così dare un valido appoggio logistico all'insediamento umano sulla Luna. Mentre l'hub potrebbe funzionare anche come deposito del propellente economicamente prodotto sulla Luna per dare supporto alla catena del trasporto spaziale⁷⁰.

Ad ulteriore sostegno di questa idea, va aggiunto che i manifolds che partono da LL_1 intersecano ogni mese i manifolds verso EL_1 ed EL_2 . Tutto questo, in definitiva, dà al punto lagrangiano LL_1 una importanza particolare per molte delle future missioni di esplorazione dello Spazio.

La discesa e l'allunaggio

Le fasi di discesa e di allunaggio consistono in una serie di manovre finalizzate a conseguire un morbido touchdown sulla superficie lunare.

Partendo dalle condizioni orbitali dell'iniziale LLO, è applicata al veicolo spaziale una prima variazione di spinta per entrare nell'ellisse di trasferimento, passando da un'altitudine orbitale più bassa. L'impulso è applicato in modo da posizionare il periluna dell'ellisse direttamente sopra il sito di allunaggio prescelto⁷¹.

⁷⁰ Silvano Casini "A quick look to a European strategy for solar system exploration (the wide vision)" MOON BASE: A Challenge for Humanity, 3rd Workshop, Moscow, november, 16th-17th, 2006, www.moonbase-italia.org/homepage.html.

⁷¹ Joo Ahn Lee, John Carini, Andrew Choi, Robert Dillman, Sean J. Griffin, Susan Hanneman, Caesar Manplata e Edward Stanton "Lunar lander conceptual design" University of Virginia, may 17th, 1989, www.nss.org/settlement/moon/library/LB2-114-LanderConceptualDesign.pdf.

Un po' prima di raggiungere il periluna, si procede ad un secondo delta-V per circularizzare l'orbita e, quindi, si iniziano le manovre a minimo consumo di carburante per una discesa controllata sulla superficie lunare. A meno che non si preferisca effettuare un primo sorvolo del periluna per esaminare il suolo e valutare il campo di gravità con il supporto della connessione con la Terra⁷².

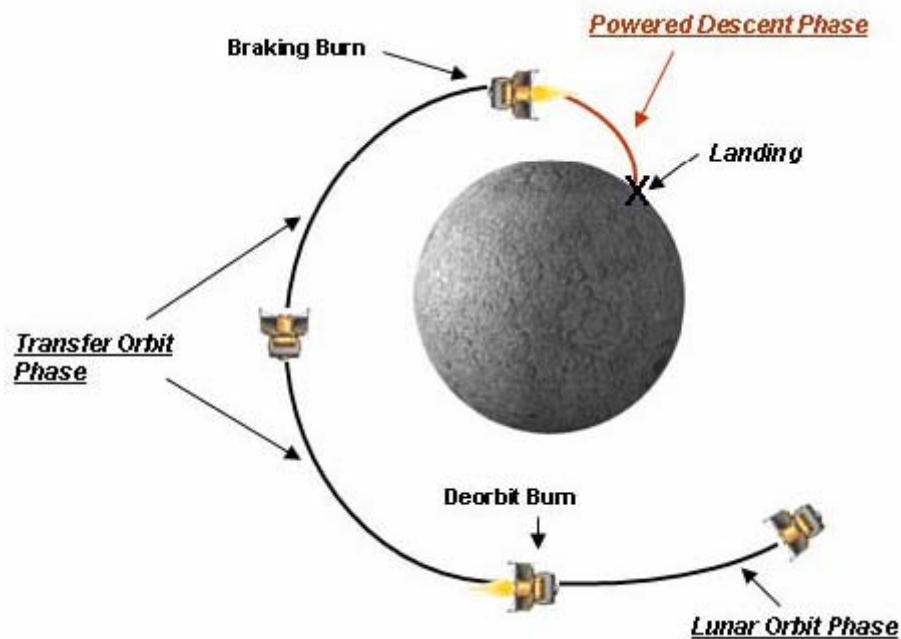


Figura 13: Rappresentazione della sequenza di allunaggio di un lander.
Fonte: Ronald R Sostarc, NASA Johnson Space Center, 2007.

Una volta deciso di procedere all'allunaggio, si applica una spinta, che riduce la velocità e fa sì che la traiettoria inizi a curvare verso il basso. Viene, quindi, raggiunta una collocazione sopra il punto prescelto della superficie lunare con velocità orizzontale uguale a zero.

Si fa compiere al velivolo una manovra di beccheggio per aggiustare la sua posizione sulla verticale. Il rateo di discesa è progressivamente ridotto ad 1,6 m/s e mantenuto sino a circa 2 m. sopra la superficie lunare, dove la spinta viene annullata per procedere al touchdown.

Anche in questa ultima fase, esigenze di sicurezza possono richiedere di applicare una maggior spinta per gestire il rateo di discesa in modo da allungare la durata della stessa e consentire eventuali manovre di hovering.

⁷² Silvano Casini "Space exploration a challenge and an opportunity for Europe" ESA/ESTEC, 2006, pag. 146-148.

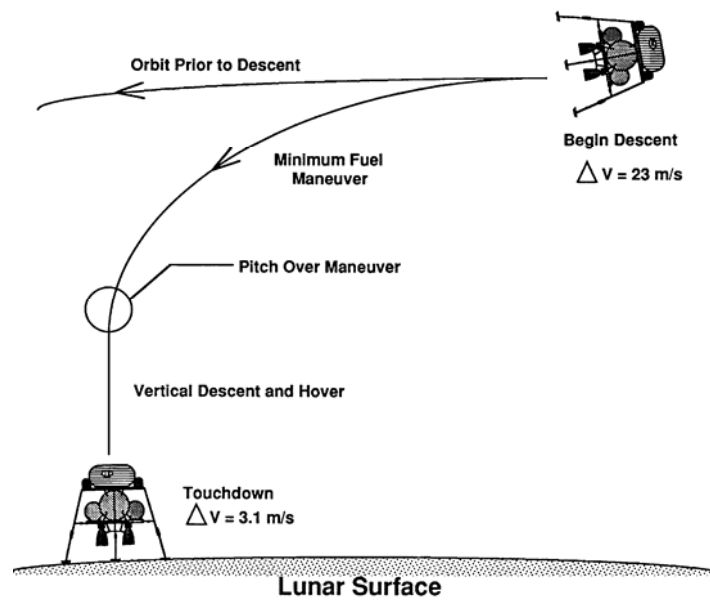


Figura 14: La sequenza di allunaggio.
Fonte: Joo Ahn Lee ed altri, 1989.

CAPITOLO 4

I vincoli legali

Le iniziative per stabilire un regime legale per lo Spazio si manifestarono sin dai primi voli spaziali⁷³.

Gli Stati Uniti furono i primi a porsi il problema di come regolare e tenere sotto controllo le attività spaziali, in modo da frenare un possibile ulteriore sviluppo della corsa agli armamenti. Infatti, sotto la presidenza Eisenhower (1953-1961) furono avviate delle iniziative per arrivare a stabilire un regime legale nello Spazio che fosse in accordo con la posizione, pubblicamente assunta da parte americana, di apertura alla cooperazione nello Spazio. Nello stesso tempo, però, si cercò di preservare al Governo americano la libertà di portare avanti quei progetti militari nello Spazio, che fossero stati ritenuti necessari per proteggere e perfezionare il deterrente nucleare.

Poche questioni internazionali apparivano in quel momento così urgenti e cariche di implicazioni per la pace nel mondo come l'assenza di una legge per lo Spazio. Si era di fronte ad un ambiente operativo virtualmente senza limiti e ad un complesso di possibili sviluppi tecnologici di portata imprevedibile, aperti simultaneamente allo sfruttamento umano. Come i viaggi e le esplorazioni dell'era delle scoperte stimolarono studi e riflessioni sulla legge del mare, che anticiparono i trattati internazionali, così le prime attività dell'era spaziale provocarono una raffica di interrogativi sui principi fondamentali che avrebbero dovuto guidare le imprese oltre l'atmosfera delle nazioni terrestri. Tra questi interrogativi quelli legati alla sovranità si dimostrarono i più complicati da risolvere giuridicamente. Si trattò di trovare la risposta ad un certo numero di interrogativi, quali:

- possono le nazioni avanzare pretese sullo Spazio, dividerlo in zone secondo *qualche principio scientifico, politico o tecnico, o renderlo zona franca dalle armi ed estendere ad esso i principi di cooperazione che sono stati alla base delle attività sviluppate nel quadro dell'anno geofisico internazionale?*
- *quali meccanismi legislativi e di "enforcement" sono da adottare per il corpo giuridico per lo Spazio?*

⁷³ Alberto Traballesi e Nazzareno Cardinali "Sviluppo tecnologico ed evoluzione della dottrina d'impiego del potere aerospaziale" CeMiSS, Roma, 2004, pag. 43-50.

- *quali predisposizioni devono essere osservate per la notifica dei lanci, per lo scambio dei dati, per la valutazione delle responsabilità per danni causati da veicoli spaziali?*
- *qualcuno potrebbe avanzare diritto di proprietà sulla superficie lunare?*
- *come si può assicurare una distinzione tra vettori spaziali e missili militari?*
- *è preferibile che lo sviluppo delle attività spaziali sia condotto nell'ambito di programmi internazionali o di iniziative nazionali operanti nel contesto di norme generali concordate?*

La risposta a queste domande fu devoluta alla discussione nell'ambito delle Nazioni Unite, anche se, in epoca di guerra fredda, il carisma ed il potere di questa organizzazione risultò molto ridimensionato e molti accordi derivarono da un confronto di posizioni tra Stati Uniti e Unione Sovietica.

Si pervenne, così, ad una serie di norme condivise, che hanno cercato di regolamentare sia le attività terrestri correlate con lo Spazio che quelle propriamente spaziali. Furono definiti cinque trattati internazionali e cinque set di principi legali per regolamentare le attività spaziali.

Il più importante dei trattati è il "*Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Body*", meglio conosciuto come "*Outer Space Treaty*", che discende dalla "*Declaration of Legal Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space*" del 1963 e che fu adottato dall'Assemblea Generale dell'ONU nel 1966. La sua entrata in vigore risale all'ottobre 1967, 98 Paesi lo hanno ratificato ed altri 27 lo hanno solo firmato.

Nei 17 articoli dell'"*Outer Space Treaty*" si sancisce che:

- *l'esplorazione e l'uso dello Spazio extra-atmosferico devono avere come finalità il beneficio e l'interesse di tutti i Paesi ed essere sotto la giurisdizione di tutta l'umanità;*
- *lo Spazio deve essere libero all'esplorazione ed all'uso da parte di tutti gli Stati;*
- *lo Spazio non può divenire proprietà nazionale per rivendicazione di sovranità, esplorazione od uso, né per qualsivoglia altra motivazione;*
- *gli Stati non possono collocare armi nucleari o di distruzione di massa in orbita o su corpi celesti o stazionarle nello Spazio in qualsivoglia altra maniera;*
- *la Luna e gli altri corpi celesti devono essere utilizzati esclusivamente per scopi pacifici;*
- *gli astronauti devono essere considerati come inviati dell'umanità;*
- *gli Stati sono responsabili delle attività spaziali nazionali, indipendentemente dal fatto che siano governative o no;*
- *gli Stati sono responsabili per i danni causati dai loro sistemi spaziali e*

- *devono evitare nocive contaminazioni dello Spazio e dei corpi celesti.*

Per le attività militari, la specifica proibizione è riferita genericamente ai soli corpi celesti, nell'articolo del trattato che stabilisce il loro uso esclusivamente per scopi pacifici. Quantomeno, si può dedurre un'implicita autorizzazione alle operazioni belliche difensive nello Spazio dal contenuto dell'Articolo III. Infatti, in esso si stabilisce che gli Stati sottoscrittori del trattato potranno esplorare ed utilizzare lo Spazio in accordo con la legge internazionale, inclusa la carta delle Nazioni Unite, tra l'altro "*in the interest of maintaining international peace and security*".

Non diversamente si pronuncia sulle attività militari l'ultimo dei cinque trattati, l' "*Agreement governing the activities of States on the Moon and other Celestial Bodies*", meglio conosciuto come "*Moon Treaty*" o "*Moon Agreement*", perché conferma per queste attività quanto contenuto nel "*Outer Space Treaty*", con la stessa indeterminatezza e mancanza di precise definizioni.

Anche per le altre tematiche il "*Moon treaty*", il cui testo è riportato in Appendice 1, si riallaccia a quanto previsto dall' "*Outer space treaty*" per applicarlo alla Luna, ma anche agli altri corpi celesti ed alle regioni intorno ad essi:

- *la Luna deve essere utilizzata per il bene di tutti gli Stati e di tutti i popoli della comunità internazionale;*
- *il suo ambiente non deve essere alterato e gli Stati devono prendere le appropriate misure per evitare accidentali contaminazioni;*
- *le Nazioni Unite devono essere aggiornate su tutte le attività svolte sulla Luna e sui risultati conseguiti;*
- *tutti gli Stati hanno diritto di condurre ricerche sulla Luna;*

ma soprattutto:

- *il territorio della Luna e le sue risorse naturali sono patrimonio dell'umanità e*
- *un regime internazionale dovrà essere adottato per lo sfruttamento di tali risorse, quando se ne profilerà la possibilità.*

Il "*Moon Treaty*" è stato adottato nel 1979 ed è entrato in vigore solo nel 1984, dopo che il quinto Paese, l'Austria, l'ha ratificato e ne ha, così, permesso la promulgazione. Al 1° gennaio 2007 contava, però, solo 13 ratifiche e 4 sottoscrizioni. Tra le Nazioni che l'hanno ratificato non vi è alcuna delle potenze maggiormente impegnate nelle attività spaziali e la maggior parte di loro non l'ha ancora firmato. Di conseguenza, l'accordo ha una ridottissima efficacia, anche se si può ritenere che dovrà essere presto ripreso in considerazione, per adeguarlo alle nuove e più concrete prospettive di esplorazione e sfruttamento dei corpi celesti – Luna in particolare.

Questa ridotta efficacia deriva in primo luogo dal fatto che buona parte del set giuridico fu sviluppata prima del consolidamento di una specifica esperienza nel settore, prendendo a base dati tecnici obsoleti o facendo delle analogie, non sempre appropriate, con comportamenti terrestri.

D'altra parte, la velocità delle trasformazioni, spesso rivoluzionarie, nella condotta delle operazioni spaziali, ha reso rapidamente obsoleti trattati, i cui testi sono diventati ambigui e restrittivi, con il pericolo di distorcere il naturale sviluppo delle attività nell'Esospazio⁷⁴.

Tra l'altro, negli anni nei quali questo insieme di norme fu elaborato, il settore privato non era stato considerato come possibile componente delle istituzioni attive nelle attività spaziali ed erano state, invece, prevalenti le considerazioni sugli aspetti militari e civili. Le disposizioni furono perfezionate senza tenere conto dello sviluppo del ruolo del privato, a fronte del sempre più fermo intendimento di coinvolgere le industrie nell'esplorazione e nello sfruttamento dello Spazio, ad iniziare dal principio dei diritti di proprietà nell'Esospazio⁷⁵.

Infatti, l' "Outer Space Treaty" ed il "Moon Treaty" non ammettono rivalse di sovranità nazionale sui Corpi Celesti. Il "Moon Treaty", inoltre, esclude la proprietà privata sulla Luna e su ogni sua parte, stabilendo che "the Moon and its natural resources are the common heritage of the mankind".

Non si può pensare di attrarre l'industria privata ad investire risorse e capitali nelle attività nello spazio senza che i trattati per lo Spazio vengano modificati od interpretati, su questo aspetto, in maniera che siano sufficientemente soddisfatte le aspettative del privato, ma anche delle entità pubbliche, per la protezione dei propri investimenti.

Si sente anche la necessità di una più attenta valutazione delle implicazioni connesse con l'atteso ed esteso impiego di sorgenti di energia nucleare nelle attività spaziali, sia per la propulsione che per la produzione di energia. L'analisi delle regolamentazioni internazionali e nazionali in vigore potrà eventualmente suggerire nuove norme per evitare che sia limitata l'efficacia delle attività di colonizzazione e sfruttamento sulla Luna ed, in seguito, sugli altri Corpi Celesti, ma nel contempo sia assicurata la protezione dell'ambiente nell'Esospazio.

Anche una preventiva o parallela adozione di una normativa nazionale ad hoc è prerequisite per incentivare lo sviluppo di una forte industria spaziale propensa ad affrontare attività a così alto fattore di rischio.

Avendo, poi, a che fare con un programma, quello del ritorno sulla Luna, che è stato concepito sin dall'inizio come internazionale, l'accordo intergovernativo in vigore per la *Stazione Spaziale Internazionale (ISS)* può essere, per il suo alto livello di complessità ed integrazione, preso a base per l'aggiornamento delle norme e lo sviluppo di un regime legale più idoneo a soddisfare le odierne

⁷⁴ Ferruccio Botti "Dalla strategia aerea alla strategia spaziale" Informazioni della Difesa, n. 2, 2000.

⁷⁵ Silvano Casini "Space exploration a challenge and an opportunity for Europe" ESA/ESTEC, 2006, pag. 30.

esigenze. Infatti, una volta individuato quanto di questo accordo può concorrere a coprire gli innovativi aspetti della cooperazione nell'esplorazione dello Spazio, esso potrà indubbiamente costituire il miglior punto di partenza per i futuri negoziati nell'ambito della comunità internazionale.

Infine, un altro interessante insieme di principi, dal quale muoversi, sia pur con qualche caveat, per regolare la libertà d'azione ed il diritto di proprietà nello Spazio per le nuove iniziative, è quello che è stato proposto all'Office of Space Flight della NASA da Klaus P. Heiss, a nome dell'organizzazione non governativa High Frontier, traslando i principi che guidarono la colonizzazione dei territori del Nord-America ad ovest dei monti Appalaci⁷⁶. Nella proposta per uno "*Statement of principles for Space enterprise* sono enunciati i diritti di:

1. *libertà di navigazione*: il nuovo "*Sea of Space*" deve essere aperto a chicchessia per navigarlo e per intraprendere qualsivoglia iniziativa in analogia alla libertà dei mari;
2. *diritto di proprietà privata*: la proprietà privata è fondamentale per l'attività d'impresa, per l'investimento, per l'esplorazione e per la libertà dell'uomo, sia sulla Terra che nello Spazio. Ovvero, non c'è nessuna differenza tra le attività di un uomo libero sulla Terra e nello Spazio;
3. *diritto di presa di possesso nello Spazio*: per incentivare una precoce e molto vasta esplorazione dello Spazio e l'utilizzazione delle sue vaste risorse, si deve prevedere il diritto di presa di possesso nell'Esospazio. Si devono, però, stabilire, per la Luna e per gli altri Corpi Celesti, la portata ed i limiti per l'appropriazione di superfici e delle sottostanti risorse. Tale diritto è garantito a chi prende fisicamente possesso dei beni, personalmente od attraverso imprese da lui finanziate a suo rischio e beneficio. I diritti di proprietà devono essere esercitati attraverso l'uso, per un periodo di 99 anni, diversamente l'oggetto del possesso ritorna allo stato di Spazio non rivendicato;
4. *accesso allo Spazio a basso costo per l'impresa privata*: i Governi dovranno rendere disponibili a "*costi aggiuntivi*" installazioni, servizi, hardware e proprietà intellettuali per lo sviluppo di imprese private. Per "*costi aggiuntivi*" si intendono i costi aggiunti da ogni specifica attività privata al programma spaziale governativo, costi di progetto o di installazione;
5. *competizione*: il miglior successo può essere conseguito sia sulla Terra che nello Spazio quando c'è aperta competizione di idee e di impresa. Pertanto, dovranno essere evitate leggi e disposizioni che possano in qualche modo soffocare un'impresa nei mercati aperti;
6. *esercizio di diritti e rivalse*: in linea con i principi positivi della legge internazionale, uno Stato potrà reclamare o riconoscere diritti di proprietà

⁷⁶ Klaus P. Heiss "*Columbia: a permanent Lunar Base*" High Frontier, Final Report to NASA Office of Space Flight, December 17th, 2003, Chapter 6 – Rules of the road.

nello Spazio solo nella misura in cui tali diritti sono attribuiti a persone che controllano o forniscono servizi, risorse, terra o beni nello Spazio. Non saranno riconosciute rivalse o diritti basati su astratti, teorici concetti di alternative che possano in qualunque modo configurare la violazione della libera impresa da parte di Stati che esercitano attività spaziali o persona dell'umanità o di altra civiltà che potrebbe essere incontrata.

L'obiettivo che ci siamo posto con queste riflessioni non è, però, quello di mettere in discussione il sacrosanto principio di "*common heritage of mankind*", ma quello di spingere i legislatori ad assumere una posizione più moderna e pragmatica.

Il programma di esplorazione dello Spazio che intendiamo svolgere nei prossimi decenni porterà innegabili vantaggi all'umanità di conoscenze e di risorse per la vita, ma richiederà ingenti mezzi intellettuali, finanziari e materiali, che difficilmente potranno divenire disponibili senza un adeguamento del contesto legale nel cui ambito dovremo sviluppare i nuovi progetti spaziali.

CAPITOLO 5

Le questioni aperte

Ritornare sulla Luna, per restarci ed installarvi una base permanente, *Moon Base*, e per poi andare oltre sino ai confini del Sistema Solare, è un programma di una complessità mai prima affrontata dall'umanità nelle missioni spaziali.

Sinora le attività umane nello Spazio si sono svolte vicino alla Terra, nello scenario delle *Low Earth Orbits (LEOs)*, con l'eccezione di alcune missioni Apollo che si sono spinte sino alla Luna. Soprattutto, si è trattato e si tratta delle attività legate allo sviluppo ed utilizzazione della Stazione Spaziale Internazionale (ISS).

Le condizioni nello spazio differiscono enormemente da quelle sul nostro pianeta. Mancanza di aria, valori di temperatura estremi, ma soprattutto presenza di dannose radiazioni e di impatti ad alta velocità sui veicoli spaziali da parte di micrometeoriti e di detriti spaziali. Senza più la protezione del campo magnetico terrestre per deflettere la maggior parte delle particelle del vento solare ad alta energia e buona parte delle radiazioni cosmiche a più bassa energia⁷⁷.

Sulla superficie lunare, che è continuamente esposta ad agenti atmosferici esogeni (meteoroidi⁷⁸, radiazioni solari e cosmiche), i più rilevanti agenti di rischio per gli equipaggi e gli equipaggiamenti dovrebbero essere le radiazioni, i meteoroidi, possibili tossicità nel regolith, gli effetti ambientali sui veicoli e sulle tute spaziali⁷⁹.

La protezione dalle radiazioni è al momento una delle priorità per le Agenzie spaziali. È, quindi, necessaria un'ottima conoscenza dell'ambiente radioattivo nello Spazio e sulla superficie lunare per una miglior valutazione degli effetti sugli astronauti e sugli equipaggiamenti, in vista della presenza umana prima sulla Luna ed in seguito su Marte.

Un altro argomento di particolare interesse, ma generalmente poco trattato dalla letteratura relativa alle questioni spaziali, è l'influenza delle mutazioni virali nei

⁷⁷ Owen K. Garriot, Michael Griffin and others "Extending human presence in the Solar System" The Planetary Society, Pasadena, July, 2004.

⁷⁸ Un *meteoroid* è un frammento relativamente piccolo, roccioso o metallico, dei residui rimasti dalla condensazione della nebulosa da cui si formò il Sistema Solare (Wikipedia "*Meteoroid*"). <http://it.wikipedia.org/wiki/Meteoroid>).

⁷⁹ Angioletta Coradini ed altri "*The Moon: an unavoidable step in the exploration of the Solar System*" Agenzia Spaziale Italiana, Roma 2007, pag. 256 e seg..

viaggi spaziali. Dovrebbe essere una naturale considerazione per ogni tipo di viaggio spaziale, ma in particolare per una prolungata permanenza sulla Luna.

Ogni viaggiatore spaziale, ogni abitante della Luna avrà con se ignari e casuali passeggeri, molti dei quali non ancora identificati. L'argomento dei virus è stato affrontato dalla NASA e dalle altre istituzioni interessate, ma ci sono ancora molti altri organismi che sono sconosciuti. Peraltro, la stessa situazione si verifica anche nello spazio interno e non solo nell'esospazio.

Questo significa che c'è ancora molto da imparare sulla biologia dell'homo sapiens e parte di quello che impareremo dovrà essere contestualizzato con la prolungata permanenza dell'uomo sulla Luna. In particolare, con l'evoluzione che potrà avere luogo in quella specifica situazione.

Evoluzione della specie che riguarderà non solo questi microorganismi, ma forse anche gli stessi astronauti in una prolungata permanenza su un altro pianeta.

Ma come svilupperemo la conoscenza di alcuni aspetti della vita sulla Luna, delle limitazioni fisiche, biologiche e fisiologiche, potremo acquisire anche la capacità di alterare geneticamente queste limitazioni. Ad esempio, arrivando a conoscere le sequenze genetiche relative al metabolismo osseo di chi si ritrova ad abitare sulla Luna, si potrebbe opportunamente intervenire per prevenire le mutazioni nelle ossa.

Alcuni cambiamenti psicologici sono un potenziale rischio dei voli spaziali prolungati. Conoscendo le loro basi genetiche si potrà anche qui attuare gli opportuni interventi riparatori. La cronobiologia di ogni cellula tocca quasi ogni aspetto della fisiologia umana, incluso quello dell'invecchiamento. Anche sotto questo aspetto va, quindi, studiato che cosa succede agli esseri viventi con la prolungata permanenza in un ambiente con un sesto di gravità.

Il primo uomo che nascerà sulla Luna potrà non essere un giovane homo sapiens, ma un homo lunarensis, con tutto quello che ciò implica.

Per perseguire questi obiettivi bisogna dare spazio anche all'immaginazione, alle immagini per l'immaginazione. Si faciliterà il recupero dei segni, delle patologie di una prolungata vita nello spazio. Serve un esperto di semeiotica dello spazio, un Umberto Eco dello spazio⁸⁰.

Naturalmente, per risolvere tutte queste problematiche concernenti la vita umana in ambiente potenzialmente ostile e quelle che riguardano la sindrome di adattamento allo Spazio, la variazione del livello di gravità, l'osteoporosi, l'atrofia muscolare e l'anemia, indubbio punto di partenza sarà il bagaglio di conoscenze accumulato con l'esperienza del supporto biomedico alle missioni Apollo ed ai lunghi voli spaziali umani nelle orbite basse, nonché le conoscenze già acquisite sulla reazione del corpo umano a molti fattori spaziali.

⁸⁰ William A. Gardner "Enabling long duration human Space exploration" MOON BASE: A Challenge for Humanity, 2nd Workshop, Washington, October, 11th-12th, 2005 www.moonbase-italia.org/homepage.html .

In sintesi, lo scopo del programma *Moon Base* si traduce nella volontà di costituire in una località remota una colonia umana per svolgere attività avanzate scientifiche e tecnologiche per periodi decisamente estesi, con i naturali rischi ed insicurezze connessi con un ambiente in parte sconosciuto. Ciò implica che⁸¹:

- *il progetto ottemperi a severi impatti sulla sicurezza, come evidenziato, ed a stringenti requisiti di affidabilità del sistema;*
- *sia definita un'affidabile strategia di soccorso per reagire ad imprevedibili condizioni di emergenza con tempestività, nonostante la distanza di Moon Base dalla Terra;*
- *sia previsto un approccio di vasta portata per correttamente selezionare, preparare, gestire, trasportare, schierare, avviare e mantenere Moon Base in operatività per un lungo periodo di tempo;*
- *siano identificati con accuratezza gli obiettivi e le priorità del supporto alla missione, per definire coerentemente l'attesa indipendenza di Moon Base (la specializzazione del personale ed il carico di lavoro, le attrezzature e le scorte) e le strategie di supporto esterno;*
- *siano ottimizzati in linea con i vincoli economici e tecnici gli obiettivi del supporto, i requisiti di affidabilità, gli scopi della missione.*

Il programma *Moon Base* non richiede solo una sofisticata progettazione del sistema, ma anche uno sforzo aggiuntivo per la definizione, lo sviluppo e la gestione della logistica, sia nella fase di progettazione (*Logistic Engineering*) che in quella operativa (*Logistic Support*).

Questo processo deve iniziare sin dalle prime fasi di preparazione della missione, per integrarsi in essa e concorrere positivamente al raggiungimento degli obiettivi. Quindi, devono essere continuamente valutati i procedimenti e gli strumenti impiegati, per verificarne la rispondenza e tracciarne l'evoluzione lungo il ciclo vitale del programma, per identificare tutti gli adattamenti ed innovazioni necessari e coordinare le appropriate soluzioni.

La Luna potrà così divenire il laboratorio ideale per perfezionare la nostra capacità di risiedere permanentemente od, almeno, per periodi molto lunghi fuori della Terra. Sinora, per capire come si possa vivere fuori della Terra, sono stati impiegate due metodologie, quella relativa alle stazioni spaziali orbitanti e quella del concetto di biosfera⁸².

La prima metodologia è, come abbiamo visto, quella che è al momento al centro dell'interesse per l'esplorazione spaziale ed ha già dato dei risultati positivi che saranno senz'altro utili per i futuri studi, ma ha una prospettiva di breve periodo,

⁸¹ Se. Te. L. Group "Contribution" MOON BASE: A Challenge for Humanity, 1st Workshop, Venice, may, 26th-27th, 2005, www.moonbase-italia.org/homepage.html.

⁸² Simon P. Worden "Deployment of a lunar base – getting there, facilities and functions" MOON BASE: A Challenge for Humanity, 1st Workshop, Venice, may, 26th-27th, 2005, www.moonbase-italia.org/homepage.html.

principalmente perché l'organismo umano non è adatto a restare in condizioni di assenza di gravità per periodi troppo lunghi. Ne consegue che le stazioni spaziali e le astronavi, anche se hanno a bordo tutti i necessari beni di consumo, non sono la soluzione idonea per vivere permanentemente fuori della Terra.

Il concetto di biosfera, invece, cerca di incapsulare un'abbastanza larga porzione della vita terrestre. La "biosfera", così realizzata, può mettere a punto una nuova situazione, dove sono permesse forme di vita evolute, quella umana compresa, per un tempo illimitato. È questo il concetto che dovrà convogliare su di sé maggior attenzione. Per far operare con efficienza una biosfera od un qualsivoglia habitat chiuso bisognerà ricorrere all'utilizzazione delle risorse locali (*In Situ Resource Utilization – ISRU*). Una presenza umana di lungo periodo al di fuori del nostro pianeta ed a grandi distanze diventerebbe eccessivamente costosa se tutti i servizi ed i beni di consumo dovessero arrivare dalla Terra. Ma con la probabile presenza vicino ai poli lunari di elementi volatili, come l'acqua nei crateri permanentemente in ombra, la Luna ha la maggior parte dei potenziali materiali ISRU per supportare per lunghi periodi la presenza umana e robotica. Questo farà del nostro satellite il luogo ideale per costruire e sperimentare un ambiente umano permanente significativamente rifornito da ISRU, affinando così le tecnologie e le metodologie necessarie prima di spingerci oltre, verso ambienti più complicati come quello di Marte. Nei paragrafi che seguono approfondiremo alcuni dei principali argomenti connessi con le riflessioni presentate in queste ultime pagine.

L'accelerazione di gravità

La specie umana si è evoluta per millenni sotto l'effetto di una forza di gravità di 1 g, pari a 9.8 m/sec^2 . Forza di gravità che contribuisce a preservare il trofismo dei muscoli e delle ossa imponendo forze e peso al corpo umano. Al contrario, la condizione di assenza di peso o, comunque, di microgravità e l'inattività fisica provocano l'atrofia muscolare e la perdita di massa ossea, accompagnata da modificazione della geometria e della struttura delle ossa⁸³.

L'esperienza dei programmi spaziali americani e russi, per durate sino a quasi quindici mesi, ha mostrato che quasi tutti i sistemi fisiologici si adattano in giorni o settimane alla microgravità e ritornano allo stato precedente dopo il

⁸³ Dario Riva, Flavio Rocca ed Alessandro Nebbia "Muscle atrophy prevention and recovery and bone remodelling through proprioception in terrestrial, lunar and zero gravity. An innovative proposal" MOON BASE: A Challenge for Humanity, 3rd Workshop, Moscow, november, 16th-17th, 2006, www.moonbase-italia.org/homepage.html.

ritorno a Terra. L'eccezione è l'equilibrio minerale, specialmente il calcio nelle ossa umane, che contribuisce alla loro forza e resistenza alla frattura.

Nel caso degli astronauti la cosiddetta “*bone loss*” può arrivare all'uno per cento di massa ossea al mese, soprattutto nelle ossa di sostegno della struttura corporea. Questo, della *bone loss*, rimane uno dei maggiori problemi fisiologici da risolvere per i voli spaziali di lunga durata.

La preoccupazione fondamentale è il rischio di frattura delle ossa strutturali al ritorno a Terra dopo qualche anno in microgravità, anche se può essere rassicurante il fatto che, dopo tutti i voli di lunga durata sullo Skilab americano, sulla MIR russa o sull'ISS, non si è mai verificata alcuna frattura di tali ossa al rientro a Terra.

Bisogna, però, considerare anche un altro fattore: l'instabilità. I muscoli posturali e di movimento necessitano dell'interazione tra gravità ed instabilità per mantenere efficienza e trofismo al giusto livello. Infatti, i movimenti attuati sotto la gravità terrestre, ma senza il controllo dell'instabilità posturale sono inefficaci nella prevenzione dell'atrofia muscolare e dell'osteoporosi. Il trofismo muscolare è basato sulla propriocezione⁸⁴ e l'interazione con la gravità. In assenza di peso, come in inattività fisica, i muscoli si atrofizzano. Poiché i muscoli sono anche l'organo direttivo dell'osso, l'osso si adatta alla riduzione del carico e della tensione indotti su di esso dai muscoli.

Pertanto, nello Spazio o sulla Luna sarebbe indispensabile – oltre agli interventi per superare la perdita minerale – poter provocare instabilità posturale ed i conseguenti massicci flussi propriocettivi, per alimentare il trofismo muscolare e riprogrammare il livello funzionale dei movimenti di reazione alla gravità. Per giunta, questi flussi potrebbero contribuire, nel medio lungo termine, alla rimodellazione strutturale dei tendini, delle articolazioni e delle ossa, grazie alle forze di trazione generate dalle contrazioni attivate dagli stessi.

La possibilità di generare flussi propriocettivi, anche in condizioni di microgravità o di assenza di gravità, potrebbe, quindi, rappresentare una contromisura promettente per la prevenzione ed il recupero dell'atrofia muscolare e dell'osteoporosi.

⁸⁴ La *propriocezione* rappresenta la capacità di percepire e riconoscere la posizione del proprio corpo nello spazio e lo stato di contrazione dei propri muscoli, anche senza il supporto della vista. È resa possibile dalla presenza di specifici recettori, sensibili alle variazioni delle posture del corpo e dei segmenti corporei, che inviano i propri segnali ad alcune particolari aree encefaliche. La propriocezione assume un'importanza fondamentale nel complesso meccanismo di controllo del movimento. Le alterazioni della propriocezione determinano sul piano clinico i sintomi dell'atassia, che è un disturbo consistente nella progressiva perdita della coordinazione muscolare e, quindi, nell'insorgere di difficoltà nell'esecuzione dei movimenti volontari (Wikipedia “*Propriocezione*” <http://it.wikipedia.org/wiki/Propriocezione> .).

Le radiazioni⁸⁵

Una delle differenze più significative tra i voli spaziali in orbita bassa e quelli delle missioni interplanetarie è l'esposizione ad un differente ambiente radioattivo, perché oltre le orbite basse termina, come abbiamo già accennato, la protezione del campo magnetico terrestre.

Le radiazioni cosmiche sono state, conseguentemente, catalogate come uno dei principali pericoli per la salute degli astronauti nelle missioni interplanetarie di lunga durata. L'argomento è stato oggetto di studio da parte di scienziati di diverse discipline e lo è tuttora, perché ancora molti sono i punti oscuri che devono essere ulteriormente indagati. Noi ci soffermeremo sui risultati ai quali è arrivato un gruppo di lavoro, il Topical Team, stabilito dall'ESA nel 2002 e le cui conclusioni sono state sintetizzate nell'articolo citato nella nota al titolo del paragrafo⁸⁶.

La schermatura è la principale contromisura agli effetti di un ambiente radioattivo, ma nello spazio diventa un problema, specialmente quando si ha a che fare con la radiazione cosmica galattica (*Cosmic Galactic Radiation – GCR*), che è di alta energia e molto penetrante. Mentre una schermatura sottile è generalmente adatta a ridurre drasticamente la dose di radiazione trasmessa per energie relativamente basse delle particelle, al crescere della loro energia occorre uno spessore via via crescente, la cui efficienza tuttavia diminuisce. È questo il risultato della produzione di un gran numero di particelle secondarie, neutroni inclusi, causata dall'interazione nucleare della GCR con la schermatura.

Per quanto riguarda la componente solare della radiazione cosmica (*Solar Cosmic Radiation – SCR*), la superficie esterna dell'astronave offre un'accettabile protezione. Tuttavia, durante alcune eruzioni solari eccezionalmente intense, un gran numero di protoni sono eiettati con alta energia. In questo caso, la dose di radiazione rilasciata in poche ore può eccedere il limite previsto per la sicurezza degli equipaggi, con effetti acuti, anche letali.

Una schermatura voluminosa e pesante a protezione dell'intero veicolo spaziale potrebbe porre problemi di peso. Sarebbe una sostanziale penalizzazione della massa e produrrebbe un sensibile incremento dei costi. Comunque una protezione da tempesta solare (*storm shelter*), cioè una piccola area con un

⁸⁵ Piero Spillantini, Marco Casolino, Marco Durante, Reinhold Mueller-Mellin, Guenther Reitz, Lucio Rossi, Vyacheslav Shurshakov, Massimo Sorbi “*Shielding from cosmic radiation for interplanetary missions: Active and passive methods*” ScienceDirect, vol. 42, issue 1, January, 2007, pag. 14-23, <http://www.sciencedirect.com>.

⁸⁶ Il Topical Team fu proposto all'ESA nell'ottobre 2001, in risposta all'annuncio di ricerca ESA-RA-LS-01-PREP e istituito nell'ottobre 2002 con contratto tra l'ESA ed il Dipartimento di Fisica dell'Università di Firenze.

robusto schermo, è già prevista nei veicoli interplanetari per la protezione dai bombardamenti più intensi di particelle solari (*Solar Energetic Events – SEE*).

I calcoli e le misure sinora effettuati hanno indicato come materiali più indicati per la protezione quelli che racchiudono in abbondanza atomi di idrogeno, perché l'idrogeno è l'elemento più efficiente per degradare l'energia dei protoni e degli ioni pesanti.

L'effetto della schermatura contro i raggi cosmici galattici e le particelle degli SEE è limitato, ma, con un'accurata selezione dei materiali più idonei ed un'ottimale inclusione di elementi di consumo nel disegno dello schermo, una significativa riduzione della dose di radiazione può essere ottenuta.

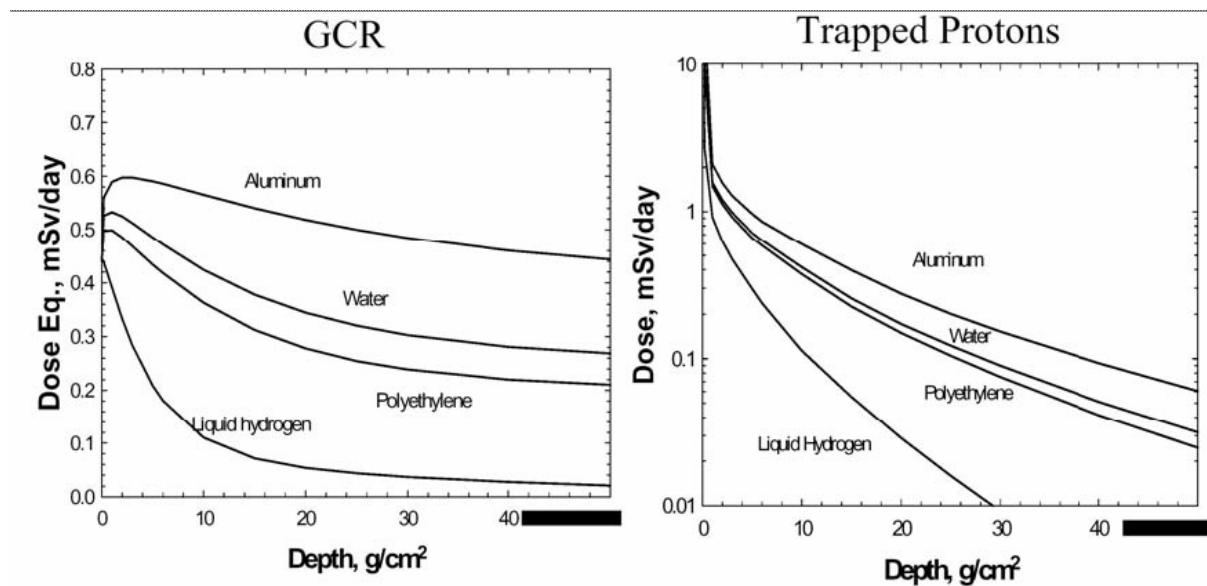


Figura 15: Valori della dose radioattiva, calcolati in funzione dello spessore della schermatura e per differenti materiali, nell'orbita dell'ISS e per condizioni minime di influenza solare.

Fonte: Topical Team dell'ESA.

Per quanto concerne gli effetti biologici delle radiazioni, il rischio di effetti acuti nello Spazio profondo o sui pianeti è limitato all'eventualità di *SEE* di lunga durata, soprattutto durante attività extra veicolari (*EVA*). Uno *storm shelter* è, comunque, in grado di salvare gli equipaggi dalla maggior parte degli effetti. Per lo più la SCR è composta da protoni con energia non significativamente rilevante, per cui schermature spesse dovrebbero essere efficaci negli eventi deterministici, fermo restando un rischio residuo per gli eventi stocastici postumi. Per i *SEE* la situazione si presenta molto più difficile, ma per fortuna sono poco probabili. Tra il 15 ed il 20 gennaio 2007 si sono prodotte cinque esplosioni di una tempesta solare dalla macchia solare chiamata NOAA-720, ma erano almeno quindici anni che non si verificava un fenomeno di tale consistenza e, per fortuna, nessun uomo stava camminando sulla Luna!

Soprattutto, il giorno 20, quando l'emissione di protoni ad alta energia è stata particolarmente violenta. Gli astronauti della ISS non ne hanno sofferto, perché l'istallazione, oltre a ricadere nella protezione del campo magnetico terrestre, è fortemente schermata.

Comunque, stanno decisamente aumentando le conoscenze di questi pericolosi eventi e, con esse, le possibilità di segnalarli in tempo utile. Una recente tappa in questo senso è stata conseguita con le osservazioni da satellite alle quali fanno riferimento la Figura 16 e la relativa nota.

Per l'esposizione prolungata alla GCR, la conoscenza delle conseguenze stocastiche degli ioni pesanti è ancora insufficiente per formulare accurate previsioni di rischio. Sono assolutamente necessari ulteriori esperimenti che misurino gli effetti biologici degli ioni pesanti in presenza di schermatura, per poter valutare la validità dei modelli in uso. Per ora si è ottenuto che la risposta biologica è funzione complessa della dose e della qualità della radiazione che riesce ad arrivare sin dietro la schermatura.

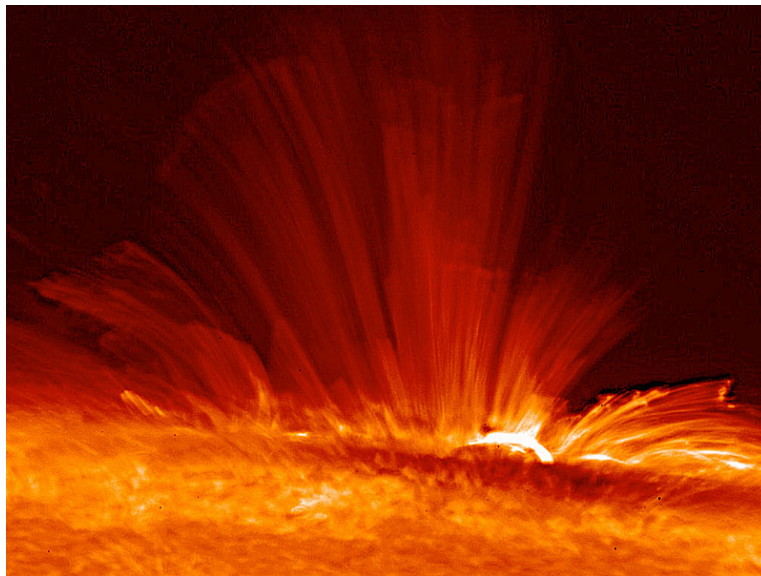


Figura 16: L'attività di una macchia solare, vista lateralmente⁸⁷
Fonte: Jaxa, NASA, 2007.

Una promettente alternativa alla schermatura passiva è la protezione attiva, con l'utilizzazione di un campo elettromagnetico per deflettere le particelle cariche al di fuori della area protetta. Le idee su questo argomento sono state sviluppate per ridurre le penalizzazioni di massa, prodotte dalle pesanti schermature, ed hanno previsto l'impiego di campi elettrostatici, di plasma e di campi magnetici

⁸⁷ La fotografia è una delle immagini riprese da un telescopio della NASA imbarcato sul satellite giapponese Hiden. Essa mostrandoci l'attività di una macchia solare ci aiuta a capire la struttura del campo magnetico del Sole e le origini del vento solare. In particolare ci fa vedere come le onde magnetiche dirigano il vento solare nello spazio ad una velocità di almeno 1.6 milioni di km./ora. Una miglior conoscenza del vento solare ci aiuterà a predire con più accuratezza i solar storm prima che possano arrecare danni a mezzi spaziali ed equipaggi.

limitati ed illimitati. I metodi proposti hanno riguardato inizialmente la protezione contro gli elettroni ed i protoni nello spazio interplanetario. In un secondo tempo, sono stati considerati anche gli ioni pesanti di alta energia presenti nella GCR.

È stato, però, dimostrato che la protezione elettrostatica è inadatta per le radiazioni cosmiche galattiche e per le particelle solari ad alta energia. Il potenziale elettrostatico richiesto sarebbe oltre lo stato dell'arte e bisognerebbe configurare la dimensione minima della protezione nell'ordine di centinaia di metri.

Utilizzando il plasma si potrebbe ottenere una sostanziale riduzione di massa nella protezione da particelle solari energetiche (*Solar Energetic Particles – SEPs*). Ma ci sono ancora molte difficoltà tecnologiche da superare: potenziali elettrostatici sulla superficie dell'astronave che vanno oltre i 200000 kV, instabilità nel velo di plasma a causa di collisioni ed enormi campi magnetici presenti nel plasma.

I campi magnetici hanno trovato un forte ostacolo nella loro applicazione perché i tradizionali sistemi di bordo non hanno la possibilità di generare le potenze elettriche richieste, dell'ordine dei megawatt. Ma i superconduttori ad alta temperatura hanno aperto la via a nuove progettazioni in questo campo. Nei superconduttori la corrente fluisce senza dissipazione, per cui la potenza richiesta è limitata, a quella per il raffreddamento dei superconduttori. In ogni caso, servirebbe un non trascurabile ammontare di potenza per il sistema criogenico durante la fase di raffreddamento e per il campo magnetico durante la sua crescita. In più, nella massa della protezione, in aggiunta al materiale criogenico ed al sistema criogenico, andrebbe considerata anche la massa per compensare l'effetto ponderomotore, il cui valore potrebbe non essere trascurabile.

Sfruttando ulteriori progressi nelle caratteristiche tecniche dei superconduttori ad alta temperatura e confidando nel loro impiego in campi magnetici ad alta intensità, il Topical Team si è concentrato sulle lenti magnetiche superconduttrici.

Il primo passo è stato quello di assumere lo schema di un fascio di particelle (*particle beam*) che colpisce una lente magnetica posta a protezione di un retrostante shelter, questo perché una parte della *SCR* (*Solar Cosmic Radiation*) energetica è assimilabile ad un fascio con divergenza di pochi gradi.

Si è così visto che il progetto di lente magnetica, che si potrebbe ottenere già con lo stato dell'arte della tecnica (cioè i superconduttori a bassa temperatura attualmente in uso), sarebbe largamente vantaggioso in termini di risparmio di massa e richiederebbe l'impiego di una potenza elettrica inferiore al kW. Nella Figura 17 è rappresentato il caso di protezione totale da protoni sino a 200

MeV⁸⁸ ed evidenziato il risparmio di massa che si otterrebbe con una lente magnetica rispetto alla protezione passiva con Al.

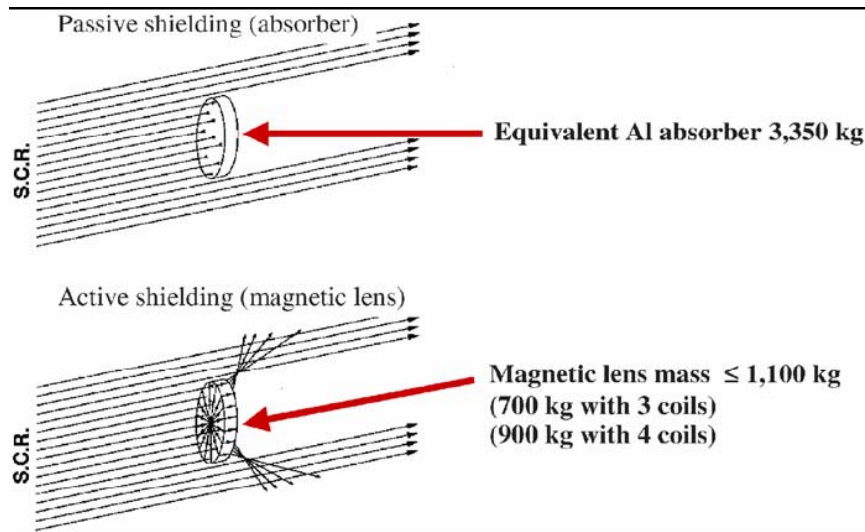


Figura 17: Comparazione tra protezione passiva e protezione attiva dalla componente direzionale delle particelle solari energetiche.

Fonte: Topical Team dell'ESA.

Il passo successivo della valutazione della protezione attiva è stato quello di prevedere uno shelter quasi ermetico (dove gli astronauti si potranno rifugiare nei brevi periodi di flusso radioattivo decisamente alto) e comparare la sua massa con quella di una equivalente protezione passiva con acqua. Anche in questo caso il risultato è stato a favore dello schermo attivo.

Dallo shelter si è passati al modello abitativo, dove gli astronauti spenderanno la maggior parte del loro tempo. Si è avuta la conferma della convenienza della configurazione toroidale del campo magnetico. Soprattutto per la struttura abitativa, perché a causa delle dimensioni maggiori, rispetto ad uno shelter, una importante schermatura esterna potrebbe comportare un inaccettabile incremento di massa. Peraltro, il richiesto profilo, di intensità di campo e di raggio del sistema, sarebbe quello tipico della configurazione toroidale, prodotta da una corrente che corre longitudinalmente all'asse del sistema e con simmetria cilindrica al raggio più interno e ritorna in quello esterno. Il raggio più interno è quello del volume da proteggere. Per una efficace riduzione della dose dovuta alla GCR il raggio esterno dovrebbe essere molto più grande. Ci sarebbe quindi da risolvere il problema dimensionale della protezione per renderla compatibile con i sistemi di lancio disponibili. Una soluzione potrebbe essere quella di prevedere l'assemblamento del conduttore per il ritorno della corrente nello Spazio.

⁸⁸ Megaelettronvolt = 1 milione di elettronvolt (un elettronvolt è l'energia acquistata da un elettrone libero quando passa attraverso una differenza di potenziale elettrico di 1 volt).

Essendo questa un'interessante e promettente soluzione, sarà opportuno affrontare con sollecitudine la problematica.

Il trend del campo magnetico in configurazione toroidale e le promesse di nuovi prodotti e tecniche di raffreddamento ci permettono già di concepire sistemi attivi per la completa protezione di moduli abitativi per tutto il campo energetico della SCR e la riduzione per un fattore maggiore di 2 del flusso GCR. Ma è necessaria un'accelerazione della ricerca nel campo della protezione da radiazione di particelle per essere pronti al momento dell'inizio dei voli con equipaggio umano, nel 2015 o al più tardi nel 2020. Lo sviluppo raggiunto nella protezione passiva ci permette già di assicurare la sopravvivenza in moduli abitativi sulla Luna per 3-6 mesi, ma non è sufficiente.

Con queste considerazioni, il Topical Team ha concluso il suo studio ed ha raccomandato di approfondire gli studi:

- *sulla distribuzione angolare delle particelle solari energetiche, perché molto importante non solo per la protezione attiva, ma anche per la distribuzione della schermatura passiva all'interno dell'astronave;*
- *su nuovi e più efficienti materiali schermanti;*
- *sui sistemi di raffreddamento delle lenti magnetiche superconduttrici nello spazio;*
- *sulla possibilità di superare il problema della dimensione esterna della protezione attiva, oltre che con il dispiegamento nello spazio del conduttore per il ritorno della corrente che genera il campo magnetico, utilizzando conduttori flessibili autoespandenti sotto la spinta del campo magnetico da essi generato.*

I problemi psicologici

I problemi medici ed in particolare psicologici, che dovranno essere affrontati in una lunga permanenza sulla Luna, fuori dell'ambiente terrestre, in una situazione particolarmente critica, saranno tanti, come abbiamo già avuto modo di accennare introducendo questo capitolo. Gli scienziati del prestigioso istituto russo di medicina e biologia spaziale, l'IBMP, forti delle loro esperienze nei voli spaziali di lunga durata nelle orbite basse, hanno presentato al workshop di Mosca un elenco esauriente delle principali tematiche che potranno influenzare la funzionalità della missione⁸⁹:

- *il rendimento professionale sulla superficie della Luna,*

⁸⁹ Vadim Guschin, O. Kozerenko, A. Nechanev, V. Myasnikov, V. Salnitsky "Psychological problems of the Moon Base" MOON BASE: A Challenge for Humanity, 3rd Workshop, Moscow, november, 16th-17th, 2006, www.moonbase-italia.org/homepage.html.

- *la cooperazione tra i membri dell'equipaggio,*
- *l'interazione tra gruppi e con il Mission Control,*
- *le malattie serie,*
- *il tempo libero,*
- *la configurazione della base.*

Per quanto si riferisce al rendimento individuale, essi hanno rilevato che tra il terzo ed il nono giorno di volo l'accuratezza nelle operazioni di controllo diminuisce di un fattore 2,35. Mentre il tempo che un operatore impiega per completare un compito aumenta di un fattore 1.9, la sua frequenza cardiaca di 1.14 volte e la frequenza del tono principale della voce di 1.2 volte.

Il livello capacitativo diminuisce ed un membro dell'equipaggio richiede 4-5 sessioni di addestramento per recuperare il suo rendimento nel pilotaggio. Vi è anche una correlazione tra l'aumento degli errori e l'intensità dei cicli di lavoro e di riposo. Si allunga il tempo di latenza nelle reazioni.

Eventuali conflittualità all'interno dell'equipaggio si traducono in perdita di tempo ed energia nella ricerca delle ragioni di situazioni problematiche, in insufficiente scambio di dati, in difficoltà nella mutua comprensione, in astensioni da operazioni di volo o da attività comuni.

I problemi psicologici negli equipaggi internazionali durante le missioni sulla MIR si sono a volte manifestati in differente gerarchizzazione dei valori (mete personali e mete comuni), causando fenomeni di alienazione, in diversa comprensione della distribuzione dei ruoli all'interno dell'equipaggio (la posizione di ospite ed ospitante), in stabile preferenza delle proprie cose (programma di volo, equipaggiamento, cibo, interlocutori esterni, etc.), in modalità di comunicazione dissimili, in difficoltà di linguaggio che hanno portato all'insorgere di barriere emotive durante i momenti di svago.

Passando da queste esperienze pregresse, alle conseguenze psicologiche che potrebbero contrassegnare una lunga permanenza in Moon Base, gli esperti russi hanno voluto dare particolare rilievo a quelle che sono collegate alle interazioni tra membri di un equipaggio, tra gruppi e con il Mission Control.

Durante la formazione di un gruppo coesivo, i membri di un equipaggio iniziano a considerarsi l'un l'altro come veramente "*simile*", psicologicamente "*intimo*". Questa affinità si può manifestare nei valori e nelle credenze, nello stile del comportamento, nell'approccio ai problemi e così via.

Un membro dell'equipaggio, che non si percepisce, o non è percepito dagli altri, come "*simile*" e "*intimo*" dei colleghi, ha buone probabilità di divenire uno straniero od un diverso nel gruppo. I "*diversi*" potrebbero dimostrare incapacità o mancanza di motivazione per modificare i propri atteggiamenti durante la missione.

Nelle missioni MIR si è verificato che gli appartenenti a differenti gruppi internazionali vedessero gli appartenenti al loro gruppo come psicologicamente

intimi (*noi*) e quelli degli altri come differenti, diversi (*loro*). Un simile comportamento potrebbe far sì che le relazioni tra i gruppi diventino progressivamente negative durante il soggiorno comune, che gli atteggiamenti passino da neutrali a negativi, con il risultato di manifestazioni di chiusura e di limitazioni territoriali.

Peraltro, le differenze nel percepire il proprio ambiente interpersonale, gli obiettivi comuni, le credenze, i valori e le aspettative, le barriere linguistiche e culturali potranno rendere difficoltoso il raggiungimento di un congiunto e coeso equipaggio da gruppi nazionali ed internazionali.

I *Mission Control (MC)* hanno dimostrato una forte tendenza ad indirizzare la maggior parte delle informazioni al comandante dell'equipaggio. Inoltre ogni MC nazionale ha preferito comunicare con i propri astronauti, scambiando poche informazioni con quelli degli altri Paesi (98% contro il 2%).

D'altro canto, è stato statisticamente provato che anche i membri degli equipaggi hanno preferito colloquiare con i propri MC nazionali, piuttosto che con quelli degli altri Paesi che partecipavano alle missioni.

Sono tutti questi forti spunti che richiedono di approfondire seriamente gli studi anche in questo settore, per evitare ulteriori e determinanti difficoltà ad una già difficile vita comune nell'ambiente ristretto di un'astronave o di una biosfera sulla Luna.

L'habitat

La costituzione di un avamposto umano sulla Luna, ed in seguito su Marte, sarà la pietra miliare per eccellenza dell'esplorazione dello spazio.

Si tratta di stabilire, espandere e consolidare una robusta infrastruttura composta di un insieme di elementi che racchiudano e producano tutte le funzioni per la vita, la protezione da un ambiente fortemente ostile e per le attività dell'insediamento umano. È il concetto di biosfera o meglio di Closed Ecological Life Support Systems (CELSS), dove vengono utilizzati gli apparati necessari per il ciclo dell'aria, dell'acqua, la produzione di cibo, il trattamento dei rifiuti ed il supporto fisico e psicologico all'uomo, con lo scopo di rendere la colonia sempre più indipendente dalla Terra, ed al quale si affiancano i laboratori ed i mezzi per le attività lavorative e di studio.

Le tecnologie necessarie per rispondere a questa impegnativa impresa vanno da quelle classiche delle missioni spaziali – quali quelle dei trasporti, della propulsione, della robotica, della generazione di energia, delle strutture e della meccanica, delle comunicazioni spaziali – a quelle specifiche per l'uomo, come quelle della fisiologia, della psicologia, delle scienze comportamentali e

nutrizionali, del controllo ambientale e del supporto alla vita, nonché della protezione dagli agenti ostili e nocivi.

Al presente, l'esperienza sugli habitat spaziali è limitata alla lezione della Stazione Spaziale Internazionale, che sarà tenuta in attenta considerazione per la futura evoluzione in questo campo. La stessa ISS potrà essere la sede dove ottimizzare e collaudare le tecnologie che consentiranno di sviluppare le infrastrutture per gli astronauti sulla superficie della Luna.

Naturalmente, tutti le tipologie di habitat dovranno essere compatibili con le capacità di lancio, in termini di massa, forma e dimensioni. Le infrastrutture dovranno essere progettate in forma modulare e saranno assemblate nella loro destinazione finale, o con l'intervento dell'uomo su appositi sistemi per l'aggancio dei moduli o tramite robot.

I moduli potranno essere rigidi o gonfiabili. I secondi ovviamente sono più facilmente trasportabili, ma presentano ancora alcune difficoltà in più nella messa in esercizio, mentre quelli rigidi avranno preferibilmente forma cilindrica, per meglio adattarsi ai lanciatori, e saranno più idonei per ospitare i primi avamposti.

Il veicolo impiegato per l'atterraggio, il "*lunar lander*", oltre a provvedere al necessario supporto all'equipaggio nelle fasi di discesa ed ascesa e di permanenza, consentirà un soggiorno austero, ma sicuro e fattivo, fornendo anche la schermatura contro le radiazioni e le tempeste solari. Lo stesso veicolo, nel caso di permanenze prolungate, potrà essere utilizzato come abitazione durante l'attivazione della sede definitiva e costituirà una sorta di rifugio sicuro in situazioni particolari⁹⁰.

Il modulo rigido cilindrico, con tutti i sottosistemi integrati, è attualmente il più accreditato per realizzare una struttura per le attività umane. Una motivazione a favore di questa alternativa è che sono richieste limitate attività all'esterno per la sua attivazione.

Un altro aspetto non secondario, è quello di dotare – con tutte le cautele dettate dalla sicurezza – il modulo abitativo di una finestra per permettere all'equipaggio di vedere direttamente la realtà circostante. Risponde ad una esigenza psicologica, per evitare stati di depressione già sperimentati nel passato in missioni prolungate nello spazio. Soddisfa anche un requisito di sicurezza il poter verificare le attività in corso all'esterno, anche in caso di malfunzionamento delle telecamere⁹¹.

⁹⁰ Maria Antonietta Perino "*Moon Base habitation and life support systems*" MOON BASE: A Challenge for Humanity, 1st Workshop, Venice, may, 26th-27th, 2005, www.moonbase-italia.org/homepage.html.

⁹¹ Silvano Casini "*Space exploration a challenge and an opportunity for Europe*" ESA/ESTEC, 2006, pag. 152.

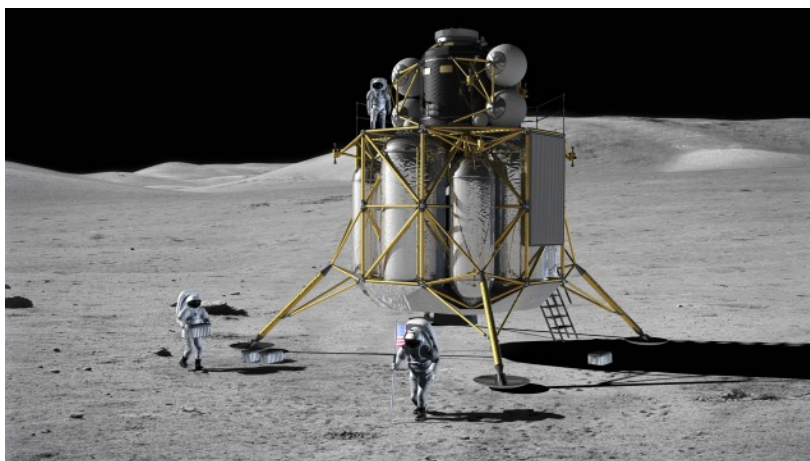


Figura 18: Visione artistica di un *lunar lander* e di tre astronauti al lavoro nell'area intorno ad esso
Fonte: NASA.

I moduli gonfiabili hanno raggiunto uno sviluppo tale da rispondere in modo già abbastanza soddisfacente ai requisiti, Comunque, oltre ad essere già stati provati sulla ISS, continuano ad essere sottoposti a severi collaudi: la NASA sta conducendo delle specifiche prove nelle estreme regioni dell'Antartico⁹². La loro attrattiva deriva dal fatto che offrono volumi pressurizzati sostanzialmente aumentati con un peso ridotto ed un piccolo volume una volta ripiegati, tanto da lasciare spazio per altri equipaggiamenti sul veicolo spaziale cargo.

La loro installazione sulla superficie lunare richiederebbe ancora molta attività all'esterno e l'impiego di robot per la preparazione del sito, includendo anche le operazioni di scavo e di livellamento del terreno. Ma i prossimi modelli ridurranno senz'altro le ore di lavoro per il loro impianto e nella loro qualificazione sono impegnate le capacità allo stato dell'arte dell'industria italiana.

In ogni caso, si dovrà prevedere, dopo la prima fase, di coprire i moduli abitati con uno strato di regolith di circa 20 g/cm^3 , per la protezione dalle radiazioni solari e cosmiche.⁹³ Nel prosieguo, poi, sarà più sicuro sviluppare gli insediamenti nel sottosuolo.

I moduli gonfiabili saranno senz'altro utilizzati per quello che è un elemento chiave del CELSS: le serre, intese come spazio ambientale controllato dove far crescere le piante ed altre possibili forme di vita. Esse sono importanti, perché provvedono alla nutrizione, alla produzione di ossigeno, al processamento dei rifiuti ed offrono possibilità ricreative agli uomini. Producono piante attraverso diversi sistemi biotecnici, che possono includere microrganismi ed una grande varietà di piante ed animali, con il massimo uso di risorse locali e con un

⁹² Werren Ferster "Inflatable lunar habitat bound for Antarctic trial" SPACE NEWS, November 26th, 2007, pag. 13.

⁹³ Maria Antonietta Perino "Moon Base habitation and life support systems" MOON BASE: A Challenge for Humanity, 1st Workshop, Venice, may, 26th-27th, 2005, www.moonbase-italia.org/homepage.html.

minimo intervento umano, in termini di competenza, di lavoro, di controllo e di manutenzione⁹⁴.

Un'interessante tecnica di coltivazione, già sperimentata sulla Terra e che verrà impiegata in queste serre, è la *NFT (Nutrient Film Technique) / Aeroponic*⁹⁵. Una simile scelta potrà minimizzare i rischi di contaminazione non impiegando suolo.

Un sistema automatico gestirà il flusso ed il reflusso delle soluzioni nutritive e sarà in grado di modificare la natura della soluzione nutritiva usata, ottimizzare il periodo ed il flusso della soluzione nutritiva e di mantenere le radici delle piante asciutte.

La scelta delle coltivazioni sarà fatta tra quelle che hanno il più alto rapporto tra massa edibile e massa totale.

Il bilancio termico nell'ambiente condizionato della serra sarà determinato dalla scelta del materiale multistrato selezionato per la copertura. L'obiettivo nello sviluppo tecnologico dei materiali gonfiabili sarà un'alta trasparenza all'energia solare. Intercapedini con acqua assicureranno la protezione contro le radiazioni.

Un sistema di illuminazione a LED completamente programmabile consentirà di ottimizzare le condizioni di luce per ogni tipo di pianta. La copertura trasparente ovviamente minimizzerà la potenza necessaria per l'illuminazione.

Un robot completamente automatico per la coltivazione, equipaggiato con sensori di analisi e di prossimità, gestirà tutte le fasi del processo di coltivazione. La raccolta del materiale di scarto sarà gestita con una tubatura logistica direttamente connessa con il sistema di riciclo del modulo, basato su processi rigenerativi.

La propulsione

Iniziative per lo studio di avanzati sistemi di propulsione sono state intraprese da parte delle maggiori Agenzie spaziali, perché la conquista di nuovi traguardi nella propulsione potrà contribuire significativamente a migliorare il rendimento nelle missioni spaziali, ben oltre il livello raggiunto con gli odierni sistemi. Sarà acquisita una migliore capacità di gestire le traiettorie con i delta-V e saranno consentite nuove architetture di missione, si ridurrà la massa di carburante trasportato (*fuel-less*, come già accennato) a favore di un maggior carico utile o di una riduzione dei tempi di viaggio.

⁹⁴ Ratus Fischer “Greenhouses on the Moon” MOON BASE: A Challenge for Humanity, 2nd Workshop, Washington, October, 11th-12th, 2005 www.moonbase-italia.org/homepage.html.

⁹⁵ Silvio Rosignoli, Fabio Piccolo, Valentina Bornisacci “Habitation and Life Support technologies” MOON BASE: A Challenge for Humanity, 2nd Workshop, Washington, October, 11th-12th, 2005 www.moonbase-italia.org/homepage.html.

Sistemi chimici

La propulsione chimica è stata la base dei sistemi di trasporto a razzo sin dai primi lanci, ma si sono sempre avute delle limitazioni nella potenza di spinta ottenuta. Infatti, il rendimento teorico massimo dei propulsori chimici spaziali a due propellenti (tetrossido d'azoto, N_2O_4 , e idrazina, N_2H_4) non è mai stato raggiunto a causa sia dei livelli di energia rilasciata dalla reazione chimica sia delle limitazioni termiche e di configurazione della camera di combustione e dell'ugello, che trasforma l'energia termica in energia cinetica.

Si sta cercando di portare il propulsore ad operare a temperature e pressioni più alte. A tal fine, si stanno studiando tecniche avanzate di lavorazione per ricoprire con iridio le camere di combustione di renio e portare la temperatura operativa vicina a quella limite per i materiali ($4000^\circ F$), cercando nello stesso tempo di ridurre i costi del processo. Parallelamente, si persegue l'ottimizzazione della configurazione dell'ugello, per sfruttare i miglioramenti della camera di combustione e conseguire una maggior velocità dei gas di scarico, ovvero un maggior impulso specifico⁹⁶.

Un altro obiettivo dei progetti in corso è quello di ottenere con questi progressi tecnologici anche una riduzione della quantità del propellente di riserva per variazioni di consumo durante lo svolgimento della missione. Ad una diminuzione della metà dell'ammontare di questa quota di combustibile, conseguirebbe una significativa riduzione della massa del propulsore, sino al 10%⁹⁷.

È parte degli sviluppi della propulsione chimica anche la produzione di serbatoi più leggeri. Per questo scopo, si stanno studiando i processi per ricoprire in modo più efficace i serbatoi metallici con materiali compositi. Essi sono le componenti più grandi dei propulsori spaziali chimici. Nei serbatoi leggeri si potrebbe avere una riduzione di massa del 50%, mantenendo la stessa consistenza e resistenza alla corrosione.

⁹⁶ L'impulso specifico è il rapporto tra l'impulso totale ed il peso del carburante consumato ed è espresso in secondi. È un'indicazione dell'efficienza del propulsore: più è alto l'impulso specifico, più è alta la spinta prodotta, a parità di propellente consumato.

⁹⁷ NASA "Advanced chemical propulsion" <http://www.inspacepropulsion.com/>.

Sistemi elettrici

Mentre nella propulsione chimica l'accelerazione dei gas di scarico è ottenuta impiegando l'energia immagazzinata all'interno delle molecole, nella propulsione elettrica l'energia per l'accelerazione è ottenuta dall'esterno con le forze generate da campi elettromagnetici

Esistono essenzialmente tre tipologie di propulsori elettrici⁹⁸:

- *propulsori elettrotermici*: l'energia elettrica viene usata per scaldare un gas che viene fatto espandere in un ugello: arcogetti e resistogetti;
- *propulsori elettrostatici*: un gas ionizzato viene accelerato solo da forze elettrostatiche: propulsori a griglia, FEEP (Field Emission Electric Propulsion);
- *propulsori elettromagnetici*: un gas ionizzato viene accelerato da forze elettrostatiche e magnetiche che possono dipendere anche dalle correnti indotte dal flusso di ioni stessi: propulsori ad effetto Hall, MPD (Magneto Plasma Dynamic).

I propulsori elettrotermici rappresentano il passo intermedio tra propulsione chimica ed elettrica: il processo accelerativo è gasdinamico, ma l'energia è fornita al gas elettricamente.

Nei propulsori a griglia, dopo aver ionizzato il propellente, si impiegano una serie di griglie metalliche per accelerare gli ioni.

Nei motori ad effetto campo (FEEP), gli ioni del propellente, solitamente un metallo liquido, vengono estratti ed accelerati da un forte campo elettrostatico.

I motori ad effetto Hall impiegano, come propellente, un gas (lo xenon), che viene ionizzato per impatto con elettroni magnetizzati, confinati nella camera di accelerazione.

Il propellente è in forma di plasma nei propulsori MPD: una scarica parte da un catodo centrale ed arriva ad un anodo anulare; la corrente generata dal plasma stesso contribuisce con il campo magnetico indotto alla spinta. I propulsori magnetoplasmodinamici forniscono un'alta spinta, ma necessitano di grandi potenze. Sono, comunque, ancora allo stato sperimentale.

Lo sviluppo dei propulsori elettrici ha già raggiunto, per alcune tipologie, un grado tale da giustificarne per alcune missioni l'utilizzo sistematico, talvolta prevalente, anche nel caso di missioni commerciali.

⁹⁸ Lisa Gambicorti “*Sistemi propulsivi innovativi*” Dip. di Astronomia e Scienza dello Spazio – Università di Firenze, www.astro.unifi.it/did/dott/2006/Sistemi-propulsivi.pdf.

Sistemi a fusione nucleare

Anche nei propulsori ad energia nucleare la fonte energetica ed il propellente sono tra loro indipendenti. L'energia è prodotta da un reattore che sfrutta il fenomeno della fissione o fusione nucleare. Attualmente è fattibile la fissione nucleare, mentre i sistemi a fusione nucleare sono ancora sperimentali, ma molto promettenti non solo per il rendimento, ma anche e soprattutto per la mancanza di emissioni nocive e di scorie radioattive, in vista del loro futuro utilizzo, oltre che per la propulsione, per la produzione di energia per il supporto alla vita dell'insediamento umano sulla Luna.

La fusione nucleare potrà essere applicata alla propulsione spaziale in due modalità basiche⁹⁹:

- *propulsione elettrica da fusione*: la potenza da fusione è trasformata in potenza elettrica o attraverso un ciclo termodinamico convenzionale (in questo caso la potenza in eccesso deve essere irraggiata nello spazio) o con una conversione diretta. I punti, dai quali potrebbero derivare delle penalizzazioni al rendimento di questo schema, sono la presenza di un radiatore e di tutti gli elementi necessari per la conversione elettrica (turbine, etc.), la grande massa del sistema di propulsione elettrica e la complessiva efficienza della conversione (potenza termica in potenza elettrica):
- *propulsione diretta*: i prodotti, che fuoriescono dal carburante, che non ha subito la reazione, e dalla fusione, sono fatti espandere in un ugello magnetico, possibilmente mischiati con un propellente freddo per ottenere un getto unidirezionale con un impulso specifico ottimale. Comunque, una certa produzione di elettricità è necessaria per il controllo e per il riscaldamento ausiliario. In aggiunta, l'eiezione di carburante, che non ha subito la reazione, richiederà che sia portato nello spazio una non trascurabile massa di propellente e dovrà essere tenuta nella giusta considerazione nella valutazione del rendimento totale.

Nel complesso, considerando che l'esplorazione dello spazio richiederà sistemi avanzati di propulsione, che siano capaci di fornire alti impulsi specifici, oltre 10^4 s, ed elevate potenze specifiche¹⁰⁰, tra 1 e 10 kW/kg, la fusione nucleare appare come la più promettente per soddisfare questi requisiti. In particolare, gli studi sinora compiuti hanno accertato la fattibilità dei valori di potenza specifica

⁹⁹ F. Romanelli, C. Bruno, G. Regnoli "Assessment of open magnetic fusion for space propulsion" Final report of the ARIADNA study 04/3102 ESTEC Contract 18853/05/NL/MV, pag.5, www.esa.int/gsp/ACT/doc/ARI/ARI%20Study%20Report/ACT-RPT-PRO-ARI-043102-Open%20Magnetic%20Fusion.pdf.

¹⁰⁰ Nel caso di impianti di potenza, od in genere di un motore, con il termine *potenza specifica* si intende il rapporto tra la potenza erogata e la massa dell'impianto, per misurarne il rendimento. La potenza specifica è espressa in kW per kg.

desiderati, in quanto è un'alta frazione della potenza di fusione quella che potrà essere utilizzata per la spinta diretta.

Le vele spaziali

I ricercatori stanno studiando una tecnologia di propulsione spaziale che per alcune applicazioni potrebbe sostituire la propulsione chimica, impiegando una fonte energetica inesauribile: la luce solare.

Le vele spaziali, o solari, utilizzano come forza propulsiva, appunto, l'energia delle radiazioni elettromagnetiche del Sole o delle stelle in genere. Naturalmente, queste vele devono essere costruite con materiali ultra leggeri, ricoperte da uno strato ultra riflettente e sorrette da un'intelaiatura ultraleggera. Come dimensioni possono variare da decine di metri a mille metri di diametro, a seconda della missione di destinazione, prevalentemente sono di forma quadrata. Saranno ripiegate per il lancio, per essere poi dispiegate in volo.

Nell'atto propulsivo non c'è perdita di massa, perché la materia espulsa viene dal Sole e non dall'astronave. Vi sono degli ovvi limiti nell'orientamento della spinta, ma può essere raggiunta qualsiasi orbita eliocentrica e non vi sono confini all'impulso che può essere realizzato. In ogni caso, l'impiego dell'energia solare per viaggiare nello spazio potrebbe dare all'astronave maggior mobilità e versatilità, aprendo nuove regioni del Sistema Solare all'esplorazione. Infatti, la propulsione a vele solari è il principale candidato per missioni che potrebbero richiedere al veicolo spaziale una grande varietà di manovre, come il cambio dei parametri orbitali o la librazione su un punto fisso, o per missioni che richiedano continuità di spinta.

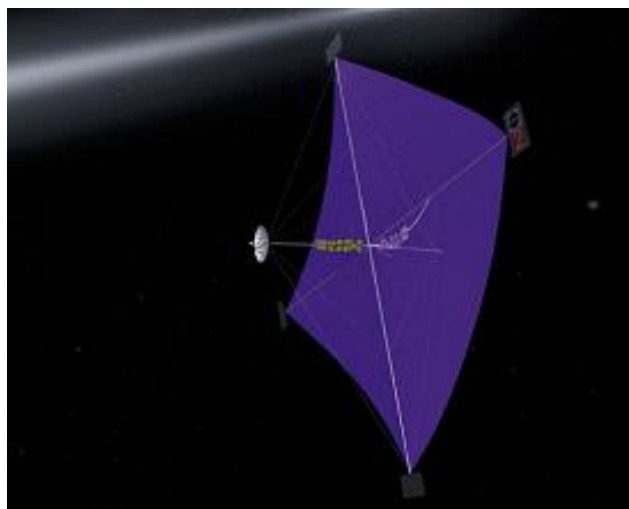


Figura 19: Studio della NASA per una vela solare quadrata, stabilizzata sui tre assi.
Fonte: NASA.

L'aerocattura

A similitudine della frenata aerodinamica, che è stata usata più volte per ridurre la velocità delle sonde spaziali al loro arrivo al corpo celeste di destinazione, l'aerocattura è la manovra che permette ad un veicolo spaziale di usare l'atmosfera di un pianeta o di un satellite per modificare la sua traiettoria ed essere "catturato" nell'orbita prevista, quasi senza uso di carburante. Nel caso della Luna, questa operazione avrebbe un'efficacia piuttosto limitata se non nulla, ma potrà eventualmente essere impiegata nei viaggi di ritorno.

La manovra di aerocattura inizia quando il veicolo entra nell'atmosfera del corpo di destinazione dalla traiettoria di avvicinamento. L'attrito con l'atmosfera riduce la velocità del veicolo sino al valore di cattura. A questo punto viene eseguita una piccola accensione di motore per rendere circolare l'orbita¹⁰¹.

La manovra può essere attuata utilizzando due soluzioni infrastrutturali basiche. La prima prevede di racchiudere l'astronave con una struttura coperta con materiale di protezione termica. Questo involucro rigido circonda l'astronave ed agisce come una superficie aerodinamica, fornendo portanza e freno, oltre a proteggere dal calore. Una volta raggiunta l'orbita di cattura l'involucro aerodinamico viene eiettato.

La seconda opzione richiede lo spiegamento di un dispositivo di aerocattura, tipo uno schermo per il calore gonfiabile od un paracadute ausiliario, che è una combinazione tra un pallone aerostatico ed un paracadute fatto di materiale sottile e resistente. Questo deceleratore è molto più largo del veicolo ed è stivato come un paracadute classico. Anche questo dispositivo viene sganciato dopo l'impiego.

Può essere usato anche un sistema ibrido, composto da un rigido coperchio frontale con attaccato un elemento deceleratore gonfiabile, che viene dispiegato al momento dell'esigenza. Essendo un sistema gonfiabile evita la necessità, che si ha con lo schermo rigido, di avere il veicolo spaziale racchiuso durante il lancio e la navigazione, consentendo maggior flessibilità.

L'ascensore spaziale lunare

L'ascensore spaziale è una connessione tra la superficie di un pianeta ed un terminale oltre il raggio dell'orbita stazionaria, dove un contrappeso mantiene la struttura in tensione ed in equilibrio tra la velocità della sua orbita sincrona e la forza gravitazionale del pianeta. Per un corpo celeste, l'ascensore spaziale può

¹⁰¹ NASA "Aerocapture technology" <http://www.inspacepropulsion.com/>.

km. dal centro lunare in direzione opposta alla Terra. Il primo comporterebbe meno difficoltà di costruzione e sarebbe costantemente visibile dalla Terra. Il secondo faciliterebbe le comunicazioni con le postazioni nella faccia lontana del satellite.

Non essendo materialmente possibile connettere direttamente le basi polari, l'ascensore dovrà fare una curva dall'equatore verso i poli. La massima latitudine che sarà possibile raggiungere sarà funzione delle caratteristiche del materiale utilizzato per il cavo. Perciò, per raggiungere le basi polari sarà necessario prevedere una connessione tipo rotaia sospesa, fatta da catenarie sospese su torri.

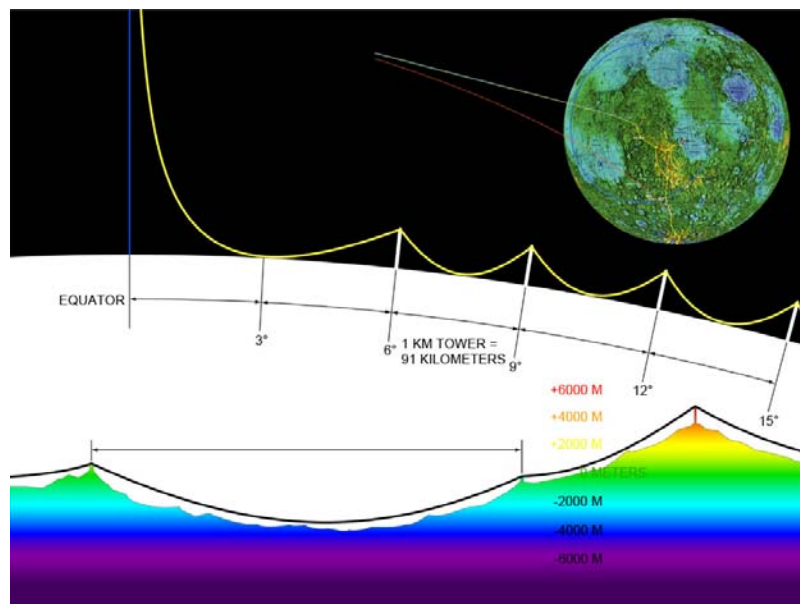


Figura 21: Rappresentazione della “rotaia sospesa” per raggiungere i poli lunari.
Fonte: Jerome Pearson ed altri. 2005.

Il sistema descritto potrebbe costituire una via originale per costruire una base lunare per operazioni robotiche ed umane sulla superficie del nostro satellite.

In teoria, l'ascensore spaziale lunare – costruito con gli esistenti materiali compositi ad alta resistenza, con una capacità di trasporto di 2000 N e con la base equipaggiata con capsule ad energia solare che si muovano a 100 km. all'ora – potrebbe trasportare 584000 kg. per anno di materiale lunare in orbita terrestre alta (HEO), per un valore intorno al mezzo miliardo di \$ e a costi decisamente inferiori. Restano, però, da risolvere un considerevole numero di problemi ingegneristici, per rendere fattibile la sua costruzione.

Le comunicazioni

Le comunicazioni sono un importante aspetto delle missioni con o senza equipaggio umano sulla Luna. Senz'altro sino a quando non sarà stato organizzato un controllo di missione sulla Luna, ma anche dopo, ci sarà la necessità di assicurare le comunicazioni tra gli astronauti ed i sistemi robotizzati sulla superficie lunare e la Terra. Avendo presente che non sono possibili comunicazioni dirette continue con la Terra dal lato lontano della Luna, la principale potenziale localizzazione per gli osservatori astronomici. Anche in alcuni possibili siti nel lato vicino del nostro satellite, quali quelli al polo sud, potrebbe non esserci continuità di collegamento.

Pertanto, bisogna configurare un sistema che consenta la continuità nelle comunicazioni bilaterali Terra-Luna ed anche l'ausilio alla navigazione sulla superficie lunare.

Una possibile soluzione sarebbe quella di collocare dei satelliti *DRS (Data Relay Satellite)* nelle orbite ad alone nei punti lagrangiani collineari L_1 ed L_2 . In particolare, il satellite relé in LL_2 , in orbita ad alone sufficientemente ampia da non essere coperta dalla Luna, assicurerebbe il contatto con la Terra di tutti i punti della faccia lontana e dei poli.

D'altra parte, abbiamo già avuto occasione di evidenziare l'utilità di una stazione spaziale nel punto lagrangiano L_1 del sistema Terra-Luna, ma il discorso potrebbe essere riproposto in termini analoghi anche per il collineare LL_2 . In più, le future missioni lunari avranno necessità di una stazione spaziale lunare che funzioni da centro di comunicazione e di controllo per tutte le attività sulla superficie ed in orbita. I compiti di comunicazione e controllo dovrebbero includere¹⁰³:

- *il controllo delle operazioni di rendez-vous e di attracco dei veicoli di trasferimento orbitale, che trasportano personale e materiali verso la stazione spaziale;*
- *il monitoraggio delle traiettorie di ascesa e di discesa dei lander automatici;*
- *la navigazione ed il controllo dei rover, i veicoli lunari di superficie;*
- *il supporto alle comunicazioni ed alla navigazione delle missioni sulla superficie lunare;*
- *la gestione dei veicoli robotizzati operanti nella regione lunare per attività manutentive;*
- *il comando, controllo e monitoraggio di tutte le componenti del programma lunare.*

Tutte queste funzioni potranno essere attivate su una stazione spaziale collocata in un'orbita ad alone nel punto lagrangiano LL_2 , dove, oltre a usufruire dei

¹⁰³ Robert W. Farquhar "A halo-orbit lunar station" *Astronautics & Aeronautics*, NASA, june 1972, pag. 59-63.

vantaggi di ridotti delta-V necessari per i veicoli provenienti da Terra, si avrebbe la copertura continua con tutti i punti nella faccia lontana della Luna e con la Terra, direttamente senza necessità di DRS. L'aggiunta di un satellite relé in LL1 assicurerebbe alla stazione il contatto continuo con ogni punto della Luna. Questa rete, quasi stazionaria rispetto alla superficie lunare e, quindi, praticamente senza necessità di aggiustamenti periodici delle orbite, consentirebbe le comunicazioni terrestri anche verso tutti i punti non in vista diretta dalla Terra. Ovviamente, i calcoli di efficienza ed efficacia andranno fatti anche per una rete dove l'hub spaziale sia in LL1 ed il satellite relé in LL2, per poi procedere alla scelta in funzione della miglior corrispondenza agli obiettivi operativi.

A proposito di rete, possiamo già ipotizzare che in futuro ci sarà la fusione tra le architetture terrestri e spaziali delle comunicazioni. Ovvero, un giorno ogni veicolo spaziale, pilotato o non, sarà un nodo di un'unica rete e non ci sarà più distinzione tra comunicazioni terrestri e spaziali¹⁰⁴. Saranno definite architetture che permetteranno l'integrazione senza soluzioni di continuità delle reti spaziali e terrestri. Saranno condivise le configurazioni sia dell'hardware che del software. Interfacce e protocolli saranno standardizzati per consentire l'integrazione e l'interoperabilità con altri sistemi e componenti di differenti sistemi.

Il supporto logistico

Appare opportuno completare quello che è già stato detto sul supporto logistico, sia pur in modo piuttosto sintetico, con un cenno sulla funzione che può assolvere in questo campo la ISS¹⁰⁵.

Infatti, la ISS non dovrà essere solo una sorgente di "lezioni" nella fase di assemblaggio dell'avamposto lunare. Ma potrà rappresentare anche il centro di gravità per le attività di supporto logistico a Moon Base. È un approccio che può essere concepito se si tengono nella dovuta considerazione le opportunità che offre il completo sfruttamento dell'architettura modulare e delle capacità di crescita della Stazione Spaziale.

In breve, due ruoli base potranno essere assegnati alla ISS:

¹⁰⁴ Hugh Arif "Network centric space communications" MOON BASE: A Challenge for Humanity, 2nd Workshop, Washington, October, 11th-12th, 2005 www.moonbase-italia.org/homepage.html.

¹⁰⁵ Armando Ciampolini, Piero Messidoro "Operations and logistics" MOON BASE: A Challenge for Humanity, 1st Workshop, Venice, may, 26th-27th, 2005, www.moonbase-italia.org/homepage.html.

- quello di *ausilio alla preparazione all'esplorazione*. Non possiamo che ripetere che la ISS è un *test-bed* unico per il supporto alla vita, la scienza della vita e le ricerche nella bioastronautica, nello sviluppo di nuove capacità e sistemi e nel collaudo della loro affidabilità, come piattaforma per effettuare esperienze operative e per verificare l'effetto sui sistemi dell'esposizione all'ambiente spaziale. Da qui può derivare una riduzione dei rischi per il programma di esplorazione;
- quello di *porto spaziale* per i flussi di servizi orbitali (ad esempio: gestione del propellente criogenico, parcheggio in LEO, manutenzione, ricovero sicuro). Specie prima che siano stati costituiti degli hub nelle orbite ad alone dei punti langrangiani collineari, ma anche dopo in stretta sinergia con essi.

Merita anche ricordare che le industrie aerospaziali italiane hanno conseguito, con la loro partecipazione alla costruzione della ISS e con la cooperazione con la NASA e con le corrispondenti società americane, una posizione decisamente competitiva per quanto concerne il supporto logistico integrato ed il supporto ingegneristico alle operazioni. Hanno, cioè, conseguito un patrimonio non solo di conoscenze tecniche, ma anche di standard e metodologie di lavoro.

Infine, appare molto interessante lo studio del MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) su una rete interplanetaria per il supporto logistico all'esplorazione spaziale¹⁰⁶.

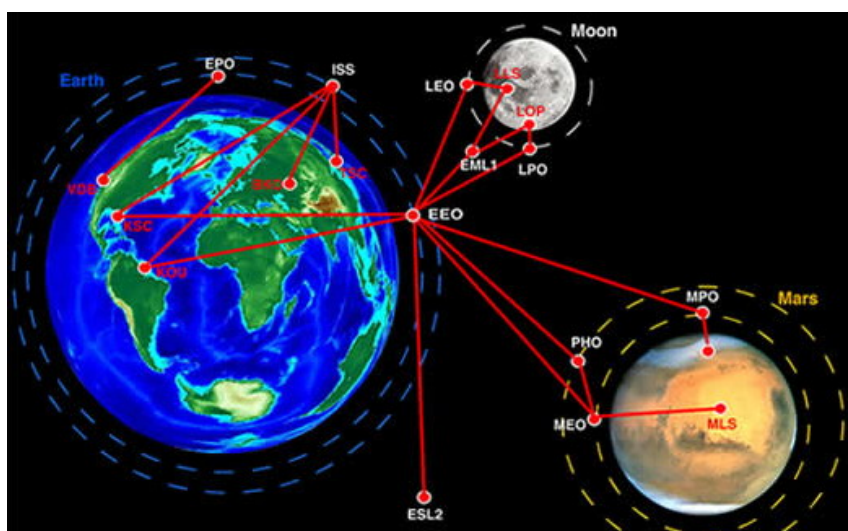


Figura 22: Grafico di una rete interplanetaria di supporto all'esplorazione spaziale.
Fonte: MIT.

Nel grafico di Figura 22 sono riportati dei nodi planetari di superficie, dei nodi orbitali e dei nodi nei punti lagrangiani. I nodi sono connessi con degli archi, che rappresentano i lanci, le traiettorie spaziali, nonché le operazioni di ingresso in

¹⁰⁶ Massachusetts Institute of Technology "Interplanetary Supply Chain Network for Space Exploration"
<http://spacelogistics.mit.edu/index.htm>.

orbita, di discesa e di atterraggio. I veicoli spaziali si muovono su questi archi e trasportano equipaggi umani, agenti robotizzati, propellenti, campioni raccolti e vari rifornimenti. È prevista anche una rete di supporto informativo, che non è riportata nel grafico.

L'assunto di partenza del progetto "*Interplanetary Supply Chain Management and Logistics Architectures (IPSCM&LA)*" è che l'esplorazione spaziale richiede la gestione di un'appropriata e complessa catena interplanetaria di supporto. Mentre le precedenti missioni di esplorazione lunare portavano con sé tutti i mezzi necessari, i futuri viaggi spaziali dovranno poter confidare su una rete di supporto basata sia a Terra che nello Spazio. L'obiettivo è l'acquisizione di una capacità integrata di dirigere lo sviluppo di una catena interplanetaria di approvvigionamenti che sarà richiesta per rendere sostenibile l'esplorazione spaziale del sistema Terra-Luna-Marte ed oltre.

Lo studio è iniziato con l'analisi ed il confronto delle lezioni imparate nella gestione di una catena di rifornimenti terrestri, sia nel settore privato che in quello militare. Ne è scaturita una preventiva informazione sulla classificazione dei rifornimenti e sulla logistica per costruire dei modelli. Si è, così, potuto classificare la sostituibilità tra i mezzi di trasporto in termini di costi unitari, tempi, disponibilità, densità di carico e criticità dei beni da trasportare.

Sono state anche identificate le incompatibilità delle analogie con la logistica terrestre, quando applicate all'esplorazione spaziale.

Il passo successivo è stata l'analisi del modello di rete logistica spaziale. Il modello è costituito da nodi, che sono, come già riportato, la Terra, la Luna, Marte e le relative orbite, i punti lagrangiani ed i siti di atterraggio ed esplorazione. Gli archi rappresentano i flussi tra i nodi dei carichi e degli altri elementi. Questi flussi si concretizzano in singoli voli e raggiungono la superficie dei pianeti in tre modi: prerischieramento, trasporto con l'equipaggio e nuovo rifornimento.

Si è subito evidenziata una significativa differenza tra la logistica terrestre e quella spaziale: il movimento nodale nello spazio genera nella rete delle dipendenze in tempo ed energia che non sussistono sulla Terra.

Le maggiori incertezze nei processi di richiesta e di rifornimento della rete logistica spaziale sono state quantificate come variazioni cicliche della domanda, cambi nella missione cargo, costi di trasporto ed interruzioni non pianificate della linea di rifornimento.

Nei modelli sono stati considerati anche i maggiori problemi di immagazzinamento e di durata (degradazione, obsolescenza, gelo e vaporizzazione), i ratei di consumo, per far sì che il modello di rete di catene di rifornimento potesse adattarsi ai differenti scenari logistici, ad iniziare dallo sviluppo e rischieramento del *CEV – Crew Launch Vehicle* (2010-2014), per

seguire con le prime missioni umane sulla Luna (2018-2020) e con la costruzione dell'avamposto lunare (2021-2023).

Il modello di logistica dell'esplorazione è stato, quindi, basato su 10 classi funzionali di rifornimenti (*COS – Class of Supply*), inclusi i propellenti, i beni di consumo per gli equipaggi, le parti di ricambio e gli equipaggiamenti per l'esplorazione e per la mobilità. I COS sono stati poi suddivisi in sottoclassi.

Sono stati successivamente combinati i modelli di rete e di richiesta e rifornimento con gli esistenti modelli di logistica spaziale per lo Space Shuttle e per la ISS. Questo ha permesso di costruire degli scenari, per trovare la risposta ai seguenti quesiti:

- *integrazione verticale*: come assemblare ed organizzare i materiali al sito di lancio verso la LEO;
- *scelta delle modalità di trasporto*: quali sono gli effetti della densità di carico, del valore della criticità dei tempi; qual'è la relazione con le scelte per l'*ORU (Orbital Replacement Unit)* della ISS;
- *collocazione degli impianti e dei punti di trasferimento*: qual è il piazzamento ottimale dei depositi intermedi e dei luoghi di custodia temporanea nella rete di esplorazione spaziale (ad esempio per il preposizionamento dei propellenti);
- *confine del "push-pull"*: quale scelta tra preposizionamento del carico versus trasporto con sé versus ISRU;
- *architetture dell'informazione*: quali sono i benefici dell'etichettatura automatica, dei rapporti sullo stato delle parti di ricambio e degli stock rischierati, dei data-base della logistica spaziale.

L'impalcatura di pianificazione della logistica spaziale è stata, alla fine, tradotta in ambiente informatizzato, con il programma *SpaceNet*, a sua volta corredato di dettagliati database.

Il modello iniziale comprende nodi ed archi nel sistema Terra-Luna e consente di eseguire scenari logistici sino alla completa realizzazione dell'avamposto lunare. Il modello più esteso, che sarà sviluppato in una seconda fase, includerà altri nodi e connessioni nel sistema Terra-Luna-Marte e consentirà la simulazione della catena di supporto sino all'integrale svolgimento delle missioni su Marte.

Quello del MIT è un modello di logistica spaziale futuristico, ma affascinante e ricco di validi spunti per la pianificazione della prossima avventura lunare, ma soprattutto per le necessarie ed inderogabili attività preparatorie, al fine di assicurarne un positivo ed utile risultato.

CAPITOLO 6

La situazione internazionale

Superato il periodo di crisi ed incertezze per il volo umano nello spazio, dopo la tragedia del Columbia, che aveva suscitato il cordoglio del mondo intero, dietro lo stimolo dello storico annuncio del Presidente Bush, l'esplorazione dello spazio è tornata ad essere la priorità di molte agenzie ed organizzazioni spaziali. Lo specifico interesse internazionale, per l'esplorazione del Sistema Solare e per l'estensione della presenza umana in esso, è caratterizzato da una crescente attenzione sia all'esplorazione robotica che a quella umana. Nuovi attori, non solo pubblici, si sono aggiunti, con la capacità di offrire un contributo significativo al conseguimento di questi importanti obiettivi.

Al momento, solo gli Stati Uniti hanno una precisa politica per l'esplorazione dello spazio, un bilancio ed un programma. Per quanto riguarda la Luna, la NASA sta organizzando se stessa ed i suoi programmi per realizzare una base permanentemente abitata sul nostro satellite. Queste attività sono state approvate dalle autorità centrali che hanno finanziato l'Agenzia con una prima trince, pari ad oltre 100 miliardi di dollari in dieci anni, dei fondi necessari. È un preciso impegno delle istituzioni americane, anche se le risorse messe a disposizione sono inferiori a quelle che finanziarono il programma Apollo e non sono esclusi tagli in conseguenza della situazione economica del Paese o, comunque, non sarà più come per il passato un finanziamento sulla base del programma, ma sarà questo che dovrà essere confezionato in funzione delle risorse che verranno rese disponibili.

Oltre agli USA, solo la Cina e parzialmente il Giappone e l'India hanno già definito le loro intenzioni per l'esplorazione della Luna.

I Paesi europei sono stati forzati dalla posizione della NASA ad aggiornare i loro programmi. L'Unione Europea ha già conseguito importanti risultati ed ha ambiziosi obiettivi per l'esplorazione robotica dello Spazio, che per ora non prevedono, ma non escludono, voli verso la Luna nei prossimi anni, a continuazione del successo ottenuto con la missione Smart-1. La coesione comunitaria potrebbe, però, incontrare delle soluzioni di continuità a causa di singoli progetti condotti a livello nazionale e che potrebbero comportare uno spreco di risorse o, quantomeno, una non completa ottimizzazione delle stesse. Non si vorrebbe che l'iniziale volontà a cooperare, per condividere i rischi di una nuova sfida e facilitare il conseguimento del successo, dovesse essere

attenuata da locali ed aleatorie considerazioni di affermazione politica ed economica.

In Italia, che comunque mantiene un ruolo di primo piano nel contesto spaziale internazionale, le analisi delle implicazioni e delle prospettive di una base permanente sulla Luna sono iniziate sin dal 2004, anche se al di fuori dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI). Queste analisi sono sfociate nella conferenza internazionale "*Moon Base: a challenge for humanity*", che è stata descritta nell'Introduzione.

A settembre 2006, l'Agenzia Spaziale Italiana ha lanciato 16 studi preliminari (3 scientifici e 13 tecnologici)¹⁰⁷. Gli studi scientifici stanno indicando all'Agenzia quali sono gli obiettivi prioritari per la comunità scientifica nazionale e quali sono i requisiti per raggiungerli. Da quelli tecnologici, invece, stanno scaturendo le proposte delle soluzioni tecniche per rispondere a tali requisiti.

Tutti questi elementi sono alla base dell'elaborazione in corso all'ASI della visione nazionale per l'esplorazione della Luna. La roadmap di questa visione sarà lo strumento di riferimento per la scelta delle missioni da realizzare e delle collaborazioni internazionali da promuovere in funzione delle sinergie tra il programma italiano ed altri programmi nazionali od internazionali.

Il programma italiano dovrebbe percorrere tre linee strategiche¹⁰⁸:

- *la conoscenza della Luna e la valutazione delle risorse disponibili per la permanenza dell'uomo sul suolo lunare;*
- *l'osservazione dell'Universo dalla Luna;*
- *l'osservazione della Terra dalla Luna.*

È, quindi, limitato agli obiettivi scientifici e non pare volersi addentrare nelle finalità economiche e sociali dello sfruttamento della Luna. Si aggiunga che non sembra esservi nel management dell'ASI, almeno per ora, l'intenzione di promuovere gli obiettivi connessi con la realizzazione di un presidio umano permanente sulla Luna, come si può dedurre anche da una recente intervista rilasciata dal Presidente dell'Agenzia al settimanale Space News, dove ha entusiasticamente appoggiato la proposta del Presidente francese Sarkozy di collaborazione dell'Europa con gli USA in un vasto programma di esplorazione dello Spazio "*that would focus on Mars – not the Moon*"¹⁰⁹.

Un primo significativo passo per spianare la strada alla cooperazione internazionale è stato fatto con il documento "*The global exploration strategy – The framework for coordination*", che è stato sottoscritto da 14 agenzie spaziali, tra le quali l'ESA e l'ASI, a maggio 2006, nell'abbazia di Spineto, vicino a

¹⁰⁷ Simonetta Di Pippo "*Italian Vision for Moon exploration*" Kick Off Studi della Luna, ASI, Roma, 26 settembre 2006.

¹⁰⁸ Simonetta Di Pippo "*The ASI Vision for Moon exploration*" MOON BASE: A Challenge for Humanity, 2nd Workshop, Washington, October, 11th-12th, 2005 www.moonbase-italia.org/homepage.html.

¹⁰⁹ Peter B. de Selding "*Italian, German Space officials welcome Sarkozy's Space Proposals*" Space News, february 18th, 2008, pag. 5.

Siena. Il documento sarà la base per le future discussioni su come implementare un meccanismo di coordinamento.

Volendo ora vedere più da vicino le strategie delle principali Nazioni spaziali, non possiamo che iniziare dagli Stati Uniti, che hanno dato l'impulso iniziale a questa seconda corsa allo Spazio.

Gli Stati Uniti d'America

La risposta alla direttiva presidenziale del 14 gennaio 2004 sono state le proposte della NASA esposte nel documento "NASA's *Exploration Systems Architecture Study (ESAS)*", presentato ufficialmente in una conferenza stampa tenuta al Quartier Generale dell'Agenzia a Washington il 19 settembre 2005.

Il documento della NASA è quasi interamente focalizzato sul ritorno sulla Luna: il trasporto lunare, i compiti degli equipaggi e la definizione delle attività che possono essere condotte sulla superficie della Luna, le strategie per il ritorno anche in caso di aborto della missione. Non sono state definite in dettaglio le infrastrutture abitative e le operazioni in loco, perché le attività relative allo sviluppo della loro definizione sono state considerate possibili in una fase successiva dei lavori¹¹⁰. Le successive tappe dell'esplorazione, Marte ed oltre, sono appena accennate.

La roadmap del programma prevede¹¹¹:

- *il completamento della Stazione Spaziale Internazionale entro il 2010, per assolvere gli obblighi con le 15 Nazioni partner. La NASA focalizzerà le sue ricerche sulla ISS sugli effetti a lungo termine dei viaggi spaziali sulla biologia umana;*
- *l'impiego, purché in sicurezza, dello Space Shuttle sino al 2010;*
- *lo sviluppo di un Crew Exploration Vehicle (CEV), con il primo volo di prova entro il 2008 e la prima missione operativa non più tardi del 2014 (possibilmente nel 2012). Il CEV dovrà poter trasportare gli astronauti all'ISS dopo la radiazione dello Shuttle, per cui dovrà essere fatto ogni sforzo per accelerare la disponibilità del veicolo;*
- *il ritorno sulla Luna entro il 2020, facendolo precedere da missioni preparative con robot dal 2008;*
- *l'estensione della presenza umana in tutto il sistema solare ed oltre;*
- *l'implementazione di un intenso ed accessibile programma umano e robotico;*
- *lo sviluppo di innovative tecnologie, conoscenze ed infrastrutture;*

¹¹⁰ NASA "NASA's *Exploration System Architecture Study – Final Report*" november, 2005, pag. 14.

¹¹¹ NASA "NASA's *Exploration Architecture*" Washington, september 19th, 2005.

- *la promozione della partecipazione internazionale e commerciale all'esplorazione.*

Questi obiettivi sono stati approvati dal Congresso con il “*2005 Authorisation Act for NASA*”.

La visione americana per l'esplorazione dello spazio ha implicitamente sancito il ritorno della NASA ai suoi obiettivi originari, cioè l'esplorazione del sistema solare e dello spazio profondo, ed il consolidamento del ruolo del DoD nello spazio più vicino alla Terra, dove più insistono attualmente gli interessi economici e militari.

L'Agenzia si è profondamente trasformata per far fronte alle nuove ed impegnative attività. Ha sviluppato discussioni con le industrie e le organizzazioni accademiche, per preparare l'architettura necessaria per sostenere le esplorazioni umane e robotiche lontano dalla Terra.

Tra i sistemi chiave vi è quello del trasporto spaziale, perché devono essere sviluppate nuove capacità in quanto lo Space Shuttle ed i veicoli di lancio spendibili in servizio non sono utilizzabili per missioni al di là delle LEO. Oltre al *Crew Exploration Vehicle, Orion*, faranno parte dello specifico programma, il *Constellation Program*, l'associato *Crew Launch Vehicle, Ares I*, e, in un secondo tempo, il *Cargo Launch Vehicle, Ares V*.



Figura 23: Visione artistica di Ares I, durante il lancio e con sulla cima Orion, e di Ares V, sulla rampa di lancio.

Fonte: NASA.

Contemporaneamente, la NASA continuerà a lavorare con altre agenzie pubbliche per sviluppare, tra le altre, le tecnologie nucleari per fornire l'energia necessaria alle missioni spaziali.

Per lo sviluppo dei nuovi sistemi di lancio, premesso che le direttive presidenziali prevedono che la NASA ed il DoD coordinino i loro requisiti ed i

loro piani in questo settore, la politica della NASA è quella di trarre il maggior vantaggio dagli esistenti materiali ed infrastrutture dello Space Shuttle nell'assemblaggio dei nuovi lanciatori, al fine certamente di ridurre i costi, ma soprattutto perché i materiali derivati dallo Shuttle sono considerati la miglior scelta per l'affidabilità e la sicurezza. Segnatamente, i motori principali ed i boosters a propellente solido dello Shuttle sono ritenuti particolarmente affidabili, godono della fiducia degli equipaggi e sono considerati i più idonei per rispondere ai requisiti dell'architettura pianificata. Ugual affidamento è riposto nei motori dei famosi lanciatori Saturno del programma Apollo.

Questo linea d'azione permetterà anche di salvaguardare il pieno impiego della forza lavoro, che sarà utilizzata per continuare in sicurezza l'attività dello Shuttle sino al suo ritiro nel 2010.

Il *Crew Launch Vehicle* è un lanciatore in linea a due stadi, sulla cui cima è collocato il CEV Orion, il suo modulo di servizio ed un sistema di aborto del lancio¹¹². Il primo stadio è composto da cinque segmenti a propellente solido, che saranno separati durante la salita da speciali motori. Il secondo stadio, connesso al primo da un adattatore di nuova concezione, è spinto da un motore ad ossigeno ed idrogeno liquidi. Questo stadio è un'evoluzione di quelli superiori dei lanciatori Saturno IB e V. Il primo volo prova dell'Ares I è programmato per il 2009.

Il *Crew Launch Vehicle* sarà dieci volte più sicuro dello Space Shuttle, per la sua configurazione e per il sistema di aborto del lancio. Se le condizioni dovessero richiederlo, l'astronave e l'equipaggio potranno essere separati dallo stadio superiore del lanciatore ed atterrare in sicurezza in acqua o su terra.

Il *Cargo Launch Vehicle, Ares V*, è un sistema a due stadi sovrapposti. Può portare un carico utile di circa 130 t. in LEO e di 65 t. in orbita lunare. Per l'iniziale inserimento in orbita terrestre, il primo stadio fa affidamento su due booster a propellente solido che sono derivati da quelli dello Space Shuttle e sono simili al primo stadio dell'Ares I. I due booster fiancheggiano il primo stadio, il *Core Stage*, formato da un cluster di cinque motori a propellente liquido (ossigeno ed idrogeno). Il serbatoio del primo stadio è derivato da quello del Saturno V, mentre i motori sono una variazione migliorata di quelli del Delta IV dell'Air Force.

Sulla cima del primo stadio è posto un adattatore, che è comprende i motori per la separazione e la connessione per il secondo stadio, l'*Earth Departure Stage*, che è spinto da un solo motore a propellente liquido. Anche questo motore è una versione migliorata di quello dei lanciatori Saturno.

Ancorata sulla cima del secondo stadio c'è una cupola in composito, che protegge il lander lunare, formato dallo stadio di discesa, che porterà gli

¹¹² Il sistema di aborto del lancio permetterà di salvare il veicolo spaziale e l'equipaggio in caso di emergenza sulla rampa di lancio od in qualunque momento durante la salita.

astronauti sulla superficie lunare, e lo stadio di ascesa, che li riporterà in orbita lunare al rendez-vous con l'Orion, per il ritorno a casa.

I due booster ed il connesso primo stadio porteranno l'Ares V in LEO, dove, dopo la separazione, il secondo stadio porrà il veicolo, con il suo carico di lander, in orbita circolare. Qui sarà raggiunto per l'aggancio dal CEV Orion, lanciato separatamente nello Spazio con Ares I, con a bordo quattro astronauti. Una volta completata la manovra, il secondo stadio dell'Ares V provvederà a far conseguire al sistema la velocità di fuga per uscire dalla gravità terrestre ed iniziare il viaggio verso la Luna, dopodiché l'Earth Departure Stage sarà abbandonato.

Una volta raggiunta l'orbita lunare, gli astronauti si trasferiranno sul lander per la discesa, mentre l'Orion resterà in orbita, in configurazione non pilotata. La prima missione durerà sette giorni, le missioni successive dovranno essere in grado di permanere sulla Luna per un tempo sempre più lungo.

L'Ares I potrà eseguire anche un'altra missione, quella di portare sei astronauti, od un carico, sull'ISS. Mentre l'Ares V potrà anche immettere in LEO o su una traiettoria verso la Luna pesanti carichi di equipaggiamenti e mezzi.

Il primo volo prova di Ares V è previsto intorno al 2018.

Tornando ai veicoli spaziali, quelli di prossima generazione della NASA utilizzeranno una capsula migliorata e con corpo arrotondato, ma molto simile a quella della navetta Apollo, solo più larga. Infatti, con un diametro esterno di 5 metri, avrà un volume quasi triplo rispetto a quello della capsula Apollo. Questo design consentirà di ridurre i tempi di sviluppo, di contenere il peso al rientro, di aumentare la stabilità in atterraggio e di ospitare in sicurezza sino a sei membri di equipaggio.

La nuova astronave potrà essere configurata sia per il trasporto di un equipaggio che di un carico per la ISS, in volo automatico. Nella versione passeggeri potrà caricare quattro persone per una missione lunare e sino a sei per una missione verso l'ISS o Marte.

Questo veicolo, con una massa di circa 25 tonnellate, sarà un deciso avanzamento rispetto a quello delle missioni del programma Apollo. Oltre ad essere più sicuro e più affidabile, condurrà un numero doppio di astronauti sulla Luna, permetterà la discesa in qualunque punto del suolo lunare, dove sarà anche di supporto ad una stabile presenza umana.

Inoltre, l'astronave potrà essere agganciata all'ISS e ad altri elementi necessari per l'esplorazione spaziale. In particolare, la sua modularità dovrà essere tale da poter essere configurata in orbita bassa per le successive missioni verso Marte. Nel giro di un mese e con non più di una mezza dozzina di voli dovrà poter

raggiungere la massa totale che è stata stimata necessaria: circa 500 tonnellate, delle quali la metà di carburante¹¹³.

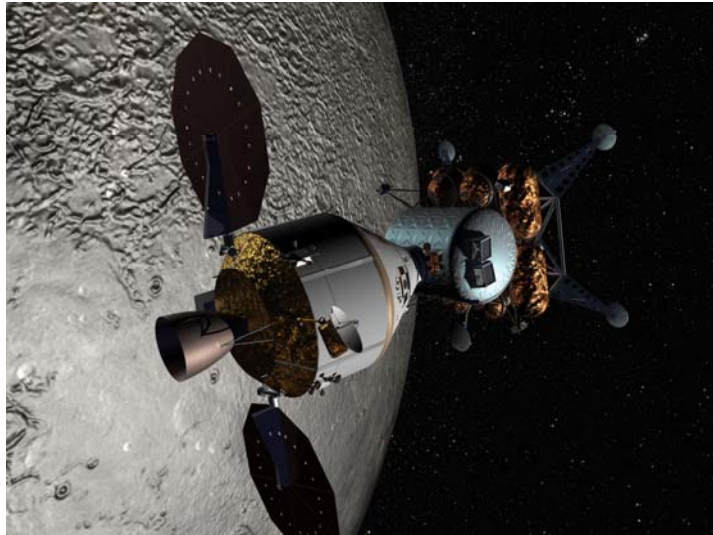


Figura 24: Visione artistica del CEV Orion agganciato al lander, in orbita lunare e con i pannelli solari estesi.

Fonte: NASA

Con il ritorno sulla Luna gli USA vogliono dimostrare, attraverso una presenza prolungata, che noi possiamo sopravvivere in un altro mondo e che, quindi, possiamo avventurarci lontano dalla Terra e starci per un lungo periodo. In aggiunta potranno essere svolte fondamentali ricerche in astrobiologia, geologia, esobiologia, astronomia e fisica.

Le missioni umane, come accennato, saranno precedute tra il 2008 ed il 2011 da missioni robotiche, per redigere le mappe della superficie lunare ed approfondire la conoscenza delle sue caratteristiche. Sarà così possibile selezionare i siti di discesa e determinare quali risorse saranno disponibili in loco.

La preparazione degli equipaggiamenti per un soggiorno prolungato sulla Luna inizierà nel 2013.

Le infrastrutture del Kennedy Space Center, incluse quelle per l'assemblaggio dei veicoli e quelle per il lancio dello Shuttle, saranno mantenute, ma adattate ai nuovi veicoli di lancio giganti. Potrebbero anche essere aggiunte due nuove strutture di lancio o rimessa in operatività quella della base dell'Air Force di Cape Canaveral, che era stata usata per le missioni Apollo 1 e 7¹¹⁴.

Tutti questi obiettivi parrebbero essere finalizzati al mantenimento della leadership americana nell'esplorazione dello Spazio, ma con finalità prettamente scientifiche ed economiche, quindi civili. Va però evidenziato che la Vision di Bush, nel promuovere la cooperazione internazionale, parla anche di sicurezza:

¹¹³ Michael D. Griffin "Remarks for AIAA Space 2005 Conference & Exhibition" 31 august 2005.

¹¹⁴ Silvano Casini "Space exploration a challenge and an opportunity for Europe" ESA/ESTEC, 2006, pag. 8.

“*promote international and commercial participation in exploration to further U.S. scientific, security and economic interests*”. Ne consegue il naturale quesito se gli Americani apriranno la cooperazione a tutte le Nazioni o se ci sarà una selezione, che potrà proseguire programma durante, sulla base di considerazioni geopolitiche.

Gli sviluppi sino a questo momento della *Global Exploration Strategy*, concordata tra quattordici organizzazioni spaziali con in testa gli USA, farebbero propendere per una prospettiva più vicina alla prima risposta, se non fosse per la nuova direttiva su la “*U.S. National Space Policy*” che il Presidente americano ha emanato il 31 agosto 2006 ed è stata pubblicata dalla Casa Bianca nell’ottobre seguente. Nella direttiva, che il Washington Post ha giudicato come il passo preliminare per inviare armi nello spazio, si afferma che “*freedom of action in space is as important to the United States as air power and sea power*”.

Gli Stati Uniti sono impegnati perché l’esplorazione e l’uso dell’esospazio da parte di tutte le Nazioni sia per scopi pacifici e per il beneficio dell’umanità tutta, ma: “*the United States considers space capabilities – including the ground and space segments and supporting links – vital to national interests*”. Per cui “*consistent with this policy, the United States will: preserve its rights, capabilities, and freedom of action in space; dissuade or deter others impeding those rights or developing capabilities intended to do so; take those actions necessary to protect its space capabilities; respond to interference*” e soprattutto “*deny, if necessary, adversaries the use of space capabilities hostile to U.S. national interests*”.

A tale fine, gli USA rafforzeranno la leadership della loro Nazione in questo settore e garantiranno che la capacità spaziali siano disponibili per migliorare la loro sicurezza e favorire i loro obiettivi di politica estera. Agiranno perché nessun impedimento limiti le loro operazioni nello ed attraverso lo spazio per difendere i loro interessi. Si opporranno allo sviluppo di nuovi regimi legali od altre restrizioni con i quali si volesse limitare od impedire il loro accesso allo spazio od il suo uso; più specificatamente, gli accordi o le restrizioni per il controllo degli armamenti non dovranno diminuire il diritto degli Stati Uniti di ricercare, sviluppare, collaudare e svolgere attività operative o di altro genere nello spazio per il loro proprio interesse.

Tutto questo, anche se l’Amministrazione Bush ha confermato la sua disponibilità ad un futuro di collaborazione per l’impiego pacifico dello spazio invita tutte le Difese a porre la massima attenzione per garantire che non vengano poste limitazioni di parte all’utilizzazione delle risorse spaziali, ad iniziare da quelle della Luna, e che non si accenda nello Spazio una nuovacorsa agli armamenti.

La Russia

Dopo oltre trent'anni di assenza la Russia ha ripreso i suoi studi sulla Luna con un programma automatico, lanciato nella seconda metà del 2006 ed alla cui elaborazione hanno concorso l'Accademia russa delle scienze e la società NPO Lavochkin. La prima missione di ricerca lunare sarà la “*Luna-Glob*”, che dovrebbe partire, secondo il programma spaziale federale russo, nel 2012.

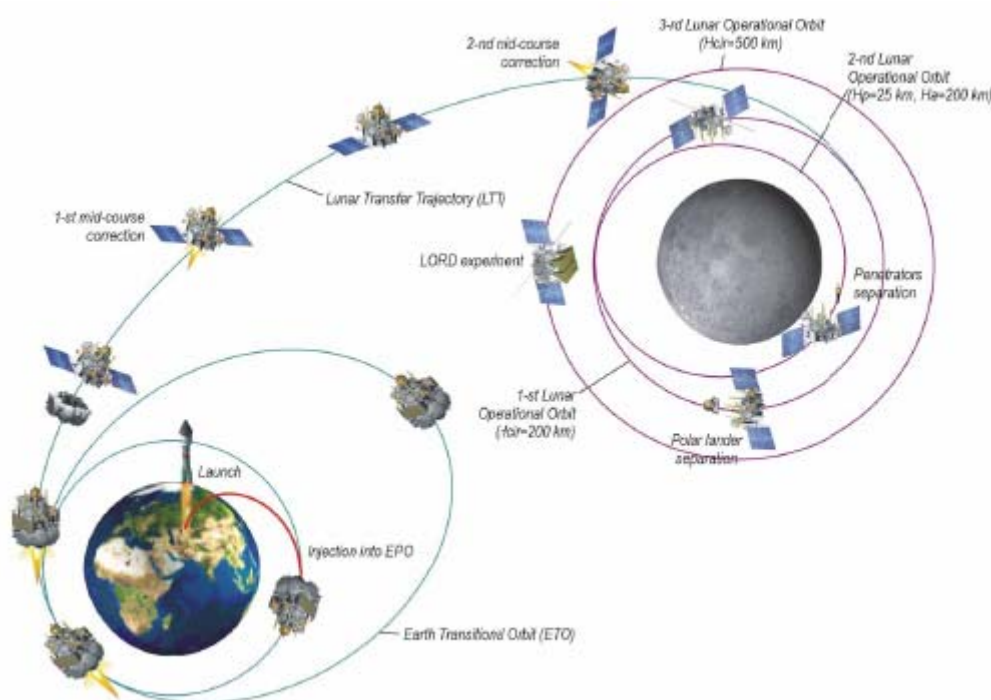


Figura 25: Profilo della missione “Luna-Glob”.
Fonte: Roscosmos, 2006.

La Lavochkin, però, ha proposto di realizzare questo lancio alcuni anni prima, nel 2009-2010, perché la missione “*Luna-Glob*” è collegata con il sorvolo della Luna, con la preparazione e la scelta delle piazzole per il lunakhod¹¹⁵ e per gli altri complessi ingegneristici e scientifici che in futuro creeranno sul satellite della Terra una sorta di poligono, un laboratorio scientifico. Questi compiti si intersecano con i compiti del programma lunare di altri Paesi, che saranno anch'essi realizzati negli anni 2008-2010. Se la Russia vuole andare verso la Luna insieme a tutta la comunità mondiale, secondo la Lavochkin, essa deve

¹¹⁵ Lunakhod è il nome di due veicoli automatici, fatti scendere sulla Luna dall'Unione Sovietica. Il primo dei due fu trasportato da Luna 17. In questo caso il nome è utilizzato per indicare un veicolo lunare di nuova generazione.

realizzare la prima missione proprio in questi anni. Solo così, ha affermato il direttore generale della società, essa potrà ricostruire e rafforzare le proprie posizioni, rimanere leader nella scienza mondiale dal punto di vista della ricerca planetaria¹¹⁶.

La seconda tappa è già stata collegata alla discesa automatica sulla Luna, che potrebbe essere compiuta nel 2012. Con essa si realizzeranno la scelta del poligono, cioè del laboratorio sulla Luna, l'allunaggio, il lavoro con il lunakhod, con decine di apparati scientifico-applicativi e la preparazione di un più largo sfruttamento automatico della Luna per lavori industriali nel quadro della terza e quarta tappa del programma, che sono state programmate per la fine degli anni 2014-2015.

La terza tappa del programma sarà lo sviluppo del laboratorio scientifico, il poligono per la ricerca scientifica ed applicata, il quale, secondo la NPO Lavochkin, dovrà essere fondato da tutti i Paesi insieme. La quarta missione sarà collegata alla preparazione della parte pilotata del programma lunare, oltre che alla valutazione delle risorse minerali ed al trasporto a Terra di campioni.

Il programma pilotato è stato presentato alla fine di agosto 2007¹¹⁷. Alla sua stesura ha contribuito la Corporazione per i razzi ed il cosmo "Energhia" e prevede per il 2025 lo sbarco sulla Luna del primo cosmonauta russo, mentre nel periodo 2027-2032 sarà costruita sulla superficie lunare una base permanente.

La Russia ha già fatto proposte di collaborazione alle Agenzie spaziali indiana, cinese ed europea, e recentemente alla NASA, perchè ritiene che questa missione debba essere internazionale.

La Cina

Il programma spaziale cinese è iniziato nel 1956, sotto la guida di Tsien Hsue-Shen, il padre dell'atomica e dei missili balistici cinesi, ed in cooperazione con l'allora URSS. Proseguì come programma indipendente dopo la crisi cino-sovietica del 1960.

Il *White Paper* sulle attività spaziali cinesi, la cui prima edizione è stata pubblicata nel 2000 dal Consiglio di Stato, la più alta istituzione dell'esecutivo cinese, si apre constatando che "*the scope of mankind's activities has experienced expansion from land to ocean, from ocean to atmosphere, and from atmosphere to outer space*". In questo contesto "*the aims of China's space*

¹¹⁶ Quanto espresso in queste righe e in quelle che seguono è il punto di vista del costruttore generale e direttore generale della associazione scientifico-produttiva S.A.Lavochkin, Gheorghji Polishuk, come risulta da un'intervista pubblicata nel numero 7/2007 della rivista "Rossijskij Kosmos",

¹¹⁷ Vladimir Sapozhnikov "La Russia rilancia la corsa allo spazio" Il Sole-24 Ore, 1° settembre 2007, pag. 6.

activities are: to explore outer space, and learn more about the cosmos and the Earth; to utilize outer space for peaceful purposes, promote mankind's civilization and social progress, and benefit the whole of mankind; and to meet the growing demands of economic construction, national security, science and technology development and social progress, protect China's national interests and build up the comprehensive national strength”.

Già da questi principi si può dedurre che i progetti spaziali cinesi non hanno solo scopi scientifici e di orgoglio nazionale, ma hanno anche importanti ricadute sull'industria aerospaziale e su altri settori delle tecnologie avanzate, sullo sviluppo dei missili balistici di teatro e strategici. Oltre ai risvolti economici, presentano, quindi, rilevanti connessioni con i temi politici e strategici del Paese, in una regione del Mondo che vede crescere la competizione tra le grandi potenze¹¹⁸.

Significativo a questo proposito è anche che l'Agenzia spaziale cinese, la *China National Space Administration (CNSA)*, è stata posta dal nono Congresso Nazionale del Popolo alle dipendenze della *Commission of Science, Technology and Industry for National Defense (COSTIND)*.

Comunque, la Cina è aperta alla cooperazione internazionale ed ha già concluso accordi di collaborazione con molti Paesi, tra i quali il Brasile, il Cile, la Francia, la Germania, l'India, l'Italia, il Pakistan, il Regno Unito, la Russia, gli Stati Uniti e l'Ucraina. Spera, altresì, di poter entrare nel novero delle Nazioni che partecipano al progetto ISS.

I risultati sinora conseguiti sono stati notevoli, tanto che la Cina è diventata la quinta nazione al mondo ad aver inviato un satellite in orbita, la terza ad aver inviato nello spazio un astronauta e la terza ad aver distrutto un proprio satellite in orbita.

Per quanto riguarda la Luna, tra gli obiettivi del Libro Bianco sono incluse anche “*ricerche preliminari sull'esplorazione dello spazio profondo basate sul monitoraggio della Luna*”.

Lo specifico programma per l'esplorazione lunare automatica ha avuto formale avvio nel gennaio 2004, quando il Consiglio di Stato ha approvato la prima delle tre fasi, nelle quali si articola il piano, consistente nel “progetto di esplorazione in orbita della Luna”¹¹⁹. Le altre due fasi comprenderanno, rispettivamente, l'atterraggio morbido di una sonda sulla superficie della Luna, per l'esplorazione della sua superficie, ed il ritorno sulla Terra di una sonda, dopo l'esplorazione e l'acquisizione di campioni¹²⁰.

¹¹⁸ Nicola Casarini “*Dalla corsa allo spazio nascono opportunità per l'Italia*” Affari Internazionali, 23 novembre 2007, <http://www.affarinternazionali.it/articolo.asp?ID=666>.

¹¹⁹ China National Space Administration “*Milestones of the Program*” <http://www.cnsa.gov.cn/n615709/cindex.html>.

¹²⁰ Radio Cina Internazionale “*Piano di esplorazione della Luna*” <http://italian.cri.cn/241/2007/10/22/Zt64@93073.htm>.

Attualmente, è in corso la prima fase con la sonda *Chang'e 1*, alla quale abbiamo già avuto modo di fare cenno e che sta svolgendo positivamente i suoi compiti.

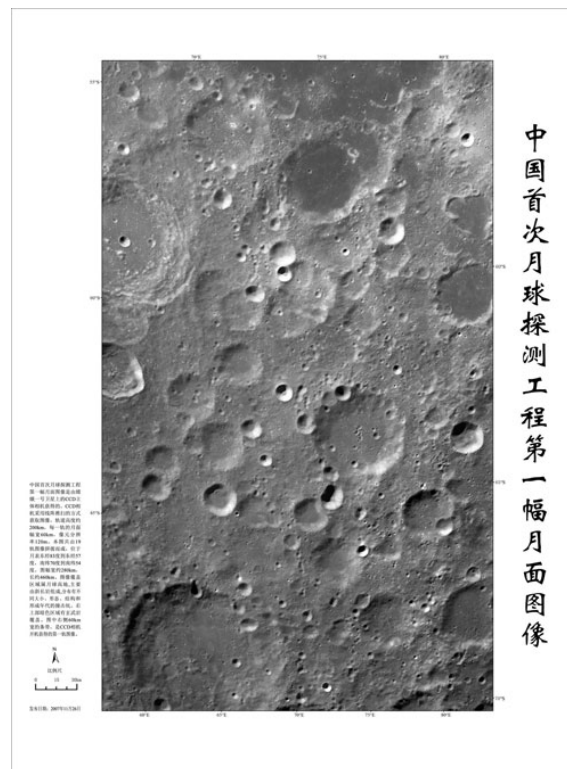


Figura 26: La prima foto della superficie della Luna ripresa da *Chang'e 1*.
Fonte: CNSA.

Nel 2009 è previsto il lancio di una seconda sonda, la *Chang'e 2*, che sarà un miglioramento generale della prima sulla base dei risultati conseguiti.

Seguirà, probabilmente nel 2012, *Chang'e 3*, con l'atterraggio morbido di un rover sulla superficie lunare. Un secondo rover seguirà nel 2017 e riporterà a Terra dei campioni del suolo lunare.

La quarta fase, quella delle missioni con equipaggio, è soggetta allo sviluppo dei voli con la capsula spaziale *Shenzhou*, che ha già portato in volo intorno alla Terra gli astronauti cinesi (i *taikonauti*): il primo nel 2003 e altri due nel 2005.

È programmata per il 2015 una missione *Shenzhou* circumlunare con equipaggio a bordo, dopo una serie di voli con e senza equipaggio che proveranno manovre di rendez-vous e di aggancio. Con il settimo volo, nel corso del 2008, assisteremo alla prima passeggiata spaziale di uno dei tre taikonauti, che saranno a bordo della capsula.

Il Giappone

Il Giappone ha pianificato di far seguire alla sonda lunare *Kaguya/Selene* altri satelliti orbitanti prima di far scendere un veicolo sulla superficie lunare. L'allunaggio, senza equipaggio umano, è attualmente previsto intorno al 2015. Dovrebbe seguire, nelle intenzioni della Jaxa, un secondo lander verso la fine del prossimo decennio, prima dell'esplorazione umana che dovrebbe svilupparsi negli anni '20. Questi progetti, però, non sono ancora stati formalmente autorizzati dalle autorità governative¹²¹.

Le future missioni lunari senza equipaggio sperimenteranno e valuteranno le tecnologie di allunaggio automatico, condurranno analisi scientifici delle risorse minerali e continueranno le osservazioni ambientali.

La sonda del 2015 consisterà, probabilmente, in un lander automatico, un piccolo rover per studiare la superficie ed un mini satellite per il trasferimento dei dati.

Nel frattempo un gruppo di lavoro della Jaxa sta studiando la configurazione di un insediamento umano sulla Luna intorno al 2025. La costruzione di un insediamento lunare umano, se approvata, farà parte del programma a lungo termine per i prossimi venti anni. Questa missione rappresenterà anche un significativo cambiamento nella politica spaziale giapponese, che è stata focalizzata per decenni sulle sonde automatiche scientifiche.

L'India

Vikram A. Sarabhai, il padre del programma spaziale indiano, affermò che *“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 space-flight. 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”*¹²².

Le attività spaziali indiane, scientifiche ed applicative, sono sempre state gestite dalla *Indian Space Research Organization (ISRO)* in linea con questi principi per la soluzione dei problemi naturali e sociali della Nazione. I progetti sono

¹²¹ Paul Kallender-Umezu *“Lunar lander on Japan’s «wish list» for future exploration”* Space News, November 19th, 2007, pag.17.

¹²² International Aeronautical Federation *“Vikram A. Sarabhai (1919-1971)”*
<http://www.iafastro.com/index.php?id=453>.

stati focalizzati principalmente sulle applicazioni spaziali relative all'ambiente, al controllo dei raccolti, alla telemedicina, alle telecomunicazioni ed all'educazione. In questi campi, l'India ha raggiunto risultati di tutto rilievo, che hanno portato ad una felice espansione della sua organizzazione per lo Spazio. Ne sono testimonianza la costituzione del DOS (Department of Space), responsabile delle conduzione delle attività spaziali indiane, e di due agenzie che hanno affiancato l'ISRO, alla quale continua a permanere soprattutto la responsabilità per lo sviluppo dei lanciatori e dei sistemi satellitari.: l'*INSAT (Indian National Satellite)*, per la gestione dei satelliti di telecomunicazioni e meteorologici, e l'*IRS (Indian Remote Sensing)*, per il telerilevamento. Un altro attore chiave delle attività spaziali indiane è la società *Antrix*, che è responsabile di tutte le attività commerciali e di marketing ed è stata costituita dall'ISRO nel 1992.

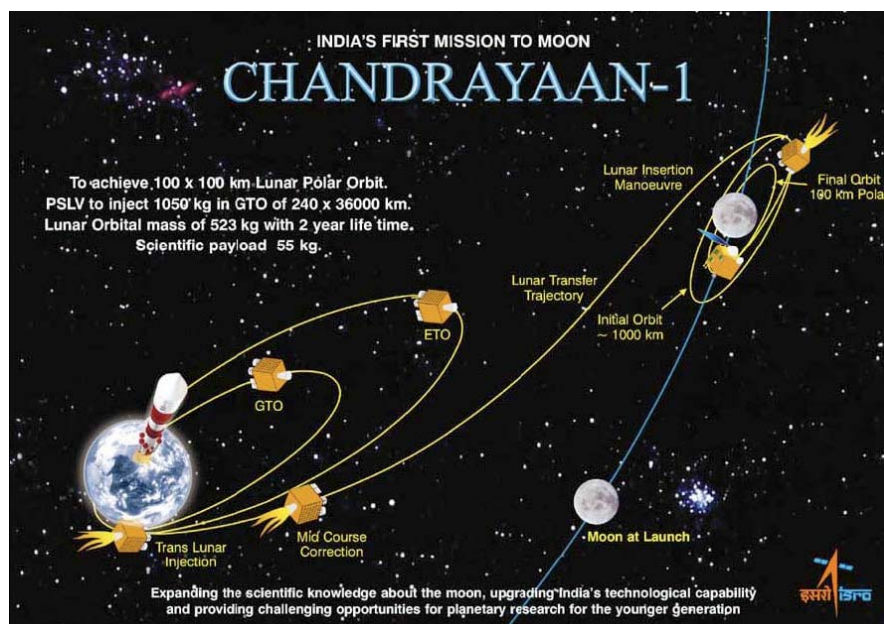


Figura 27: Profilo della missione lunare indiana Chandrayaan-1.
Fonte: ISRO.

Nel 2003 un gruppo di eminenti esperti discusse la possibilità che l'India intraprendesse una missione scientifica verso la Luna. La missione fu da essi caldamente raccomandata, particolarmente alla luce del rinnovato interesse internazionale e delle eccitanti missioni previste per il nuovo millennio. Inoltre, tali missioni offriranno la necessaria spinta alla ricerca scientifica ed ingegneristica nel Paese, con incluse nuove sfide per l'ISRO per andare oltre le orbite geostazionarie¹²³. Con questa cornice, nel novembre dello stesso anno, il Governo approvò la proposta dell'ISRO per la prima missione lunare indiana, la

¹²³ Indian Space Research Organization "About Chandrayaan-1"
http://www.isro.org/chandrayaan/htmls/about_chandrayaan.htm.

Chandrayaan-1, che sarà lanciata nel corso del 2008. Le aree di studio alle quali faranno riferimento gli obiettivi della missione saranno quelle¹²⁴:

- *dell'imaging mineralogico e chimico delle zone sempre in ombra delle regioni polari,*
- *della ricerca in superficie e sotto la superficie del ghiaccio, soprattutto ai poli,*
- *dell'identificazione degli elementi primari delle rocce degli altipiani lunari,*
- *della stratigrafia chimica della crosta lunare,*
- *della mappatura delle principali variazioni delle caratteristiche della superficie lunare, durante la traiettoria del satellite, e*
- *dell'osservazione ai raggi x e della copertura stereografica della superficie lunare, per contribuire ad una miglior comprensione dell'origine e dell'evoluzione del nostro satellite.*

Sul satellite saranno imbarcati anche strumenti europei ed americani, con la sola contropartita della condivisione dei dati.

L'India ha stretto accordi di cooperazione anche con la Cina e con la Russia. Quello con la Russia, che è il più recente, risale al novembre 2007, ha una durata decennale e prevede il lancio di una missione automatica congiunta sulla Luna entro il 2017. La missione sarà il passo successivo a Luna-Glob. India e Russia svilupperanno congiuntamente la sonda, il lander ed il rover. Il lancio verrà effettuato da un centro spaziale indiano.

Infine, ISRO sta studiando anche l'effettuazione nella prossima decade di una missione nazionale di esplorazione con equipaggio e, a tal fine, pensa di inviare un astronauta nello spazio entro il 2014.

L'Unione Europea

Dopo la fattiva partecipazione alla Stazione Spaziale Internazionale (ISS) ed il successo della missione scientifica della sonda MARS EXPRESS, il successivo passo per l'esplorazione europea dello spazio continuerà con lo sviluppo del programma *Aurora*.

Il programma prevede una serie di iniziative per realizzare missioni robotiche ed umane e per incrementare le capacità tecnologiche europee. Sarà il primo passo dell'ESA nell'esplorazione umana dello spazio, oltre le orbite basse della MIR e dell'ISS.

¹²⁴ Indian Space Research Organization "Chandrayaan-1, Announcement of opportunity"
http://www.isro.org/chandrayaan/announcement_1.htm.

Obiettivo principale di *Aurora* è la definizione e la successiva realizzazione di un piano a lungo termine per la partecipazione europea all'esplorazione robotica ed umana di Marte, con la Luna quale tappa intermedia.

Il secondo obiettivo è la ricerca della vita oltre la Terra. Le missioni future nell'ambito del programma trasporteranno carichi utili di carattere esobiologico per accertare la possibile esistenza di forme di vita in altri mondi del sistema solare¹²⁵.

Intorno al 2020 è previsto il ritorno dell'uomo sulla Luna e verso il 2030 l'arrivo su Marte.

Nella prima decade di questo secolo, sono state pianificate delle missioni robotizzate precorritrici e preparatrici di quelle umane. Inizieranno con:

- le *missioni principali (Flagship)*: EXOMARS, programmata per il 2011, e MARS SAMPLE RETURN, con lancio previsto nel 2016;
- le *missioni Arrow*, che sono missioni tecnologiche per ridurre il rischio delle missioni flagship.

Delle seconde fanno parte la *Earth re-entry vehicle/capsule* e la *Mars aerocapture demonstrator*. Con la prima, un piccolo veicolo spaziale verrà posto in orbita fortemente ellittica intorno alla Terra e quindi propulso verso la Terra, per simulare le condizioni del ritorno di una capsula interplanetaria. Con la seconda missione Arrow, si tenderà a convalidare la tecnica di aerocattura. L'uso di questa tecnica potrà ridurre significativamente la quantità di carburante necessaria per una missione verso Marte. Una volta convalidata potrà essere utilizzata nelle missioni flagship ed eventualmente anche in quelle umane.

I principali obiettivi tecnologici di EXOMARS prevedono l'acquisizione della capacità di entrare nell'orbita marziana e di poter manovrare per far discendere ed atterrare sul pianeta un carico utile di significative dimensioni, nonché di muoversi sulla superficie ed accedere al sottosuolo. Gli obiettivi scientifici tendono a recuperare eventuali tracce di vita passata e presente, a definire la geochimica e la distribuzione dell'acqua su Marte, a migliorare la conoscenza dell'ambiente e della geofisica del Pianeta e ad identificare i rischi al suolo per le missioni umane.

Gli sviluppi tecnologici di EXOMARS costituiranno il contributo di base per la ben più complessa missione *Mars sample return (MSR)*. Questa missione flagship necessiterà di cinque veicoli spaziali: uno per il trasferimento Terra-Marte, uno per orbitare intorno a Marte (orbiter), un modulo di discesa, un modulo di ascesa e un veicolo di rientro a Terra. A bordo della piattaforma di atterraggio del modulo di discesa ci sarà uno strumento per raccogliere campioni ed un veicolo per l'ascesa¹²⁶.

¹²⁵ European Space Agency "More about Aurora"
http://www.esa.int/SPECIALS/Aurora/SEMZOS39ZAD_2.html.

¹²⁶ Sarah Smart "Aurora programme" http://www.aurora.rl.ac.uk/Aurora_info.htm.

Una volta che i campioni di suolo marziano saranno stati raccolti, essi verranno caricati sul veicolo di ascesa. Questo sarà quindi lanciato in orbita per un rendez-vous con il veicolo di rientro. Dopo il rendez-vous, il veicolo di rientro ritornerà sulla Terra con un'orbita balistica. I campioni, una volta a Terra, saranno immagazzinati ed isolati in un'apposita infrastruttura per prevenire la loro contaminazione e permettere agli scienziati di analizzarli in sicurezza.

La MSR, oltre ad avere un'importanza scientifica cruciale, sarà la prima missione robotizzata con un profilo simile ad una missione umana su Marte.

A queste attività di preparazione delle missioni umane, vanno aggiunte la continuazione delle attività sulla ISS, disponibile per ancora una quindicina di anni e tappa verso la Luna, e la probabile collaborazione con la Russia e, forse, anche con il Giappone per lo sviluppo di *Clipper*, un sistema riusabile di accesso allo spazio.

Un aspetto chiave del programma è rappresentato dall'intenzione di continuare nella collaborazione internazionale, perché, oltre a ridurre i costi, permette ai Paesi coinvolti di scambiarsi le rispettive esperienze.

Come si vede, questo programma è decisamente orientato verso l'esplorazione di Marte e nei documenti pubblici poco risulta della tappa intermedia sulla Luna. Tuttavia, i successi dell'ESA per la conoscenza della Luna sono ben noti. Grande testimonianza ne sono il progetto Smart-1 e la partecipazione a Chang'e 1, per citare solo le più recenti attività.

Un cenno va anche dato, per il contributo che offrirà allo sviluppo delle attività di esplorazione, al pienamente riuscito lancio dell'*Automated Transfer Vehicle (ATV)* dell'ESA, *Jules Verne*, del 9 marzo 2008. È il primo veicolo spaziale in grado di condurre in modo automatico ed in sicurezza la manovra di aggancio. Con un lunghezza di oltre 10 m. ed un diametro di 4,5 m., potrà trasportare un carico utile pari a tre volte quello della russa Soyuz, attualmente 4,6 t. che diventeranno 7,4 nelle future missioni verso la ISS.



Figura 28: Visione artistica dell'ATV "*Jules Verne*".
Fonte: ESA.

CAPITOLO 7

Considerazioni conclusive

Il nuovo millennio ha portato con sé il rinnovato interesse per la Luna da parte delle Nazioni maggiormente impegnate nello Spazio. Hanno programmato nuove missioni scientifiche e tecnologiche, prima automatiche e poi condotte dall'uomo, questa volta con l'obiettivo preciso, per talune più sentito, per altre meno, di arrivare sul nostro Satellite e restarvi. Da qui sono già stati previsti ulteriori balzi verso i confini del nostro Sistema solare. Tutto per soddisfare l'incontenibile sete umana di conoscenza, ma anche per trovare nuove risorse per far fronte ad una situazione terrestre che potrebbe divenire critica, dopo uno sviluppo del nostro mondo non sempre razionale ed equilibrato.

L'annuncio del Presidente americano, con la sua Vision for Space Exploration, ha dato il via formale alla seconda corsa allo Spazio e ad una rinnovata competizione, che si spera sia leale ed indirizzata al bene dell'umanità. Competizione che non sarà più tra due superpotenze, ma tra più concorrenti, Europa ed Italia comprese, nonostante le indecisioni od gli apparentemente diversi orientamenti delle rispettive Agenzie, ESA ed ASI, non condivisi dalla comunità spaziale, scientifica ed industriale, come decisamente emerso dai risultati della conferenza internazionale *Moon Base: a challenge for humanity*.

Andare sulla Luna per impiantarvi un insediamento umano, la Jamestown spaziale, e sfruttarne le risorse, con la prospettiva di Marte, sono passaggi che saranno cruciali per l'umanità ed obiettivi decisamente più impegnativi di quelli della prima corsa. Si apriranno necessariamente significative ed interessanti aree di collaborazione. Gli attori non potranno più essere solo le organizzazioni pubbliche, anche se dovranno essere sempre loro a farsi carico della realizzazione del progetto, ma ci sarà posto anche per quelle private nello sviluppo delle nuove tecnologie, la gestione e lo sfruttamento delle nuove potenzialità, in un contesto di nuovi liberi mercati di idee e di impresa.

Naturalmente, dovranno essere stabilite le regole di questi nuovi mercati, per evitare l'insorgere di monopoli. A questa preoccupazione potrà far fronte il set delle norme internazionali, preventivamente rivisto in un negoziato internazionale che tenga conto delle esigenze della nuova situazione, in particolare per lo sfruttamento delle risorse lunari, come accennato nel Capitolo 4.

Tornando alle possibilità di cooperazione, è indubbio, per i motivi ben noti, che gli Stati Uniti avranno una posizione di leadership nei nuovi programmi, ma non potranno non aderire a cooperazioni bilaterali o multilaterali, in considerazione delle ingenti risorse economiche e tecniche necessarie, come peraltro dichiarato da tutte le loro maggiori autorità e nonostante la direttiva sulla politica spaziale americana di Bush. Non saranno forse pronti a partire immediatamente con accordi con i maggiori attori spaziali, perché prima intendono risolvere il problema del trasporto spaziale, vista la situazione dello Shuttle, in quanto lo ritengono di importanza strategica. Infatti, gli Stati Uniti hanno manifestato il loro interesse alla leadership nelle attività di trasporto, nelle due direzioni tra la Terra e la Luna, e negli aspetti operativi della missione.

In ogni caso esistono già importanti opportunità per una diretta partecipazione al programma come partner di primo livello. L'Italia, ad esempio, potrebbe candidarsi ad assumere la responsabilità di “*pacchi di lavoro*”, nell'ambito del coordinamento di una missione a leadership NASA. La partecipazione nazionale potrebbe interessare tre filoni principali:

- *il supporto alla permanenza degli Astronauti sulla Luna (Life Support),*
- *il supporto allo svolgimento delle missioni (Mission Support),*
- *l'utilizzazione delle risorse lunari a fini scientifici e tecnologici (Applications).*

Per confermare le sue capacità alla direzione di queste attività, l'Italia dovrebbe lanciare l'iniziativa per lo sviluppo di una struttura che consenta l'acquisizione delle tecnologie abilitanti

Occorre, però, definire preventivamente e con precisione le funzioni, che dovrà assolvere questa struttura, ed essere convinti che la sua realizzazione sarà molto importante per il futuro assetto scientifico ed industriale del settore in Italia.

Moon Base, come tutti i grandi progetti che coinvolgono più filiere di produzione (in questo caso sono, di fatto, tutte coinvolte), richiede, a fronte di un obiettivo finale molto ambizioso, lo sviluppo di notevoli tecnologie intermedie. Queste costituiscono i vari spin-in/spin-off fra le varie filiere di produzione. In questa ottica, il progetto Moon Base è strategico non solo nel settore aerospaziale. La struttura, che abbiamo intravisto, sarà lo strumento per sviluppare in modo organico queste tecnologie intermedie, garantendo al contempo la giusta “*intermediazione tecnologica*”, necessaria per passare da semilavorati di ricerca e sviluppo a veri e propri prodotti innovativi.

In sintesi, si può pensare questa struttura come lo strumento di governance del programma Moon Base, in cui siano coinvolti sia i centri “di produzione”, sia le strutture preposte alla gestione dell'innovazione tecnologica.

Non ci si dovrà limitare, cioè, all'acquisizione delle tecnologie abilitanti, ma ci si dovrà preoccupare anche dello sfruttamento economico dei prodotti intermedi. E, qui, un forte legame potrebbe essere trovato con gli obiettivi dello “*Strategic*

EnergyTechnology Plan (SET Plan)” della Commissione Europea, con il quale si intenderebbe riportare l’innovazione tecnologica al centro delle strategie per ridurre le emissioni di gas serra e per garantire la sicurezza degli approvvigionamenti energetici¹²⁷. È attesa, in questo settore, una rivoluzione tecnologica in comparti che hanno molte e decise affinità con quelli che dovranno assicurare la fattibilità del ritorno sulla Luna, per restarvi.

Ma su questa struttura, che chiameremo *Moon Laboratory* o, più brevemente, *Moonlab*, e sulle sue motivazioni e le sue funzioni ci soffermeremo poco più avanti, dopo aver completato le riflessioni sulla cooperazione internazionale, in particolare sulla sua strutturazione.

La struttura della cooperazione internazionale

La miglior soluzione per la cooperazione internazionale sarà, in ogni caso, quella di promuoverla sotto l’egida dell’ONU, perché solo in questo modo si potrà garantire a tutti la possibilità di partecipare all’esplorazione e sfruttamento della Luna, senza, tuttavia, trascurare il giusto riconoscimento degli sforzi rilevanti che saranno sostenuti da coloro che daranno inizio all’avventura. Più precisamente, queste due esigenze potrebbero essere soddisfatte, senza provocare pericolose contrapposizioni, con l’istituzione di una fondazione internazionale di diritto ONU, che preveda membri fondatori e membri associati. La regolamentazione, alla quale dovranno uniformarsi le sue attività, potrà essere elaborata sulla falsa riga di quella di altre forme di cooperazione internazionale, che presumono situazioni assimilabili, come ad esempio l’*International Telecommunication Union (ITU)*, prevedendo, tra l’altro, un comitato internazionale che sovrintenda all’assegnazione del diritto di utilizzazione delle risorse in una determinata regione della Luna e controlli che tale utilizzazione avvenga secondo le regole concordate¹²⁸.

Indispensabile premessa a questa istituzione, per poter gestire con efficacia ed efficienza un sistema complesso e dinamico, quale sarà Moon Base, è il raggiungimento di un preciso accordo tra i promotori, che stabilisca un chiaro ed effettivo punto di partenza e configuri un progetto di programma realistico e preciso, ma allo stesso tempo renda possibile il coinvolgimento nel progetto,

¹²⁷ ENEA “*Dossier – Tecnologie per l’energia: quali innovazioni e strategie industriali in Europa? Il SET Plan e le sue proposte*” Workshop “*Tecnologie per l’energia: quali innovazioni e strategie industriali in Europa? Il SET Plan e le sue proposte*” Roma, 18 marzo 2008.

¹²⁸ Christopher Vizas “*Thoughts on Governance and Legal Structures for Investment on the Moon*” MOON BASE: A Challenge for Humanity, 2nd Workshop, Washington, October, 11th-12th, 2005 www.moonbase-italia.org/homepage.html.

passo dopo passo, di nuovi attori, pubblici e privati¹²⁹.

Il passo successivo è la corretta definizione di un obiettivo minimo, che potrà caratterizzare positivamente l'impresa se si riuscirà a vederlo come un processo e non come una semplice meta.

Terzo importante punto di partenza è la previsione per l'inclusione nel consiglio di amministrazione della fondazione anche dei nuovi partecipanti, con quote che varieranno nel tempo in funzione del rispettivo coinvolgimento nel programma.

Il Consiglio di Amministrazione sarà una delle due entità che assicureranno la gestione del progetto, l'altra sarà il Consiglio Tecnico.

All'inizio, il Consiglio di Amministrazione sarà composto dai promotori, con quote proporzionali al loro impegno finanziario. Con l'ingresso di quelli che si uniranno a Moon Base progetto durante, le quote dei promotori non potranno scendere al disotto del 40% del totale. Il consiglio sarà responsabile della direzione del progetto in tutti i suoi aspetti, compresa l'emissione delle richieste di offerta da parte di attori pubblici e privati, che intendano partecipare all'attuazione del progetto.

Invece, la definizione dei requisiti dei singoli pacchetti lavoro, che saranno oggetto delle richieste di offerta, rientrerà nei compiti del Consiglio Tecnico, che sarà anche responsabile della selezione delle migliori offerte.

La disponibilità delle tecnologie, sviluppate durante la vita del progetto, sarà limitata ai membri del consiglio di gestione sino alla copertura dei costi sostenuti. Dopo, si procederà alla più larga diffusione dei risultati conseguiti, per il progresso sociale ed economico dell'umanità.

Ma la motivazione base, perché l'ONU deve essere coinvolta già nelle fasi che precederanno lo sfruttamento delle risorse lunari, è che questa è una situazione del tutto nuova, in quanto non si era mai presentata all'umanità l'opportunità ed il problema dell'uso di beni non terrestri.

In ogni caso, un primo significativo passo avanti verso una corretta ed efficace cooperazione internazionale è stato fatto con il documento "*The global exploration strategy – The framework for coordination*", che è stato, come ricordato nel Capitolo 6, il risultato della riunione a cui hanno partecipato 14 agenzie spaziali, tra le quali l'ESA e l'ASI, che si è tenuta, tra il 9 ed il 12 maggio 2006, in Italia, nell'abbazia di Spineto, vicino a Siena.

Il Moon Laboratory

Il programma di esplorazione della Luna deve fronteggiare anche dei fattori che

¹²⁹ Martino e Lorenzo Lo Cascio "*Technological Shift and Soft Competition as Guidelines for Decision Making in the Moon Base Project*" A Challenge for Humanity, 2nd Workshop, Washington, October, 11th-12th, 2005 www.moonbase-italia.org/homepage.html.

potrebbero creare serie difficoltà alla sua continuità, quali:

- *i costi;*
- *la durata, che va ben oltre i normali cicli politici ed economici;*
- *la necessità di salvaguardare la propensione al finanziamento (willingness-to-pay) per l'intero programma, in particolare oltre la vita dei Governi e delle singole legislature.*

Per superare questi ostacoli, bisogna conseguire dei risultati nel breve e medio periodo da offrire ai Governi ed a tutti quelli che possono influenzare il consenso all'iniziativa.

D'altro canto, in questo momento nessuno è in grado di presentare un progetto consolidato per perseguire la presenza permanente dell'uomo su un altro Pianeta, perché lo stato della tecnologia spaziale non è nelle condizioni di poter soddisfare tutti i requisiti. È preventivamente necessario affrontare e vincere nuove sfide tecnologiche.

Siamo tenuti, in primo luogo, a preparare noi stessi alla condivisione delle risorse, per poter utilizzare i risultati già conseguiti dalle industrie e dai centri di ricerca, da iniziative pubbliche e private, dai diversi Paesi e dalle Agenzie internazionali. Dobbiamo unire in modo sinergico le esperienze, le competenze e le strutture esistenti in unica rete dedicata all'esplorazione umana dello Spazio.

Per fare questo, sarà fondamentale un luogo comune, un laboratorio comune: la struttura per la quale abbiamo suggerito che l'Italia si faccia promotrice ed alla quale far poi aderire le organizzazioni interessate di altri Paesi, in particolare di quelli europei. Un *Moonlab*, che sarà una rete di laboratori dove si potranno definire i requisiti, studiare le ipotesi tecniche, realizzare i modelli matematici e sperimentali, effettuare le prove ed eventualmente mettere a punto attività sperimentali abilitanti da condurre in orbita o sulla superficie lunare.

Con una tale operazione si potrà:

- *supportare industrie, università e centri di ricerca fornendo loro un ambiente attrezzato per lo svolgimento delle necessarie attività di ricerca e sviluppo;*
- *acquisire le tecnologie abilitanti necessarie al programma;*
- *permettere alle aziende e agli enti pubblici interessati di unire le proprie competenze e capacità, per farle evolvere in un unico sistema integrato;*
- *vincolare le attività legate a Moon Base in un ambiente territoriale definito, in cui le esperienze acquisite, grazie alle economie di rete derivate, possano essere reindirizzate verso nuove applicazioni di Moon Base;*
- *gestire le ricadute (spin-off) di tale programma sin dalla fase di preparazione dello stesso e massimizzare il vantaggio competitivo del sistema industriale nazionale;*
- *consentire lo sviluppo di nuove aziende connesse a Moon Base, siano essi spin-in oppure spin-off del programma.*

Il network, garantendo il più ampio e corretto sfruttamento delle tecnologie e dei servizi intermedi sviluppati dai partners, permetterà di dare, durante lo svolgimento del programma, quei risultati necessari per assicurare la continuità nella *willingness-to-pay*. È anche per raggiungere tale obiettivo che si ritiene assolutamente cruciale lo sviluppo di una struttura dove ci siano le capacità necessarie e dove si possa “*accumulare*” e “*interscambiare*” il know-how della rete¹³⁰.

Moonlab sarà organizzato in sottoreti tematiche (ad esempio, mission support, life Support, applications, etc.). Ogni sottorete includerà un centro principale, il nodo primario della sottorete, dove saranno collocate le più importanti capacità, esistenti od in sviluppo. Ogni nodo primario funzionerà come punto di gestione e di raccolta della conoscenza della rispettiva sottorete.

Una nuova sottorete potrà essere istituita, quando una tematica assumerà particolare importanza, ed il nodo, che la gestiva in precedenza in un'altra sottorete, diverrà il centro della nuova. Analogo processo in senso inverso avverrà quando un certo tema sarà stato trattato in modo completamente esauriente.

La gestione della rete sarà assicurata nel rispetto dei regolamenti e delle leggi dei Paesi e delle istituzioni partecipanti. Saranno anche garantite le giuste aspettative dei partecipanti, in linea con quanto proposto per la cooperazione internazionale.

Le implicazioni per la sicurezza

Tutte queste eccezionali aspettative, che sono state aperte dalla rinnovata volontà delle maggiori potenze spaziali per l'esplorazione dello spazio, ad iniziare dalla Luna, hanno confermato, se ce n'era bisogno, l'enorme importanza e strategicità dello spazio per l'economia globale e della assoluta necessità di proteggere gli assetti spaziali per promuovere il libero uso dello Spazio a

¹³⁰ Si consideri ad esempio il settore europeo della Fisica delle Alte Energie, in cui l'Italia riveste un ruolo d'eccellenza. Questo settore ha vinto la competizione con i colleghi statunitensi proprio grazie all'esistenza di una struttura comune quale il CERN. Questo ha permesso da un lato di unire le risorse disponibili, fino ad allora frammentate, intorno a programmi comuni; dall'altro ha consentito lo sviluppo delle tecnologie necessarie per la realizzazione dei grandi progetti. La mancata gestione dell'innovazione tecnologica ha però impedito che il successo scientifico si tramutasse in un vantaggio competitivo dell'industria europea. A tale riguardo possiamo ricordare che Netscape, il primo browser per il World Wide Web ad avere un'ampia diffusione, è stato realizzato da una New Company di un ricercatore statunitense, visitor del CERN, che ha chiesto ed ottenuto l'utilizzo dello strumento sviluppato per gli esperimenti UA1 (quello a base del Nobel a C. Rubbia) e UA2, per gestire in rete la collaborazione internazionale. La stessa tecnologia era stata più volte proposta da componenti del CERN a diverse industrie europee, senza successo.

beneficio di tutti. Sia da pericoli naturali, come i detriti, che da azioni ostili da parte di Stati o di organizzazioni terroristiche.

Pertanto, le tematiche della Luna e delle successive tappe dell'esplorazione dello Spazio devono interessare, come già avviene per tutte le altre missioni spaziali, non solo le istituzioni civili, ma anche quelle militari. *“Protecting space-based assets is now the top priority for the U.S. Air Force Space Command”* ha dichiarato il suo Comandante¹³¹.

Si aggiunga anche che il diritto internazionale lascia i Paesi liberi di costruire stazioni spaziali, anche se finalizzate ad attività militari, purché non si infranga l'*Outer Space Treaty*, che proibisce il trasporto e la sperimentazione nello Spazio delle armi nucleari e delle altre armi di distruzione di massa¹³².

Resta, tuttavia, qualche interrogativo la politica spaziale americana, che si è assegnata il diritto di intervento sugli altri operatori spaziali in funzione della sicurezza nazionale. Al di là delle assicurazioni sulla volontà di promuovere la cooperazione internazionale e, quindi, del riconoscimento del multilateralismo quale naturale evoluzione degli eventi relativi all'Esospazio, alcuni passi della direttiva della Casa Bianca fanno pensare ad una affermazione di supremazia nello Spazio esterno¹³³.

Un'altro segnale di competizione, che potrebbe non essere completamente aperta e trasparente, in questa nuova corsa allo Spazio, ci arriva dalla recente scoperta dell'episodio di spionaggio ai danni dello Space Shuttle americano da parte di agenti del Governo cinese¹³⁴.

Ulteriori quesiti sono stati posti nei mesi scorsi dall'esperimento cinese di un sistema orbitale antisatellite (*Asat*), che ha aggiunto altri detriti nello Spazio, ma, soprattutto, ha segnato un passo avanti nella militarizzazione dello spazio ed ha confermato le possibilità di minaccia ai sistemi spaziali.

L'esplorazione dello Spazio riveste, già di per sé, aspetti decisamente strategici per lo sviluppo dei lineamenti di politica di sicurezza nazionale di un Paese. Non per niente tutti i documenti programmatici americani del settore fanno sempre riferimento alla sicurezza nazionale.

I punti lagrangiani, in particolare LL_1 ed LL_2 , ma anche EL_1 ed EL_2 , costituiscono delle posizioni da dove possono essere condotte in modo vantaggioso operazioni per conseguire risultati validi per la scienza, per il commercio relativo al supporto alle attività sulla superficie lunare, ma anche per la sicurezza nazionale. La relativamente bassa energia, richiesta per muoversi tra di essi e verso le altre destinazioni spaziali, fanno di loro le ubicazioni ideali per

¹³¹ Robert K. Ackerman *“Operations boost importance of Space assets”* SIGNAL, AFCEA's International Journal, January, 2008, pag. 45.

¹³² Giancarlo Elia Valori *“Geopolitica dello Spazio”* Rizzoli, 2006, pag. 15-24.

¹³³ Pietro Scagliusi *“Gli Stati Uniti e lo Spazio”* Rivista Marittima, giugno 2007.

¹³⁴ Federico Rampini *“Così la Cina ha rubato i segreti dello Shuttle”* La Repubblica, 12 febbraio 2008.

il trasferimento di infrastrutture, mezzi ed elementi di supporto, ma anche per la collocazione di stazioni permanenti di transito e di osservazione od impiego di sistemi militari. Sistemi che – dovendo operare per lungo tempo nello Spazio – avranno bisogno di essere riparati od aggiornati, rischierati, trasferiti e riforniti. Affinché queste attività siano soddisfatte, con gli stessi sistemi e nelle stesse collocazioni valide per gli altri settori presenti in questa seconda corsa allo spazio, si sta adoperando uno specifico gruppo di lavoro americano, il *FISO* (*Future In-Space Operations*)¹³⁵.

L'energia solare potrà essere raccolta o, meglio, convogliata da sistemi in microonde, collocati nelle orbite ad alone, verso la Terra, dopo essere stata raccolta in provenienza diretta dal Sole o da infrastrutture sulla superficie lunare. Questa possibilità sta interessando da vicino il Pentagono¹³⁶, che ha istituito un gruppo di studio per il progetto denominato *Space Based Solar Power (SBSP)*. Nelle sue conclusioni il gruppo ha evidenziato come il DoD potrebbe essere tra i primi consumatori di energia solare dallo Spazio, perché ha urgente, larga e critica necessità di sicura ed affidabile energia per le zone delle operazioni militari. Attualmente esso spende \$ 1 per kilowatt/ora per l'energia elettrica per i teatri operativi, che anche se è già un prezzo superiore a quello pagato nei territori domestici, non include e non può includere il costo per le vite perse per difendere in quelle zone i rifornimenti di petrolio, dal quale generare l'energia elettrica. In altri termini, l'energia solare dallo Spazio permetterebbe, quantomeno, di salvare le vite di uomini e donne, impiegati in tali servizi.

Lo sviluppo significativo ed ineludibile dell'impiego dell'energia nucleare nelle attività spaziali richiederà non poche attenzioni, oltre che per la “*safety*”, anche per la “*security*”.

L'osservazione della Terra o le comunicazioni dalla Luna, od attraverso sistemi orbitanti nei punti lagrangiani, non potranno non avere conseguenze sulle pianificazioni delle attività militari.

Siamo tornati ancora una volta a citare i libration points e le orbite ad essi connessi, perché saranno le posizioni basilari di accesso allo Spazio profondo e, purtroppo, anche di collocazione di eventuali sistemi d'arma orbitanti. Chi governerà questi punti avrà una posizione di supremazia nella “*Earth's Neighborhood*”.

C'è, in definitiva, più di un motivo per rinvigorire il confronto sulla militarizzazione dello Spazio e per confermare la necessità che le Nazioni Unite

¹³⁵ Harley A. Thronson “*Logistics in NASA'S Exploration Architecture and Major Science. Goals in Space*” *Logistics Spectrum*, SOLE – The International Society of Logistics, Vol. 41, No. 1, 2007, p. 4 <http://www.futureinspaceoperations.com/papers/Thronson%20Spectrum%20article,%20V41%20No%201.pdf>.

¹³⁶ Parlando ad un incontro sull'energia solare trasmessa dallo spazio, un rappresentante del National Security Space Office del Pentagono ha osservato che c'è una “*compelling synergy between energy security, space security and national security*” (Leonard D. Breckenridge “*Pentagon intrigued by potential of Space solar power*” *Space News*, october 8th, 2007, pag. 24).

esercitino un ruolo guida, al fine di salvaguardare una corretta, pacifica ed universale utilizzazione delle risorse dell'Esospazio, ad iniziare da quelle della Luna, senza ovviamente disconoscere il giusto ritorno per chi si impegnerà con risorse umane, tecnologiche e finanziarie.

Infine, non possiamo concludere lo studio senza l'auspicio che la presenza – entusiasta, corretta e generosa – dell' uomo sulla Luna eviti di dare cittadinanza alle riflessioni dello scrittore tedesco Übert Ernst Jünger, che nel 1965, durante un viaggio a Formosa, osservò come il passaggio della tecnica moderna si manifesti non tanto nei suoi prodotti, quanto piuttosto nei suoi rifiuti: *quantunque ci si spinga nelle profondità del Sahara o ci si avvicini ai Poli, le bottiglie di Coca Cola e alcune marche di sigarette sono inevitabili.....essi (i rifiuti) saranno anche le prime tracce lasciate dall'uomo sulla Luna*¹³⁷.

Le missioni Apollo hanno già smentito questa dura osservazione, che anche le future missioni seguano la stessa via!

¹³⁷ Hans Blumenberg “Jünger: non sporcate la Luna” Il Sole-24 Ore, 17 febbraio 2008, pag. 35.

Appendice 1

Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies

The States Parties to this Agreement,

Noting the achievements of States in the exploration and use of the Moon and other celestial bodies,

Recognizing that the Moon, as a natural satellite of the Earth, has an important role to play in the exploration of outer space,

Determined to promote on the basis of equality the further development of cooperation among States in the exploration and use of the Moon and other celestial bodies,

Desiring to prevent the Moon from becoming an area of international conflict,

Bearing in mind the benefits which may be derived from the exploitation of the natural resources of the Moon and other celestial bodies,

Recalling the Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies,¹ the Agreement on the Rescue of Astronauts, the Return of Astronauts and the Return of Objects Launched into Outer Space,² the Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects,³ and the Convention on Registration of Objects Launched into Outer Space,⁴

Taking into account the need to define and develop the provisions of these international instruments in relation to the Moon and other celestial bodies, having regard to further progress in the exploration and use of outer space,

Have agreed on the following:

⁴Resolution 3235 (XXIX), annex.

Article 1

1. The provisions of this Agreement relating to the Moon shall also apply to other celestial bodies within the solar system, other than the Earth, except insofar as specific legal norms enter into force with respect to any of these celestial bodies.
2. For the purposes of this Agreement reference to the Moon shall include orbits around or other trajectories to or around it.
3. This Agreement does not apply to extraterrestrial materials which reach the surface of the Earth by natural means.

Article 2

All activities on the Moon, including its exploration and use, shall be carried out in accordance with international law, in particular the Charter of the United Nations, and taking into account the Declaration on Principles of International Law concerning Friendly Relations and Cooperation among States in accordance with the Charter of the United Nations,⁵ adopted by the General Assembly on 24 October 1970, in the interest of maintaining international peace and security and promoting international cooperation and mutual understanding, and with due regard to the corresponding interests of all other States Parties.

⁵Resolution 2625 (XXV), annex.

Article 3

1. The Moon shall be used by all States Parties exclusively for peaceful purposes.
2. Any threat or use of force or any other hostile act or threat of hostile act on the Moon is prohibited. It is likewise prohibited to use the Moon in order to commit any such act or to engage in any such threat in relation to the Earth, the Moon, spacecraft, the personnel of spacecraft or man-made space objects.
3. States Parties shall not place in orbit around or other trajectory to or around the Moon objects carrying nuclear weapons or any other kinds of weapons of mass destruction or place or use such weapons on or in the Moon.
4. The establishment of military bases, installations and fortifications, the testing of any type of weapons and the conduct of military manoeuvres on the Moon shall be forbidden. The use of military personnel for scientific research or for any other peaceful purposes shall not be prohibited. The use of any equipment or facility necessary for peaceful exploration and use of the Moon shall also not be prohibited.

Article 4

1. The exploration and use of the Moon shall be the province of all mankind and shall be carried out for the benefit and in the interests of all countries, irrespective of their degree of economic or scientific development. Due regard shall be paid to the interests of present and future generations as well as to the need to promote higher standards of living and conditions of economic and social progress and development in accordance with the Charter of the United Nations.
2. States Parties shall be guided by the principle of cooperation and mutual assistance in all their activities concerning the exploration and use of the Moon. International cooperation in pursuance of this Agreement should be as wide as possible and may take place on a multilateral basis, on a bilateral basis or through international intergovernmental organizations.

Article 5

1. States Parties shall inform the Secretary-General of the United Nations as well as the public and the international scientific community, to the greatest extent feasible and practicable, of their activities concerned with the exploration and use of the Moon. Information on the time, purposes, locations, orbital parameters and duration shall be given in respect of each mission to the Moon as soon as possible after launching, while information on the results of each mission, including scientific results, shall be furnished upon completion of the mission. In the case of a mission lasting more than sixty days, information on conduct of the mission, including any scientific results, shall be given periodically, at thirty-day intervals. For missions lasting more than six months, only significant additions to such information need be reported thereafter.
2. If a State Party becomes aware that another State Party plans to operate simultaneously in the same area of or in the same orbit around or trajectory to or around the Moon, it shall promptly inform the other State of the timing of and plans for its own operations.
3. In carrying out activities under this Agreement, States Parties shall promptly inform the Secretary-General, as well as the public and the international scientific community, of any phenomena they discover in outer space, including the Moon, which could endanger human life or health, as well as of any indication of organic life.

Article 6

1. There shall be freedom of scientific investigation on the Moon by all States Parties without discrimination of any kind, on the basis of equality and in accordance with international law.
2. In carrying out scientific investigations and in furtherance of the provisions of this Agreement, the States Parties shall have the right to collect on and remove from the Moon samples of its mineral and other substances. Such samples shall remain at the disposal of those States Parties which caused them to be collected and may be used by them for scientific purposes. States Parties shall have regard to the desirability of making a portion of such samples available to other interested States Parties and the international scientific community for scientific investigation. States Parties may in the course of scientific investigations also use mineral and other substances of the Moon in quantities appropriate for the support of their missions.
3. States Parties agree on the desirability of exchanging scientific and other personnel on expeditions to or installations on the Moon to the greatest extent feasible and practicable.

Article 7

1. In exploring and using the Moon, States Parties shall take measures to prevent the disruption of the existing balance of its environment, whether by introducing adverse changes in that environment, by its harmful contamination through the introduction of extra-environmental matter or otherwise. States Parties shall also take measures to avoid harmfully affecting the environment of the Earth through the introduction of extraterrestrial matter or otherwise.
2. States Parties shall inform the Secretary-General of the United Nations of the measures being adopted by them in accordance with paragraph 1 of this article and shall also, to the maximum extent feasible, notify him in advance of all placements by them of radioactive materials on the Moon and of the purposes of such placements.
3. States Parties shall report to other States Parties and to the Secretary-General concerning areas of the Moon having special scientific interest in order that, without prejudice to the rights of other States Parties, consideration may be given to the designation of such areas as international scientific preserves for which special protective arrangements are to be agreed upon in consultation with the competent bodies of the United Nations.

Article 8

1. States Parties may pursue their activities in the exploration and use of the Moon anywhere on or below its surface, subject to the provisions of this Agreement.
2. For these purposes States Parties may, in particular:
 - (a) Land their space objects on the Moon and launch them from the Moon;
 - (b) Place their personnel, space vehicles, equipment, facilities, stations and installations anywhere on or below the surface of the Moon. Personnel, space vehicles, equipment, facilities, stations and installations may move or be moved freely over or below the surface of the Moon.
3. Activities of States Parties in accordance with paragraphs 1 and 2 of this article shall not interfere with the activities of other States Parties on the Moon. Where such interference may occur, the States Parties concerned shall undertake consultations in accordance with article 15, paragraphs 2 and 3, of this Agreement.

Article 9

1. States Parties may establish manned and unmanned stations on the Moon. A State Party establishing a station shall use only that area which is required for the needs of the station and shall immediately inform the Secretary-General of the United Nations of the location and purposes of that station. Subsequently, at annual intervals that State shall likewise inform the Secretary-General whether the station continues in use and whether its purposes have changed.
2. Stations shall be installed in such a manner that they do not impede the free access to all areas of the Moon of personnel, vehicles and equipment of other States Parties conducting activities on the Moon in accordance with the provisions of this Agreement or of article I of the Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies.

Article 10

1. States Parties shall adopt all practicable measures to safeguard the life and health of persons on the Moon. For this purpose they shall regard any person on the Moon as an astronaut within the meaning of article V of the Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies and as part of the personnel of a spacecraft within the meaning of the Agreement on the

Rescue of Astronauts, the Return of Astronauts and the Return of Objects Launched into Outer Space.

2. States Parties shall offer shelter in their stations, installations, vehicles and other facilities to persons in distress on the Moon.

Article 11

1. The Moon and its natural resources are the common heritage of mankind, which finds its expression in the provisions of this Agreement, in particular in paragraph 5 of this article.
2. The Moon is not subject to national appropriation by any claim of sovereignty, by means of use or occupation, or by any other means.
3. Neither the surface nor the subsurface of the Moon, nor any part thereof or natural resources in place, shall become property of any State, international intergovernmental or non-governmental organization, national organization or non-governmental entity or of any natural person. The placement of personnel, space vehicles, equipment, facilities, stations and installations on or below the surface of the Moon, including structures connected with its surface or subsurface, shall not create a right of ownership over the surface or the subsurface of the Moon or any areas thereof. The foregoing provisions are without prejudice to the international regime referred to in paragraph 5 of this article.
4. States Parties have the right to exploration and use of the Moon without discrimination of any kind, on the basis of equality and in accordance with international law and the terms of this Agreement.
5. States Parties to this Agreement hereby undertake to establish an international regime, including appropriate procedures, to govern the exploitation of the natural resources of the Moon as such exploitation is about to become feasible. This provision shall be implemented in accordance with article 18 of this Agreement.
6. In order to facilitate the establishment of the international regime referred to in paragraph 5 of this article, States Parties shall inform the Secretary-General of the United Nations as well as the public and the international scientific community, to the greatest extent feasible and practicable, of any natural resources they may discover on the Moon.
7. The main purposes of the international regime to be established shall include:
 - (a) The orderly and safe development of the natural resources of the Moon;
 - (b) The rational management of those resources;
 - (c) The expansion of opportunities in the use of those resources;
 - (d) An equitable sharing by all States Parties in the benefits derived from those resources, whereby 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.

8. All the activities with respect to the natural resources of the Moon shall be carried out in a manner compatible with the purposes specified in paragraph 7 of this article and the provisions of article 6, paragraph 2, of this Agreement.

Article 12

1. States Parties shall retain jurisdiction and control over their personnel, vehicles, equipment, facilities, stations and installations on the Moon. The ownership of space vehicles, equipment, facilities, stations and installations shall not be affected by their presence on the Moon.
2. Vehicles, installations and equipment or their component parts found in places other than their intended location shall be dealt with in accordance with article 5 of the Agreement on the Rescue of Astronauts, the Return of Astronauts and the Return of Objects Launched into Outer Space.
3. In the event of an emergency involving a threat to human life, States Parties may use the equipment, vehicles, installations, facilities or supplies of other States Parties on the Moon. Prompt notification of such use shall be made to the Secretary-General of the United Nations or the State Party concerned.

Article 13

A State Party which learns of the crash landing, forced landing or other unintended landing on the Moon of a space object, or its component parts, that were not launched by it, shall promptly inform the launching State Party and the Secretary-General of the United Nations.

Article 14

1. States Parties to this Agreement shall bear international responsibility for national activities on the Moon, whether such activities are carried on by governmental agencies or by non-governmental entities, and for assuring that national activities are carried out in conformity with the provisions set forth in this Agreement. States Parties shall ensure that non-governmental entities under their jurisdiction shall engage in activities on the Moon only under the authority and continuing supervision of the appropriate State Party.
2. States Parties recognize that detailed arrangements concerning liability for damage caused on the Moon, in addition to the provisions of the Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of

Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies and the Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects, may become necessary as a result of more extensive activities on the Moon. Any such arrangements shall be elaborated in accordance with the procedure provided for in article 18 of this Agreement.

Article 15

1. Each State Party may assure itself that the activities of other States Parties in the exploration and use of the Moon are compatible with the provisions of this Agreement. To this end, all space vehicles, equipment, facilities, stations and installations on the Moon shall be open to other States Parties. Such States Parties shall give reasonable advance notice of a projected visit, in order that appropriate consultations may be held and that maximum precautions may be taken to assure safety and to avoid interference with normal operations in the facility to be visited. In pursuance of this article, any State Party may act on its own behalf or with the full or partial assistance of any other State Party or through appropriate international procedures within the framework of the United Nations and in accordance with the Charter.
2. A State Party which has reason to believe that another State Party is not fulfilling the obligations incumbent upon it pursuant to this Agreement or that another State Party is interfering with the rights which the former State has under this Agreement may request consultations with that State Party. A State Party receiving such a request shall enter into such consultations without delay. Any other State Party which requests to do so shall be entitled to take part in the consultations. Each State Party participating in such consultations shall seek a mutually acceptable resolution of any controversy and shall bear in mind the rights and interests of all States Parties. The Secretary-General of the United Nations shall be informed of the results of the consultations and shall transmit the information received to all States Parties concerned.
3. If the consultations do not lead to a mutually acceptable settlement which has due regard for the rights and interests of all States Parties, the parties concerned shall take all measures to settle the dispute by other peaceful means of their choice appropriate to the circumstances and the nature of the dispute. If difficulties arise in connection with the opening of consultations or if consultations do not lead to a mutually acceptable settlement, any State Party may seek the assistance of the Secretary-General, without seeking the consent of any other State Party concerned, in order to resolve the controversy. A State Party which does not maintain diplomatic relations with another State Party concerned shall participate in such consultations, at its

choice, either itself or through another State Party or the Secretary-General as intermediary.

Article 16

With the exception of articles 17 to 21, references in this Agreement to States shall be deemed to apply to any international intergovernmental organization which conducts space activities if the organization declares its acceptance of the rights and obligations provided for in this Agreement and if a majority of the States members of the organization are States Parties to this Agreement and to the Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies. States members of any such organization which are States Parties to this Agreement shall take all appropriate steps to ensure that the organization makes a declaration in accordance with the foregoing.

Article 17

Any State Party to this Agreement may propose amendments to the Agreement. Amendments shall enter into force for each State Party to the Agreement accepting the amendments upon their acceptance by a majority of the States Parties to the Agreement and thereafter for each remaining State Party to the Agreement on the date of acceptance by it.

Article 18

Ten years after the entry into force of this Agreement, the question of the review of the Agreement shall be included in the provisional agenda of the General Assembly of the United Nations in order to consider, in the light of past application of the Agreement, whether it requires revision. However, at any time after the Agreement has been in force for five years, the Secretary-General of the United Nations, as depositary, shall, at the request of one third of the States Parties to the Agreement and with the concurrence of the majority of the States Parties, convene a conference of the States Parties to review this Agreement. A review conference shall also consider the question of the implementation of the provisions of article 11, paragraph 5, on the basis of the principle referred to in paragraph 1 of that article and taking into account in particular any relevant technological developments.

Article 19

1. This Agreement shall be open for signature by all States at United Nations Headquarters in New York.
2. This Agreement shall be subject to ratification by signatory States. Any State which does not sign this Agreement before its entry into force in accordance with paragraph 3 of this article may accede to it at any time. Instruments of ratification or accession shall be deposited with the Secretary-General of the United Nations.
3. This Agreement shall enter into force on the thirtieth day following the date of deposit of the fifth instrument of ratification.
4. For each State depositing its instrument of ratification or accession after the entry into force of this Agreement, it shall enter into force on the thirtieth day following the date of deposit of any such instrument.
5. The Secretary-General shall promptly inform all signatory and acceding States of the date of each signature, the date of deposit of each instrument of ratification or accession to this Agreement, the date of its entry into force and other notices.

Article 20

Any State Party to this Agreement may give notice of its withdrawal from the Agreement one year after its entry into force by written notification to the Secretary-General of the United Nations. Such withdrawal shall take effect one year from the date of receipt of this notification.

Article 21

The original of this Agreement, of which the Arabic, Chinese, English, French, Russian and Spanish texts are equally authentic, shall be deposited with the Secretary-General of the United Nations, who shall send certified copies thereof to all signatory and acceding States.

IN WITNESS WHEREOF the undersigned, being duly authorized thereto by their respective Governments, have signed this Agreement, opened for signature at New York on the eighteenth day of December, one thousand nine hundred and seventy-nine.

BIBLIOGRAFIA

Robert K. Ackerman “*Operations boost importance of Space assets*” SIGNAL, AFCEA’s International Journal, January, 2008.

Alberto Aiosa “*Breve storia dell’esplorazione umana dello Spazio*”
<http://diamante.uniroma3.it/hipparcos/BreveStoriaDellesplorazioneUmanaNelloSpazio.pdf> .

Hugh Arif “*Network centric space communications*” MOON BASE: A Challenge for Humanity, 2nd Workshop, Washington, October, 11th-12th, 2005 www.moonbase-italia.org/homepage.html .

Edward A. Belbruno, John P. Carrico “*Calculation of weak stability boundary ballistic transfer trajectory*” AIAA 2000-4142, AIAA/AAS Astrodynamics Specialist Conference, 14-17 August, 2000, Denver, Colorado.

Hans Blumenberg “*Jünger: non sporcate la Luna*” Il Sole-24 Ore, 17 febbraio 2008, pag. 35.

Ferruccio Botti “*Dalla strategia aerea alla strategia spaziale*” Informazioni della Difesa, n. 2, 2000.

Leonard D. Breckenridge “*Pentagon intrigued by potential of Space solar power*” Space News, October 8th, 2007.

Lucio Caracciolo “*Editoriale – Assalto al cielo*” Limes, n. 5/2004.

Nicola Casarini “*Dalla corsa allo spazio nascono opportunità per l’Italia*” Affari Internazionali, 23 novembre 2007, <http://www.affarinternazionali.it/articolo.asp?ID=666> .

Silvano Casini “*A quick look to a European strategy for solar system exploration (the wide vision)*” MOON BASE: A Challenge for Humanity, 3rd Workshop, Moscow, November, 16th-17th, 2006, www.moonbase-italia.org/homepage.html .

Silvano Casini “*Space exploration a challenge and an opportunity for Europe*” ESA/ESTEC, 2006.

Alessandra Celletti ed Ettore Perozzi “*Ordine e caos nel Sistema Solare*” UTET, 2007.

China National Space Administration “*Milestones of the Program*”
<http://www.cnsa.gov.cn/n615709/cindex.html> .

Armando Ciampolini, Piero Messidoro “*Operations and logistics*” MOON BASE: A Challenge for Humanity, 1st Workshop, Venice, may, 26th-27th, 2005, www.moonbase-italia.org/homepage.html .

Angioletta Coradini ed altri “*The Moon: an unavoidable step in the exploration of the Solar System*” Agenzia Spaziale Italiana, Roma 2007.

David R. Criswell “*Lunar Solar power system: industrial research, development, and demonstration*” <http://www.moonbase-italia.org/PAPERS/D1S2-MB%20Assessment/D2S2-06EnergySupport/D2S2-06EnergySupport.Criswell.pdf> .

Claudia Di Giorgio “*Ritorno alla Luna*” Limes, n. 5/2004.

Simonetta Di Pippo “*Italian Vision for Moon exploration*” Kick Off Studi della Luna, ASI, Roma, 26 settembre 2006.

Simonetta Di Pippo “*The ASI Vision for Moon exploration*” MOON BASE: A Challenge for Humanity, 2nd Workshop, Washington, October, 11th-12th, 2005 www.moonbase-italia.org/homepage.html .

Jean-Jacques Dordain “*Europe’s journey to the Moon*” in Fabio Compagnone ed Ettore Perozzi (editors) “*Moon Base – A challenge for humanity*” Donzelli Editore, 2007.

ENEA “*Dossier – Tecnologie per l’energia: quali innovazioni e strategie industriali in Europa? Il SET Plan e le sue proposte*” Workshop “*Tecnologie per l’energia: quali innovazioni e strategie industriali in Europa? Il SET Plan e le sue proposte*” Roma, 18 marzo 2008.

European Space Agency “*More about Aurora*” http://www.esa.int/SPECIALS/Aurora/SEMZOS39ZAD_2.html .

Roberto Fantini “*Concezione moderna dell’Universo*” http://www.robertofantini.it/Materia_oscura/Materia_oscura2.htm .

Robert W. Farquhar “*A halo-orbit lunar station*” Astronautics & Aeronautics, NASA, June 1972.

Werren Ferster “*Inflatable lunar habitat bound for Antarctic trial*” SPACE NEWS, November 26th, 2007.

Rathus Fischer “*Greenhouses on the Moon*” MOON BASE: A Challenge for Humanity, 2nd Workshop, Washington, October, 11th-12th, 2005 www.moonbase-italia.org/homepage.html .

Lisa Gambicorti “*Sistemi propulsivi innovativi*” Dip. di Astronomia e Scienza dello Spazio – Università di Firenze, www.astro.unifi.it/did/dott/2006/Sistemi-propulsivi.pdf .

William A. Gardner “*Enabling long duration human Space exploration*” MOON BASE: A Challenge for Humanity, 2nd Workshop, Washington, October, 11th-12th, 2005
www.moonbase-italia.org/homepage.html .

Owen K. Garriot, Michael Griffin and others “*Extending human presence in the Solar System*” The Planetary Society, Pasadena, July, 2004.

Michael D. Griffin “*Remarks for AIAA Space 2005 Conference & Exhibition*” 31 August 2005.

Pier Francesco Guarguaglini “*The second space race*” in Fabio Compagnone ed Ettore Perozzi (editors) “*Moon Base – A challenge for humanity*” Donzelli Editore, 2007.

Vadim Guschin, O. Kozerenko, A. Nechanev, V. Myasnikov, V. Salnitsky “*Psychological problems of the Moon Base*” MOON BASE: A Challenge for Humanity, 3rd Workshop, Moscow, November, 16th-17th, 2006, www.moonbase-italia.org/homepage.html .

Fred Gutierl “*Race to the Moon*” Newsweek, February 5, 2007, pag. 24-29.
<http://it.wikipedia.org/wiki/Propriocezione> .).

Klaus P. Heiss “*Columbia: a permanent Lunar Base*” High Frontier, Final Report to NASA Office of Space Flight, December 17th, 2003, Chapter 6 – Rules of the road.

Indian Space Research Organization “*About Chandrayaan-1*”
http://www.isro.org/chandrayaan/htmls/about_chandrayaan.htm .

Indian Space Research Organization “*Chandrayaan-1, Announcement of opportunity*”
http://www.isro.org/chandrayaan/announcement_1.htm .

International Aeronautical Federation “*Vikram A. Sarabhai (1919-1971)*”
<http://www.iafastro.com/index.php?id=453> .

JAXA “*Kaguya (Selene)*” http://www.selene.jaxa.jp/index_e.htm .

Paul Kallender-Umezu “*Lunar lander on Japan’s «wish list» for future exploration*” Space News, November 19th, 2007.

Marc Kaufman “*NASA look to the future with eye on the past*” Washington Post, December 4, 2006.

Erica Klarreick “*Navigating Celestial Currents*” Science News Online, Week of April 16, 2005, Vol. 167, No. 16.

Wang Sang Koon, Martin W. Lo, Jerrold E. Marsden, Shane D. Ross “*Heteroclinic connections between periodic orbits and resonance transitions in celestial mechanics*” CAOS, volume 10, number 2, June 2000.

Joo Ahn Lee, John Carini, Andrew Choi, Robert Dillman, Sean J. Griffin, Susan Hanneman, Manplata Caesar e Edward Stanton “*Lunar lander conceptual design*” University of Virginia, may 17th, 1989, www.nss.org/settlement/moon/library/LB2-114-LanderConceptualDesign.pdf

Martino e Lorenzo Lo Cascio “*Technological Shift and Soft Competition as Guidelines for Decision Making in the Moon Base Project*” A Challenge for Humanity, 2nd Workshop, Washington, October, 11th-12th, 2005 www.moonbase-italia.org/homepage.html .

Martin W. Lo “*The InterPlanetary Superhighway and the Origins Program*” NASA-JPL (Jet Propulsion Laboratory).

Martin W.Lo e Shane D. Ross “*The Lunar L1 gateway: portal to the stars and beyond*” AIAA Space 2001 Conference, Albuquerque, New Messico, august 28-30, 2001.

Marco Magrini “*Salvare la Terra costa poco*” Il Sole-24 Ore, 5 maggio 2007, pag. 5.

John Mangels “*Coping with a lunar dust-up*” The Seattle Times, February 15, 2007.

Massachusetts Institute of Technology “*Interplanetary Supply Chain Network for Space Exploration*” <http://spacelogistics.mit.edu/index.htm> .

Emanuela Molinaroli e Abhijt Basu “*Breve introduzione alla petrologia della crosta lunare e all’origine della Luna*” Bollettino della Società Geologica Italiana, 113 (1994), pag. 83.

NASA “*Advanced chemical propulsion*” <http://www.inspacepropulsion.com/> .

NASA “*Aerocapture technology*” <http://www.inspacepropulsion.com/> .

NASA “*Ice on the Moon*” http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/ice/ice_moon.html .

NASA “*Moon*” http://www.nasa.gov/worldbook/moon_worldbook_prt.htm .

NASA “*NASA’s Exploration Architecture*” Washington, september 19th, 2005.

NASA “*NASA’s Exploration System Architecture Study – Final Report*” november, 2005, pag. 14.

Jerome Pearson, Eugene Levin, John Oldson, Harry Wykes “*Lunar Space Elevators for Cis-Lunar Transportation*” MOON BASE: A Challenge for Humanity, 1st Workshop, Venice, may, 26th-27th, 2005, www.moonbase-italia.org/homepage.html .

Maria Antonietta Perino “*Moon Base habitation and life support systems*” MOON BASE: A Challenge for Humanity, 1st Workshop, Venice, may, 26th-27th, 2005, www.moonbase-italia.org/homepage.html .

Maria Antonietta Perino “*Moon Base habitation and life support systems*” MOON BASE: A Challenge for Humanity, 1st Workshop, Venice, may, 26th-27th, 2005, www.moonbase-italia.org/homepage.html .

PERMANENT “Major lunar minerals” <http://www.permanent.com/l-minera.htm> .

Ettore Perozzi, Sergio Ponzi, Filippo Graziani, Paolo Teofilatto, Giacomo Giovangrossi, Fabio Piccolo “Highway to Moon Base” <http://www.moonbase-italia.org/was-PAPERS/Session%203/s3-05-Perozzi.pdf> .

Federica Pizzetti “Il Cosmo tra arte, filosofia e scienza.....”
http://astrocultura.uai.it/tesi/federica_rizzetti/intro.htm .

Radio Cina Internazionale “Piano di esplorazione della Luna”
<http://italian.cri.cn/241/2007/10/22/Zt64@93073.htm> .

Federico Rampini “Così la Cina ha rubato I segreti dello Shuttle” La Repubblica, 12 febbraio 2008.

Dario Riva, Flavio Rocca ed Alessandro Nebbia “Muscle atrophy prevention and recovery and bone remodelling through proprioception in terrestrial, lunar and zero gravity. An innovative proposal” MOON BASE: A Challenge for Humanity, 3rd Workshop, Moscow, november, 16th-17th, 2006, www.moonbase-italia.org/homepage.html .

F.Romanelli, C. Bruno. G. Regnoli “Assessment of open magnetic fusion for space propulsion” Final report of the ARIADNA study 04/3102 ESTEC Contract 18853/05/NL/MV, pag.5, www.esa.int/gsp/ACT/doc/ARI/ARI%20Study%20Report/ACT-RPT-PRO-ARI-043102-Open%20Magnetic%20Fusion.pdf .

Silvio Rossignoli, Fabio Piccolo, Valentina Bornisacci “Habitation and Life Support technologies” MOON BASE: A Challenge for Humanity, 2nd Workshop, Washington, October, 11th-12th, 2005 www.moonbase-italia.org/homepage.html .

Alessandro Saccà e Martina Varalta “Fisica e metodologie spaziali – Cap. 5: Moto di satelliti, trasferimenti orbitali, propulsione”
http://eureka01.pd.infn.it:5210/~marzari/FISICA_METODOLOGIE/capitolo5.doc ,

Vladimir Sapozhnikov “La Russia rilancia la corsa allo spazio” Il Sole-24 Ore, 1° settembre 2007, pag. 6.

Pietro Scagliusi “Gli Stati Uniti e lo Spazio” Rivista Marittima, giugno 2007.

Peter B. de Selding “Italian, German Space officials welcome Sarkozy’s Space Proposals” Space News, february 18th, 2008, pag. 5.

Se. Te. L. Group “Contribution” MOON BASE: A Challenge for Humanity, 1st Workshop, Venice, may, 26th-27th, 2005, www.moonbase-italia.org/homepage.html .

Sarah Smart “Aurora programme” http://www.aurora.rl.ac.uk/Aurora_info.htm .

Piero Spillantini, Marco Casolino, Marco Durante, Reinhold Mueller-Mellin, Guenther Reitz, Lucio Rossi, Vyacheslav Shurshakov, Massimo Sorbi “*Shielding from cosmic radiation for interplanetary missions: Active and passive methods*” ScienceDirect, vol. 42, issue 1, january, 2007, pag. 14-23, <http://www.sciencedirect.com> .

Harley A. Thronson “*Logistics in NASA’S Exploration Architecture and Major Science Goals in Space*” Logistics Spectrum, SOLE – The International Society of Logistics, Vol. 41, No. 1, 2007, p. 4
<http://www.futureinspaceoperations.com/papers/Thronson%20Spectrum%20article,%20V41%20No%201.pdf> .

Alberto Traballes “*La sfida scientifica e tecnologica di Lisbona. Europa versus Stati Uniti*” CeMiSS, Roma, 2006.

Alberto Traballes e Nazzareno Cardinali “*Sviluppo tecnologico ed evoluzione della dottrina d’impiego del potere aerospaziale*” CeMiSS, Roma, 2004, pag 43-50.

Giancarlo Elia Valori “*Geopolitica dello Spazio*” Rizzoli, 2006.

Christopher Vizas “*Thoughts on Governance and Legal Structures for Investment on the Moon*” MOON BASE: A Challenge for Humanity, 2nd Workshop, Washington, October, 11th-12th, 2005 www.moonbase-italia.org/homepage.html .

Wikipedia “*Programma Apollo*” http://it.wikipedia.org/wiki/Programma_Apollo

Wikipedia “*Programma Gemini*” http://it.wikipedia.org/wiki/Programma_Gemini .

Wikipedia “*Programma Luna*” http://it.wikipedia.org/wiki/Programma_Luna .

Wikipedia “*Programma Mercury*” http://it.wikipedia.org/wiki/Programma_Mercury .

Wikipedia “*Programma Zond*” http://it.wikipedia.org/wiki/Programma_Zond .

Wikipedia “*Punti di Lagrange*” http://it.wikipedia.org/wiki/Punti_di_Lagrange .

Wikipedia “*Regolith*” <http://en.wikipedia.org/wiki/Regolith> .

Wikipedia “*SMART-1*” http://it.wikipedia.org/wiki/SMART_1

Wikipedia “*Trasferimento alla Hohmann*”
http://it.wikipedia.org/wiki/Trasferimento_alla_Hohmann .

Wikipedia “*Vostok 1*” http://it.wikipedia.org/wiki/Vostok_1 .

Simon P. Worden “*Deployment of a lunar base – getting there, facilities and functions*” MOON BASE: A Challenge for Humanity, 1st Workshop, Venice, may, 26th-27th, 2005, www.moonbase-italia.org/homepage.html .