

# IL RUOLO DELL'ARCHITETTURA NELL'ERA SPAZIALE:

lezioni dalla tradizione  
e innovazioni progettuali







Politecnico di Torino

Dipartimento di architettura e design  
Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Patrimonio  
a.a. 2023/2024

Tesi in Tecnologia dell'architettura

# IL RUOLO DELL'ARCHITETTURA NELL'ERA SPAZIALE:

lezioni dalla tradizione e innovazioni progettuali

Relatore:  
Valentino Manni

Correlatore:  
Luca Saverio Valzano

Candidato:  
Cristina Actis

Sessione dicembre 2024

## IL RUOLO DELL'ARCHITETTURA NELL'ERA SPAZIALE

lezioni dalla tradizione e innovazioni progettuali

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Architettura e Design - DAD

Collegio di Architettura

Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Patrimonio

Tesi di Laurea Magistrale in Architettura

Classe delle lauree magistrali LM-4

In copertina:

Rielaborazione personale a partire dall'immagine scattata il 29 aprile 2021, dal rover Perseverance Mars della NASA che utilizza una Mastcam-Z a doppia telecamera. Il soggetto della fotografia è "Santa Cruz", una collina a circa 1,5 miglia (2,5 chilometri) di distanza dal rover. L'intera scena è all'interno del cratere Jezero di Marte; il bordo del cratere può essere visto sulla linea dell'orizzonte oltre la collina. FONTE: <https://science.nasa.gov/resource/mastcam-z-views-santa-cruz-on-mars/>, ultima consultazione settembre 2024.

Il materiale illustrativo e iconografico, ove non debitamente specificato, è da ritenersi di proprietà dell'autore.

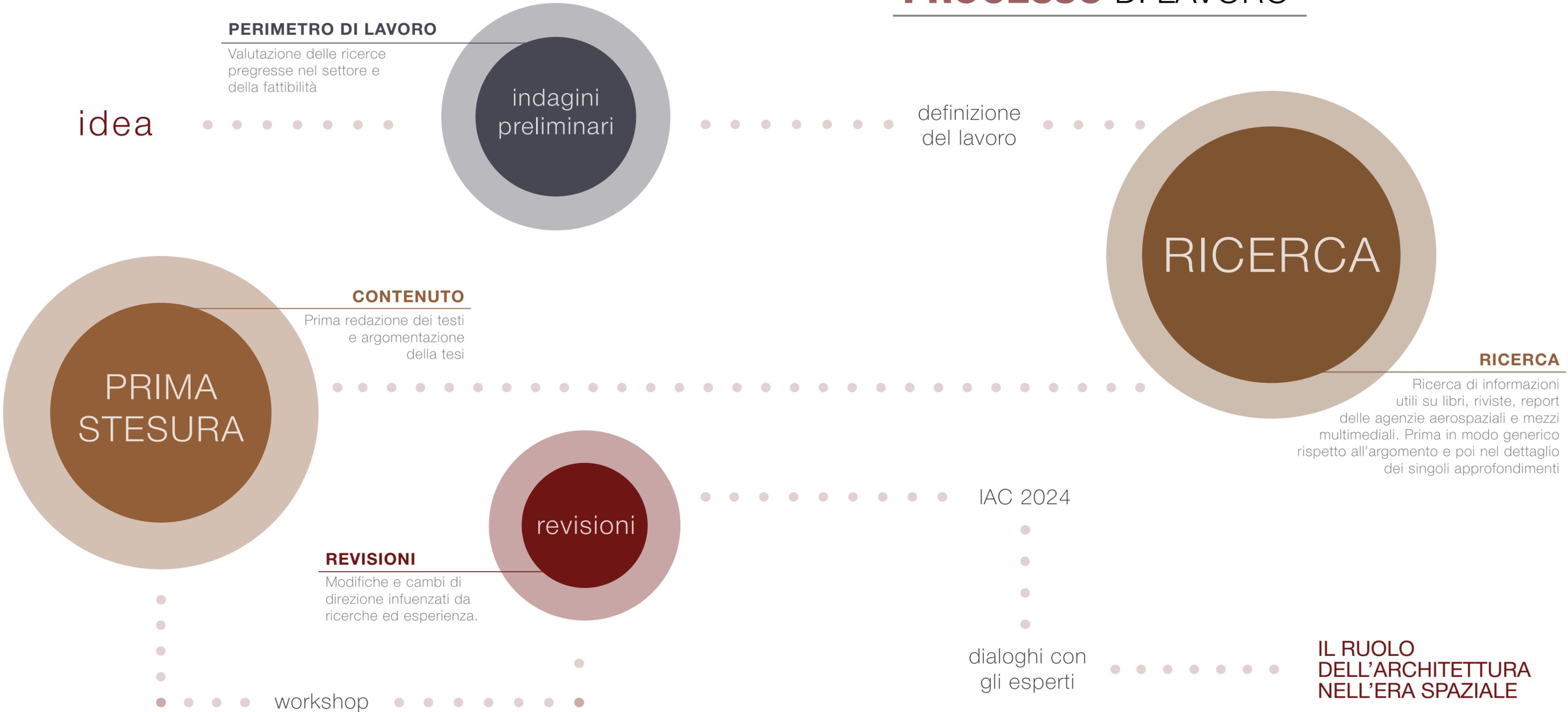
Le abbreviazioni saranno inserite nell'abaco all'inizio del volume.

Matricola: 304844

## ABSTRACT

Esplorazione spaziale e sostenibilità sono il futuro dell'umanità e, pur estendendosi oltre i confini del Pianeta Terra, ripercorrono e reinterpretano le conoscenze del passato. In questo contesto, caratterizzato da una forte interdisciplinarietà, l'architettura emerge come strumento fondamentale per la progettazione di habitat e la padronanza di un Architetto del Patrimonio della storia della costruzione si colloca come cardine per risolverne le difficoltà. Integrando soluzioni provenienti da discipline diverse, si intende dimostrare come il costruito sia fonte di conoscenza per l'utilizzo di risorse in situ, l'isolamento ambientale e l'adattamento a condizioni estreme. La ricerca esplora come le lezioni apprese dalla storia dell'architettura possano ispirare innovazioni progettuali per costruire su altri Pianeti in modo consapevole, valutando nello specifico Luna e Marte come due sistemi complessi e come tappe fondamentali per il progresso.

# PROCESSO DI LAVORO



# INDICE

Abaco delle abbreviazioni  
Premessa

<b>1. Introduzione</b> .....	<b>5</b>
1.1 La sfida dell'esplorazione	
1.2 Questioni di scelte	

---

## PARTE PRIMA: CONOSCENZA

<b>2. L'architettura come strumento fondamentale</b> .....	<b>15</b>
2.1 Sfide costruttive terrestri	
2.2 Convergenze	
2.3 Contributo allo sviluppo di nuove tecnologie e sistemi	
<b>3. Tappe fondamentali dell'esplorazione spaziale</b> .....	<b>29</b>
3.1 La nostra visione dello spazio	
3.2 Lo spazio come risorsa	
<b>4. La Space Architecture: concetti e ambiti di studio</b> .....	<b>43</b>
4.1 Nascita ed evoluzione della disciplina	
4.2 Conoscenza storica e progettazione spaziale	

IL PARERE DEGLI ESPERTI, appunti e approfondimenti: *Giancarlo Genta* ..... **56**

## PARTE SECONDA: FRAMEWORK

<b>5. Condizioni indispensabili alla vita</b> .....	<b>63</b>
5.1 Teoria progettuale	
5.2 Aspetti psicologico-sanitari	
<b>6. Questioni di trasporto</b> .....	<b>73</b>
6.1 Da luoghi di passaggio a luoghi di permanenza	
6.2 Considerazioni economiche	

<b>7. Luna</b> .....	<b>81</b>
7.1 Ingegneria Lunare: risorse e potenzialità	
<b>8. Marte</b> .....	<b>89</b>
8.1 Materiali marziani	
8.2 Confronto con materiali terrestri	

IL PARERE DEGLI ESPERTI, appunti e approfondimenti: *Jose-Miguel Armijo Vielma* .. **100**

## PARTE TERZA: SVILUPPO

<b>9. Dalla pietra allo Spazio: lezioni dalla tradizione</b> .....	<b>109</b>
9.1 Incidenza delle radiazioni	
9.2 Micrometeoriti	
9.3 Comunicazioni e autonomia	
9.4 Condizioni ambientali ed energia	
<b>10. Verso una progettazione spaziale efficace</b> .....	<b>123</b>
10.1 Analisi delle esigenze progettuali	
10.2 Confronto con soluzioni terrestri	
10.3 Linee guida per un ipotetico modello abitativo	
<b>11. Sostenibilità e costruzione nello spazio</b> .....	<b>143</b>
11.1 Cosa si intende con sostenibilità, oggi, sulla terra	
11.2 Cambiare punto di vista: la sostenibilità nello spazio	

IL PARERE DEGLI ESPERTI, appunti e approfondimenti: *Chris Blackerby* ..... **150**

---

<b>12. Conclusioni</b> .....	<b>155</b>
12.1 Possibili implementazioni	

Bibliografia

## ABACO DELLE ABBREVIAZIONI

ASI = Agenzia Spaziale Italiana	MPLM = Multi-Purpose Logistics Module
BASALT = Biologic Analog Science Associated with Lava Terrains	MSR = Mars Sample Return
BIM = Building Information Modeling	NASA = National Aeronautics and Space Administration
CAD = Computer-Aided Design and Drawing	NRC = National Research Council
CC = Climate Change	OGM = Organismi Geneticamente Modificati FIAT = Fabbrica Italiana Automobili Torino
CFK = Concern for Kids	OKB-1 = Опытное конструкторское бюро (Ufficio di progettazione sperimentale)
CRISM = Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars	PMI = Project Management Institute
DNA = DeoxyriboNucleic Acid	Q.E. = Quadro Esigenziale
ESA = European Space Agency	SICSA = Sasakawa International Center for Space Architecture
EscaPADE = Escape and Plasma Acceleration and Dynamics Explorers	SLS = Space Launch System
ESRO = European Space Research Organization	Socialiste Sovietiche
EVA = Extravehicular activity	SRH = Strategic Radiation-Hardened
FCB = Faster, Cheaper, Better	SWOT = Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
FW24 = Fashion Show 2024	TESS = Transiting Exoplanets Survey Satellite
GCR = Galactic Cosmic Ray	TOI = TESS Objects of Interest
GER = Global Exploration Roadmap	TRIDENT = The Regolith Ice Drill for Exploring New Terrain
ICAMSR = International Committee Against Mars Sample Return	URSS = Unione delle Repubbliche
ISRU = In-Situ Resource Utilization	USA = United States of America
ISS = International Space Agency	WBS = Work breakdown structure
MAV = Mars Ascent Vehicle	
MPH = Multi Purpose Habitat	

## PREMESSA

La scelta di scrivere la mia tesi di Laurea Magistrale su un tema così apparentemente lontano dal corso di laurea scelto è stata determinata da vari fattori, che includono la passione per lo spazio e la storia dell'architettura.

Lo spazio è da sempre parte delle mie letture, approfondite con saggi scientifici e non semplicemente romanzati di quello che è parte della nostra storia da sempre. Trovo particolarmente affascinante come i due mondi si uniscano nella disciplina dell'architettura spaziale che, pur essendo una materia relativamente nuova, è progressivamente cresciuta, divenendo un campo interdisciplinare di ricerca utile non soltanto alla conoscenza dello spazio esterno, ma anche in ambiente di ricerca medica, ingegneristica e non solo.

Inoltre, il campo dell'esplorazione e sperimentazione nello spazio è attualmente uno dei più importanti investimenti della società. In diverse Nazioni sono in fase di sviluppo programmi spaziali, con l'obiettivo di esplorare e valutare la colonizzazione di altri pianeti. Tale investimento significa che la Space Architecture è un campo in rapida espansione, con molte nuove opportunità per progettare e costruire strutture in spazi extraterrestri. Basti fare riferimento alla sempre maggiore fama di questo campo di studi e a come vengano organizzati (anche nella nostra città) eventi di notevole rilevanza, utili alla conoscenza della materia.

Nel corso di studi sono stati affrontati numerosi aspetti di cosa significhi oggi essere un esperto in materia di "Architettura per il Patrimonio" ma mai è stata sminuita la vastità del campo nel quale si applica. Dunque, lo studio di questo tema così complesso vuole essere una sfida ed una opportunità per sperimentare le conoscenze acquisite nel percorso di studi.

# INTRODUZIONE

Con la definizione di Quadro Esigenziale (QE)<sup>1</sup> si introduce nelle norme di costruzione il concetto di necessità; la stessa rappresenta un importante passo avanti nelle attività di progettazione e realizzazione di un progetto. Il QE è uno strumento che serve a descrivere e analizzare i bisogni delle persone che utilizzeranno l'opera, nonché quelli della comunità e dell'ambiente circostante. Tale conoscenza, radicata nella comprensione dei bisogni umani e delle esigenze della collettività, si è evoluta al fine di adattarsi a mutamenti di natura climatica, socio-economica e politica, rispecchiando la continua trasformazione della specie umana. I presupposti dell'applicazione delle conoscenze in ambito costruttivo variano e si evolvono conseguentemente all'evoluzione dell'uomo.

Con l'avanzamento della tecnologia, anche gli strumenti e le tecniche utilizzate nell'edilizia migliorano. L'invenzione del motore a vapore, nel

---

<sup>1</sup> La norma posta nell'Art. 3 comma 1 lett. ggggg-nonies: ««quadro esigenziale», il documento che viene redatto ed approvato dall'amministrazione in fase antecedente alla programmazione dell'intervento e che individua, sulla base dei dati disponibili, [...] i fabbisogni della collettività posti a base dell'intervento, le specifiche esigenze qualitative e quantitative che devono essere soddisfatte attraverso la realizzazione dell'intervento, anche in relazione alla specifica tipologia di utenza alla quale gli interventi stessi sono destinati» disposizione introdotta dal DLgs 56-2017 in vigore dal 20.5.2017.

XVIII secolo, ha rivoluzionato l'edilizia consentendo l'uso di macchinari pesanti<sup>2</sup>, mentre l'avvento del disegno e progettazione assistiti al computer (CAD) alla fine del XX secolo ha notevolmente migliorato l'efficienza nella progettazione e pianificazione riducendo le tempistiche di lavoro. Altresì le influenze culturali modellano, in parte, le pratiche edilizie. In determinati contesti culturali possono essere valorizzate le tecniche e i materiali tradizionali, mentre in altri vengono preferiti metodi e materiali moderni. Ancora la stessa attenzione posta ai beni culturali o alla sostenibilità si è modificata nel tempo e non possiede tutt'ora una visione univoca applicabile a tutto il Globo.

Le sfide poste alla conoscenza umana sono oggi diverse eppur concettualmente simili a quelle che si ponevano in passato. Si tratta, infatti, sempre della conoscenza dello sconosciuto per la comprensione di concetti complessi. L'esplorazione e la conquista di nuovi territori, sebbene oggi si svolgano in un ambito interplanetario, mantengono una finalità analoga a quella che caratterizzava gli spostamenti terrestri e localizzati del passato, sebbene di gran lunga più complessa.

---

<sup>2</sup> Il perfezionamento del motore a vapore è da attribuirsi a James Watt (1765) ed anche se ci vollero vari decenni per l'effettiva diffusione dello stesso, permise di triplicare la velocità del lavoro. BRYNJOLFSSON E., MCAFEE A., 2015.

## Capitolo

# 01

## Introduzione

- La sfida dell'esplorazione **6**
- Questioni di scelte **9**

Pertanto, lo scopo di questo studio è quello di valutare criticamente l'utilizzo di tale conoscenza pregressa come base per lo sviluppo di strategie e tecnologie innovative atte a favorire la colonizzazione spaziale, con l'ambizione di offrire un contributo teorico e metodologico alla comprensione del rapporto tra storia e innovazione in campo architettonico ed ingegneristico. L'obiettivo è esaminare e approfondire la relazione sincretica che intercorre tra la storia dell'architettura terrestre e la colonizzazione spaziale, con particolare attenzione all'applicazione della conoscenza tecnologica progettuale accumulata dall'umanità nel corso dei secoli.

Il lavoro svolto è stato articolato nei mesi come esposto nel processo di lavoro<sup>3</sup> ed ha avuto come intento quello di seguire uno schema il più possibile rigoroso. La decisione di suddividere i capitoli in tre macroaree (conoscenze preliminari, sviluppo concettuale e applicazione<sup>4</sup>) è dettata dall'applicazione dei processi che guidano la formulazione di un progetto architettonico: la definizione teorica, l'esposizione degli strumenti a disposizione ed

<sup>3</sup> Si veda lo schema inserito nelle prime pagine della presente tesi di laurea.

<sup>4</sup> Con applicazione in questo caso si intende un metaprogetto (fase del processo di progettazione che conduce alla formulazione del concept utilizzando la ricerca che integra gli obiettivi, i vincoli tecnologici e produttivi, il contesto e le tendenze legate alle necessità delle comunità sociali di riferimento) che ripercorre gli studi fatti ma non redige un vero e proprio piano progettuale, non essendo questo lo scopo della tesi.

uno sviluppo pre-concettuale. Tutte le esperienze formative che sono state svolte nel periodo di redazione della tesi sono da considerarsi come parte integrante del processo che ha portato alla redazione del documento.

## LA SFIDA DELL'ESPLORAZIONE

L'uomo è un grande esploratore di terre, mari e cosmo; da sempre alla ricerca di nuovi territori, risorse e conoscenze. Dalle prime migrazioni alla conquista dello spazio, l'essere umano ha mantenuto la sua naturale curiosità e voglia di scoprire.

L'esplorazione non è mai stata solo una questione di conquista territoriale. Scopritori come Marco Polo, Alexander von Humboldt e Charles Darwin<sup>5</sup> hanno intrapreso grandi viaggi alla ricerca di nuove conoscenze scientifiche, geografiche e culturali. Questi hanno consentito la creazione di mappe accurate del globo terrestre ed il miglioramento delle conoscenze scientifiche. L'attrattiva verso l'ignoto, da sempre punto importante per l'uomo si è estesa e continua ad estendersi, portando la nostra specie a superare limiti sempre maggiori.

Le scoperte ed esplorazioni sono da sempre affiancate dalla paura annessa alla voglia di conoscenza. Questa si è tradotta nei secoli in maniera differente, evolvendosi con la

<sup>5</sup> Marco Polo (1254 – 1324), Friedrich Heinrich Alexander Freiherr von Humboldt (1769 – 1859) e Charles Robert Darwin (1809 – 1882), esploratori, scrittori e scienziati hanno contribuito alla geografia moderna e alla teorizzazione di importanti scoperte scientifiche.

tecnologia e si è vista applicata a settori diversi tra loro: dall'architettura alla medicina, dall'astronomia alla geologia<sup>6</sup>. Gli stessi fratelli Wright<sup>7</sup>, oggi ben noti, sono stati rallentati dal timore che fosse impossibile alzarsi in volo<sup>8</sup>. Grazie alla loro invenzione, tuttavia, sessantatré anni dopo l'uomo sbarcò sulla Luna. Le conseguenze ai passi avanti compiuti dall'umanità sono visibili e tangibili e ci permettono di utilizzare oggi lo Spazio come risorsa<sup>9</sup>, cercando altri esseri viventi, acqua e luoghi adatti alla vita.

Il viaggio umano si è evoluto con la sua storia: nelle destinazioni, nelle distanze percorse e nelle tecnologie utilizzate. Le invenzioni hanno permesso di ridurre i tempi ed aumentare gli orizzonti fin tanto da rendere lo Spazio sempre più accessibile. Sin dallo scorso millennio, con il lancio del satellite sovietico Sputnik<sup>10</sup> è divenuto chiaro quale sarebbe stato il passo successivo dell'esplorazione umana. Oggi la tecnologia permette di esplorare spazi sempre più remoti e

<sup>6</sup> Ci sono state diverse scoperte scientifiche importanti, inizialmente osteggiate o ignorate dalla comunità scientifica: vedasi la teoria eliocentrica di Nicolaus Copernicus (1543) o la scoperta della penicillina di Alexander Fleming (1928).

<sup>7</sup> Wilbur Wright (1867-1912) e Orville Wright (1871-1948), spesso citati collettivamente come fratelli Wright, due ingegneri e inventori statunitensi sono annoverati tra i più importanti aviatori dell'epoca pionieristica.

<sup>8</sup> CALABRESI M., 2016, p.2.

<sup>9</sup> *Ivi*, p.4.

<sup>10</sup> Lo Sputnik venne lanciato in orbita intorno alla Terra il 4 ottobre 1957, dal cosmodromo di Baikonur. La notizia del lancio si diffuse velocemente e diede inizio alla "corsa allo spazio".

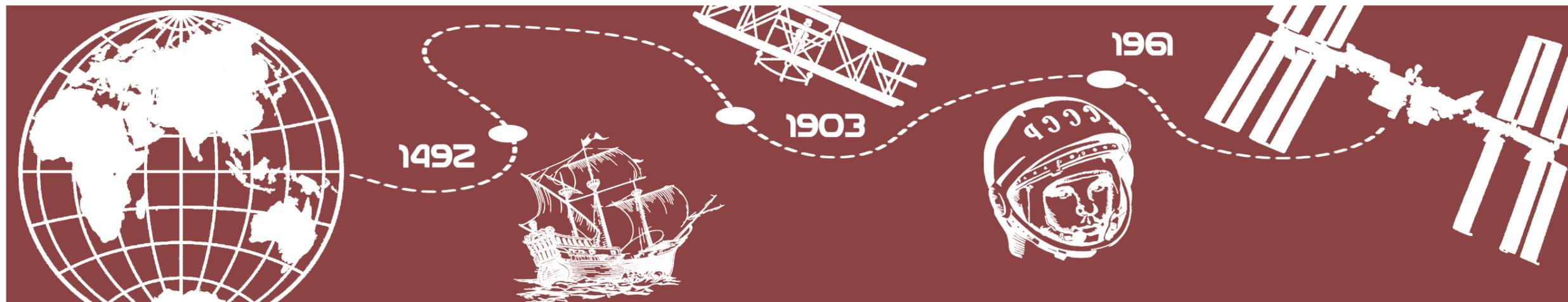
di raccogliere informazioni dettagliate sui pianeti e sulla loro storia. Grazie alla sempre maggiore automazione dei sistemi e allo sviluppo di intelligenze artificiali siamo ora in grado di esplorare senza spostarci fisicamente. L'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), grazie a sostegni finanziari principalmente pubblici, ha in fase di progettazione (in collaborazione con l'ESA) il veicolo spaziale automatizzato e riutilizzabile Space Rider<sup>11</sup>. Il suo obiettivo è quello di incrementare le applicazioni delle telecomunicazioni satellitari e fornire un mezzo spaziale riutilizzabile per il rientro senza equipaggio. Una volta in orbita, potrà rimanere nello spazio fino a due mesi, consentendo la sperimentazione di nuove tecnologie e la conduzione di esperimenti in microgravità. Grazie alla stessa ASI, sin dalla sua istituzione, è stato possibile formulare collaborazioni internazionali che hanno permesso lo scambio e l'accesso a tecnologia estera, estendendo le possibilità commerciali e dando un notevole slancio alla nostra economia.

La sua stessa esistenza, favorita dal fisico Edoardo Amaldi ma ostacolata dal Trattato di pace sottoscritto nel 1947<sup>12</sup>, ha favorito investimenti pubblici che hanno avuto poi ricadute sull'economia del Paese<sup>13</sup>.

<sup>11</sup> ASI, *Space rider*, disponibile al sito: <https://www.asi.it/trasporto-spaziale/space-rider/>, ultima consultazione marzo 2024.

<sup>12</sup> Secondo il Trattato, firmato a Parigi il 10 febbraio 1947, l'Italia si impegnava a non costruire né sperimentare missili autopropulsivi o guidati. Il problema fu poi aggirato grazie alle cooperazioni internazionali. LORENZINI S., 2007.

<sup>13</sup> LANDONI M., 2017.



È dunque evidente che le esplorazioni spaziali odierne non sono mosse esclusivamente dall'impulso primordiale della scoperta, bensì sono caratterizzate da finalità di matrice scientifica e sociale. In particolare, la Stazione Spaziale Internazionale (ISS<sup>14</sup>) rappresenta un *hub* innovativo per la conduzione di ricerche scientifiche eterogenee, attuate dagli astronauti stessi<sup>15</sup>.

<sup>14</sup> ISS, International Space Station, progettata tra il 1984 e il 1993 i cui elementi erano in costruzione negli Stati Uniti, Canada, Giappone ed Europa a partire dalla fine degli anni '80. Ad oggi è in funzione e in orbita. Sono in essa attive: l'Agenzia spaziale canadese, l'Agenzia spaziale europea, l'Agenzia giapponese per l'esplorazione aerospaziale, l'Amministrazione nazionale per l'aeronautica e lo spazio e la Corporazione spaziale statale "Roscosmos".

<sup>15</sup> Jennifer Ngo-Anh, Coordinatrice del Programma Ricerca e Carichi Utili dell'ESA, spiega i benefici della ricerca sulla Stazione Spaziale: "Tipicamente portiamo avanti tre tipi di esperimenti, ricerca che non può essere fatta sulla Terra, ricerca per capire e migliorare la salute degli astronauti e ricerca che sfrutta l'aspetto unico di mandare umani perfettamente in salute e in forma in un nuovo e stressante ambiente". ESA, 2020.

Queste, che spaziano dalla sfera tecnologica a quella medica, sino ad abbracciare risultati di carattere sociale, contribuiscono alla generazione di nuove conoscenze e all'implementazione di applicazioni pratiche, capaci di influenzare in maniera significativa diversi ambiti della nostra vita quotidiana.

Conseguentemente si è modificata la figura dell'esploratore che non è più legato all'immagine di un uomo su una barca con un telescopio ed una bussola. Gli stessi esploratori moderni fanno presente come sia cambiata la loro pianificazione dei viaggi e come l'immagine stessa della scoperta di un luogo sia differente dal passato. Ranulph Fiennes<sup>16</sup> ricorda come i suoi colleghi ed egli stesso facevano affidamento su bussole, orologi e talvolta anche sul sole, il tutto meno di cento anni fa<sup>17</sup>.

<sup>16</sup> Sir Ranulph Twisleton-Wykeham-Fiennes (1944), è un esploratore, scrittore e poeta britannico, detentore di numerosi record di endurance. BLISS D., 2018

<sup>17</sup> *Ibidem*.

In pochi decenni la tecnologia ha fatto passi enormi e fatto sì che ora, le nuove generazioni assoceranno alla parola "esplorazione": un essere umano in tuta spaziale che si avventura verso l'ignoto dello spazio esterno.

Questa visione futuristica, una volta riservata alla fantascienza, ora sembra essere una opzione tangibile. I confini del nostro pianeta si stanno allargando, aprendo nuovi orizzonti; il pensiero di viaggiare verso le stelle non sembra più qualcosa di irraggiungibile, ma una possibilità realistica sempre più vicina. La tuta spaziale, ormai un'icona delle conquiste umane, rappresenta un simbolo di speranza e ambizione. Raffigura la nostra volontà di andare oltre i confini della Terra, di sfidare il nostro stesso limite e di scoprire ciò che si cela nell'infinito universo. Anche in questo senso l'evoluzione del concetto di esplorazione ha fatto sì che meri oggetti funzionali come le tute

spaziali siano diventati oggetto di studio di case di moda<sup>18</sup>.

L'esplorazione va quindi oltre la tecnologia. Non è solo una conquista scientifica, ma anche un'affermazione della nostra volontà di superare i limiti e di spingere l'umanità oltre ciò che conosciamo. Le nuove generazioni cresceranno in un mondo in cui l'esplorazione spaziale sarà un concetto comune e accessibile e saranno ispirati dalle storie di coraggio e conquiste umane spingendosi a contribuire all'avanzamento della storia al di fuori della Terra.

## QUESTIONI DI SCELTE

La dimensione attuale dell'Universo conosciuto è assimilabile ad una sfera di diametro pari a 92 miliardi di anni luce<sup>19</sup>. Mentre la dimensione dello stesso resta affascinante, ci troviamo ancora a speculare su cosa possa esistere oltre il nostro attuale confine di conoscenza. Siamo in grado di ipotizzare e fare ricerche, ma le risposte concrete rimangono sfuggenti<sup>20</sup>. Cosa c'è oltre il confine? C'è un vuoto? O ci sono altre forme di vita e realtà ancora sconosciute? Queste domande sono ancora senza risposta e richiedono ulteriori studi e ricerche. La quantità di informazioni di cui disponiamo ci permette di fare ricerche e ipotesi ma non di dare risposte concrete alle molte domande su di esso. Le

<sup>18</sup> VALTIERI S., 2023.

<sup>19</sup> D'ANNA P., 2020.

<sup>20</sup> RANDALL L., 2006.

Allo stesso modo, lo studio della composizione materica di Marte, oltre a permetterci di ottenere informazioni sulla sua formazione e sul suo sviluppo nel corso del tempo, ci consente di identificare risorse utili per la sopravvivenza degli astronauti, come l'acqua o i minerali necessari per creare strutture portanti o produrre energia elettrica. Entrambi rappresentano sfide affascinanti e cruciali per l'esplorazione e lo sviluppo dell'Universo. Comprendere le analogie e le similitudini con la Terra permetterà di acquisire competenze e dati preziosi per affrontare progetti sulle loro superfici.

tuttavia, va adattato alle condizioni del singolo elemento sul quale si intende concentrarsi. Pianeti, Lune e *spazio aperto*<sup>23</sup> posseggono condizioni diametralmente opposte e gli stessi (tra loro) assumono caratteristiche diverse. Terra e Giove, pur essendo entrambi pianeti<sup>24</sup> hanno proprietà tali per cui la vita è possibile soltanto sul primo. Comprendere la composizione del luogo con il quale ci si va a raffrontare è fondamentale, tanto quanto lo è capire come arrivarci. Per questo motivo si prenderanno in esame due importanti entità spaziali: la Luna, che orbita attorno al nostro pianeta, e Marte, che è il più simile alla Terra.

La prima riveste un ruolo di grande importanza. Nonostante le condizioni al suolo ostili, come l'assenza di atmosfera e temperature estreme, comprenderne le dinamiche può fornire informazioni preziose per lo sviluppo di progetti futuri. Ad esempio, traendo insegnamenti sulla gestione delle risorse e sulle sfide dell'adattamento. Non va inoltre dimenticato che la Luna costituisce un punto strategico fondamentale. Grazie alle condizioni della stessa risulta un punto di partenza decisamente migliore per le sonde spaziali e come tale necessiterà di basi utili alla permanenza dell'uomo.

<sup>[1]</sup> Inteso come spazio interstellare o cosmico, composto da elementi come plasma di Idrogeno ed Elio, materia non direttamente osservabile, energia e campi magnetici

<sup>[2]</sup> Per il termine si è fatto riferimento alla voce “Pianeta” nell’Enciclopedia Treccani on line, disponibile al sito: https://www.treccani.it/enciclopedia/pianeta/, ultima consultazione gennaio 2024.

strumentazioni e all’applicazione delle conoscenze. Le smentite, le modifiche e i passi indietro sono stati innumerevoli. In qualche modo però il sogno di uscire dalla Terra, pur essendo mutato, non è mai stato abbandonato. La ricerca di tecnologie che possano aiutare nella comprensione e nell'esplorazione dell'Universo è un processo complesso e necessita di studi approfonditi. La vastità dell'argomento richiede un'analisi dettagliata delle stesse, della loro utilità e dell’applicabilità, tenendo sempre presente il progresso ad esse connesso. Proprio per questo motivo il numero di personaggi coinvolti è destinato ad aumentare, non soltanto a livello di aziende private o pubbliche, ma proprio di figure professionali. Il numero di *stakeholders* coinvolti rende la disciplina spaziale qualche cosa di infintamente vasto. In questa dimensione si inserisce l’architettura, non in quanto semplice manuale di norme e regole, ma come vero e proprio punto di partenza per lo sviluppo di sistemi innovativi che valorizzino il passato. L’enorme numero di professionisti<sup>21</sup> che vertono in questa direzione ha permesso lo sviluppo di progetti innovativi che prevedono costruzioni su altri pianeti. Ciò che lo ha reso possibile è l’adattamento dei concetti conosciuti (come le fasi necessarie allo sviluppo di un progetto) e della metodologia di ricerca<sup>22</sup>. Ognuno di questi,

<sup>[1]</sup> Il numero di professionisti coinvolti è destinato ad aumentare, non soltanto a livello di aziende private o pubbliche, ma proprio di figure professionali

<sup>[2]</sup> Si veda il capitolo 4 (Space architecture: concetti e ambiti di studio), della presente tesi di laurea.

<sup>[3]</sup> Si veda il capitolo 2 (L’architettura come strumento fondamentale), della presente tesi di laurea.

nostre possibilità di esplorazione sono al momento molto limitate (dai costi, dalle tecnologie e non solo) e ciò è superabile soltanto decidendo di correre dei rischi.



► “L’uomo è nello Spazio!, il primo capitano del viaggio nelle stelle è nostro, sovietico!” recita la prima pagina del giornale “Komsomolskaya Pravda”, del 13 aprile 1961. Da allora i passi avanti sono stati notevoli e si è compreso che, così come per le imbarcazioni, anche per le navicelle il rischio non sarà mai pari a zero.

Fare delle scelte sulle successive azioni da svolgere non è semplice e lo stesso porsi di fronte ad una scelta comporta eventualità non necessariamente con esito positivo.

Nel corso della storia molte valutazioni sono state fatte in questo senso; relative all’eventualità del viaggio, all’invio di persone, di



Nella pagina precedente:

Disegno dell'astronomo Giovanni Virgilio Schiaparelli,

"Carta dell'emisfero boreale marziano in proiezione polare";

fonte: <https://www.astrogeo.va.it/astrologia/schiaparelli.php>, ultima consultazione settembre 2024.

## Capitolo

# 02

### L'architettura come strumento fondamentale

- Sfide costruttive terrestri 16
- Convergenze 20
- Contributo allo sviluppo di nuove tecnologie e sistemi 22

# L'ARCHITETTURA COME STRUMENTO FONDAMENTALE

La conoscenza del nostro patrimonio ci permette di approfondire lo studio della storia dell'architettura, la quale, è molto più di un semplice insieme di edifici e strutture. È un riflesso della cultura, della società e dell'evoluzione umana nel corso del tempo.

Persino un luogo come Manhattan, considerabile come laboratorio di sperimentazione architettonica e urbanistica del XX secolo, scevro da vere e proprie regolamentazioni specifiche di progettazione, culmina in una visione unica e permette la comprensione di una parte della storia dell'architettura (la città contemporanea). Come illustrato nel testo di Koolhaas<sup>25</sup>, "Delirious New York"<sup>26</sup>, l'isola rappresenta un manifesto vivente per la vita metropolitana moderna, caratterizzata da grattacieli, sovraffollamento e una continua reinvenzione. Si analizzano eventi passati e progetti architettonici di Manhattan per spiegare come abbiano involontariamente creato una teoria urbana coerente. Invece di proporre nuovi piani, Koolhaas rivisita e reinterpreta processi

esistenti che hanno modellato il tessuto costruito. L'ascesa dei grattacieli si pone come elemento centrale: si tratta di come questi non siano solo soluzioni pratiche alla densità urbana, ma anche simboli di modernità e competizione economica. Nella trattazione la griglia stradale diventa fondamentale per permetterne la crescita ordinata ma flessibile. Il suo "delirio" corrisponde proprio alla combinazione di ordine e caos; di innovazione sfrenata e di rigida pianificazione. Gli esempi che porta, del Rockefeller Center e del Waldorf-Astoria Hotel illustrano come l'architettura risponda ai bisogni economici, sociali e culturali della città. Non solo documenta la storia architettonica di Manhattan, ma offre una visione celebrativa della città come un esperimento urbano in continua evoluzione in cui la complessità, l'inventiva e l'energia metropolitana la trasformano in un modello di urbanizzazione vero e proprio dove caratteri negativi diventano positivi. È proprio grazie alla consapevolezza di questi presupposti che possiamo guardare allo sviluppo della città contemporanea con accezione positiva e come aiuto per la comprensione della società del nostro tempo.

<sup>25</sup> Architetto, urbanista e teorico (1944-) i cui studi scritti indagano i paradigmi architettonici consolidati mettendoli in discussione. *DOMUS*, *Rem Koolhaas*, disponibile al sito: <https://www.domusweb.it/it/progettisti/rem-koolhaas.html>, ultima consultazione aprile 2024.

<sup>26</sup> KOOLHAAS R., 1994.



► Nel gennaio del 1931, gli architetti di Manhattan misero in scena lo "Skyline di New York" in occasione del ballo in maschera "Fête Moderne". Il manifesto dell'innovazione era così ampio da essere esteso anche alle maggiori manifestazioni pubbliche. KOOLHAAS R., 1994, p. 128.

La conoscenza non è dunque solo un esercizio accademico, ma una chiave per comprendere il nostro passato e plasmare il nostro futuro. Ci offre un quadro temporale delle varie fasi dello sviluppo umano. Ogni epoca ha prodotto linguaggi architettonici unici, influenzati da fattori sociali, politici, culturali ed economici. Studiando come le diverse civiltà hanno affrontato la costruzione degli spazi, possiamo ottenere una prospettiva più ampia su come la società si è evoluta nel corso del tempo. È un tesoro di ispirazione per i progettisti contemporanei. Conoscere le innovazioni e le sfide affrontate dagli architetti del passato può informare e arricchire le soluzioni progettuali attuali. Le lezioni apprese da antiche civiltà, come l'uso sapiente dei materiali, la sostenibilità e l'adattamento al contesto ambientale, sono preziose fonti di ispirazione per affrontare le sfide architettoniche moderne.

Il passaggio ad ambienti non terrestri richiederà l'adozione di nuove tecniche che terranno conto delle conoscenze acquisite e che, grazie allo studio e messa in dubbio delle metodologie, permetteranno applicazioni innovative. Seppur interfacciandosi con problemi nuovi, come gli impatti meteorici o una percentuale minore di gravità, il concept gestionale sarà lo stesso. Ad esempio, il concetto di gestione delle risorse, la pianificazione delle attività e la gestione dei rischi saranno ancora fondamentali ed il metodo di sviluppo sarà lo stesso già noto ed applicato quotidianamente nei progetti di piccola o grande scala<sup>27</sup>.

### SFIDE COSTRUTTIVE TERRESTRI

La voglia umana di creare ha costituito un *fil rouge* protrattosi nei secoli. La realizzazione di strutture complesse ha stimolato la risoluzione di problemi sia architettonici che costruttivi e la conoscenza che ne è inevitabilmente derivata ci ha permesso di comprendere le sfide affrontate dai nostri predecessori e le soluzioni che hanno trovato per superarle, consentendo di sviluppare progetti migliori. La storia può essere utilizzata come ispirazione per nuove idee di progettazione e per fornire una base di conoscenze per lo sviluppo di nuove tecnologie e sistemi, specialmente nel campo architettonico. Il vantaggio della conoscenza del Patrimonio

<sup>27</sup> Si veda il capitolo 2 (L'architettura come strumento fondamentale), della presente tesi di laurea.

costruito non significa soltanto avere competenze teoriche; al contrario, rappresenta un fondamentale strumento per comprendere appieno i processi e i metodi adottati dalle Istituzioni nel corso della storia per affrontare e superare difficoltà di varia natura. Tale conoscenza emerge in maniera evidente quando si analizza il percorso che ha condotto allo sviluppo di Normative<sup>28</sup> e Carte di Tutela<sup>29</sup> del costruito, così come nella sostenibilità delle soluzioni adottate in passato<sup>30</sup>. La consapevolezza del Patrimonio Culturale e architettonico consente di acquisire una comprensione più ampia e profonda dei metodi e delle strategie messe in atto dalle generazioni

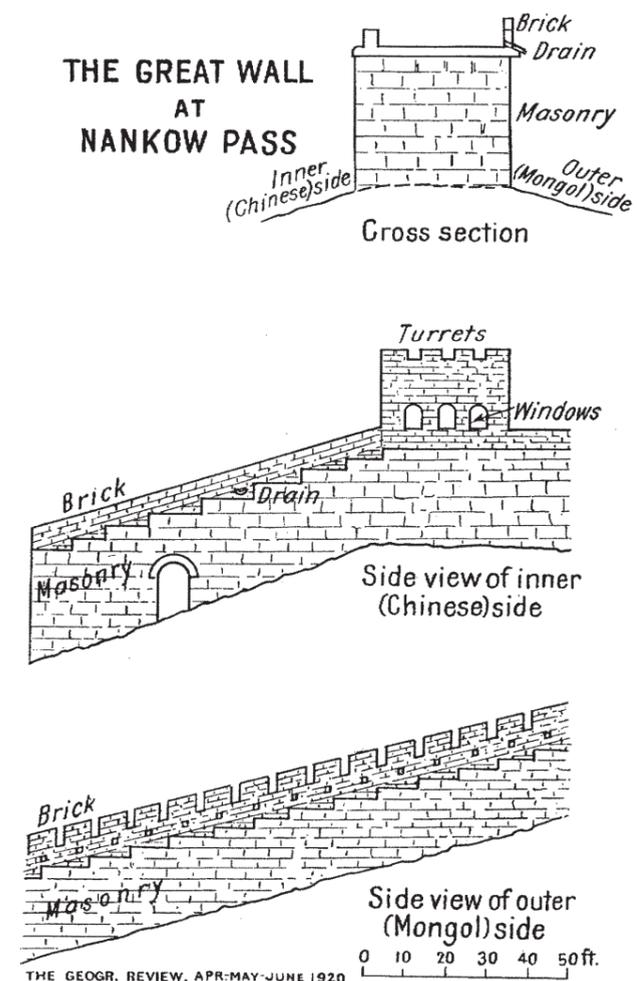
<sup>28</sup> Pur non essendo la prima regola redatta applicabile alle costruzioni, nel 1942 viene promulgata la prima legge 1150 sull'urbanistica che si riferisce all'edilizia privata su suolo privato. Da allora, compresa l'annessione all'Europa e la conseguente implementazione di norme di vario livello, si sono introdotte numerose specifiche che controllano la regolarità e sicurezza dei manufatti. MARTINI A., 2020.

<sup>29</sup> A partire dalla prima legge nazionale (l. 185/1902, o Legge Nasi), passando per le Carte di Tutela internazionali si è arrivati ad una definizione del Codice dei beni culturali e del paesaggio di cui al d.lgs. 22 gennaio 2004, n.42. Grazie a Convenzioni come Faro, nel 2005, e alla istituzione di organismi internazionali, (vedi l'UNESCO nel 1972) si è avvalorato il crescente riconoscimento dell'importanza storica, culturale e sociale del patrimonio costruito e della sua rilevanza per lo sviluppo delle generazioni future. CROSETTI A., VAIANO D., 2018; VOLPE G., 2016.

<sup>30</sup> Un esempio è il riutilizzo dei materiali tratti da monumenti pre-esistenti, già comune in epoca romana. Allo stesso modo l'utilizzo di piante al sopra ad un edificio era già noto in epoca Medievale, la torre Guinigi di Lucca è la dimostrazione che la sostenibilità, pur essendosi evoluta e adattata ai tempi, è un concetto insito nella costruzione dell'uomo. ROMEO E., 2021.

precedenti per far fronte a sfide complesse, fornendo preziose lezioni per il presente e il futuro. Ogni passo è una conseguenza del passato. Da sempre l'uomo si è scontrato con problemi costruttivi o difficoltà progettuali. Le soluzioni adottate hanno permesso di superarle con gli strumenti a disposizione, non necessariamente tecnologicamente avanzati. È affascinante notare come alcune delle più grandi meraviglie architettoniche del mondo, come la cupola di Santa Maria del Fiore o la Grande Muraglia Cinese, siano state realizzate senza l'ausilio delle moderne tecnologie che oggi consideriamo indispensabili.

La cupola della cattedrale, progettata da Filippo Brunelleschi (1277-1446), è una struttura complessa che ha rappresentato una sfida senza precedenti per l'epoca. Uno dei principali problemi affrontati dall'architetto fu quello di come costruire e sostenere la cupola durante la sua realizzazione. Furono sviluppate soluzioni ingegnose per garantire la stabilità della struttura, come l'uso di robusti anelli di rinforzo in pietra per distribuire il peso e il sistema delle catene di ferro nascoste all'interno dei mattoni per garantire una maggiore resistenza. Brunelleschi dovette basarsi principalmente sulla sua intuizione e sulla sua capacità di risolvere i problemi in corso d'opera. Fu costretto a eseguire molte prove e modifiche nel corso della costruzione per garantire la stabilità e la resistenza della cupola. Lo stesso vale per la costruzione della Grande Muraglia, oggi simbolo nazionale della Cina.



► Sezioni e prospetti del passo di Nankow. Uno degli esempi della composizione materica della Grande Muraglia Cinese che resta non omogenea nè nelle dimensioni, nè nella tecnologia costruttiva utilizzata: in questo caso mattoni. CLAPP F. G., 1920, p. 247.

Iniziata intorno al VII secolo a.C., ha visto una lunga fase di sviluppo, la cui maggior parte delle sezioni esistenti risale alla dinastia Ming (1368-1644). Si estende per circa 21.196 chilometri, ed è dunque la struttura artificiale più lunga del

mondo. Anche in questo caso, i problemi costruttivi sono stati diversi, il più importante è legato alla sua dimensione che ha portato a doversi relazionare con differenti strutture fondative (a causa delle diverse caratteristiche del terreno) e con il problema del reperimento dei materiali da costruzione che hanno portato alla realizzazione di superfici discontinue. Se nelle zone montuose furono usate pietre è infatti constatabile che in zone pianeggiate venne fatto utilizzo perlopiù di terra battuta e legno.

Tutt'ora esistono circostanze o luoghi geografici che ci pongono in situazioni complesse da risolvere. Basti pensare alla costruzione in contesti molto freddi o molto caldi. I terreni del Nord, dove prevale un clima estremamente freddo, richiedono soluzioni costruttive specifiche per garantire il comfort termico e non solo<sup>31</sup>. Allo stesso modo, le sfide rappresentate dai terreni costieri o oceanici richiedono tecniche architettoniche che possano resistere alle forze marine e parallelamente minimizzare gli effetti negativi sull'ambiente circostante.

In tempi relativamente recenti, la progettazione della Sydney Opera House in Australia ha dovuto affrontare complesse sfide ingegneristiche, in particolare nella costruzione delle fondazioni. Il sito di Bennelong Point, caratterizzato dalla presenza di arenaria di Hawkesbury, ha richiesto

<sup>31</sup> I governi del Nord Europa stanno introducendo standard più elevati per l'efficienza energetica negli edifici, compresi i requisiti per il riscaldamento, il raffrescamento e la ventilazione. Ognuno di questi aspetti comporta una progettazione più efficace e sviluppo/sperimentazione di nuove tecnologie.

l'implementazione di due tipi distinti di fondamenta: su pali trivellati e a piattaforma. La prossimità al mare ha imposto l'adozione di misure specifiche per contrastare gli effetti delle mareggiate e le condizioni geotecniche del suolo. Lo stesso è infatti composto da substrati non idonei alla posa di fondazioni ed era soggetto a cedimenti<sup>32</sup>.

Ancora le stesse costruzioni in luoghi ove da sempre si costruisce, sono diventate molto più complesse a causa dei cambiamenti climatici, della crescita esponenziale del numero di individui sulla Terra e del progressivo ma costante esaurimento delle risorse naturali<sup>33</sup>. Ne derivano dunque nuovi concetti che portano alla elaborazione di nuove strategie (ad esempio la de-cementificazione<sup>34</sup>) che traggono spesso ispirazione da ambiti disciplinari vari, rendendo sempre più indispensabile la *multidisciplinarietà*<sup>35</sup>.

<sup>32</sup> HOGGETT P. (a cura di), 1973, pp 5-6.

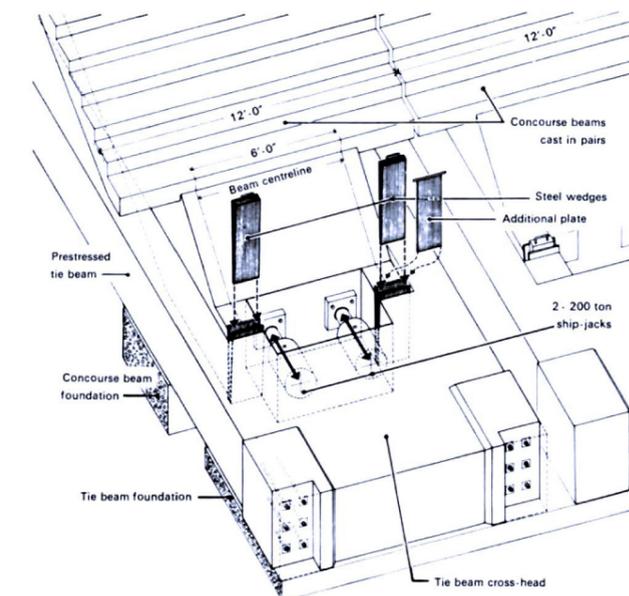
<sup>33</sup> BANNOVA O., 2018.

<sup>34</sup> Utilizzando i fondi del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), sono iniziati i lavori di riqualifica del Parco del Valentino il cui punto fondamentale è la rimozione dell'asfalto dai viali che permetterà una migliore gestione della permeabilità del suolo, indispensabili viste le sempre più frequenti alluvioni. Se è vero che i luoghi collocati in prossimità di correnti d'acqua sono sempre stati caratterizzati da potenziali rischi, questi si sono intensificati e i metodi di contenimento fino ad ora utilizzati non solo più sufficienti, motivo per il quale si cercano alternative utili ed ecologiche. COMUNE DI TORINO, 2023.

<sup>35</sup> Si veda il capitolo 4 (Space architecture: concetti e ambiti di studio), della presente tesi di laurea.



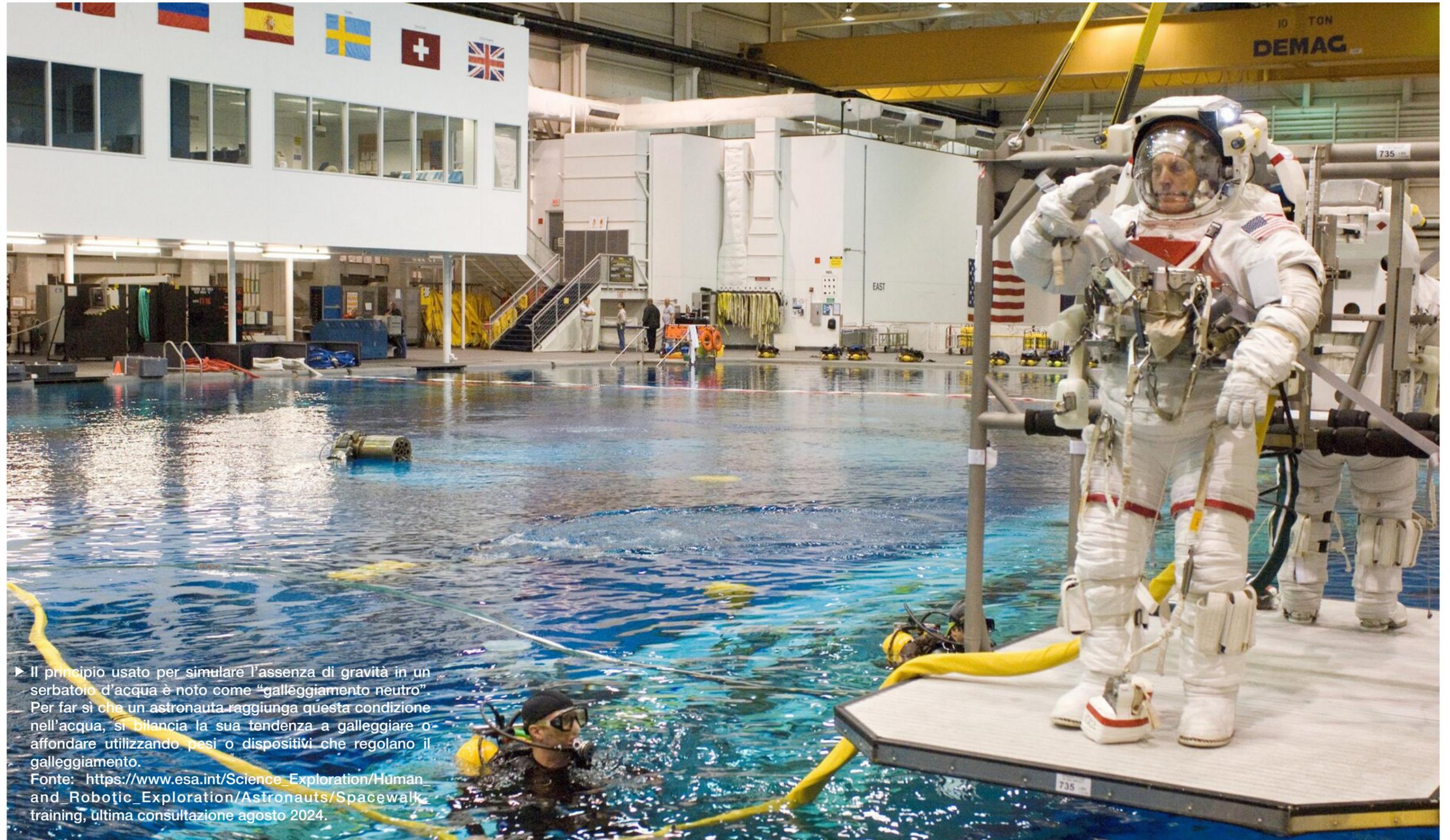
► "Test strutturale su modello in scala", HOGGETT P., (a cura di), 1973, p. 10.



► I giunti tra le travi ed il calcestruzzo precompresso sono collegati a loro volta ad una sottostruttura in cemento armato. Per dare maggiore stabilità, i legami per ogni coppia di travi sono uniti in modo che la spinta possa essere regolata anche successivamente alle sollecitazioni. "Assonometria isometrica delle fondazioni", HOGGETT P., (a cura di), 1973, p. 8.

## CONVERGENZE

C'è un'interessante convergenza tra le sfide affrontate nella costruzione terrestre e spaziale: la necessità di massimizzare l'efficienza, minimizzare l'impatto ambientale e garantire la sicurezza strutturale. L'esplorazione di per sé possiede diverse analogie sia in quantità di rischio occorso nelle spedizioni antiche e moderne, sia in termini di parametri di successo (che dipendono sempre, ma non solo, dall'esperienza, dal supporto monetario e dalla tecnologia)<sup>36</sup>. Le esperienze vissute dagli equipaggi su veicoli spaziali statunitensi e russi, su sottomarini e in stazioni polari hanno evidenziato problemi quindi assimilabili. In queste situazioni, essendo isolati dal mondo esterno, gli equipaggi devono imparare a essere autosufficienti e collaborare strettamente per risolvere ogni tipo di difficoltà. Inoltre, devono essere addestrati e attrezzati per far fronte ai malfunzionamenti delle apparecchiature in un ambiente ristretto, con un numero limitato di attrezzature e in un luogo inospitale. Le esercitazioni NASA comprendono immersioni proprio per le analogie rilevate tra i vincoli spaziali evidenziati in attività EVA, inteso come tutte le attività svolte dagli astronauti al di fuori della ISS o in generale, nello Spazio aperto e comprendono una serie di attività (anche manutentive) che richiedono un elevato livello di attenzione e preparazione, e le attività sottomarine: in entrambi i casi la sopravvivenza



► Il principio usato per simulare l'assenza di gravità in un serbatoio d'acqua è noto come "galleggiamento neutro". Per far sì che un astronauta raggiunga questa condizione nell'acqua, si bilancia la sua tendenza a galleggiare o affondare utilizzando pesi o dispositivi che regolano il galleggiamento.  
Fonte: [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Human\\_and\\_Robotic\\_Exploration/Astronauts/Spacewalk\\_training](https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Astronauts/Spacewalk_training), ultima consultazione agosto 2024.

<sup>36</sup> BANNOVA O., BAROFF L., 2010.

è delegata a sistemi di supporto artificiale e vanno svolte mansioni impegnative con attrezzature scomode e ingombranti<sup>37</sup>. Similmente allo spazio, gli alti costi di trasporto, le restrizioni sui volumi di carico e le limitazioni sui periodi di accesso ai siti impongono vincoli significativi negli ambienti estremi sulla Terra, come nelle operazioni polari e nelle risposte alle emergenze. Questi vincoli influenzano la progettazione delle strutture, l'uso e la fattibilità di grandi apparecchiature, il rifornimento dei materiali di consumo e i cicli di rotazione del personale<sup>38</sup>.

Materiali avanzati, tecnologie di costruzione modulari e sistemi di gestione delle risorse sono diventati aree di ricerca fondamentali in entrambi i contesti. Le sfide attuali ci spingono a continuare a cercare soluzioni innovative per affrontare i problemi costruttivi. Grazie ai viaggi al di fuori del nostro pianeta sono state sviluppate nuove tecniche e tecnologie che

<sup>37</sup> *Ibidem*.

<sup>38</sup> “Ad esempio, durante l'estate l'unico mezzo di trasporto disponibile per la maggior parte delle strutture scientifiche della Groenlandia è l'aereo da trasporto pesante LC-130. Le dimensioni del suo carico utile non possono superare le dimensioni di 2,4 x 2,4 x 10,9 m (8 x 8 x 36 piedi) e 11.340 kg (25.000 libbre) di peso. Una breve estate groenlandese e quindi un breve periodo di tempo in cui i voli sono disponibili impongono ulteriori restrizioni sulla massa e sulle dimensioni del carico utile, che possono prolungare significativamente qualsiasi periodo di costruzione. Per semplificare la costruzione e rendere intercambiabili la maggior parte dei componenti della struttura, [...] devono adattarsi alle dimensioni del carico utile consentito; quindi, tutte le dimensioni degli elementi dovrebbero essere divisibili per 2,4 metri.” BANNOVA O., 2018.

successivamente sono state applicate a diversi settori, tra cui quello architettonico. Chiaro esempio di questo influsso è l'innovazione nella progettazione di materiali che, fatta propria la necessità di sviluppare oggetti leggeri, resistenti e duraturi per le missioni, ha portato alla creazione di nuove leghe metalliche, compositi avanzati e rivestimenti protettivi, ora comunemente utilizzati<sup>39</sup>. Gli stessi, infatti, non solo offrono una maggiore resistenza strutturale, ma contribuiscono anche alla sostenibilità grazie a proprietà come leggerezza e riciclabilità. Nonostante le controversie legate a questo nuovo ambito, ne sono evidenti i vantaggi e non si può escludere come, anche in passato, grandi scoperte e grandi innovazioni<sup>40</sup> siano state affiancate da grandi rifiuti, eppure:

“L'UMANITÀ PROGETTA TECNOLOGIA, LA TECNOLOGIA PROGETTA UMANITÀ.”<sup>41</sup>

## CONTRIBUTO ALLO SVILUPPO DI NUOVE TECNOLOGIE E SISTEMI

Qualsiasi pianificazione, indipendentemente dalla sua natura, è articolata in fasi di maggiore o

<sup>39</sup> Si veda il capitolo 3 (Tappe fondamentali dell'esplorazione spaziale), della presente tesi di laurea.

<sup>40</sup> La storia della fondazione di grandi aziende informatiche come Microsoft, Apple, Google è accomunata dalla visione chiara del futuro tecnologico da parte dei fondatori combattuta attraverso controversie legali dovute principalmente alla paura legata alle innovazioni da loro introdotte da persone di vedute ristrette che hanno faticato a considerare prospettive diverse dalle proprie.

<sup>41</sup> TEMPORELLI M., 2021, p. 12.

minore durata temporale, a seconda dell'entità del progetto. In questo contesto, il project management si configura come una disciplina universale che trova applicazione in una molteplicità di settori, dalla costruzione alla tecnologia, dalla sanità all'industria spaziale, fino a settori emergenti come la sostenibilità ambientale e l'intelligenza artificiale. La sua natura trasversale consente di adattare metodi e tecniche a contesti eterogenei, mantenendo invariati i principi fondamentali.

Consiste nell'impiego di competenze, strumenti, tecniche e conoscenze per portare a termine le attività di un progetto, assicurandosi che tutti i requisiti siano soddisfatti. Si tratta dell'arte di pianificare, coordinare e gestire tutte le fasi operative necessarie per trasformare un'idea in un risultato concreto, che sia un prodotto, un servizio o un risultato tangibile<sup>42</sup>.

Questa definizione sottolinea l'importanza di un approccio strutturato e metodico che, sebbene comune a tutti i settori, si adatta alle specificità di ciascuno, dimostrando la sua flessibilità e capacità di adattamento. Nel caso della realizzazione di un progetto, inteso come prodotto univoco realizzato in un asse temporale determinato, esistono vincoli specifici asseribili a risorse, tempi, scopo e qualità. Tuttavia, mentre i principi fondamentali rimangono costanti, l'applicazione specifica può variare a

<sup>42</sup>Per il termine si è fatto riferimento alla voce riportata sul sito ufficiale del PMI, all'indirizzo: <https://www.pmi.org/about/what-is-project-management>, ultima consultazione maggio 2024.

seconda del contesto. Questo è particolarmente evidente quando si confrontano i progetti terrestri tradizionali con quelli condotti in contesto spaziale<sup>43</sup>. In entrambi i casi, il lavoro è suddiviso in fasi distinte che possono includere la pianificazione, l'esecuzione, il monitoraggio e la chiusura del progetto, ma la natura e le priorità di queste fasi possono differire significativamente.

L'applicazione di un piano di lavoro di tipo architettonico, ad esempio, segue i principi generici del project management, declinandoli in maniera specifica attraverso strumenti come la SWOT analysis, la quale permette di valutare punti di forza, debolezze, opportunità e minacce.



<sup>43</sup> Per il termine si è fatto riferimento all'Enciclopedia della NASA, in particolar modo ai “Fundamentals of Systems Engineering” disponibile al sito: <https://www.nasa.gov/reference/2-0-fundamentals-of-systems-engineering/>, ultima consultazione 05/2024.

Si concentra principalmente sul design estetico, funzionale e sull'integrazione armoniosa degli edifici con l'ambiente circostante o, nel caso del restauro, con la compatibilità materica e formale dell'intervento. Il processo stesso di progettazione è più creativo, meno lineare e più flessibile nell'aderenza alle normative. Nonostante ciò, rimane strutturato in fasi ben definite: preliminare, costituita dall'analisi di fattibilità; progetto esecutivo; realizzazione e infine gestione, durante la quale si può fare ricorso a strumenti informatici avanzati come la modellazione BIM. Quest'ultima rappresenta un'evoluzione significativa, che permette di immagazzinare, gestire e tenere sotto controllo una vasta quantità di informazioni sul progetto, rendendo più efficiente la sua gestione e manutenzione nel tempo e di raccogliere le informazioni in un unico file con più dati.

Diversamente, un progetto in campo aerospaziale, per la sua natura spesso più ampia e complessa, concentra maggiormente l'attenzione sugli aspetti tecnici e funzionali<sup>44</sup>. La struttura del processo ingegneristico è generalmente più lineare e analitica, basata su calcoli precisi, simulazioni e test rigorosi che devono garantire la sicurezza e l'affidabilità del prodotto finale, che può variare da un satellite a un veicolo spaziale. Per quanto, in entrambi i

<sup>44</sup>“Le pratiche di architettura spaziale e ingegneria aerospaziale hanno approcci diversi per identificare un problema e trovare una soluzione. [...] Anche il significato del termine “design” differisce tra ingegneri e architetti”. HÄUPLIK-MEUSBURGER S., BANNOVA O., 2016.

contesti, quindi in progetti per lo spazio e architettonici terrestri, sia possibile un cambio di committenza, in ambito aerospaziale, la perdita dei finanziamenti può causare ritardi e cancellazioni di gran lunga più impattanti. Un edificio la cui costruzione viene posticipata a causa della mancanza di fondi può essere completato in un secondo momento, anche con adeguamenti nel corso dell'opera<sup>45</sup>. Invece, un lancio spaziale mancato a causa di una finestra di lancio non rispettata<sup>46</sup> può comportare danni e perdite economiche di notevole entità, rendendo a volte irrecuperabile l'intero progetto. Uno dei metodi più efficaci per mitigare questi rischi durante la pianificazione è l'uso della Work Breakdown Structure (WBS)<sup>47</sup>, che permette di suddividere un macro-problema in unità più gestibili e specifiche, facilitando così la gestione e l'esecuzione del progetto.

La gestione dei rischi è dunque una componente critica per entrambi. Gli approcci prevedono l'identificazione, l'analisi e la mitigazione dei rischi potenziali che potrebbero influenzare

<sup>45</sup> La Metropolitana di Torino, nello specifico per quanto riguarda la Linea 1 nella tratta Lingotto-Bengasi ha subito un ritardo notevole dovuto da numerosi fattori. Il tempo di cantiere previsto era di circa tre anni e mezzo, diventato nove prima della consegna effettiva al pubblico con notevoli disagi non solo alla viabilità urbana ma anche alle attività commerciali. Tuttavia, pur essendo stato rimandato, non ne è stata pregiudicata la consegna. CARACCILO P.F., 2021.

<sup>46</sup> Si veda il capitolo 4 (La Space Architecture: concetti e ambiti di studio), della presente tesi di laurea.

<sup>47</sup> *Ibidem*.

negativamente il progetto<sup>48</sup>; a livello finanziario, tecnico, operativo e di sicurezza valutati da un team multidisciplinare. Per quanto l'impatto degli eventuali fallimenti sia di portata evidentemente maggiore nel caso di progetti spaziali, il concept alla base dei processi decisionali rimane invariato. Il punto di giunzione tra i due contesti è ovviamente quello della progettazione di habitat extra-terrestri, dove le due discipline si fondono, generando un processo decisionale e progettuale che deve tenere conto parimenti del design architettonico e dei rigorosi calcoli strutturali necessari per garantire la sopravvivenza e il benessere umano. In questo scenario, il ruolo del project manager diventa cruciale. Tale figura professionale, indipendentemente dal fatto che sia o meno un architetto, possiede le competenze necessarie per affrontare e realizzare un prodotto complesso, che si tratti di un edificio o di un satellite. Sebbene il livello di responsabilità e la composizione del team possano variare, la complessità intrinseca dei progetti rimane comparabile. Tuttavia, nel contesto della space architecture, un project manager che sia anche architetto apporta un contributo più specifico e prezioso al progetto. Se, inoltre, questo professionista possiede una formazione che include conoscenze storiche e tecniche, può essere in grado di ottimizzare l'uso degli strumenti (quali conoscenze, risorse economiche, materiche e tecnologie a

<sup>48</sup> PHILLIPS T., 2024.

disposizione), concentrandosi su soluzioni innovative. La sua presenza può risultare decisiva, soprattutto in un settore dove la fusione tra creatività e rigore scientifico è fondamentale per il successo del progetto.

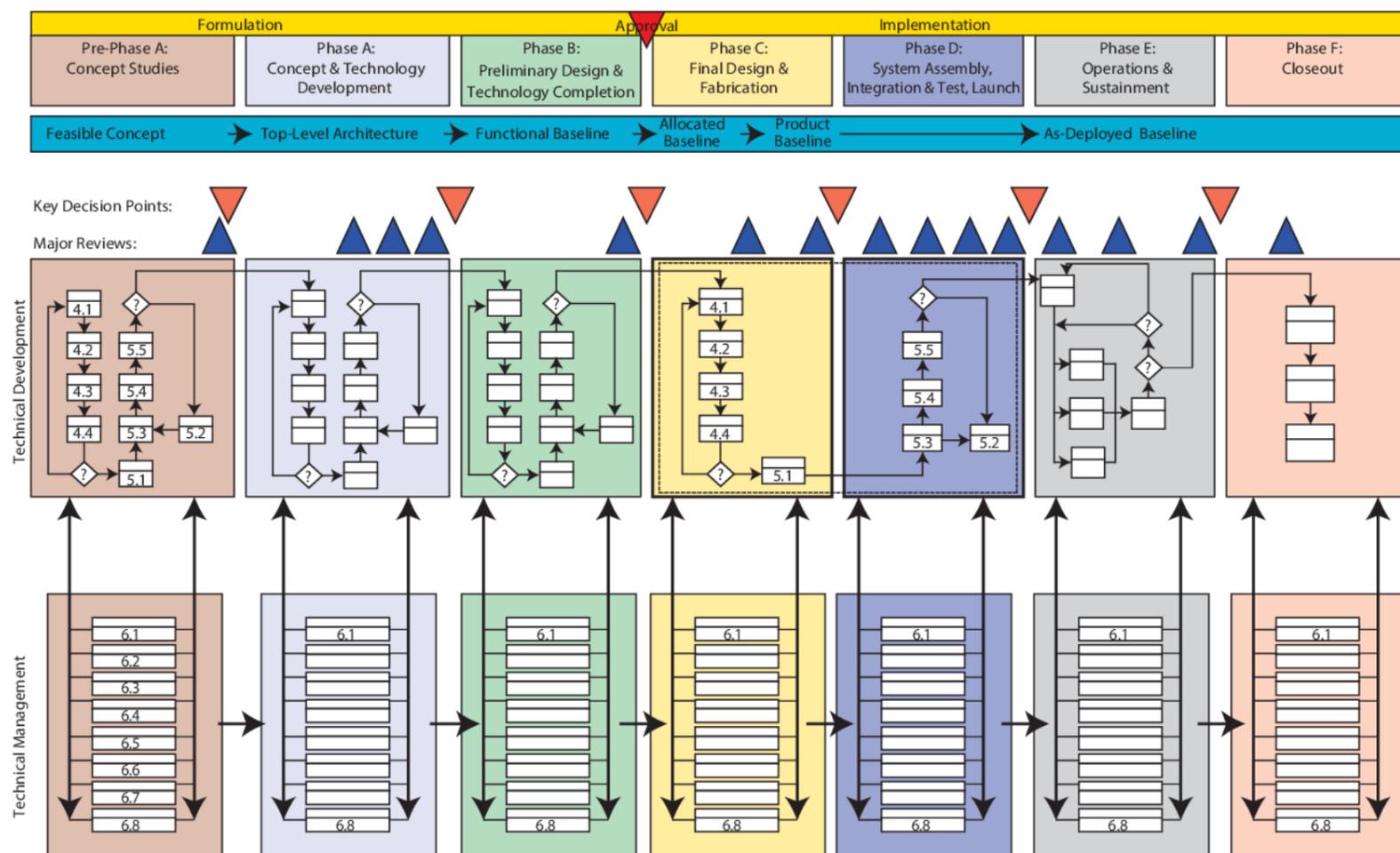
L'unione di questi due ambiti è aggregabile sotto la Teoria di Maslow<sup>49</sup> che, applicata al project management, può aiutare nel percorso di definizione di un progetto. La teoria dello psicologo statunitense, basata sullo studio comportamentale, suddivide le necessità in cinque macroaree: i bisogni fisiologici, le esigenze di sicurezza, la socialità, la stima di sé e l'autorealizzazione. Alla base della stessa viene stabilita la necessità delle “pulsioni fisiologiche”<sup>50</sup> delle quali, pur affermando che non sia possibile averne un elenco esaustivo e completo, si parla facendo riferimento alle recenti (dell'epoca)<sup>51</sup> scoperte della omeostasi<sup>52</sup> e degli appetiti. Quello che sostanzialmente viene teorizzato è come l'essere umano gerarchizzi le sue questioni di vita e come, tendenzialmente, la soddisfazione degli aspetti avviene in maniera progressiva. Ad esempio, in

<sup>49</sup> MASLOW A.H., 1943.

<sup>50</sup> *Ibidem*.

<sup>51</sup> Nel periodo della redazione della Teoria.

<sup>52</sup> Riferito alla modifica apportata dal fisiologo statunitense W. Cannon (1871-1945) che riferendosi all'ambiente interno, dunque l'organismo, “introdusse il termine 'omeostasi' per sottolineare che le condizioni non sono fisse, ma mantenute dinamicamente entro un ambito (anche se ristretto) da processi autoregolati”. ENCICLOPEDIA TRECCANI, disponibile al sito: [https://www.treccani.it/enciclopedia/omeostasi\\_\(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/omeostasi_(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica)/), ultima consultazione gennaio 2024.



► Versione in miniatura del flusso di processo del ciclo di vita del progetto NASA in formato poster per i sistemi di volo e di terra. La parte orizzontale più in alto di questo grafico è utilizzata come riferimento alla maturità del sistema di progetto, man mano che il progetto progredisce da un concetto fattibile a un sistema implementato. La successiva banda orizzontale principale mostra i processi di sviluppo tecnico in ogni fase del progetto. Il motore SE esegue cinque cicli dalla fase preliminare A alla fase D. La direzione stabilita ha strutturato le fasi C e D per "dividere" i processi di sviluppo tecnico a metà nelle fasi C e D per garantire un controllo di gestione più rigoroso. Una volta che un progetto entra nel suo stato operativo (fase E) e si chiude (fase F), il lavoro tecnico si sposta su attività commisurate a queste ultime due fasi del progetto. Analogamente a quanto accade in un progetto architettonico, il ciclo vita è definito in fasi che ne razionalizzano il processo. HIRSHORN S. R., VOSS L. D., BROMLEY L.K., 2017.

caso di smarrimento in un luogo sconosciuto terrestre si cercherebbe prima di tutto acqua, poi si troverebbe un riparo, poi un contatto con la civiltà ed infine tutto il resto. Anche nella Space Architecture, la Teoria di Maslow, diventa uno strumento fondamentale. Quando si progetta in ambienti come lo spazio, è essenziale garantire che i bisogni primari degli astronauti siano pienamente soddisfatti prima di affrontare gli aspetti del design. Successivamente entrano in gioco elementi

familiari o naturali che possano alleviare stress e solitudine. Il bisogno di stima di sé e di autorealizzazione si tradurrebbe come la definizione di un luogo che permetta di svolgere il lavoro in modo efficiente e gratificante. Il project manager, la cui formazione disciplinare parte dall'ambito architettonico, può fare la differenza, bilanciando soluzioni tecniche e umane, rispettando tutti i parametri elencati, dando un apporto che un ingegnere non riuscirebbe a fornire.

# TAPPE FONDAMENTALI DELL'ESPLORAZIONE SPAZIALE

La storia dell'esplorazione spaziale può essere fatta, erroneamente, risalire al lancio del primo satellite da parte dell'Unione delle Repubbliche Socialiste Sovietiche (URSS) nel 1957. In realtà, tale evento rappresenta l'apice di una serie di sperimentazioni, studi e fallimenti che hanno caratterizzato la corsa allo spazio tra le due superpotenze mondiali del XX secolo, Stati Uniti e Unione Sovietica.

Facendo un passo indietro, tutto ciò che noi oggi decidiamo di studiare è dovuto a millenni di anni in cui, uomini e donne, alzando gli occhi al cielo non hanno visto solo buio, bensì un'opportunità. Lo sguardo verso il cielo può essere tuttavia ingannevole. Ad una osservazione distante e superficiale, Terra e Venere potrebbero sembrare identiche. Posseggono entrambe atmosfera ed hanno medesima massa e dimensioni. Noi ovviamente sappiamo che è falso e nessun essere umano cercherebbe mai vita (per come la conosciamo) su quel pianeta. Eppure, questo permette la comprensione di quanto poco conosciamo del Cosmo<sup>53</sup>. Per decenni si è cercato un gemello terrestre per permettere all'umanità di colonizzare un altro luogo, di espandersi e prosperare. Solo quando si è

iniziato a studiare per imparare, si è davvero aperto un innumerevole numero di porte. L'umanità ha assistito ad una lunga fase preliminare di studio, ascrivibile non solo a quella degli ultimi decenni, di sperimentazione (e fallimento) che ha permesso, infine, di spedire un oggetto nello Spazio. Il tutto reso possibile dall'impulso dato dalle innovazioni, che hanno consentito a ingegneri e scienziati di considerare l'obiettivo di spingere un oggetto oltre l'atmosfera terrestre come un traguardo realistico e tangibile<sup>54</sup>.

Le navicelle sono il culmine temporaneo del sogno di uomini novecenteschi che hanno considerato l'obiettivo dei loro avi raggiungibile e il sogno di nuovi pianeti abitati, possibile. L'evoluzione dell'esplorazione cosmica, per come è definita oggi, è caratterizzata da un percorso evolutivo che affonda dunque le sue radici in una complessa rete di fattori tecnologici, scientifici e umani il cui percorso è costellato da una serie di tappe fondamentali, che hanno contribuito a definire la traiettoria dello sviluppo delle annesse discipline e a porre le basi per le future missioni spaziali.

## Capitolo

# 03

### Tappe fondamentali dell'esplorazione spaziale

- La nostra visione dello spazio **32**
- Lo spazio come risorsa **36**

<sup>53</sup> COVONE G., 2023, p. 161.

<sup>54</sup> COTRONEI V., MARUCCI D., (a cura di), 2018.



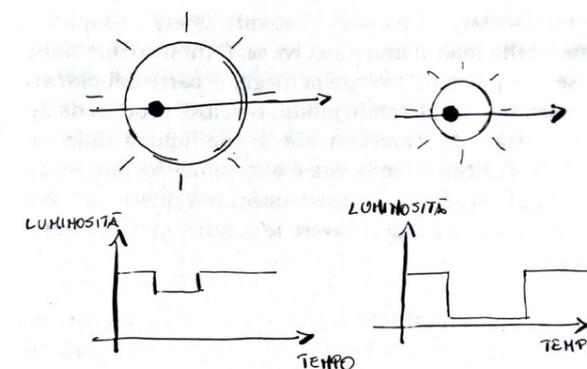
► Primo lancio da Cape Canaveral, luglio 1950. Il razzo, il Blumberg 2, facente parte di un programma missilistico a due stadi, il cui superiore era in grado di raggiungere i 400 chilometri di altezza. Il suo unico carico era costituito da piccole strumentazioni con cui vennero condotti esperimenti riguardanti analisi di temperatura e raggi cosmici.  
Fonte: <https://apod.nasa.gov/apod/ap011022.html>, ultima consultazione giugno 2024.

Tra queste, il lancio del primo satellite costituisce sicuramente un momento di particolare rilevanza, che ha segnato l'inizio di una nuova era per l'umanità, caratterizzata da una crescente consapevolezza dei propri limiti e da una costante spinta verso la conoscenza e l'esplorazione dell'Universo.<sup>55</sup>

Da allora il numero di missioni a corto e lungo raggio è stato in progressivo aumento ed ha alternato viaggi con presenza umana e privi della stessa. Il numero di agenzie spaziali pubbliche e private è aumentato portando ad una diversificazione degli obiettivi. Un esempio di questo progresso è rappresentato dalla missione TESS, la cui sonda è stata lanciata nel 2018 dalla NASA allo scopo di scandagliare

<sup>55</sup> *Ibidem*.

l'intera volta celeste. Si trova oggi nell'orbita terrestre e opera analizzando uno spicchio di Cosmo alla volta con il sistema più semplice possibile: quattro telescopi di appena dieci centimetri di diametro, quindi di dimensioni pari ad uno strumento amatoriale. Nonostante le esigue dimensioni è ad oggi il più grande cercatore di pianeti<sup>56</sup>.



► Confronto tra le curve di luce dei transiti di un pianeta di pari raggio davanti a due stelle di diversa grandezza. La ricerca di pianeti è progressivamente diventata più semplice grazie anche alla comprensione dei meccanismi spaziali.  
COVONE G., 2023, p. 282.

I dati che ne vengono raccolti sono poi analizzati quasi automaticamente e classificati. Vengono arginati i TOI (TESS Objects of Interest), ovvero tutti i pianeti potenzialmente interessanti, e la lista è resa disponibile al mondo attraverso un sistema informatico di condivisione dati<sup>57</sup>. Il suo sistema è sostanzialmente così semplice e richiede un quantitativo di carburante così limitato che la sua missione potrebbe

<sup>56</sup> COVONE G., 2023, pp. 274-293.

<sup>57</sup> *Ibidem*.

continuare per decenni affiancandosi al viaggio umano e selezionando soltanto i luoghi di maggiore interesse.

Per questo motivo i numeri che riguardano lo spazio sono in crescita esponenziale. Basti pensare che, dal '57 ad oggi, sono state effettuate più di 130 missioni e sono state mandate nello spazio ben 610 persone. Sempre a proposito di numeri, la sonda che ha percorso un maggior numero di chilometri è la *Voyager 1* che, nell'aprile del 2020, si trovava ad una distanza di 22,3 miliardi di chilometri dal nostro Sole, entrando così nello spazio interstellare.

Ad oggi esiste una Global Exploration Roadmap (GER)<sup>58</sup> che stabilisce un piano strategico esplorativo per la gestione di questi investimenti scientifici di cui la ISS e Marte hanno stabilito un primo passo verso la definizione di missioni a lungo raggio e come riportato nel volume redatto dall'ASI:

“TRE SONO GLI ELEMENTI CHIAVE SU CUI PUNTERANNO LE AGENZIE SPAZIALI NEI PROSSIMI ANNI: LA ISS CHE, GRAZIE ALLA SUA COLLOCAZIONE DAVVERO UNICA, OFFRE L'OPPORTUNITÀ DI FARE RICERCA NEL SETTORE DELLA FISICA, DELLE SCIENZE DEI MATERIALI E DELLA BIOMEDICINA, DI SVILUPPARE NUOVE TECNOLOGIE [...]; LE MISSIONI ROBOTICHE, CHE FORNENDO PREZIOSE INFORMAZIONI SULLA LUNA, GLI ASTEROIDI E MARTE, CONTRIBUIRANNO A RENDERE LE FUTURE MISSIONI UMANE PIÙ SICURE E

<sup>58</sup> Le informazioni relative al gruppo sono disponibili sul sito ufficiale del coordinamento internazionale per l'esplorazione spaziale, disponibile al sito: <https://www.globalspaceexploration.org/?p=1049>, ultima consultazione maggio 2024.

PIÙ PRODUTTIVE; LE MISSIONI UMANE OLTRE L'ORBITA BASSA DELLA TERRA, NELLE VICINANZE DELLA LUNA O SULLA SUPERFICIE LUNARE, CHE PERMETTERANNO NON SOLO DI COMPIERE NUOVE SCOPERTE SCIENTIFICHE ED APPROFONDIRE LE CONOSCENZE SUGLI ASTEROIDI E SULLA LUNA STESSA, MA DARANNO ANCHE MODO DI TESTARE E VALUTARE LE MODALITÀ DI TRASPORTO, I SISTEMI ABITATIVI, I SUPPORTI ROBOTICI E ALTRE TECNOLOGIE CHIAVE PER LE MISSIONI DI LUNGA DURATA [...].”<sup>59</sup>

Pur non essendo vincolante è evidente che un progetto di tale portata richieda un elevato livello di cooperazione, sia tra Nazioni che tra contesti di tipo pubblico e privato. Ad oggi l'adesione è estesa a ventiquattro agenzie e sono state stabilite delle suddivisioni ulteriori alle fasi che ne favoriscono la fattibilità.

Per quanto riguarda i pianeti oggetto di studio di questa tesi e nello specifico Marte, ad oggi l'Agenzia Spaziale che possiede un maggior numero di esplorazioni è la NASA. La storia dell'indagine del pianeta inizia con la Sonda Mariner, nel 1965, grazie alla quale sono state scattate le prime fotografie. Sempre dello stesso programma fa parte la missione riferita al primo ingresso in orbita, Mariner 9, nel 1971. La Mars 3, della ROSCOSMOS (agenzia spaziale russa), fu la prima a toccare il suolo marziano con successo (anche se per pochi secondi). Tuttavia, vista la delusione di coloro che speravano di trovare qualche forma di vita, l'entusiasmo iniziale andò scemando e possedendo lo stesso un ambiente decisamente ostile, le prospettive

<sup>59</sup> COVONE G., 2023, pp. 11.

cambiarono. Si decise di procedere con missioni orbitanti che permisero di tracciarne una mappa abbastanza esaustiva e di ipotizzare la presenza (poi confermata dalla sonda europea Mars Express) di acqua<sup>60</sup>.

A partire dal 1971 l'umanità ha concretamente iniziato a colonizzare lo spazio con la Salyut<sup>61</sup>, ovvero la prima stazione spaziale orbitante alla quale furono aggiunti laboratori con obiettivi scientifici e militari. Ne seguirono lo Skylab americano, lo Spacelab (nato dalla collaborazione tra NASA e ESRO)<sup>62</sup> e la russa Mir<sup>63</sup> che culminarono con il progetto della ISS iniziato nel 1998<sup>64</sup>. Grazie a questi passi si è riusciti a comprendere la complessità della vita nello spazio e, nonostante sia diminuito l'entusiasmo legato alle leggende, abbiamo ora un approccio più consapevole.

## LA NOSTRA VISIONE DELLO SPAZIO

Parallelamente allo sviluppo di sistemi robotici è cambiato e si è esteso il concetto di esplorazione interplanetaria consentendo di

<sup>60</sup> *Ibidem.*

<sup>61</sup> Inizialmente doveva chiamarsi "Zarya", secondo i materiali pubblicati dalla Rocket and Space Corporation, ma è stato poi sostituito con Salyut perché esisteva già una navicella cinese con un nome simile. RIA Novosti, *RSC Energia ha parlato della realizzazione della prima stazione spaziale della storia*, disponibile al sito: <https://ria.ru/20190419/1552863058.html>, ultima consultazione 03/2024.

<sup>62</sup> L'unione tra ELDO e ESRO, nel 1973, ha permesso la costituzione dei principi dell'attuale ESA.

<sup>63</sup> Tradotto dal russo "pace"

<sup>64</sup> COVONE G., 2023.

raggiungere posti più lontani e inhospitali<sup>65</sup>. Tuttavia, il fascino del Cosmo, insito nella natura umana, si estende dalla notte dei tempi, prima con timore e riverenza e poi con curiosità. La letteratura stessa testimonia come, da sempre, ci sia stato un notevole interesse nei confronti di ciò che sta al di fuori della nostra Terra.

Centinaia di anni fa tutto ciò che si sapeva del Cosmo erano supposizioni dedotte dall'osservazione del cielo da telescopi terrestri. A cavallo tra il XVI ed il XVII sec. la scienza compie un rivoluzionario balzo in avanti passando da "visuale", ovvero basata sull'osservazione, a "sperimentale" dunque accompagnata da prove laboratoriali e matematiche. In questo contesto si colloca Johannes Kepler, scienziato tedesco che, con le tre leggi sul movimento attorno al Sole, rivoluzionò l'astronomia. Il suo pensiero innovativo permise di guardare il Cosmo in modo molto diverso: le leggi del moto planetario fornirono un quadro matematico che descriveva con precisione le orbite ellittiche dei pianeti attorno, al Sole, smantellando definitivamente il modello tolemaico geocentrico e consolidando l'eliocentrismo copernicano. La prima legge<sup>66</sup>, che descrive le orbite planetarie come ellissi (con il Sole in uno dei fuochi), mise in luce la natura dinamica e non uniforme del movimento dei corpi celesti. Questo approccio rigoroso basato su osservazioni e calcoli matematici aprì

<sup>65</sup> *Ibidem.*

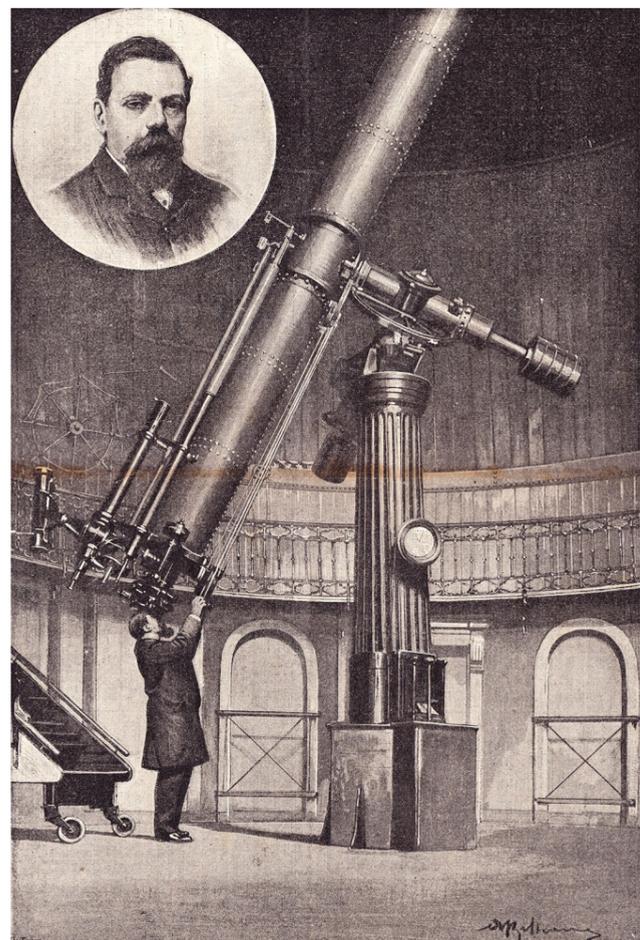
<sup>66</sup> Nominata appunto "Legge delle orbite ellittiche". LOMBARDI A. M., (a cura di), 2020

le porte a una comprensione più approfondita delle forze gravitazionali che governano l'Universo<sup>67</sup>. L'espansione delle conoscenze astronomiche continuò nei secoli successivi. Prima con Isaac Newton che formulò la legge di gravitazione universale riuscendo ad integrare le leggi di Keplero in un quadro più ampio che spiegava non solo il moto dei pianeti, ma anche la caduta degli oggetti sulla Terra. Poi, nel XX secolo, la scoperta della relatività generale da parte di Albert Einstein fornì ulteriori approfondimenti sulla natura della gravità, proponendo una nuova visione del Cosmo come uno spazio-tempo curvo. Questo nuovo modello non solo spiegò le discrepanze nelle orbite dei pianeti che il modello newtoniano non poteva giustificare, ma aprì anche la strada alla comprensione di fenomeni cosmologici su scala più ampia, come la formazione dei buchi neri e l'espansione dell'universo.

Più recentemente la visione dello stesso, in parte dovuta a storie infondate e in parte ad incomprendimenti scientifiche, si è popolata di esseri intelligenti ma tendenzialmente ostili. La più famosa è forse l'idea partita dalle ricerche sul pianeta Marte dell'astronomo italiano Giovanni Schiaparelli. A seguito del perfezionamento dei telescopi, nel 1877, approfittò della vicinanza con il pianeta per osservarlo e disegnarne una mappa dettagliata. Tracciò delle linee rette riportando l'esistenza di canali la cui traduzione erronea dall'inglese

<sup>67</sup> *Ibidem.*

come “canals”<sup>68</sup> invece di “channels”<sup>69</sup> ha dato vita ad una serie di speculazioni sull’esistenza di una civiltà aliena<sup>70</sup>.



► Giovanni Schiaparelli ritratto mentre osserva dal rifrattore Merz-Repsold da 18 pollici. Immagine tratta dal giornale per le famiglie, N. 3, Vol. XXXVII (21 gennaio 1900).

**Solo nel 1909, Camille Flammarion, usando un telescopio migliorato e con una apertura**

<sup>68</sup> Canali artificiali.

<sup>69</sup> Canali di origine naturale, formati senza l’apporto umano.

<sup>70</sup> PANZARELLA M., (a cura di), 2012.

maggiore (pari a 84 cm invece dei precedenti 22) smentì l’ipotesi poi definitivamente eliminata con l’avvento della spettroscopia<sup>71</sup>. L’incomprensione è principalmente dovuta al modo umano di vedere le cose e alla ricerca continua di spazi simili ai nostri. Le scoperte nel corso del tempo sono state diverse ma raramente si è approfondito sull’effettiva composizione o nascita dei corpi celesti. Si è compensato con l’inventiva dando vita ad interi generi letterari e cinematografici. Perché, pur avendo compreso che non vi esistano forme di vita, la nostra immaginazione si è spostata dal pensare a “chi ci viva” al “come ci arriveremo” o “come ci vivremo”. Inoltre, è ben noto che:

“[...]LA SCIENZA NON È SOLTANTO ESPRESSIONE DELLA RAZIONALITÀ: CONVIVONO PASSIONE E FREDDEZZA, LA CAPACITÀ DI SAPER DIMOSTRARE LE PROPRIE SCOPERTE ED DI SAPER RICONOSCERE UN ERRORE LA RAGIONE LA FORTUNA E ANCOR PIÙ LA CAPACITÀ DI RICONOSCERE LA FORTUNA QUANDO ARRIVA.”<sup>72</sup>

Il genere che maggiormente ha coinvolto la fantasia e la scienza legata allo spazio è fatto risalire al primo ventennio del ‘900 con la fondazione della rivista “Amazing stories”<sup>73</sup> la quale diede inizio alla trattazione

<sup>71</sup> FERRI P., 2023.

<sup>72</sup> COVONE G., 2023.

<sup>73</sup> Fondata nell’aprile del 1926 da Hugo Gernsback (1884-1967), Amazing fu la primissima rivista dedicata alla fantascienza, che veniva chiamata all’epoca “Scientifiction”, *Chiude Amazing Stories*, aprile 2006, disponibile al sito: <https://www.fantascienza.com/index.php/7654/chiude-amazing-stories>, ultima consultazione novembre 2024.

“fantascientifica”<sup>74</sup>. In seguito, scrittori come Jules Verne, H.G. Wells e Edgar Rice Burroughs hanno gettato le basi per la letteratura spaziale, creando mondi lontani popolati da creature straordinarie. Tra i pionieri del genere, spicca il nome di Arthur C. Clarke, autore di classici come “2001: Odissea nello spazio” e “Fanteria dello spazio”, le cui opere hanno ispirato generazioni di lettori e addetti ai lavori, contribuendo a diffondere l’entusiasmo per l’esplorazione spaziale.

Negli anni '70, lo stesso entusiasmo della possibilità di trovare forme di vita su Marte, alimentato dalle celebri foto della superficie del pianeta scattate dalla sonda Viking<sup>75</sup>, ha fatto nascere nuovi miti e leggende. Tra queste il cosiddetto “Marte Mystery”<sup>76</sup>, l’ipotesi che la vita esista o sia esistita sul pianeta rosso, il “Pianeta X”<sup>77</sup>, un ipotetico corpo celeste che si suppone orbitare oltre l’orbita di Nettuno e che pur non essendo mai stato provato, continua ad

<sup>74</sup> Intesa come genere letterario, estesosi poi al cinema, in cui l’elemento narrativo si fonda su ipotesi o intuizioni di carattere più o meno plausibilmente scientifico e si sviluppa in una mescolanza di fantasia e scienza, in questo caso particolare, relativo a ciò che riguarda lo spazio e la sua esplorazione.

<sup>75</sup> La missione era composta da due sonde, Viking 1 e 2, ognuna delle quali costituita da un modulo orbitante ed uno di atterraggio. Gli obiettivi fondamentali della missione erano: ottenere immagini ad alta risoluzione del pianeta Marte; caratterizzarne la struttura e la composizione dell’atmosfera e della superficie; ricercare tracce di vita aliena.

<sup>76</sup> Il mistero si è sviluppato a partire dalle immagini riportate dalle sonde Viking.

<sup>77</sup> DRAKE N., 2021.

alimentare la fantasia di astronomi e scrittori. Queste idee hanno giocato un ruolo cruciale nel modellare l’immaginazione e l’interesse per l’universo. Dai romanzi di fantascienza alle opere di divulgazione scientifica, la letteratura spaziale continua a ispirare e affascinare, offrendo un punto di vista unico su stelle, pianeti e sui misteri che ancora attendono di essere svelati, che si tratti di un mito secolare o di una storia di fantascienza. Oggi si sono sostituiti i volumi cartacei con serie televisive e lungometraggi che traspongono gli scritti o introducono nuove storie, sempre con la medesima voglia di scoprire l’ignoto.

La divulgazione scientifica ha svolto un ruolo fondamentale nel diffondere la conoscenza dello spazio e dell’astronomia presso il grande pubblico. Autori come Stephen Hawking, Neil deGrasse Tyson e Piero Angela hanno saputo coniugare la precisione scientifica con la capacità di narrare storie affascinanti e accessibili a tutti. Le loro opere hanno contribuito a creare una cultura scientifica più ampia e sofisticata, in cui lo spazio e l’esplorazione occupano un ruolo di primo piano. L’evoluzione della curiosità ha spinto l’umanità a cercare di capire l’universo che ci circonda e la razionalizzazione scientifica ha permesso di comprenderne i molti vantaggi, tra cui la possibilità di acquisire conoscenze di base che contribuiscono allo stimolo della ricerca.

La scoperta di pianeti extrasolari, o “esopianeti”<sup>78</sup>, ha poi ampliato la comprensione dell'universo e ha portato a nuove domande sulla possibilità di vita al di fuori della Terra. L'unione di più discipline ha permesso di dare nuove interpretazioni, comprendendo a fondo che “vita” potrebbe significare concetti diversi da quelli ipotizzati nei racconti. La biologia insegna che ne esistono varie forme; gli stessi sistemi uni-cellulari possono essere considerati come tali, pur non essendo organismi complessi, analoghi all'essere umano<sup>79</sup>.

Nonostante ciò, l'esplorazione spaziale non è priva di sfide e critiche, in particolare in termini di sostenibilità: il lancio di razzi e satelliti ha un impatto ambientale significativo, compresa l'emissione di gas serra e la produzione di rifiuti spaziali<sup>80</sup>. L'uso stesso di risorse, di per sé limitate, come il carburante per razzi, è decisamente non ecologico inteso come sfruttamento monouso. Per affrontarle, la comunità scientifica e le organizzazioni spaziali, pubbliche e private (vedi SpaceX)<sup>81</sup> stanno esplorando modi per ridurre l'impatto ambientale dell'esplorazione spaziale, attraverso l'uso di propellenti meno inquinanti,

<sup>78</sup> Con il termine “esopianeti” si indica un corpo celeste che orbita intorno a una stella in sistemi simili a quello solare.

<sup>79</sup> NURSE P., 2021.

<sup>80</sup> ALTIERI E., SIMEONI M., PICCIN S., 2022.

<sup>81</sup> La SpaceX, fondata dallo stesso Elon Musk, ha portato a termine l'obiettivo di creare un razzo completamente e rapidamente riutilizzabile e questo è stato la svolta fondamentale necessaria per ridurre sostanzialmente il costo di accesso allo spazio e il suo impatto sul pianeta.

la progettazione di satelliti riutilizzabili, ecc. Garantire la sostenibilità a lungo termine, necessita la comprensione delle sfide ambientali e le critiche relative all'uso di risorse limitate, perciò la nostra visione dello spazio, partita da miti e leggende ed evolutasi con la scienza va affrontata come un concetto in continuo divenire, con vantaggi e svantaggi che non escludono in alcun modo le risorse che ne derivano.

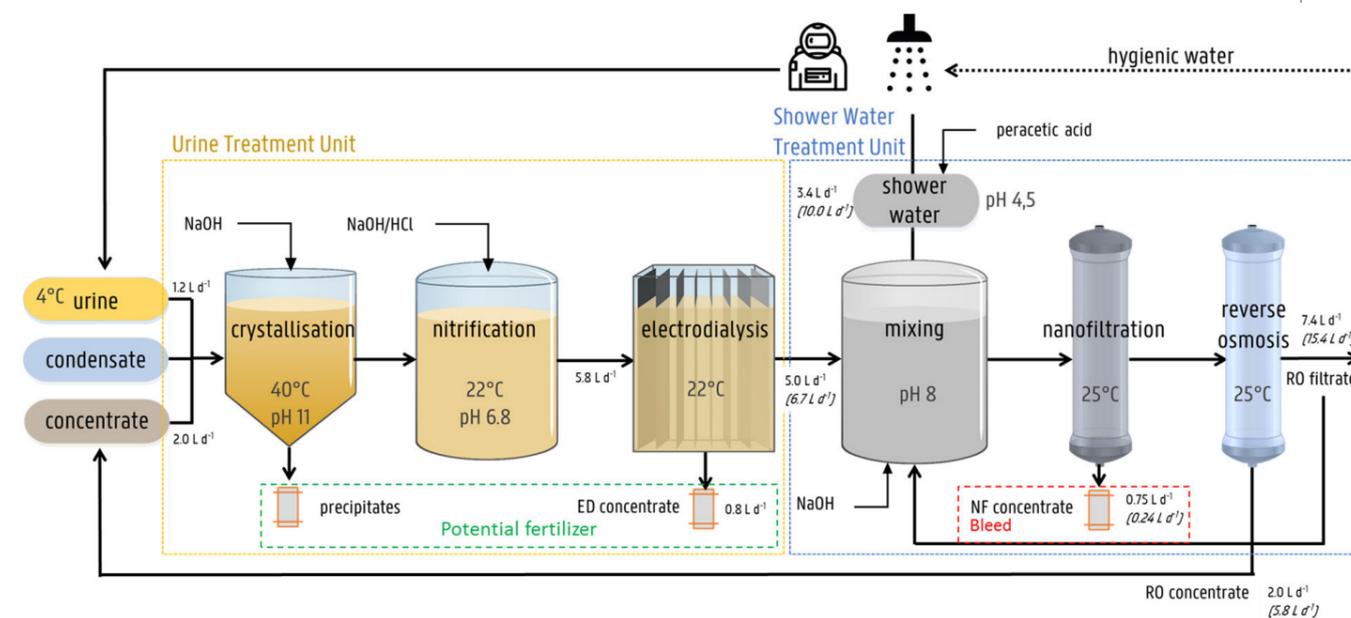
### LO SPAZIO COME RISORSA

Nonostante a breve sarà dismessa, la Stazione Spaziale Internazionale vanta più di vent'anni di servizio e ha costituito un ben noto punto di arrivo della collaborazione internazionale. Collocata nell'orbita terrestre ed assemblata direttamente “in situ” è costituita da numerosi moduli provenienti da varie nazioni ed ha ospitato più di 200 persone<sup>82</sup> da 19 paesi diversi<sup>83</sup>. Ognuna di queste, per periodi di tempo differenti, ha condotto indagini scientifiche ed ottenuto risultati che hanno permesso lo sviluppo di sistemi utili all'esplorazione spaziale e al miglioramento delle condizioni terrestri. Il Water Recovery System (che possiede un sistema di gestione della risorsa idrica ad “anello chiuso”)<sup>84</sup>, progettato appunto per la ISS, ricicla il 93% dell'acqua presente.

<sup>82</sup> SKOLENKO J. A., 2021.

<sup>83</sup> CARDILLO M., 2020.

<sup>84</sup> COTRONEI V., MARUCCI D., (a cura di), 2018.



► Principio di funzionamento del sistema di riciclo dell'acqua a bordo della ISS. LINDEBOOM R.E.F., DE PAEPE J., VANOPPEN M., ET AL., 2020.

Sfrutta la forza centrifuga per separare l'acqua dagli agenti contaminanti, che vengono spinti verso i bordi mentre il vapore acqueo viene estratto al centro, combinato con altre acque reflue e inviato ad un successivo sistema di trattamento. Qui, vengono eliminati gas e materiali solidi e l'acqua passa attraverso diversi filtri per ulteriori purificazioni. Eventuali contaminanti organici e microrganismi residui vengono eliminati tramite un reattore catalitico ad alta temperatura. Grazie a questo sistema di recupero dell'acqua, la stazione riduce significativamente la quantità di acqua che deve essere trasportata, risparmiando circa il 65% della quantità totale necessaria in un anno, pari a circa 2850 litri<sup>85</sup>.

<sup>85</sup> ESA, *Water Recovery System Racks*, disponibile al sito: [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Human\\_and\\_Robotic\\_Exploration/Node-](https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Node-)

Il meccanismo è frutto delle numerose ricerche sul riciclo dell'acqua<sup>86</sup> avvenute nel tempo e ad oggi possiede applicazioni terrestri in contesti dove l'approvvigionamento idrico è limitato o dove è necessario un alto grado di purificazione dell'acqua. L'influenza non è stata dunque unidirezionale. Le conoscenze tecnologiche pregresse hanno permesso lo sviluppo di un sistema per lo spazio che ha influenzato e migliorato le ricadute in ambienti terrestri. Dal 1992, l'ente no-profit CFK situato a Nye, Montana, ha offerto assistenza umanitaria e soccorsi in situazioni di emergenza in diverse nazioni, tra cui Malesia, Iraq e Indonesia<sup>87</sup>.

3\_Cupola/Water\_Recovery\_System\_Racks, ultima consultazione maggio 2024.

<sup>86</sup> WEHBI Z., TAHER R., FARAJ J., LEMENAND T., MORTAZAVI M., KHALED M., 2023.

<sup>87</sup> ESA, *Advanced NASA Technology Supports Water Purification Efforts Worldwide*, disponibile al sito:



► "Installazione del purificatore a Kendala, Iraq".  
Fonte: [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2012/03/Benefits\\_water\\_onsite](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2012/03/Benefits_water_onsite), ultima consultazione agosto 2024.

Dalla stessa volontà di esplorazione spaziale si sviluppa la sperimentazione materica. Nel 1966 la NASA sviluppa una schiuma viscoelastica di composizione polimerica con cellule aperte con lo scopo fondamentale di attutire gli urti ed offrire una protezione migliore nei sedili degli aerei. Nasce così il *memory foam*, che possiede oggi ben pochi limiti di applicazione. È stato adattato per le auto da corsa, la medicina, l'edilizia e non solo. La stessa fisioterapia degli astronauti in rientro sulla Terra è facilitata da un pavimento speciale realizzato appunto con questo materiale<sup>88</sup>.

[https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Human\\_and\\_Robotic\\_Exploration/International\\_Space\\_Station\\_Benefits\\_for\\_Humanity/Advanced\\_NASA\\_Technology\\_Supports\\_Water\\_Purification\\_Efforts\\_Worldwide](https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/International_Space_Station_Benefits_for_Humanity/Advanced_NASA_Technology_Supports_Water_Purification_Efforts_Worldwide), ultima consultazione aprile 2024.

<sup>88</sup> NASA SPINOFF, *Forty-Year-Old Foam Springs Back With New Benefits*, disponibile al sito:

Analogamente, il settore della moda è stato influenzato dalle scoperte e dalle sperimentazioni. Il marchio parigino Coperni<sup>89</sup> ha presentato l'*Air Swipe Bag* durante la sfilata FW24, realizzata in aerogel di silice della NASA, un materiale noto per essere il solido più leggero sulla Terra, composto per il 99% da aria e per l'1% da vetro. Questo materiale innovativo, utilizzato dalla NASA nelle missioni spaziali, conferisce alla borsa un aspetto nebbioso, simile a una nuvola. Nonostante il suo aspetto delicato, l'aerogel può resistere a temperature e pressioni estreme, rendendo, in questo caso, la borsa leggera e resistente<sup>90</sup>. Coperni ha collaborato con il professor Ioannis Michaloudis, accademico e ricercatore dell'applicazione del nanomateriale, per sviluppare questo accessorio di moda<sup>91</sup>, a segnale appunto non solo dell'incredibile connessione tra vita quotidiana ed esplorazione spaziale ma anche ai vantaggi che da essa ne conseguono.

Se le prime missioni spaziali hanno utilizzato principalmente materiali concepiti per la Terra, con l'espansione dell'esplorazione e l'avvento di stazioni spaziali è diventato cruciale sviluppare tecniche di progettazione e costruzione che prendessero in considerazione le limitazioni e le

[https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2005/ch\\_6.html](https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2005/ch_6.html), ultima consultazione aprile 2024.

<sup>89</sup> Le informazioni relative al marchio sono reperibili nel loro sito ufficiale, disponibile al sito: <https://coperniparis.com/en-eu/blogs/about/brand>, ultima consultazione giugno 2024

<sup>90</sup> BURGOS M., 2024.

<sup>91</sup> *Ibidem*.

► *Air Swipe Bag* realizzata con aerogel di silice.



della Space Architecture che contribuisce alla nostra comprensione del cosmo e ci aiuta, parallelamente, a sviluppare le competenze e le tecnologie necessarie per esplorare e sfruttare appieno le risorse dello spazio.

risorse dello spazio. La necessità di minimizzare il peso e massimizzare l'efficienza ha portato gli scienziati e gli ingegneri a esplorare l'uso di materiali leggeri ma resistenti, come leghe di alluminio e materiali compositi che non richiedessero, parimenti, uno sfruttamento eccessivo di risorse.

Questa razionalizzazione ha permesso, a partire dagli anni 2000, non solo di sperimentare per la creazione di oggetti di moda ma anche di sviluppare la nuova disciplina della Biologia Sintetica<sup>92</sup>. Questa, integrandosi con le esplorazioni spaziali, ha permesso la comprensione delle necessità degli organismi vegetali in funzione di un futuro sviluppo extra-terrestre, ha fornito indicazioni sulle fasi dell'origine della vita sulla Terra e permesso la sperimentazione di batteri artificiali utili alla protezione dell'ambiente e alla medicina<sup>93</sup>.

Lo spazio è a tutti gli effetti una risorsa ed un laboratorio scientifico. Come tale, necessita dello sviluppo di strategie innovative, che tengano conto delle conoscenze pregresse, affinché l'umanità sia in grado di adattarsi e prosperare in ambienti extraterrestri. Queste stesse sono state convogliate nella disciplina

<sup>92</sup> Disciplina che combina l'ingegneria genetica e la biologia molecolare per la formazione di sistemi biologici artificiali ed "utilizza due approcci: uno basato sulla riduzione della complessità e definito top-down (dall'alto in basso) e l'altro teso a produrre complesse funzioni biologiche a partire da molecole prebiotiche semplici, e definito bottom-up (dal basso in alto)" COTRONEI V., MARUCCI D., (a cura di), 2018, pp. 27-30.

<sup>93</sup> MEGALE V., 2020.



Tuta spaziale Axiom Extravehicular Mobility Unit (AxEMU) di Prada e Axiom Space.

# SPACE ARCHITECTURE: CONCETTI E AMBITI DI STUDIO

Sin dai tempi di Vitruvio, era nota la poliedricità della figura dell'architetto. Le sue conoscenze comprendevano un sapere sia teorico che pratico che abbracciava una vasta cultura comprensiva di geometria, storia e molto altro. I principi fondamentali che ogni progetto doveva possedere erano: *firmitas* (solidità e sicurezza delle strutture), *utilitas* (funzionalità e utilità degli spazi) e *venustas* (bellezza estetica e proporzione). Nel suo trattato<sup>94</sup>, Vitruvio afferma:

"L'ARCHITETTO DEVE ESSERE D'INGEGNO TANTO NATURALE QUANTO DOTTO DI GRANDE ISTRUZIONE E CULTURA. DEVE ESSERE UN BUON DISEGNATORE, SAPERE LA GEOMETRIA, CONOSCERE BENE LA STORIA, AVERE SEGUITO GLI INSEGNAMENTI DEI FILOSOFI, SAPERE DI MUSICA, AVERE NOZIONI DI MEDICINA, CONOSCERE LE RISPOSTE DEI GIURECONSULTI E AVERE FAMILIARITÀ CON L'ASTRONOMIA E LE LEGGI DEL FIRMAMENTO."<sup>95</sup>

Questi principi, seppur antichi, sono sorprendentemente rilevanti oggi. Infatti, la figura dell'architetto contemporaneo continua a incarnare questa multidisciplinarietà, ma con nuove sfide, come la costruzione al di fuori

dell'ambiente terrestre, che richiedono una costante evoluzione delle competenze. Così come in passato, l'architetto, è una figura professionale che va oltre il semplice progettista di edifici. Esso è mediatore tra estetica, funzionalità, sostenibilità e tecnologia, capace di interpretare e rispondere ai bisogni di una società lavorando dal macro al micro e/o viceversa in un ragionamento ciclico estremamente complesso<sup>96</sup>. La sua formazione multidisciplinare gli permette di avere una visione integrata, coordinando diverse competenze per realizzare progetti che spaziano dall'edilizia residenziale alle infrastrutture complesse, fino all'architettura dello spazio, coniugando creatività e tecnica. Ogni progetto non è solo una costruzione fisica, ma anche un'opera che risponde a bisogni sociali, culturali ed economici. La capacità di coordinare gruppi multidisciplinari è fondamentale per la riuscita di progetti complessi e, sebbene ingegneri e architetti lavorino spesso insieme, le loro competenze e responsabilità differiscono significativamente. L'ingegnere è specializzato in aspetti tecnici e strutturali, e si concentra su fattibilità e sicurezza delle costruzioni mentre

<sup>94</sup> GROS P., (a cura di) 1997.

<sup>95</sup> *Ibidem.*

<sup>96</sup> HÄUPLIK-MEUSBURGER S., BANNOVA O., 2016.

## Capitolo

# 04

### Space architecture: concetto e ambiti di studio

- Nascita ed evoluzione della disciplina **48**
- Conoscenza storica ed evoluzione spaziale **53**

l'architetto, fonde aspetti estetici e funzionali, progettando spazi che non solo rispondano a criteri tecnici, ma che siano anche piacevoli e funzionali per l'utente finale. Nella Space Architecture si integrano queste diverse discipline per progettare ambienti vivibili. Ognuna di esse ed ogni esperto gioca un ruolo cruciale nella sua realizzazione. Nonostante possa sembrare un campo in cui non è necessariamente richiesta la competenza di un architetto, a maggior ragione restauratore, in realtà potrebbe essere ciò che renderà i progetti futuri di più semplice realizzazione. Pur in caso di costruzione di un qualsivoglia edificio in area non edificata è fondamentale, infatti, che vengano svolte indagini preliminari al fine di determinare la natura dell'area per preservarne la storia e per garantire il minor danno possibile al territorio.

Le sue competenze sono multidisciplinari e non possono essere circoscritte a un unico ambito. Pertanto, la sua figura professionale è essenziale in una vasta gamma di contesti, inclusa l'esplorazione spaziale, dove le sue competenze non possono essere a priori escluse. La capacità di un architetto di integrare conoscenze tecniche, storiche e artistiche lo rende un contributo inestimabile in qualsiasi progetto che coinvolga la pianificazione, il design e la conservazione di strutture, sia terrestri che extraterrestri. A dimostrazione, secondo quanto stabilito dall'art. 25 (DLGS 50/2016 – Codice degli Appalti), nei cantieri edili italiani serve un archeologo che esegua una “verifica preventiva

dell'interesse archeologico”. Parallelamente, l'articolo 13 del decreto ministeriale<sup>97</sup> stabilisce i requisiti necessari per qualificare un direttore tecnico per i lavori in cantieri anche archeologici di restauro e manutenzione degli edifici storici protetti dal Codice (categoria OG 2). In essi, la direzione tecnica deve essere affidata a un architetto iscritto alla sezione A dell'albo professionale o a un laureato magistrale in conservazione dei beni culturali. Inoltre, può non solo svolgere la libera professione (che già di per sé fornisce una rosa di competenze e possibilità vasta) ma può ricoprire incarichi in uffici tecnici, culturali e gestionali di enti locali e ministeriali che operano nei settori della tutela, restauro, riuso e valorizzazione del patrimonio. Può diventare docente, project manager di progetti e perfino progettare scenografie televisive<sup>98</sup> o padiglioni per lo sport<sup>99</sup>.

La stessa formazione si è evoluta per includere nuove tecnologie come la modellazione BIM (Building Information Modeling), la realtà

<sup>97</sup> Il regolamento previsto dal nuovo Codice degli appalti (DLgs 50 del 2016), all'articolo 146 (comma 4) demandava al regolamento ministeriale la definizione «dei requisiti di qualificazione dei direttori tecnici e degli esecutori dei lavori e le modalità di verifica ai fini dell'attestazione».

<sup>98</sup> Gaetano Castelli, architetto, è stato lo scenografo di Sanremo 2024; il Rockwell Group, fondato da David Rockwell, ha progettato le scenografie per i Tony Award e per gli Oscar; Mark Fisher è stato autore delle scenografie per i tour di band come i Pink Floyd, U2 e Rolling Stones.

<sup>99</sup> Daniel Libeskind, anche se principalmente noto per l'architettura, ha contribuito a progetti scenografici e installazioni artistiche. Nel 2006 ha progettato il padiglione per le Olimpiadi Invernali di Torino.

umentata e virtuale<sup>100</sup>, e l'uso dei droni per la rilevazione e monitoraggio dei siti<sup>101</sup>; tutte utili alla progettazione per l'esplorazione spaziale. La NASA ad esempio utilizza sistemi BIM per progettare e gestire ipotesi di moduli abitativi su Luna e su Marte<sup>102</sup>, consentendo una simulazione dettagliata e precisa delle condizioni e delle necessità di vita nello spazio: ad esempio il progetto Mars Ice House, vincitore del concorso indetto dalla stessa Agenzia Spaziale americana, lo ha utilizzato per creare un habitat sostenibile, utilizzando risorse locali come il ghiaccio per la costruzione<sup>103</sup>. Gli architetti spaziali sono in grado di “analizzare come un ingegnere e sintetizzare come un architetto”<sup>104</sup>. Dove un ingegnere vede una soluzione univoca, un architetto ne vede molte e soprattutto è consapevole che un progetto che produce un buon risultato non deve necessariamente seguire un processo lineare. È spesso utile iniziare da un punto successivo o intermedio e poi tornare indietro, proprio per la

<sup>100</sup> Il programma Virtual Reality Exploration (VRE) della NASA utilizza VR per simulare missioni spaziali e addestrare gli astronauti a vivere e lavorare in habitat progettati virtualmente.

<sup>101</sup> I droni sono impiegati per ispezionare le superfici esterne della Stazione Spaziale Internazionale (ISS), raccogliendo immagini e dati che aiutano a mantenere la sicurezza e l'integrità della struttura.

<sup>102</sup> NASA, 2020.

<sup>103</sup> NASA, *3D-Printed Habitat Challenge*, settembre 2023, disponibile al sito: <https://www.nasa.gov/prizes-challenges-and-crowdsourcing/centennial-challenges/3d-printed-habitat-challenge/>, ultima consultazione maggio 2024.

<sup>104</sup> HÄUPLIK-MEUSBURGER S., BANNOVA O., 2016, p. 31.

necessità di fare *zoom in* e *out* su concetti che sono, per loro natura decisamente ampi. Indipendentemente dal luogo di collocazione un edificio, un ponte, una qualsiasi struttura deve relazionarsi con un contesto composto da fattori umani e naturali seguendo lo schema del: dove, cosa e perché<sup>105</sup>.

L'architettura crea dunque gli spazi abitabili, l'ingegneria garantisce la sicurezza delle strutture, la medicina e la biologia assicurano la salute fisica degli astronauti, la psicologia si occupa del loro benessere mentale, l'ergonomia facilita le operazioni quotidiane e la sostenibilità garantisce la gestione efficiente delle risorse. Le implicazioni della multidisciplinarietà nell'architettura spaziale sono numerose: oltre a migliorare la qualità della vita degli astronauti, queste ricerche hanno ricadute sulla Terra. Data l'importanza di tale sviluppo umano, nessuna figura professionale va esclusa, tantomeno quella dell'architetto specializzato nella conservazione del patrimonio, la cui competenza comprende non solo la storia dell'architettura (già di per sé utile in quanto insieme di sistemi costruttivi che non richiedono l'utilizzo di sofisticati strumenti) ma le cui soft skills, come la gestione dei team, la comunicazione interculturale e la capacità di mediare tra diversi stakeholder lo rendono un alleato prezioso per lo sviluppo extra-planetario. Per capire dunque la necessità dello sviluppo della disciplina della Space Architecture è

<sup>105</sup> *Ibidem*.

necessario prima comprendere perché lo sviluppo umano è destinato ad estendersi oltre la Terra e questo può essere fatto a partire dall'astrofisica moderna.

La comprensione dello sviluppo dell'Universo ci ha permesso di teorizzare e comprendere come e quando (anche se non con assoluta certezza) sia iniziato tutto, utilizzando la teoria secondo la quale lo spazio sia in continua espansione a partire da una situazione di maggiore concentrazione della materia: il Big Bang<sup>106</sup>. Il fatto, dunque, di sapere che la dilatazione tra elementi è continua ed ipoteticamente infinita, fornisce importanti strumenti di comprensione del possibile nostro movimento. Come mostrato, in maniera futuristica nella serie televisiva Star Trek, potremmo produrre un veicolo con motore a curvatura che ci permetta di comprimere e dilatare lo spazio a nostro uso per superare la velocità c (della luce) pur senza annullare la teoria della relatività. Lo strumento sarebbe dunque perfetto per fare avanti e indietro da un pianeta all'altro, per trasportare materie prime e fare ricerca. Questo presupporrebbe però l'utilizzo di materia negativa, della quale, al momento, non disponiamo. Anche nel caso in cui riuscissimo a produrla, la quantità necessaria affinché sia utile allo scopo sarebbe incredibilmente grande. Tutto questo senza considerare gli effetti che questo tipo di spostamenti avrebbe sull'essere

umano<sup>107</sup>. Il progresso delle conoscenze dell'universo negli ultimi decenni è stato straordinario grazie anche allo sviluppo di sistemi che ci permettono di osservare oggetti a grandi distanze<sup>108</sup>. Siamo altresì consapevoli che le missioni spaziali ci consentono di raccogliere dati in loco e di sfruttare la capacità umana di adattarsi a situazioni impreviste (con conseguenti maggiori probabilità di riuscita delle spedizioni).

Si ha quindi a disposizione una serie di motori e veicoli che, per ora, consentono di uscire dall'atmosfera con certi limiti. Il viaggio ipotetico verso Proxima Centauri, ovvero la stella più vicina al Sole, durerebbe oltre settantamila anni, utilizzando la sonda Voyager<sup>109</sup>. Anche ipotizzando di utilizzare il veicolo progettato dall'uomo che ha raggiunto la massima velocità, pari a 265.500 km/h, ovvero la sonda Juno<sup>110</sup>, ci vorrebbero oltre sedicimila anni, un tempo enormemente maggiore alla vita di qualsiasi essere vivente conosciuto.

Riducendo la visuale, la durata del viaggio dalla Terra al suo satellite, la Luna, utilizzando la propulsione a razzo, è attualmente di circa tre giorni. Il volo più veloce (senza soste) è stato

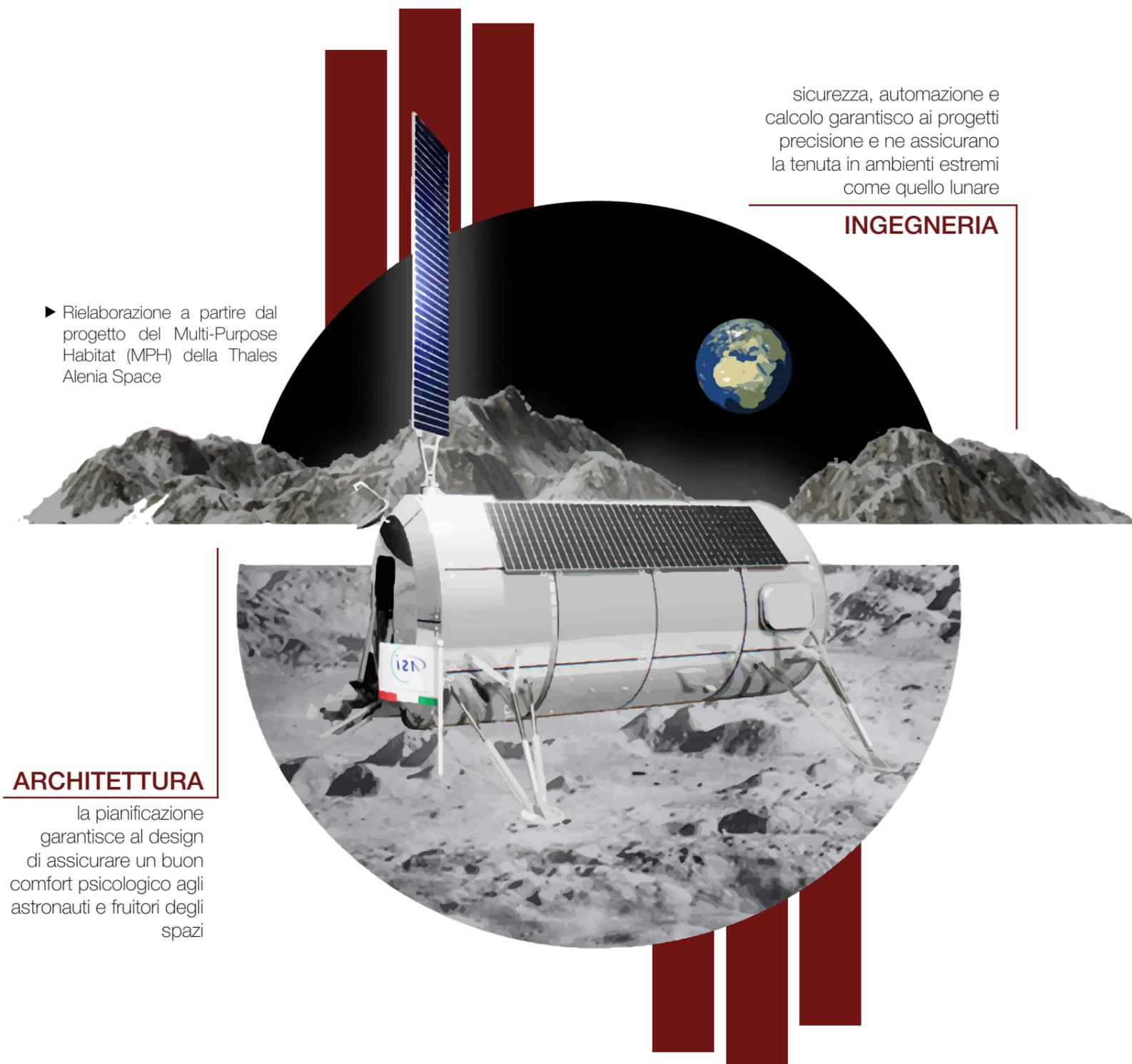
<sup>107</sup> ALCUBIERRE M., 2000.

<sup>108</sup> Oltre alle sonde interplanetarie già citate vi sono diversi telescopi spaziali, quali Hubble e il James Webb che ci permettono quotidianamente di effettuare osservazioni utili sul Cosmo.

<sup>109</sup> *Ibidem*.

<sup>110</sup> In questo caso si è raggiunto tale risultato seppur non fosse quello l'obiettivo finale, lo scopo della missione era infatti quello dello studio del pianeta Giove. BOLTON J.S., 2010.

<sup>106</sup> HAWKING S.W., 1988.



► Rielaborazione a partire dal progetto del Multi-Purpose Habitat (MPH) della Thales Alenia Space

sicurezza, automazione e calcolo garantiscono ai progetti precisione e ne assicurano la tenuta in ambienti estremi come quello lunare

## INGEGNERIA

## ARCHITETTURA

la pianificazione garantisce al design di assicurare un buon comfort psicologico agli astronauti e fruitori degli spazi

realizzato dalla sonda New Horizons della NASA che ha superato la Luna in sole otto ore e trentacinque minuti (mentre era in rotta verso Plutone)<sup>111</sup>. La durata aumenta notevolmente se ci spostiamo sul pianeta Marte, diventando pari a ben sette mesi<sup>112</sup>. Le tempistiche sono variabili e vanno considerati numerosi fattori che le influenzano, tra cui le così dette “finestre di lancio”<sup>113</sup> che corrispondono ai momenti utili per effettuare gli spostamenti. Ad esempio, attualmente la prima finestra temporale utile per il raggiungimento di Marte corrisponde all’anno corrente<sup>114</sup>; se questa andasse persa (così come accaduto a quella del 2022), dovremmo attendere altri due anni, ovvero rimandare al 2026.

Le “*finestre*” riducono ovviamente le possibilità di spostamento dilatando i tempi a tal punto da far pervenire la decisione che uno spostamento

<sup>111</sup> AAVV, 2015.

<sup>112</sup> NASA, *Mars 2020: Perseverance Rover*, disponibile al sito: [https://mars.nasa.gov/mars2020/timeline/cruise/#:~:text=Next-,Cruise,miles%20\(480%20million%20kilometers\)](https://mars.nasa.gov/mars2020/timeline/cruise/#:~:text=Next-,Cruise,miles%20(480%20million%20kilometers),), ultima consultazione aprile 2024.

<sup>113</sup> I lanci spaziali sono soggetti a numerosi vincoli, alcuni trascurabili, altri fondamentali. Tra questi ultimi vi sono le “finestre di lancio” con le quali si intendono i momenti utili per il lancio di sonde o razzi verso lo Spazio. Date infatti le inclinazioni e le orbite planetarie, se non rispettati questi attimi, sarebbe necessaria una quantità di propellente enormemente superiore e dunque la missione diverrebbe infinitamente più complessa. A seconda poi della distanza da percorrere, questo vincolo diventa sempre più importante da rispettare (a maggior ragione se si prevede di inserirvi personale umano viste le necessità psicofisiche aggiuntive).

<sup>114</sup> 2024

senza possibilità di permanenza o di tappa intermedia, rende dispendiosa ed estremamente complessa l’esplorazione completa dell’Universo. Per questo motivo, parallelamente al progressivo avanzamento dei successi in campo spaziale, si è iniziato a parlare di architettura spaziale. La gravità zero, le radiazioni, le temperature estreme e l’assenza di aria e di acqua hanno fatto sì che si ponesse il problema di creare ambienti abitabili e funzionali che consentano agli astronauti di vivere e lavorare nello spazio in modo sicuro ed efficiente in un ambiente di per sé ostile all’uomo.

## NASCITA ED EVOLUZIONE DELLA DISCIPLINA

Dare una definizione univoca di architettura<sup>115</sup> è qualche cosa di estremamente articolato proprio per la sua complessità e l’enormità di fattori che in essa sono coinvolti. Lo stesso accade per l’architettura spaziale, ascrivibile, ad esempio, alla somma del design, dei fattori umani, dei sistemi ingegneristici e dell’architettura di per sé (intesa come la

<sup>115</sup> La Nasa, all’interno del documento *Systems Engineering Handbook* definisce l’architettura, assimilandola ai concetti che riguardano l’ingegneria, come “la struttura unificante di alto livello che definisce un sistema. Fornisce un insieme di regole, linee guida e vincoli che definiscono una struttura coesa e coerente composta da parti costitutive, relazioni e connessioni che stabiliscono come tali parti si adattano e lavorano insieme”. HIRSHORN S. R., VOSS L. D., BROMLEY L.K., 2017.

intendiamo sulla Terra)<sup>116</sup> o come disciplina che include la progettazione di ambienti, in orbita o su suoli planetari, di vita e di lavoro; incluse infrastrutture e annessi<sup>117</sup>. Ne esistono ad oggi, complesse e articolate definizioni che tentano di spiegarne gli aspetti coinvolti senza minimizzarne le sfaccettature:

“L’ARCHITETTURA SPAZIALE È INTERDISCIPLINARE E COLLEGA DIVERSI CAMPI COME INGEGNERIA AEROSPAZIALE, ARCHITETTURA E DESIGN, PROGETTAZIONE DEI FATTORI UMANI, SCIENZE SPAZIALI, MEDICINA, PSICOLOGIA E ARTE. UNISCE QUINDI L’ACCURATEZZA DEI SISTEMI TECNICI, BISOGNI UMANI PER LAVORARE E VIVERE, PROGETTAZIONE DELL’INTERFACCIA PER IL RAPPORTO TRA L’UOMO E L’AMBIENTE COSTRUITO E NATURALE. È SIMULTANEAMENTE TECNICA, UMANISTICA ED ARTISTICA E SI OCCUPA DEL PROCESSO DI PROGETTAZIONE DA UNA PROSPETTIVA DEL “QUADRO GENERALE” FIN NEI MINIMI DETTAGLI DI CIASCUN COMPONENTE. OLTRE ALLA CONOSCENZA TRADIZIONALE DEI PROCESSI DI PIANIFICAZIONE E COSTRUZIONE NECESSITA DI UNA CONOSCENZA SPECIALE RIGUARDO A COME PROGETTARE PER GLI ESSERI UMANI IN AMBIENTI ESTREMI E COME FARLO COSÌ CREATIVAMENTE”.<sup>118</sup>

È una disciplina relativamente nuova, le cui prime idee risalgono agli anni '60, durante la corsa allo spazio. Con l’evolversi ed il progredire delle spedizioni in cui gli astronauti dovevano vivere e lavorare in ambienti estremamente ostili e confinati si iniziò a prendere coscienza della necessità di una riprogettazione degli spazi

<sup>116</sup> NETTI V., 2024.

<sup>117</sup> IZZO D., SIMÕES L.F., (a cura di) 2016.

<sup>118</sup> HÄUPLIK-MEUSBURGER S., BANNOVA O., 2016

abitativi e lavorativi che garantissero sicurezza, efficienza e benessere psicologico degli occupanti. Da allora vi si sono alternati numerosi personaggi provenienti da diverse culture e con diversi bagagli accademici. Nel 1967, Maynard Dalton, architetto facente parte della 'Advanced Spacecraft Technology Division', ricevette un premio per il contributo tecnico preliminare per le stazioni spaziali in orbita terrestre, lavorò sui progetti Saturn-Apollo e Skylab, migliorando il layout esistente e preparando i bollettini di esperienza di Skylab e, nel 1971, divenne ingegnere di progetto per il modulo della stazione spaziale. Molti altri seguirono, tra cui spicca Galina Andrejewna Balaschowa, una delle prime donne a distinguersi in questo campo, che iniziò a lavorare presso l'Ufficio Sperimentale OKB-1 come architetto e successivamente si trasferì al dipartimento di architettura spaziale dove si occupò del progetto delle navicelle Sojuz e delle stazioni Salyut e Mir<sup>119</sup>.

Attualmente, figure chiave come Sandra Häuplik-Meusburger, il cui lavoro si concentra sulla progettazione degli ambienti di vita e di lavoro nello spazio, e Olga Bannova, docente presso il Cullen College of Engineering e direttrice del SICSA e nota per il suo lavoro sulla progettazione di habitat lunari e marziani, sono figure chiave della disciplina e stanno procedendo con la ricerca e l'educazione dell'architettura spaziale trasformandola in un

<sup>119</sup> *Ibidem*.



## CONOSCENZA STORICA E PROGETTAZIONE SPAZIALE

Il 2 agosto del 1971, il comandante dell'Apollo 15, David Scott, fece cadere un martello geologico ed una piuma sulla superficie della luna come prova della legge del moto di Galileo. Entrambi gli oggetti atterrarono sulla superficie contemporaneamente provando una legge teorizzata secoli prima.

“DURANTE GLI ULTIMI MINUTI DELLA TERZA ATTIVITÀ EXTRAVEICOLARE, È STATO CONDOTTO UN BREVE ESPERIMENTO DIMOSTRATIVO. UN OGGETTO PESANTE (UN MARTELLO GEOLOGICO IN ALLUMINIO DA 1,32 KG) E UN OGGETTO LEGGERO (UNA PIUMA DI FALCO DA 0,03 KG) SONO STATI RILASCIATI SIMULTANEAMENTE DA CIRCA LA STESSA ALTEZZA (CIRCA 1,6 M) E SONO STATI LASCIATI CADERE SULLA SUPERFICIE. ENTRO LA PRECISIONE DEL RILASCIO SIMULTANEO, SI È OSSERVATO CHE GLI OGGETTI SUBIVANO LA STESSA ACCELERAZIONE E COLPIVANO LA SUPERFICIE LUNARE SIMULTANEAMENTE, IL CHE ERA UN RISULTATO PREVISTO DA UNA TEORIA CONSOLIDATA, MA UN RISULTATO COMUNQUE RASSICURANTE CONSIDERANDO SIA IL NUMERO DI SPETTATORI CHE HANNO ASSISTITO ALL'ESPERIMENTO SIA IL FATTO CHE IL VIAGGIO DI RITORNO SI BASAVA IN MODO CRITICO SULLA VALIDITÀ DELLA PARTICOLARE TEORIA TESTATA.”<sup>122</sup>

Seppur apparentemente slegati, la storia dell'umanità ed il suo futuro sono strettamente interconnessi. L'influenza che l'atterraggio sulla

Luna ha avuto sulla progettazione architettonica è direttamente proporzionale a quella data dalle conoscenze ed i principi sviluppati in passato sulla pianificazione degli habitat.

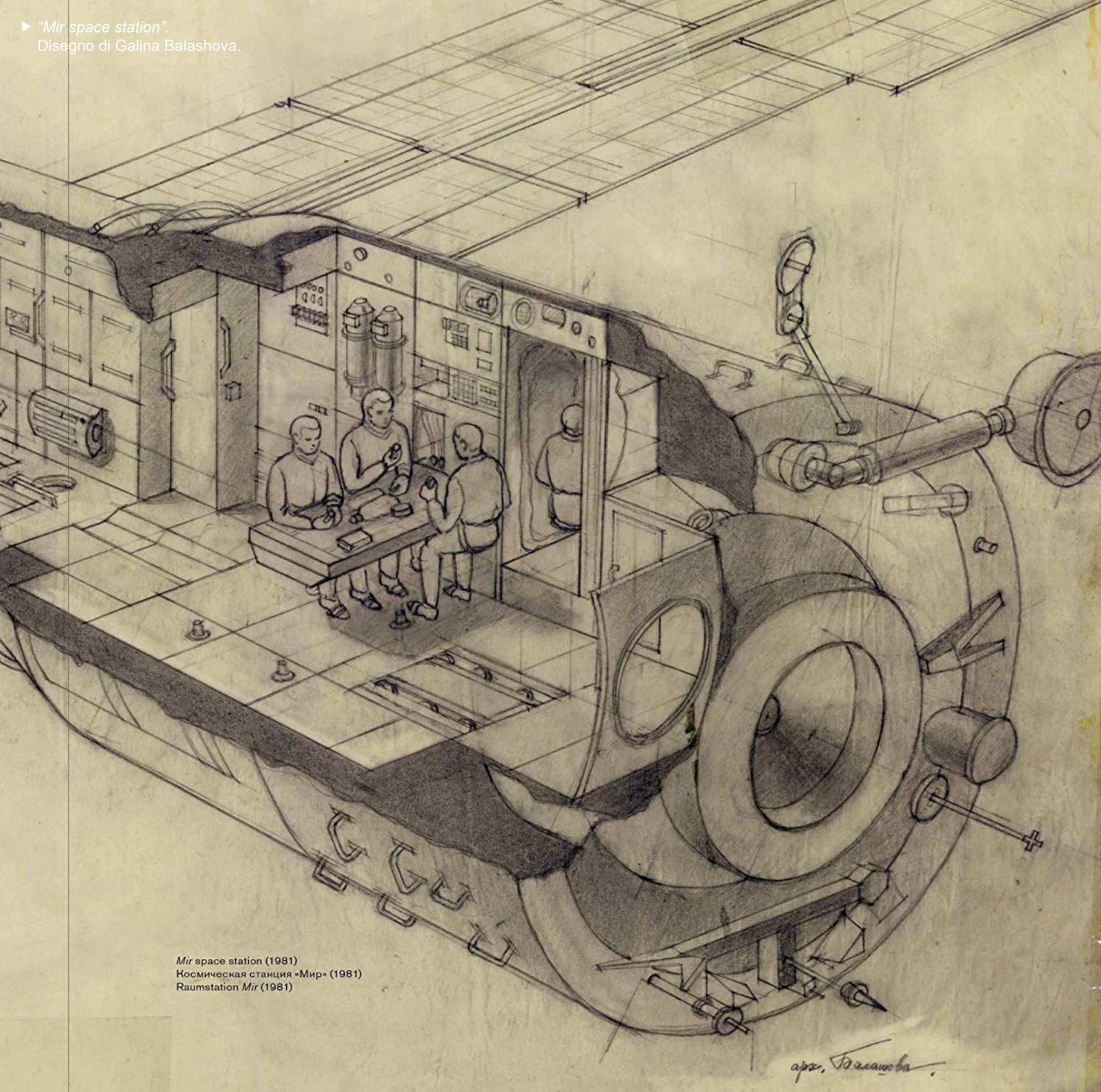
La possibilità di sfruttare gli elementi naturali come fonte di energia primaria è nota da centinaia di anni, seppur declinata in modo diverso a seconda del luogo e del periodo storico. Per questo motivo si valuta l'opzione di utilizzare l'energia solare per accumulare energia sufficiente ad alimentare i sistemi di vita<sup>123</sup>. Ognuna delle idee sviluppate per il futuro è ricavata da millenni di esperienza umana. Con il tempo si è imparato a sfruttare il terreno, ad utilizzare i materiali più utili e a comprendere quali tecniche e/o metodi permettono di creare strutture più solide e durature.

Partendo dagli albori delle civiltà, l'uomo, per proteggersi da invasioni nemiche, sbalzi termici e condizioni atmosferiche ha iniziato a realizzare habitat di vario genere. Le prime sono state le grotte naturali che si sono evolute con l'identificazione di rocce facili da lavorare, che hanno generato luoghi più articolati. Queste garantivano ombra (indispensabile per le temperature elevate del Sahara e dell'Asia Minore) e stabilità termica, mantenendo una temperatura costante tutto l'anno<sup>124</sup>. Un

<sup>123</sup> CRISTOFORRETTI S., 2023.

<sup>124</sup> “Esistono studi che dimostrano come in passato le persone abitassero nei tunnel di lava. Frederick menziona un tunnel simile, chiamato Surshelliv, situato in Islanda e usato dai fuggitivi. Non ci sono prove di lavori di costruzione nel tunnel, che era una grotta naturale abitata per un certo periodo. Surshelliv raggiunge un'altezza di 11

<sup>122</sup> ALLEN J., 1971, pp. 2-11.



Mir space station (1981)  
Космическая станция «Мир» (1981)  
Raumstation Mir (1981)

esempio significativo, seppur successivo, in Europa è rappresentato da Matera, una città in cui le abitazioni sono parzialmente integrate nel paesaggio naturale, sfruttando le concavità date dal contesto geologico. In diversi casi vengono persino costruite solo tre pareti tradizionali tenendo in considerazione il rapporto tra l'elemento artificiale, rappresentato dai mattoni, e quello naturale, costituito dalla pietra su cui si ancorano le murature<sup>125</sup>.



► Matera, "Uno degli ambienti ipogei di Materasum".  
Fonte: ipogeomaterasum.com

Questa fase terrestre ci permette di considerare come fattibile la progettazione di habitat lunari all'interno dei tunnel sotterranei naturali già ivi

metri e una lunghezza di circa 15-16,5 metri, risultando molto spazioso. A una delle estremità del tunnel si trovano strati di ghiaccio congelato e acqua, da cui gli abitanti potevano ottenere acqua potabile pulita a costo zero".  
KOZICKA J., 2008, pp. 127-139.

<sup>125</sup> GIUFFRÈ A., 2010, pp. 127-151.

presenti<sup>126</sup>. I vantaggi di questo tipo di approccio sono la limitazione dei problemi legati all'impatto di radiazioni e meteoriti, il mantenimento di una temperatura costante ed il minimo impiego di materiale. Sappiamo che i luoghi più duraturi di questo tipo sono sotterranei e si trovano in grotte o in luoghi con rocce di facile manipolazione. Si può dire che Marte, viste le apparenti condizioni analoghe alla Terra sia il più idoneo per tale ragionamento,



► "Marius Hills e una fotografia di un tunnel lunare".  
Fonte: NASA, Lunar Orbiter 2.

ma anche Luna possiede specifiche utili: non solo la presenza degli stessi ma anche la garanzia di un mantenimento della temperatura pressoché costante<sup>127</sup>.

Successivamente, si è poi imparato a riconoscere e selezionare i materiali più adatti

<sup>126</sup> LANDOLINA R., 2021.

<sup>127</sup> *Ibidem*.

per le costruzioni, sfruttando le risorse naturali disponibili nei vari contesti geografici. In particolare, materiali come il legno e la terra hanno assunto un ruolo centrale nelle prime strutture monumentali e nelle architetture più complesse. Il primo citato, facilmente reperibile e lavorabile, veniva impiegato per la realizzazione di elementi strutturali come travi e pilastri, mentre la seconda, utilizzata sotto forma di mattoni crudi o cotti, ha permesso la costruzione di muri spessi e isolanti, capaci di mantenere temperature interne confortevoli anche nei climi più estremi. La Ziggurat di Ur rappresenta un esempio emblematico di come questi materiali potessero essere sfruttati per creare edifici imponenti e duraturi. Questa struttura, costruita principalmente con mattoni di fango essiccato al sole, rivestiti in alcuni punti da mattoni cotti per garantire maggiore resistenza, è una testimonianza delle avanzate tecniche costruttive sviluppate nell'antica Mesopotamia. L'uso di materiali locali non solo rifletteva un adattamento alle condizioni ambientali, ma anche un'elevata capacità di progettazione e organizzazione del lavoro, che consentiva la realizzazione di opere architettoniche di grande complessità e valore simbolico. Questa progressiva indagine e sperimentazione ha segnato un punto di svolta nell'evoluzione dell'architettura.

Con il progredire delle competenze tecniche e amministrative, emerse poi l'esigenza di edificare strutture complesse, come i palazzi, che non solo fungevano da centri del potere

politico ed economico, ma che dovevano anche adattarsi al contesto geografico e alle risorse disponibili. Le strutture architettoniche dei palazzi cretesi, ad esempio, evidenziano un'attenzione particolare all'uso di materiali locali, come le pietre calcaree per le murature e il gesso per la decorazione interna. Questi materiali, facilmente reperibili sull'isola, non solo rispondevano a necessità pratiche, ma contribuivano anche a definire uno stile architettonico che rifletteva la cultura e l'ambiente circostante. I sistemi costruttivi adottati, come l'uso di pozzi di luce per l'illuminazione naturale, dimostrano un'intima conoscenza delle caratteristiche climatiche locali e la capacità di sfruttarle a vantaggio delle funzioni abitative e cerimoniali delle strutture<sup>128</sup>. Si può ora dire che non è solo teorizzabile, ma anche effettivamente praticabile la costruzione di habitat utilizzando le risorse *in situ* di Luna e Marte, diminuendo non solo la complessità del trasporto, ma anche l'investimento necessario, mantenendo condizioni ambientali adatte per la vita<sup>129</sup>.

<sup>128</sup> PERNA M., DEL FREO M., (a cura di), 2011.

<sup>129</sup> Si veda il capitolo 10 (Verso una progettazione spaziale efficace) della presente tesi di laurea.

## Appunti e approfondimenti

# IL PARERE DEGLI ESPERTI

Intervistare il Professore Emerito del Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale è stato un onore e consente l'introduzione nella parte successiva della tesi: il *FRAMEWORK*. Questa è stata organizzata in modo tale da definire il perimetro ed i limiti che caratterizzano il campo dell'architettura e dell'esplorazione spaziale. Di seguito l'intervista completa.

*Pensa che un architetto possa essere utile ad un ingegnere nel campo dell'esplorazione spaziale?*

Sicuramente sì. L'ambiente che si crea per l'esplorazione è importante dal punto di vista del fattore umano. Può aiutare, per esempio, a dare all'habitat l'aspetto di un posto dove sia piacevole, o quantomeno non spiacevole, vivere.

*La tecnica e la tecnologia sono andate avanti molto velocemente; tuttavia, è dimostrato che le cose più sono semplici e più sono efficaci. Lei cosa pensa a riguardo?*

Bisogna dire che la semplicità è importante e bisogna tendere verso di essa. Tuttavia, in ambienti così ostili, spesso non è possibile proprio perché lo stesso richiede soluzioni complesse.

*Quando si tratta di progettazione per lo spazio ci sono diversi vincoli non escludibili. Quanto influisce il tipo di trasporto sul carico e come si gestiscono i vincoli di peso e di volume nei trasporti spaziali?*

I vincoli di peso e di volume sono poi vincoli di costo. Se non ci fossero si potrebbe trasportare una massa maggiore. Dipendono strettamente dal costo al chilogrammo di quanto trasportato in orbita.

Per i viaggi verso Luna o Marte l'apporto maggiore, nel trasporto di oggetti, è dato dalla prima porzione del viaggio, cioè dalla superficie della Terra all'orbita. Una volta fuori dalla gravità del nostro pianeta, i costi diventano relativi "per



**Professore Emerito  
del Politecnico di Torino**

## Giancarlo Genta

*Giancarlo Genta, professore emerito di Costruzione di macchine presso il Politecnico di Torino, è membro dell'Accademia delle Scienze di Torino e dell'Accademia Internazionale di Astronautica. È autore di numerosi testi di formazione, di articoli e di volumi sull'esplorazione. È inoltre autore di sei romanzi di fantascienza tradotti anche in inglese.*

le cose". Per le persone chiaramente il discorso cambia perché la durata diventa importante e dunque, anche il tratto esterno alla gravità terrestre diventa importante. Per gli oggetti il grosso del problema resta invece superare l'orbita. Se effettivamente, grazie ai nuovi razzi, ad esempio Starship di SpaceX, si riuscisse a scendere sotto ai 200 dollari al chilo in orbita, i limiti di peso diventerebbero diversi. Oltretutto sarebbe un vettore con una maggiore capacità interna, quindi oltre a questo limite, anche quelli di spazio diventerebbero meno vincolanti.

*Che ruolo ha avuto il politecnico di Torino in ambito spaziale? E che ruolo avrà, secondo lei, in futuro?*

Il ruolo più importante delle università non è tanto eseguire, quanto preparare gli esperti che se ne occupino. Quindi sicuramente, da questo punto di vista, il Politecnico di Torino, ha avuto un grande ruolo. Invece, dal punto di vista operativo e della ricerca, nonostante abbia molti gruppi di sviluppo, le grandi innovazioni degli ultimi anni sono avvenute principalmente in ambito industriale e non accademico.

Per esempio, i vettori riutilizzabili non hanno avuto nessun impulso dalle università ma sono stati sviluppati dalle industrie in maniera autonoma.

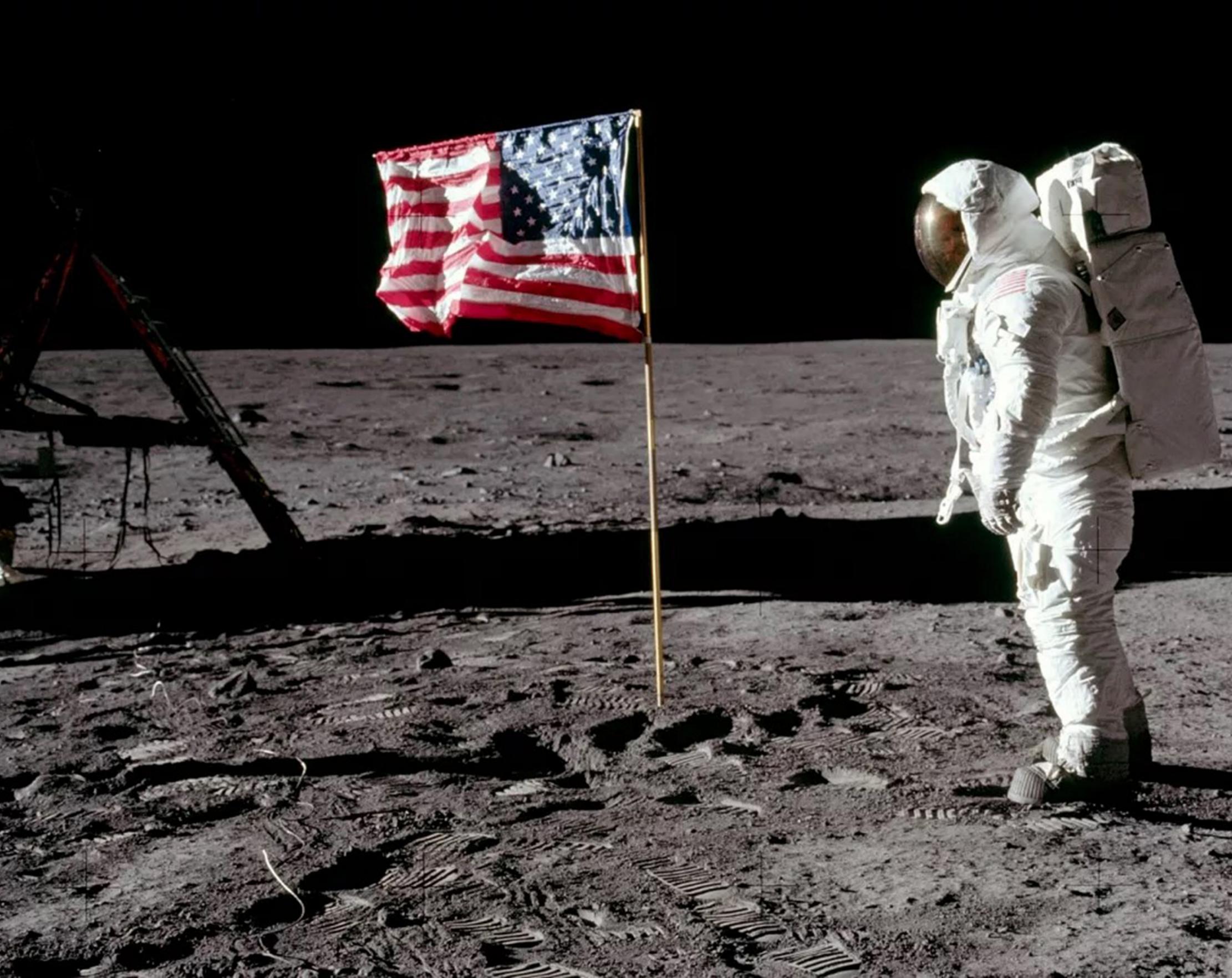
*Secondo lei come mai accade ciò?*

Quando si parla di ridurre costi è l'industria che se ne occupa, perché ne ha interesse. Non l'accademia o le agenzie spaziali. Sono coloro che se ne occupano perché solo quelli che se ne servono.

*Che consigli darebbe a chi si occupa di progettazione abitativa spaziale?*

La necessità dell'aggiornamento continuo potrebbe essere un suggerimento utile. È un settore in continuo movimento, quindi non è che si possano dare dei consigli veri e propri.

Si può però ricordare che, quando si tratta di missioni umane, i fattori psicologici e fisici ne sono forse l'aspetto principale.



parte  
seconda

# FRAMEWORK

"I think we're going to the Moon because it's in the nature of the human being to face challenges. It's by the nature of his deep inner soul [...] we're required to do these things just as salmon swim upstream."

Intervista prima del lancio del 1969 – Neil Armstrong

Nella pagina precedente:

I primi passi dell'uomo sulla Luna,  
Neil Armstrong, 20 luglio 1969;

fonte: <https://it.euronews.com/2019/07/16/un-piccolo-passo-per-l-uomo-un-grande-passo-per-l-umanita-50-anni-dopo>, ultima consultazione settembre 2024.

## Capitolo

# 05

### Condizioni indispensabili alla vita

- Teoria progettuale **65**
- Aspetti psicologico-sanitari **68**

# CONDIZIONI INDISPENSABILI ALLA VITA

Chiedersi quale sia la definizione della parola *vita* è imprescindibile per capire come mantenerla, eppure, ad oggi, non ne esiste una definizione univoca<sup>130</sup>. Si è tentato più volte di comprenderlo, anche attraverso lo studio della genetica, arrivando a definire che cosa ci permette di mantenere un qualche tipo di ordine in un universo destinato al caos<sup>131</sup>.

Lo stesso essere umano racchiude in sé una serie innumerevole di misteri legati alla sua esistenza e alla sua presenza nel Cosmo. Ogni individuo appartenente alla specie umana è costituito da una complessa aggregazione di entità cellulari *umane* e *non umane*, che sperimenta una trasformazione incessante nel corso del tempo. In particolare, l'uomo è un organismo multicellulare composto da cellule e da una varietà di microorganismi che convivono simbioticamente. Ancora, ogni cellula possiede un nucleo composto da singoli cromosomi che vanno a formare il DNA che costituisce l'intero *genoma* di un organismo. Possiamo poi asserire che la suddivisione in cromosomi possiede un

numero specifico per ogni essere vivente. Nel caso dell'essere umano se ne contano 46; questa cifra rappresenta un dato notevole, soprattutto se comparata con organismi meno complessi che ne possiedono meno di un quarto ed è straordinariamente costante e costituisce una caratteristica distintiva di ciascun essere vivente. Qualsiasi deviazione da questo equilibrio può avere conseguenze significative sul funzionamento dell'organismo e sulla corretta trasmissione delle informazioni genetiche durante la divisione cellulare e la riproduzione<sup>132</sup>. La comprensione di questa stabilità genomica è essenziale per esplorare i meccanismi che regolano la crescita, lo sviluppo e la salute degli organismi proprio perché la gamma di sistemi, organi, tessuti e cellule ha assegnato un compito specifico nel mantenere l'omeostasi<sup>133</sup> e garantire il corretto

<sup>132</sup> BONCINELLI E., 2016.

<sup>133</sup> "L'attitudine propria dei viventi a mantenere intorno a un livello prefissato il valore di alcuni parametri interni, disturbati di continuo da vari fattori esterni e interni. All'insieme ordinato dei sottosistemi che compongono l'organismo umano è preposta una rete di sistemi di controllo, il cui intervento simultaneo regola il flusso di energia e di metaboliti, in modo da conservare immutato o quasi l'ambiente interno, indipendentemente dalle modificazioni di quello esterno". ENCICLOPEDIA TRECCANI, <https://www.treccani.it/enciclopedia/omeostasi/>, ultima consultazione febbraio 2024.

<sup>130</sup> NURSE P., 2021.

<sup>131</sup> Condizione studiata dal fisico austriaco Erwin Schrödinger, che nel 1944 pubblicò il saggio scientifico in lingua inglese, risultato di conferenze, dove si discute proprio del concetto di vita e delle sue implicazioni. SCHRÖDINGER E., 1995.

funzionamento dell'organismo nel suo complesso. Questa collettività è soggetta a un processo dinamico di mutamento costante, influenzato da interazioni biochimiche e regolazioni genetiche che modellano la nostra esistenza in modo continuo<sup>134</sup>. Le modifiche a queste dinamiche vengono applicate sia a noi stessi che al mondo che ci circonda, sin da prima della nostra nascita con l'utilizzo di modifiche genetiche e somministrazione di vaccini preventivi<sup>135</sup>. Eventuali alterazioni nella quantità o nella struttura dei cromosomi possono portare a difetti genetici, malattie genetiche o addirittura all'insorgenza di condizioni patologiche se eseguite in maniera scorretta. Tuttavia, grazie alla conoscenza della genetica siamo riusciti a sviluppare Organismi Geneticamente Modificati (OGM)<sup>136</sup> che ci hanno permesso di aiutare, ad esempio, persone con elevate sensibilità agli zuccheri creando alimenti che ne possedessero una quantità inferiore. Le indagini biotecnologiche hanno avuto risvolti

---

<sup>134</sup> *Ibidem*.

<sup>135</sup> “Un enzima chiamato CRISPR/Cas9 è un potente strumento che funziona come un paio di forbici molecolari. Gli scienziati lo usano per effettuare tagli molto precisi del DNA allo scopo di aggiungere, cancellare o alterare sequenze genetiche”. *Ibidem*.

<sup>136</sup> “In Europa l'utilizzo di organismi geneticamente modificati (OGM) è sottoposto a rigorose regole e procedure di autorizzazione complesse per la loro coltivazione e commercializzazione.” Tuttavia, non è necessariamente una modifica di carattere negativo. Questo sistema ha permesso di generare organismi vegetali meno soggetti alle comuni malattie o più resistenti alle condizioni climatiche sfavorevoli (come la siccità). PARLAMENTO EUROPEO, 2015.

importanti anche sul pianeta in cui ci troviamo, non necessariamente positivi. Imparare le composizioni genetiche ci ha permesso di fare enormi passi avanti nella medicina: la comprensione di cosa fosse una cellula ha consentito di capire quali sono gli elementi che la danneggiano (ad esempio mutazioni, influenze date da infezioni) e le condizioni di non immutabilità legate al singolo ecosistema e a ciò che lo coinvolge. La *vita stessa* è caratterizzata da un continuo processo di adattamento ed evoluzione in risposta a variazioni nelle condizioni ambientali<sup>137</sup>. Il processo di modifica continuo e senza limiti, si pone ogni giorno di fronte ai nostri occhi: nelle specie animali come in quelle vegetali. Seppur lento e inesorabile, ci permette di non estinguerci. Tuttavia, la poca conoscenza che abbiamo di questo processo, non ci permette, in poco tempo, di adattare il nostro corpo a vivere su un pianeta come Marte, essendo lo stesso caratterizzato da condizioni, di per sé, non atte alla vita umana<sup>138</sup>. Seppur si creasse un luogo “abbastanza” ma non perfettamente adatto, potremmo affidarci ad una selezione semi-artificiale di individui, con caratteristiche utili sfruttando le nostre

---

<sup>137</sup> Esempio eclatante è la durata media di vita di un essere umano, modificatasi con il passare dei millenni grazie alla medicina e alla conoscenza dei virus che vanno ad interferire con l'organismo. Così come l'adattamento delle caratteristiche fisiche alle condizioni climatiche e l'impossibilità di debellare i batteri, sottoposti anch'essi ad un processo evolutivo. *Ibidem*.

<sup>138</sup> Si veda il capitolo 8 (Marte), della presente tesi di laurea.

conoscenze relative alla biologia molecolare (come sintesi dello studio genetico e biochimico). Dovremmo poi sperare che il processo riproduttivo umano crei, di volta in volta, esseri sempre più adatti alle condizioni del luogo in cui andrà sviluppandosi la vita. Sarebbe però un processo lungo e decisamente non utile all'esplorazione spaziale. Pensare di dover attendere l'evoluzione del DNA umano per poter abitare un corpo celeste è qualche cosa di non considerabile nel campo dell'aerospazio proprio per l'elevato numero di “se” e delle tempistiche necessarie. Inoltre, va considerato che le implicazioni di una modifica artificiale in un ambiente di per sé in equilibrio possono essere catastrofiche. Basti pensare al fatto che, la comparsa dell'ossigeno, che oggi è indispensabile alla vita, ha quasi causato la scomparsa degli esseri viventi<sup>139</sup>. Essendo lo stesso un gas molto reattivo dal punto di vista chimico, danneggia altre sostanze, seppur facente parte di un processo assolutamente naturale, ha causato degli scompensi importanti agli organismi che popolavano il nostro suolo. Con l'evoluzione ci è diventato indispensabile ma non è stato sempre così. L'alterazione di un ecosistema è qualche cosa di infinitamente delicato e va trattato con la giusta cautela.

Le implicazioni geologiche sono altresì caratterizzate da un processo dinamico di cambiamenti che avvengono su scala temporale ampia. Ciò include fenomeni come l'erosione, l'innalzamento o l'abbassamento del terreno, i

---

<sup>139</sup> NURSE P., 2021, pp.68-74.

terremoti e altri eventi geologici che contribuiscono a modellare il paesaggio nel corso di milioni di anni. Anche in caso di pianeti con caratteristiche differenti dal nostro il processo di modifica è perpetuo, pur influenzato da fattori differenti. Su Marte, ad esempio, l'erosione eolica è evidente attraverso formazioni rocciose suggestive, quali i canyon<sup>140</sup>. L'innalzamento e l'abbassamento del terreno sono ancora oggetto di studio, ma alcune caratteristiche morfologiche suggeriscono un passato geologico attivo. Analogamente, su Europa, una delle lune di Giove, l'erosione criovulcanica è un fenomeno di grande rilevanza, indicativo di una geologia peculiare alimentata da attività vulcanica su un fondale ghiacciato<sup>141</sup>. La persistenza dei processi di modifica, nonostante le differenze ambientali, rivela la robustezza delle leggi geologiche universali. L'interazione tra la vita, gli individui e l'ambiente è complessa e dinamica, e il concetto di evoluzione si applica a tutti questi livelli. L'evoluzione biologica rappresenta solo una parte di questo quadro più ampio, mentre l'adattamento e la capacità di risposta ai cambiamenti sono caratteristiche fondamentali della vita su vari livelli di organizzazione.

## TEORIA PROGETTUALE

Pur non essendo possibile definire la vita, si può cercare di comprenderla, stabilendone i principi fondamentali e le interconnessioni. Ad oggi non siamo a conoscenza di alcun organismo

---

<sup>140</sup> GALLIANI M., 2012.

<sup>141</sup> LESAGE E., MASSOL H., HOWELL S.M., SCHMIDT F., 2022.

perfettamente indipendente dal contesto. Per questo abbiamo imparato ad interfacciarci con esso, non sono a livello biologico<sup>142</sup>. Grazie al nostro cervello che, sfruttando connessioni neuronali ci permette di pensare, soffrire e creare, ci distinguiamo dal resto del contesto vivente e cerchiamo di trovare risposte alle domande più comuni, anche a quelle che riguardano il mondo dell'abitare. Le implicazioni dello stesso si estendono all'evoluzione che ha portato con sé un cambiamento delle condizioni umane, fattesi artefici dei cambiamenti del suolo terrestre. Questo è strettamente legato con il passaggio da una vita nomade ad una sedentaria e dunque con l'avvento della necessità di costruire un luogo da chiamare *casa*. Numerosi sono stati i teoremi e gli specialisti che si sono occupati di questi passaggi. Il contributo di ognuno ha aggiunto tasselli a cosa oggi consideriamo indispensabile non solo per sopravvivere ma anche per vivere, perseguendo una progettazione che non solo ospiti, ma arricchisca l'esperienza umana. L'Ottocento rappresenta uno dei periodi più significativi nella storia dell'evoluzione urbana, caratterizzato da profonde trasformazioni che hanno contribuito a definire i tratti moderni della città<sup>143</sup>. Durante questo secolo, lo sviluppo urbano subì un impulso dinamico che, nonostante i rallentamenti dovuti alle guerre mondiali, portò a una crescente concentrazione di popolazione e risorse in centri urbani sempre

più definiti e complessi. Le città assunsero una nuova dimensione, diventando il centro nevralgico di un intreccio di fattori socio-economici e tecnologici. Questo processo fu in gran parte guidato dai flussi migratori verso le aree urbane, attratti dalle opportunità lavorative e dalla promessa di un miglioramento delle condizioni di vita. La crescente consapevolezza delle necessità della popolazione in continua espansione stimolò lo sviluppo di infrastrutture e servizi adeguati a rispondere alle nuove realtà. In questo contesto, le città iniziarono a essere percepite come entità autonome, con caratteristiche proprie che richiedevano un'analisi approfondita delle loro "patologie" sociali e ambientali. La letteratura e le analisi del tempo, come quelle di Emile Zola<sup>144</sup>, giocarono un ruolo cruciale nella narrazione e nella definizione dei caratteri urbani, mentre la rappresentazione cartografica divenne uno strumento essenziale per comprendere le condizioni ambientali circostanti. Parallelamente, le teorizzazioni relative alla dinamica dei fluidi, inizialmente applicate nelle aree rurali, furono progressivamente adattate ai contesti urbani, contribuendo alla nascita della figura dell'analista urbano, il cui ruolo professionale era quello di recuperare il controllo delle questioni civiche, con l'obiettivo di migliorare le condizioni di vita attraverso interventi mirati.

Il riconoscimento del legame tra condizioni ambientali e diffusione delle malattie incentivò ulteriormente l'adozione di misure volte a migliorare la salubrità degli ambienti urbani, contribuendo a trasformare radicalmente le città. Si cominciò a comprendere che le piaghe epidemiche ricorrenti, potevano essere mitigate mediante un'adeguata pianificazione urbanistica, che includeva la realizzazione di impianti di deflusso, abitazioni salubri e spazi verdi. La distinzione tra acque pulite e reflue, elevò l'importanza del sistema fognario al pari di infrastrutture fino ad allora considerate preminenti, come quella ferroviaria. Il sistema per la gestione delle acque nere nelle grandi città, che prevedeva la costruzione di una fitta rete di canali sotterranei, divenne cruciale<sup>145</sup>. Un famoso esempio di gestione sanitaria è la questione di Napoli, drammaticamente colpita dall'epidemia di colera del 1884, sollevò in Italia un acceso dibattito sulle condizioni di vita sia urbana che rurale, specialmente nel Meridione. Il colera, che mise in luce le gravi carenze igienico-sanitarie della città, rese evidente l'urgenza di interventi radicali per migliorare le condizioni di vita della popolazione. In questo contesto, il piano di risanamento e rinnovamento della città, noto come "Piano Giambarda"<sup>146</sup>, assunse un ruolo centrale. Questo prevedeva la creazione di un'arteria rettilinea di 27 metri di larghezza, un'opera che comportava la demolizione e la ristrutturazione

di vasti settori della città e il cui scopo era quello di creare ricircolo d'aria in un quartiere molto denso. L'intervento includeva il trasferimento di quasi 90.000 persone, un'impresa monumentale che avrebbe trasformato non solo l'aspetto urbano, ma anche la sua struttura socio-economica. Nonostante l'esecuzione del piano fu lenta e segnata da numerose difficoltà, tra cui crisi finanziarie e resistenze locali, il risanamento di Napoli rimane nella storia dell'urbanistica come uno dei più grandi progetti unitari di rinnovamento urbano del tempo<sup>147</sup>. Non fu solo una risposta all'emergenza sanitaria, ma rifletteva una visione più ampia in cui si riconosceva che le epidemie non potevano essere risolte solo con misure mediche. Era necessario affrontare le cause profonde attraverso piani urbanistici che comportassero azioni concrete sul tessuto economico e sociale della città. Non rappresentava solo un miglioramento delle infrastrutture e delle condizioni igieniche, ma un tentativo di riformare l'intera struttura urbana per prevenire future crisi sanitarie e migliorare la qualità della vita degli abitanti. Questo approccio integrato segnò un punto di svolta nella storia dell'urbanistica italiana, sottolineando l'importanza di una pianificazione urbana che considerasse la salute pubblica come un elemento centrale nello sviluppo delle città.

---

<sup>142</sup> BONCINELLI E., 2016.

<sup>143</sup> ZUCCONI C., 2022.

---

<sup>144</sup> *Ibidem.*

---

<sup>145</sup> *Ibidem.*

<sup>146</sup> SICA P., 1991, pp. 549-567.

---

<sup>147</sup> *Ibidem.*

## ASPETTI PSICOLOGICO-SANITARI

Comprese le ragioni biologiche e ambientali per cui l'architettura (anche storica) può farsi strumento importante per l'esplorazione spaziale, vanno considerati gli aspetti psicologico-sanitari, altrettanto fondamentali al benessere degli esploratori. Il concetto stesso di *bisogno* umano è stato oggetto di teorizzazioni e studi approfonditi.

L'architetto svizzero-francese Le Corbusier, figura centrale nel Movimento Moderno<sup>148</sup>, ha lasciato un'impronta duratura nel mondo dell'architettura. Attraverso i suoi scritti ha esplorato il rapporto tra progettazione architettonica e necessità umane creando spazi che non solo ospitano individui ma che migliorino

<sup>148</sup> Emerso tra le due guerre mondiali come *congeries* di teorie ed esperienze di punta, il movimento architettonico moderno si proponeva di rinnovare i tratti distintivi, la concezione e i principi dell'architettura, dell'urbanistica e del design. Gli architetti protagonisti di tale corrente improntavano i loro progetti su criteri di funzionalità e nuovi paradigmi estetici. L'apice del movimento si identificò negli anni '20 e '30 del XX secolo. Un impulso significativo venne fornito dai CIAM - Congressi Internazionali di Architettura Moderna (Congrès Internationaux d'Architecture Moderne), promossi da Le Corbusier, dove furono elaborate numerose teorie e principi successivamente applicati in svariate discipline. Tra le correnti associate al movimento si annoverano il De Stijl, il Bauhaus, il Costruttivismo, il Razionalismo italiano, mentre negli Stati Uniti nel 1936 fu coniato il termine International Style, spesso utilizzato per indicare complessivamente l'intero movimento. In ambito architettonico, si propugna l'abbandono degli stili storici, dell'eclettismo e del classicismo a favore di un linguaggio progettuale in grado di sfruttare le potenzialità tecnologiche dei nuovi materiali come vetro e acciaio, unendo essenzialità e funzionalità nella concezione delle forme e nella creazione degli spazi. CURTIS W.J.R., 2006

la qualità di vita. Lo stretto contatto tra mondo naturale e costruito si pone come punto fondamentale, sia a livello di luce che di aria e ventilazione: gli spazi dovrebbero essere progettati in modo da favorire la circolazione dell'aria, contribuendo così al benessere degli occupanti. Questo concetto si riflette nei suoi progetti, che spesso includono ampie finestre, terrazze e aperture strategiche per garantire una ventilazione adeguata. La connessione tra l'interno e l'esterno è un tema ricorrente nelle opere e negli scritti: attraverso la sua architettura, ha cercato di rompere le barriere tra gli spazi abitativi e l'ambiente circostante, creando fluidità tra l'interno e l'esterno. Questo approccio mirava a integrare la natura nella vita quotidiana, offrendo agli occupanti una sensazione di connessione con il mondo esterno. La sua visione dell'architettura come "macchina per abitare" sottolinea l'importanza di adottare materiali moderni e tecnologie avanzate per soddisfare le esigenze della vita contemporanea<sup>149</sup>.

“SIGNORE, SIGNORI, [...] L'ARCHITETTURA DELL'EPOCA MODERNA È IL RISULTATO DI UNA LUNGA ELABORAZIONE, E POSSIEDE LA TECNICA SANA E VIGOROSA CAPACE DI FAR DA SUPPORTO A UN'ESTETICA, PERALTRO FORMULATA DA IMPERATIVI PROFONDI: DA UN LATO UNA TECNICA ASSOLUTAMENTE NUOVA, PURA, OMOGENEA; DALL'ALTRA UN'ESTETICA CHE RAPPRESENTA LA CONCLUSIONE DI UN'EPOCA TOTALMENTE RINNOVATA E CHE, DOPO ESSERSI

<sup>149</sup> TAMBORRINO R. (a cura di), 2003.

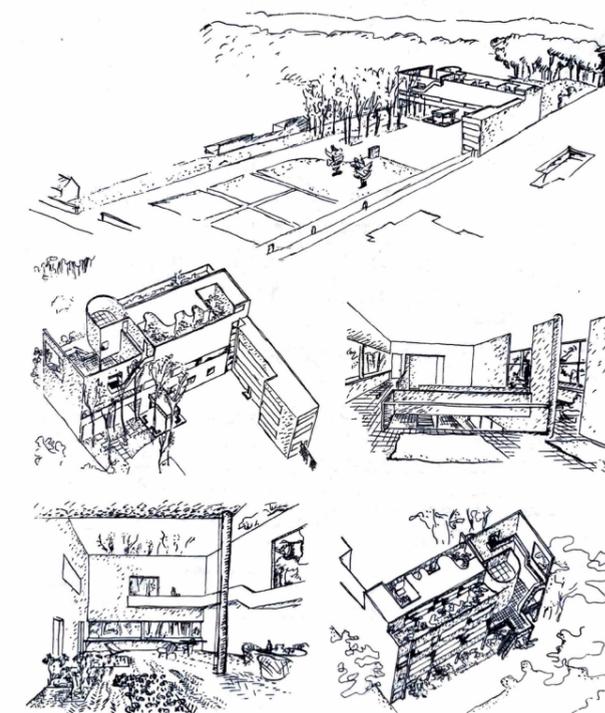
MANIFESTATA IN MOLTI MODI E AVER IMBOCCATO STRADE DIVERGENTI, È ARRIVATA A CONGIUNGERSI, NEL NOSTRO STESSO INTIMO, CON I FONDAMENTI ESSENZIALI LA NOSTRA SENSIBILITÀ, E I FONDAMENTI PURAMENTE UMANI DELL'EMOZIONE.”<sup>150</sup>

Le sue considerazioni sono ascrivibili al mondo dell'architettura e hanno traduzioni nella sfera psicologico-emotiva. Ha teorizzato ciò che di fatto ha continuato ad essere il modo di progettare. Diversi decenni più tardi, dalla collaborazione di un architetto, Mario Botta, ed uno psichiatra e sociologo, Paolo Crepet, è emersa un'analisi approfondita<sup>151</sup> dei due mondi che compongono l'esperienza umana: lo spazio abitato e la dimensione emotiva. Nel dialogo tra i due autori, viene esaminato come gli spazi abitativi influenzino e riflettano le emozioni umane, e come le esperienze emotive, a loro volta, modellino la percezione e l'uso di tali spazi. La casa è considerata il luogo privilegiato per l'espressione delle emozioni più profonde, dove la disposizione degli ambienti, l'illuminazione, i materiali utilizzati e i ricordi personali presenti influiscono significativamente sulla salute mentale e sulla qualità della vita.

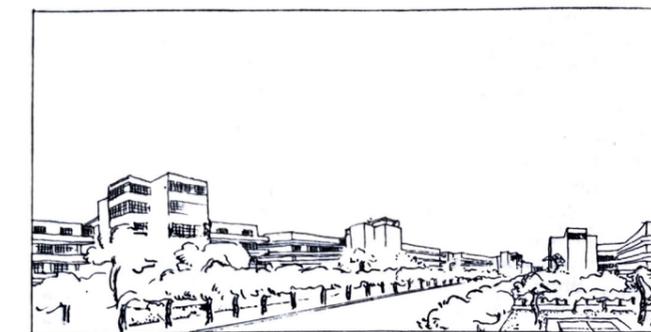
Negli ambienti con condizioni avverse come le stazioni polari o sottomarine sono stati riscontrati numerosi problemi psicologici come mal di testa, insonnia e problemi di concentrazione dovuti principalmente alle condizioni di vita del luogo.

<sup>150</sup> *Ivi*, p. 64.

<sup>151</sup> BOTTA M., CREPET P., ZOIS G., 2007.

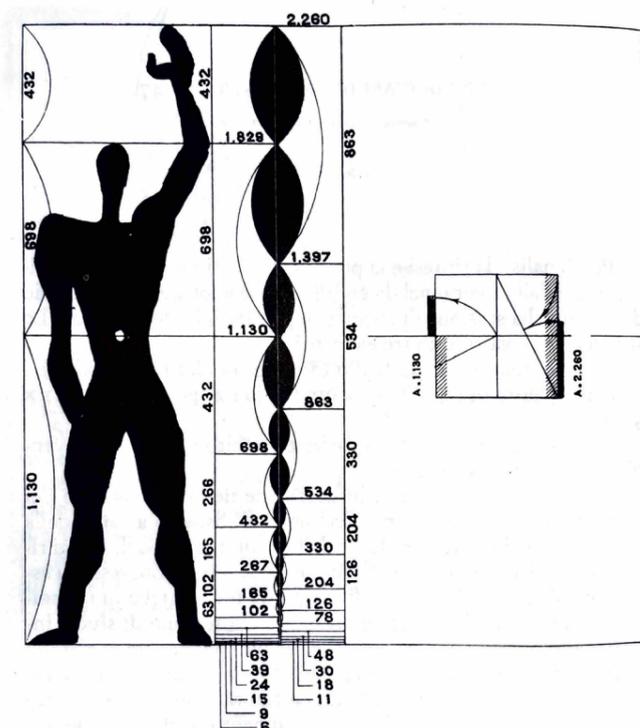


► Villa Stein De Monzie a Garches, disegno di Le Corbusier, 1926. TAMBORRINO R. (a cura di), 2003, p. 174.



► Disegno di Le Corbusier, ragionamenti sulla progettazione di una città in cui vaste aree soleggiate sono predominanti e in cui emerge il rapporto armonico con natura e contesto. TAMBORRINO R. (a cura di), 2003, p. 20.

Una situazione estrema può essere tollerata solo per un breve periodo di tempo e dunque il design può aiutare a migliorare la situazione. Come noto nella progettazione, la scansione degli ambienti è fondamentale al benessere psicologico.



► Disegno di Le Corbusier, misure antropometriche. TAMBORRINO R. (a cura di), 2003, p. 464.

Le teorie di *Modulor*<sup>152</sup> definiscono proprio la creazione di spazi fisici equilibrati a partire dalle misure antropometriche umane.

<sup>152</sup> Il Modulor è un sistema di proporzioni, sviluppato negli anni Quaranta del Novecento, concepito come uno strumento di misura basato su una scala antropometrica, cioè derivata dalle misure del corpo umano e da principi matematici, con l'obiettivo di guidare il processo di progettazione e di creare spazi armonici e funzionali.

Il motivo per cui il sistema di Le Corbusier ha avuto notevoli risvolti nelle architetture successive e nelle teorie architettoniche e, in un certo senso, continua ad averne anche nella progettazione nello spazio è che, così come avviene sulla terra vanno considerate le proporzioni fisiche per la gestione di luoghi, a maggior ragione in ambienti già di per sé inospitali che devono garantire tuttavia le stesse condizioni ottenibili sulla terra.

Seppur la presenza di astronauti provenienti da diverse nazionalità e culture può complicare le interazioni, studi comportamentali e psicologici condotti durante l'addestramento hanno permesso di definire i confini tra le necessità operative della missione e i bisogni fondamentali dell'essere umano<sup>153</sup>. Nell'architettura spaziale si possono adottare varie misure, tra cui quella di creare spazi di maggiori dimensioni (non necessariamente con conseguente aumento dell'investimento) utilizzando sistemi ISRU o sistemi espandibili. Ancora l'utilizzo di sistemi modulari e personalizzabili aiuta l'astronauta ad avere un maggiore comfort, consentendogli di avere l'opportunità di gestire il proprio spazio e di modificarlo all'occorrenza<sup>154</sup>.

Affinché sia possibile garantire il successo delle missioni (già rischioso per via delle condizioni esterne), è imperativo considerare attentamente le condizioni psicofisiche, le quali devono essere ottimali al fine di permettere l'esecuzione, con successo, di tutti i compiti loro assegnati.

<sup>153</sup> COTRONEI V., MARUCCI D., 2018.

<sup>154</sup> J.KOZICKI, J. KOZICKA, 2011.

L'elevato stress intrinseco al quale gli astronauti sono inevitabilmente sottoposti, costituisce una sfida significativa. La prestazione umana è strettamente correlata alla salute mentale e fisica degli individui coinvolti e la gestione dell'adattamento psicologico e fisiologico è cruciale per garantire la loro efficacia e sicurezza durante l'esecuzione delle missioni spaziali. L'ambiente spaziale, già di per sé complesso per via delle condizioni gravitazionali ridotte, radiazioni cosmiche e isolamento, presenta una serie di fattori che possono influenzare negativamente la salute.

I membri dell'equipaggio della ISS vivono in un ambiente particolare, caratterizzato da una serie di sfide che influenzano il loro quotidiano. Tra queste, la microgravità rappresenta un elemento costante con cui devono confrontarsi, il tempo trascorso in spazi ristretti impone una gestione attenta delle dinamiche interpersonali e le giornate sono scandite da programmi rigorosi e intensi, con attività che si susseguono senza sosta. A tutto ciò si aggiunge l'esperienza di osservare albe e tramonti multipli nell'arco di una giornata, che influisce sui ritmi circadiani<sup>155</sup>. Per fronteggiare lo stress psicofisico, si procede con una serie di strategie di gestione dello stress, protocolli di supporto psicologico e programmi di allenamento mirati.

L'ESA sta conducendo un'indagine denominata "Circadian Light"<sup>156</sup>, che si concentra sulla sperimentazione di un innovativo sistema di

<sup>155</sup> GASKILL M. L., 2024.

<sup>156</sup> *Ibidem*.

illuminazione progettato per supportare il mantenimento di un ritmo più naturale durante le missioni spaziali. Il sistema, basato su un pannello LED avanzato, è in grado di modificare automaticamente e gradualmente lo spettro luminoso, variando l'intensità e la qualità della luce nell'arco della giornata per replicare più fedelmente le condizioni naturali della Terra<sup>157</sup>. L'obiettivo di questo studio è analizzare come tali variazioni possano influenzare la regolazione del ritmo circadiano degli astronauti, con particolare attenzione agli effetti sul sonno, sui livelli di stress e sul benessere psicofisico generale dell'equipaggio. La ricerca nel campo della neuroscienza contribuisce a comprendere meglio gli impatti delle condizioni esterne sul cervello e sul sistema nervoso, fornendo basi scientifiche per sviluppare interventi terapeutici e preventivi. L'implementazione di tecnologie avanzate, come la realtà virtuale, viene in aiuto per la simulazione di scenari di pericolo e per facilitare l'adattamento degli astronauti. La sinergia di diverse discipline e la riproposizione di teorie progettuali terrestri garantisce che gli astronauti possano operare al massimo delle loro capacità in condizioni complesse e l'architettura può essere un potente strumento per il successo delle missioni spaziali.

<sup>157</sup> *Ibidem*.

# QUESTIONI DI TRASPORTO

La progettazione di habitat spaziali (siano essi predisposti per la permanenza in orbita, sia per la sopravvivenza sulla superficie di un pianeta) è strettamente connessa al trasporto. Il MPLM (Multi-Purpose Logistics Module) è uno degli esempi di progettazione di moduli la cui forma dipende dal mezzo di trasporto. Questo, progettato dall'azienda Thales Alenia Space, presenta forma cilindrica ed era inizialmente pensato come trasporto cargo. È stato poi integrato ed agganciato definitivamente alla ISS nel 2010<sup>158</sup>.



► MPLM nel vano di carico dello Space Shuttle "Endeavour", missione STS-126 del novembre 2008. Risulta evidente come la forma del contenuto dipende in gran parte dal mezzo di trasporto. (NASA).

Le agenzie, quando progettano moduli o veicoli per le missioni spaziali, iniziano sempre dal considerare il sistema con cui questi verranno lanciati nello spazio. In altre parole, prima di progettare un satellite, una sonda o una parte di una stazione spaziale, si valuta quale razzo o veicolo spaziale lo trasporterà, perché le caratteristiche del mezzo di trasporto influenzano direttamente come deve essere progettato il modulo stesso. Il design del modulo viene adattato alle capacità e ai limiti, come dimensioni, peso e forma, per assicurarsi che il trasferimento avvenga con successo. Le aziende che, ad oggi, si occupano di questa porzione dell'esplorazione spaziale sono diverse. L'esempio torinese più famoso è sorto dalla FIAT (oggi parte del gruppo Stellantis), dalla cui espansione, avvenuta nel corso dei primi anni del 900<sup>159</sup>, e successiva inversione della tendenza, sono nate una serie di nuove micro-realtà. In particolar modo, la fusione delle due aziende di Aeritalia con Selenia ha portato alla fondazione di Alenia che, unita ad altre realtà, si occupa oggi di trasporti terrestri, aerei e spaziali

Capitolo

# 06

## Questioni di trasporto

- Da luoghi di passaggio a luoghi di permanenza
- Considerazioni economiche

75  
77

<sup>158</sup> *Il contributo dell'Italia alla stazione spaziale internazionale, Multi Purpose Logistic Module*, disponibile al sito: <https://www.asi.it/vita-nello-spazio/litalia-in-microgravita/stazione-spaziale-internazionale/mplm-2/>, ultima consultazione aprile 2024.

<sup>159</sup> Lo storico marchio torinese ha assorbito al suo interno un numero sempre maggiore di aziende e modificando non solo l'assetto urbanistico delle città in cui si collocava ma anche la concezione stessa legata al mondo dei trasporti.

(oltre a sicurezza e molto altro)<sup>160</sup>. L'impresa si dedica anche alla progettazione di moduli abitativi destinati a stazioni orbitali, rivolti sia a satelliti che a veicoli spaziali. Il contenuto tecnologico di tali progetti è mirato all'ingegneria di veicoli, specializzati nell'esplorazione spaziale con il coinvolgimento di moltissimi esperti<sup>161</sup>.



► "Spacelab nel vano cargo della navetta spaziale Columbia, missione STS-9, novembre 1983, lanciato dalla NASA e dall'ESRO, è il primo laboratorio scientifico installato sullo Space Shuttle, ospita fino a quattro astronauti per condurre esperimenti in orbita. La costruzione coinvolge aziende di dieci Paesi europei, con la Germania capofila del programma e l'Italia seconda con il 18%".  
Fonte: <https://www.leonardo.com/it/about/history/1960-1986>, ultima consultazione agosto 2024.

<sup>160</sup>Informazioni su *Thales Alenia Space*, disponibile al sito: <https://www.thalesaleniaspace.com/it/chi-siamo>, ultima consultazione aprile 2024.

<sup>161</sup> Attualmente, l'attenzione si concentra sullo sviluppo di un razzo-vettore capace di trasportare pesanti carichi verso la Luna, con un approccio di progettazione preferenziale rispetto a Marte, considerando la Luna come una possibile fonte mineraria e come primo punto per la comprensione delle implicazioni della costruzione nello spazio. AAVV, 2020.

Così come l'Alenia, altre aziende private e governative, non solo si occupano dunque della progettazione dei propulsori ma investono le loro risorse anche nello studio di ambienti sicuri e funzionali che tengano conto delle limitazioni e delle caratteristiche dei veicoli spaziali utilizzati per il trasporto dei moduli abitativi. Questa interconnessione tra struttura e trasporto è cruciale per garantire il successo delle missioni. Uno dei principali fattori che influenzano la progettazione degli habitat è la capacità di carico e le dimensioni dei veicoli di lancio. Ad esempio, i razzi attualmente utilizzati, come il Falcon 9 di SpaceX<sup>162</sup> o l'SLS della NASA, posseggono limitazioni specifiche in termini di dimensioni e peso del carico utile. Questo impone che siano progettati per essere compatti e leggeri, pur mantenendo un livello di robustezza e sicurezza adeguato a proteggere gli astronauti dalle condizioni estreme dello spazio. Lo sviluppo di nuovi propulsori e veicoli spaziali più potenti, come il razzo Starship di SpaceX, potrebbe ampliare le possibilità di progettazione, permettendo il trasporto di moduli più grandi e complessi o di consentire una riduzione delle tempistiche necessarie al trasferimento.

Per le missioni lunari e marziane, la modularità è una caratteristica essenziale, poiché permette la spedizione di componenti separati che possono essere assemblati sul posto per formare strutture più grandi e complesse. Il trasporto di

<sup>162</sup> SPACE X, 2021.

persone nello spazio aggiunge un ulteriore livello di complessità. La sicurezza degli astronauti è una priorità assoluta e richiede veicoli spaziali avanzati con sistemi di supporto vitale e protezione dalle radiazioni che, nel caso di lanci lunari e marziani, devono essere progettati per garantire un viaggio sicuro e confortevole, minimizzando l'esposizione ai rischi. Le missioni a lungo termine, come quelle verso Marte, richiedono inoltre soluzioni per il benessere psicologico e fisico degli astronauti. Spazi abitativi adeguati, attività ricreative e sistemi di comunicazione efficienti sono essenziali per mantenere il morale e la salute degli equipaggi durante i lunghi viaggi.

## DA LUOGHI DI PASSAGGIO A LUOGHI DI PERMANENZA

Come sulla Terra, il trasporto, è determinato dalla finalità della destinazione. Così come avvenuto in passato, si parla ora di stazionamento nei luoghi esterni all'orbita terrestre e dunque anche il concetto di spostamento sta cambiando adeguandosi e adeguando i propulsori ed i carburanti a disposizione. La storia dell'urbanistica offre un'importante chiave di lettura per comprendere come le evoluzioni dei veicoli influenzino il modo in cui progettiamo gli spazi. In particolare, il turismo montano e balneare italiano è stato reso possibile dai progressi nei trasporti e nelle infrastrutture<sup>163</sup>. La costruzione di strade,

<sup>163</sup> FASSIN D., 2024.

ferrovie e, più recentemente, autostrade, ha permesso un accesso più facile e veloce alle località montane e costiere. Le innovazioni nell'architettura e nell'urbanistica hanno trasformato queste aree, con la costruzione di alberghi, resort e altre strutture turistiche che hanno attratto visitatori da tutto il mondo<sup>164</sup>. Le conseguenze sono state la modifica radicale dei territori e l'aumento della popolazione. Se dapprima, le costruzioni, così come avvenne con la conquista dell'America, erano di scarsa qualità e non pensate per durare, si è poi passati ad una pianificazione vera e propria con luoghi progettati per garantire sicurezza e comfort agli abitanti. A differenza dell'Europa, in cui la ferrovia penetra in un tessuto consolidato, nell'attuale territorio degli USA, la costruzione della rete accompagna in gran parte la costruzione del tessuto insediativo e produttivo secondo la comune logica dello sviluppo capitalistico<sup>165</sup>. Nelle località "di fermata" sono applicati elementari schemi di lottizzazione, adeguata alle necessità dell'uso del suolo. Con l'aumento della popolazione e la stabilizzazione degli insediamenti urbani si procede con una serie di piani urbanistici che favoriscono il benessere abitativo<sup>166</sup> e con la redazione di piani amministrativi. Analogamente a quanto

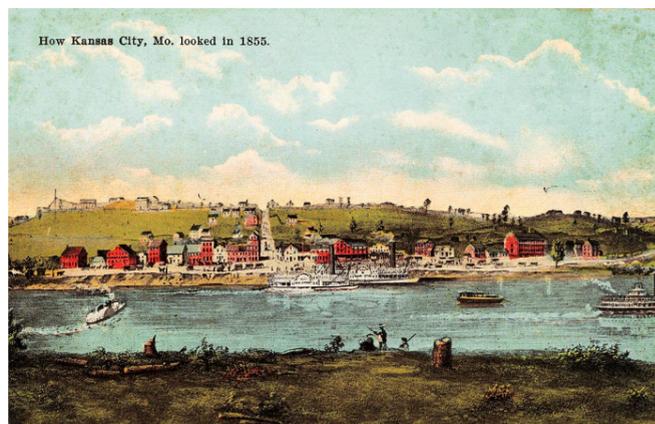
<sup>164</sup> FISSOLO B., 2024

<sup>165</sup> SICA P., 1981.

<sup>166</sup> Ad esempio, il Park Movement ed il City Beautiful Movement, entrambi piani ottocenteschi di miglifiera urbana legata non più ai singoli quartieri ma a porzioni cittadine più ampie. (SICA P., 1981, Cap. VII, "Gli sviluppi urbanistici degli Stati Uniti d'America").

avvenuto sulla Terra con lo sviluppo urbano, anche nello spazio la transizione da insediamenti temporanei a permanenti porterà a una progressiva stabilizzazione delle colonie umane. Ciò richiederà piani urbanistici avanzati che favoriscano il benessere abitativo e la gestione delle risorse, e che tengano conto delle sfide poste dall'ambiente spaziale. Proprio come l'urbanistica terrestre ha trasformato località montane e costiere in destinazioni turistiche e centri abitativi prosperi, così l'urbanistica spaziale dovrà trasformare i nuovi insediamenti extraterrestri in ambienti vivibili e sicuri per le future generazioni di esploratori e coloni. La stessa ISS possiede moduli che si sono evoluti da strumenti di trasporto a oggetti di permanenza e come tali hanno subito modifiche. Il legame insito tra ciò che ci permette di muoverci e il luogo di fermata è imprescindibile e come tale non è un elemento sottovalutabile, così com'è per l'ambito economico e di investimento che concerne l'esplorazione spaziale.

Le stazioni spaziali in orbita terrestre bassa, come la Stazione Spaziale Internazionale (ISS), sono principalmente dedicate alla ricerca scientifica, alla sperimentazione di tecnologie spaziali e alla preparazione di future missioni a lungo termine. Questo tipo di stazione richiede un flusso costante di rifornimenti, equipaggiamenti e personale con un trasporto regolare.



► “Cartolina della zona fluviale di Kansas City del 1855”.  
Fonte: <https://kchistory.org/blog/kcq-how-did-kansas-city-come-be>, ultima consultazione agosto 2024.



► “Mappa del 1868 della linea della Union Pacific Railroad attraverso Kansas City”. La città si sviluppa grazie alla sua collocazione tra il Kansas ed il Missouri ma, sebbene i vantaggi dei viaggi fluviali e del commercio via terra fossero ciò che inizialmente attrasse l'attenzione e gli investitori nella nuova città, furono le ferrovie e il commercio del bestiame a far sì che l'area di Kansas City diventasse la metropoli più importante nella metà occidentale del Missouri. Con la costruzione di nuovi ponti e nuove linee la popolazione della città aumentò da poco più di quattromila abitanti nel 1860 a più di centosessantamila nel 1900. L'episodio più importante per la pianificazione della città è l'integrazione del Park Movement e l'elaborazione delle teorie della City Beautiful.  
Fonte: <https://kchistory.org/blog/kcq-how-did-kansas-city-come-be>, ultima consultazione agosto 2024.

Al contrario, le missioni lunari e marziane presentano sfide logistiche più complesse. La Luna rappresenta un'opportunità per testare tecnologie e strategie di esplorazione. Gli habitat lunari, come quelli proposti nel programma Artemis della NASA, richiedono moduli abitativi robusti, sistemi di supporto vitale autonomi e tecnologie per l'uso delle risorse locali, come l'estrazione di acqua.

Le missioni verso Marte rappresentano una sfida invece maggiore. La distanza e le condizioni ambientali richiedono soluzioni differenti per il trasporto e l'installazione di habitat. I veicoli dovranno essere capaci di affrontare viaggi di mesi, proteggendo il carico umano e materico dalle radiazioni e dalle temperature estreme.

### CONSIDERAZIONI ECONOMICHE

L'obiettivo di colonizzare il Cosmo passa, come illustrato nei capitoli precedenti, attraverso il raggiungimento di una serie di tappe che devono fare i conti con numerosi oneri non trascurabili, tra cui quelli economici.

Le missioni spaziali, indipendentemente dallo scopo e dalla destinazione, richiedono investimenti elevati che riguardano sia le fasi di ricerca e sviluppo del progetto che quelle di effettiva realizzazione. Quando si affronta il tema del budget nel settore aerospaziale, si tratta di cifre straordinariamente elevate. Nel caso della NASA, “il 50% del budget annuale [...] viene speso in attività di volo spaziale umano, il 30% in

missioni robotiche e ricerca scientifica”<sup>167</sup>. Questo, proposto dalla Casa Bianca al Congresso, viene sottoposto ad una attenta analisi ed è spesso soggetto a vincoli di bilancio e a priorità politiche<sup>168</sup>. Si parla, per il 2025, di un budget di 25 miliardi e 383 milioni di dollari, che prevede un incremento del 2% rispetto ai fondi assegnati dal Congresso per il 2024, confermati l'8 marzo dello stesso anno<sup>169</sup>, che sono poi ripartiti nelle varie sedi e nei vari progetti. Il bilanciamento tra investimento e ritorno scientifico è decisamente delicato perché non sempre produce risultati soddisfacenti. Per questo motivo, seppur le prime proposte di costruzione nello spazio abbiano suscitato notevoli entusiasmi, dando il via a un fervore di idee, si sono poi viste frenate dalle questioni appunto economiche.

Si è quindi aperta la possibilità di coinvolgere fondi privati nell'elaborazione di progetti di vasta portata, generando un aumento degli investimenti, permettendo la realizzazione di missioni più ambiziose e determinando il superamento delle limitazioni dei finanziamenti pubblici. Grazie alle sperimentazioni della Space X è stato possibile sviluppare una famiglia di razzi riutilizzabili, Falcon, che hanno consentito di ridurre i costi di lancio, grazie proprio al reimpiego delle parti più costose. La

<sup>167</sup> *Your Guide to NASA's Budget*, disponibile al sito: <https://www.planetary.org/space-policy/nasa-budget>, ultima consultazione maggio 2024.

<sup>168</sup> PHILLIPS T., 2024.

<sup>169</sup> PICCIN S., 2024.

composizione degli stessi permette il trasporto sia di esseri umani che di satelliti con la sola sostituzione dell'ultima porzione del vettore, aumentando la versatilità dell'oggetto<sup>170</sup>.

Considerando poi i costi relativi alla spedizione di massa generica al di fuori dell'orbita terrestre, l'utilizzo di risorse *in situ* può essere un'opzione per rendere le missioni di più semplice realizzazione. Aggiungendo al processo eventuali tecniche di *additive manufacturing*, il costo e la complessità di un villaggio (ad esempio lunare) vengono notevolmente ridotti, pur restando elevati.

Tuttavia, ciò che oggi sta prendendo forma è solo un piccolo frammento dell'intera discussione. Numerosi progetti, come schermi protettivi contro le radiazioni cosmiche, sono rimasti in fase di stallo a causa della loro inadeguatezza, eccessivi costi e mancanza di mezzi di trasporto adeguati. L'industria spaziale possiede un ritardo dovuto anche a fondi investiti che hanno raggiunto un punto poco incoraggiante.

In questo scenario, il progresso previsto per Marte è in fase di studio e riflessione, poiché ogni passo successivo dipende dalle fasi preliminari, dalle certezze che ad oggi mancano e dalle problematiche che richiedono

l'intervento di esperti specializzati. Nell'applicazione di questi principi ai dati scientifici spaziali, per i quali la NASA finanzia i ricercatori, si osserva un ciclo economico dove gli scienziati pagano imprenditori privati per i servizi necessari, e il Dipartimento della Difesa spende ingenti somme di denaro pubblico per proteggerli.

I benefici reali e la sostenibilità di questo modello di business diventano però spesso discutibili, specialmente in un contesto di azione unilaterale in un mondo recentemente popolato da numerosi concorrenti spaziali<sup>171</sup>. Questo scenario si sviluppa sullo sfondo delle aspirazioni non ancora abbandonate verso la cooperazione e lo sviluppo internazionale<sup>172</sup>.

Il quadro complessivo è un mosaico composto da molte tessere, ognuna delle quali contribuisce alla formazione di un'immagine più ampia. Alcune di queste ricoprono un ruolo di maggiore importanza rispetto alle altre e tra queste vi è sicuramente il metodo di trasporto

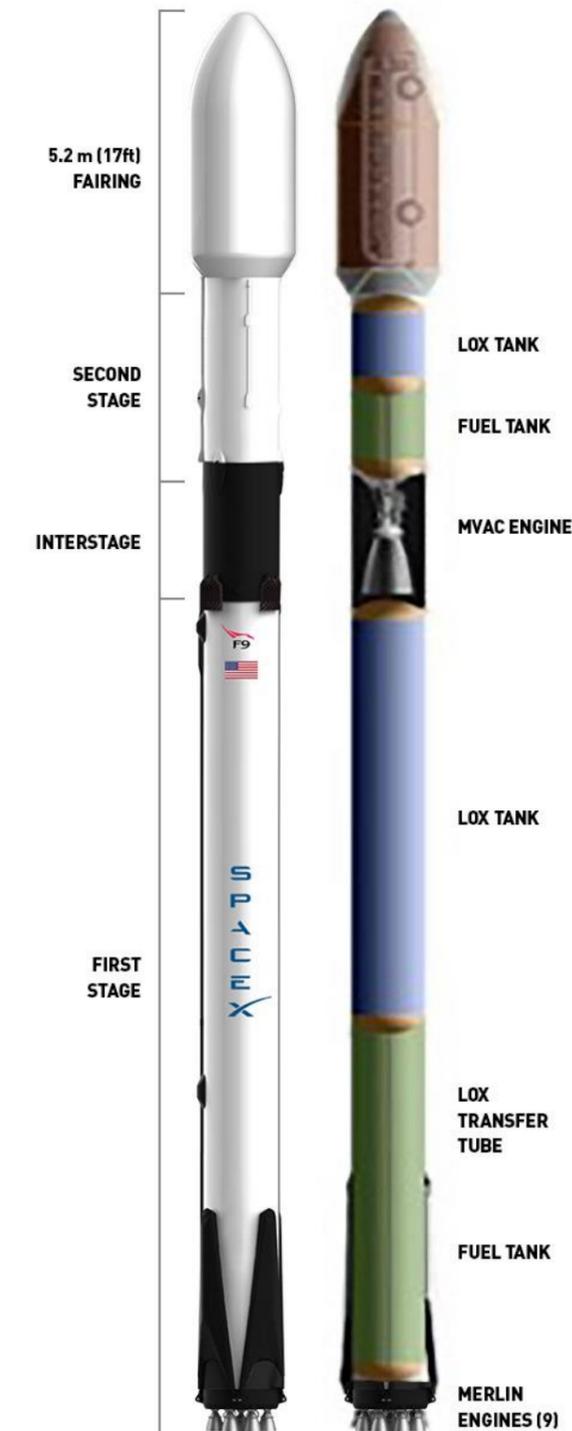
<sup>171</sup> COCKELL C.S., 2015.

<sup>172</sup> "Collettivamente, [i trattati spaziali internazionali] (N.d.A.) prevedono che lo spazio sia libero e utilizzabile da tutta l'umanità in modo pacifico. La teoria alla base dei trattati è che tutta l'umanità dovrebbe beneficiare equamente di ciò che si trova nello spazio. I trattati furono forse uno dei primi veri tentativi di creare una comunità globale che lavorasse insieme per raggiungere un obiettivo. Lo spazio non verrebbe diviso, come lo furono le masse terrestri sulla terra, attraverso la conquista e il colonialismo. Piuttosto, la visione dello spazio era quella di esseri umani che lavoravano in armonia per migliorare la vita di tutta l'umanità esplorando e possibilmente sfruttando le risorse spaziali per il bene di tutti, nello spirito di cooperazione e armonia." KEEFE, 1995.

prescelto. Essendo un progetto con scale di vasta portata è inevitabile imbattersi in ostacoli che causano ritardi e posticipazione dei progetti, mentre l'economia subisce mutamenti e le politiche cambiano la direzione degli investimenti.



► "Falcon 9". Composizione (a destra), e fotografia delle alette che ne permettono la stabilizzazione (fotografia scattata dall'autore, in alto). SPACE X, 2021.



# LUNA



► "The Earth & Moon".

Fonte: <https://science.nasa.gov/resource/the-earth-moon/>, ultima consultazione novembre 2024.

Nel Sistema Solare, ad oggi, sono riconosciuti otto pianeti<sup>173</sup> (Mercurio, Venere, Terra, Marte,

<sup>173</sup> Nel gennaio 2015, ricercatori del Caltech, hanno avanzato una teoria che propone l'esistenza di un nono pianeta, denominato "Pianeta Nove", situato nelle regioni esterne del Sistema Solare. Questa ipotesi si basa su prove matematiche che indicano la possibile presenza di un corpo celeste delle dimensioni di Nettuno. Secondo gli scienziati, questo ipotetico pianeta avrebbe una massa circa 10 volte quella terrestre e la sua orbita sarebbe estremamente ellittica, situata ben oltre quella di Plutone, con una distanza media dal Sole circa 20 volte maggiore rispetto a quella di Nettuno. L'ipotesi del Pianeta Nove fornisce una spiegazione plausibile per alcune anomalie osservate nelle orbite degli oggetti della fascia di Kuiper e nei corpi transnettuniani. La sua esistenza è basata su modelli matematici, non esistono evidenze scientifiche a riguardo. Disponibile al sito: <https://science.nasa.gov/solar-system/>, ultima consultazione giugno 2024.

Giove, Saturno, Urano e Nettuno) e cinque pianeti nani (Cerere, Plutone, Haumea, Makemake ed Eris). Di questi Saturno possiede oltre cento lune, Mercurio e Venere nessuna e la Terra una soltanto. Il suo nome deriva dal latino, e fino al 1610, quando Galileo Galilei<sup>174</sup> scoprì quattro corpi in orbita attorno a Giove, la nostra era l'unico satellite naturale conosciuto. Questo è il motivo per cui il termine "lunare" è utilizzato per descrivere i corpi celesti che orbitano attorno ai Pianeti. Nonostante Mercurio, Venere e Marte siano pianeti astronomicamente collocati nella fascia abitabile, ovvero una zona in cui le distanze dal Sole consentono lo sviluppo di presupposti utili alla vita, le condizioni presenti sulla Luna la rendono una possibile futura colonia per l'essere umano.

La Luna, collocata a circa 384 mila chilometri di distanza, è il quinto più grande satellite del Sistema Solare e, sulla sua superficie, la durata di un giorno è pari a 29.5 giorni terrestri (di cui metà di luce e metà di buio)<sup>175</sup>. La transizione delle temperature possiede una variazione di

<sup>174</sup> *The Moon*, disponibile al sito: <https://science.nasa.gov/moon/>, ultima consultazione giugno 2024.

<sup>175</sup> *I moti lunari*, disponibile al sito: <https://www.astrogeo.va.it/astroном/pianeti/selenolo/moti.html#:~:text=Fasi%20e%20rotazione,-La%20rotazione%20e&text=La%20Luna%20ci%20volge%20sempre,luce%20e%2014.25%20di%20buio.>, ultima consultazione novembre 2024.

## Capitolo

# 07

## Luna

- Ingegneria lunare: risorse e potenzialità

circa 5 °C all'ora. Nei siti di atterraggio delle missioni Apollo, si sono registrate temperature estreme che oscillavano tra i 111 °C durante il giorno e i -171 °C di notte<sup>176</sup>. Dunque, nella costruzione di habitat, di fondamentale importanza sarà la protezione dalle escursioni termiche.

Nonostante il primo passo dell'uomo sulla sua superficie risalga ormai a più di cinquant'anni fa ne abbiamo ancora una conoscenza relativamente ristretta ed è per questo che risulta essere un'ottima palestra di informazioni, tecniche e tecnologie. Proprio per il nostro legame con essa, Franco Ongaro, oggi Managing Director della Space Business Unit di Leonardo, ha detto che:

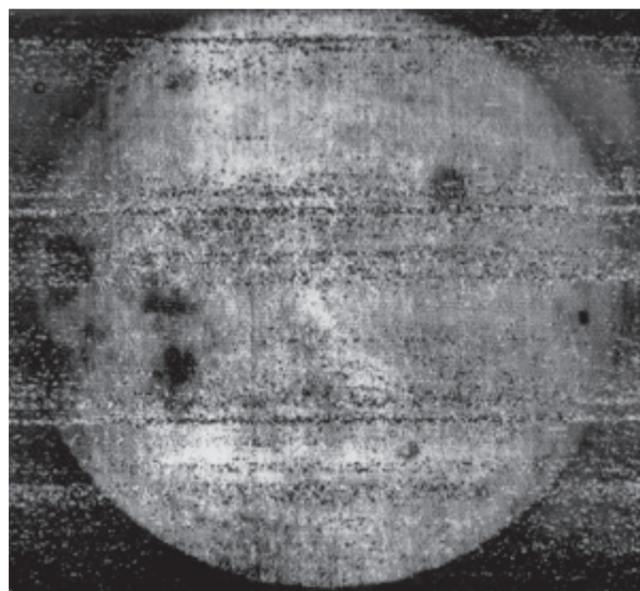
“SE LO SPAZIO È UN OCEANO, LA LUNA È LA NOSTRA ISOLA PIÙ VICINA”<sup>177</sup>.

Dunque, che gli astronauti raggiungessero la Luna non è mai stato inteso come il culmine di un'esperienza ma come il primo passo di una grande esplorazione possibile. In quanto oggetto più luminoso del cielo terrestre, è stata al centro di leggende per lungo tempo. In antichità ha guidato l'uomo nell'esplorazione di luoghi sconosciuti e, in un certo senso, ha continuato a farlo anche in tempi moderni.

<sup>176</sup> BENAROYA H., 2017.

<sup>177</sup> *The Moon, our neighbour*, disponibile al sito: [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Human\\_and\\_Robotic\\_Exploration/Exploration/The\\_Moon\\_-\\_our\\_neighbour](https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/The_Moon_-_our_neighbour), ultima consultazione giugno 2024.

I motivi per cui si sono avviati programmi spaziali sulla superficie sono molti e altrettanti sono quelli per cui è stata presa la decisione di sospenderli. Nel 1959, la sonda sovietica Luna-3 scattò delle fotografie del lato nascosto del satellite, mai visibile da telescopi per via dell'orbita dello stesso. Ne seguirono molte altre, con il passare del tempo, messe a disposizione della comunità scientifica per estendere il numero di scienziati che potessero studiarne le insolite caratteristiche<sup>178</sup>.



► “Seconda immagine del lato nascosto della Luna”. Sono state scattate 29 fotografie, che coprivano il 70% del lato nascosto. Scattata con l'obiettivo grandangolare, ha mostrato che il lato nascosto della Luna era molto diverso dal lato vicino.  
Fonte: Nasa.

<sup>178</sup> *Ivi*, pp. 71-74.

La rivalità generatasi tra USA e URSS ha dato vita alla spinta scientifica che ha permesso di superare l'atmosfera terrestre: se il primo traguardo è stato raggiunto dall'Unione Sovietica, grazie al programma Apollo (che si estese dal 1960 al 1973) sono state concluse con successo sei missioni che hanno raccolto campioni ed effettuato ricerche scientifiche. Da un lato si è creata una sfida, dall'altro non appena l'entusiasmo è andato scemando, si è perso anche interesse verso gli investimenti. I fatti di cronaca del tempo, tra cui il conflitto in Vietnam e i primi discorsi ambientalisti, hanno posto un freno ai viaggi verso la Luna, incrementato dai costi esorbitanti richiesti per tale sforzo. Proporzionati ai dollari americani moderni si tratta di circa 152 miliardi con un ricavo scientifico giudicato come “non proporzionato” e pari, in termini materici a 382 kg di rocce, sabbia e polvere<sup>179</sup>.

Perché dunque tornarci? Il motivo principale è che la prospettiva è cambiata. Prima di tutto è possibile sfruttarne le risorse: ad esempio idrogeno e ossigeno<sup>180</sup>, utili componenti per la generazione di propellenti per razzi. Nel momento in cui ne verrà avviata l'estrazione, i rifornimenti dei veicoli potrebbero essere effettuati direttamente *in situ*. Inoltre, risulta

<sup>179</sup> *Why did we stop going to the Moon and is it worth returning?*, gennaio 2023, disponibile al sito: <https://orbitaltoday.com/2022/07/25/why-did-we-stop-going-to-the-moon-and-is-it-worth-returning/>, ultima consultazione giugno 2024.

<sup>180</sup> DAVENPORT C., 2024.

essere un'ottima rampa di lancio verso lo Spazio per via della gravità ridotta sulla superficie.

In questa direzione, il programma Artemis<sup>181</sup> ha come scopo la ricerca scientifica e si pone come obiettivo quello della collaborazione internazionale.



► “I membri dell'equipaggio della Spedizione 37”.  
Fonte: <https://www.nasa.gov/artemis-accords/>, ultima consultazione agosto 2024.

Ad oggi hanno aderito agli accordi 39 paesi e diverse aziende private (le collaborazioni arginano il problema dei costi). Ognuna delle quali fornisce apporti al sistema generale creando un gruppo di lavoro che, almeno sulla

<sup>181</sup> NASA, *Humans in Space, Artemis*, disponibile al sito: <https://www.nasa.gov/humans-in-space/artemis/>, ultima consultazione giugno 2024.

carta, dovrebbe portare ad una esplorazione consapevole ed una ricerca scientifica i cui frutti saranno trasposti su tutto il Globo terrestre.

Il passo successivo sarà ovviamente quello della costruzione di habitat. In prospettiva del prossimo atterraggio da parte di essere umani, sono infatti previste missioni esplorative con lo scopo di testare la raccolta di materiali attraverso trapani e analizzatori chimici. La combinazione tra sonde satellitari ed elementi terrestri, chiamata missione Prime-1<sup>182</sup>, avrà incorporati nel lander il TRIDENT e lo spettrometro di massa. Il suo scopo principale sarà quello di effettuare i primi test di utilizzo di risorse lunari in cui sono inclusi sia minerali che acqua. L'esperimento non serve tanto a portare sulla terra campioni, quanto più a testare i problemi che possono associarsi all'operazione: per esempio quanta materia (in questo caso riferito all'acqua) viene persa nel momento in cui avviene la sublimazione nel vuoto.

Per quanto la sperimentazione e l'analisi ci aiutino ad ipotizzare una direzione, il percorso potrà essere stabilito in modo concreto solo *in situ*. L'obiettivo finale sarà quello di annullare la dipendenza da rifornimenti terrestri che aumenterebbero i costi e diminuirebbero la percentuale di riuscita dalle missioni.

<sup>182</sup> *Polar Resources Ice Mining Experiment 1 (PRIME-1)*, disponibile al sito: <https://www.nasa.gov/mission/polar-resources-ice-mining-experiment-1-prime-1/>, ultima consultazione agosto 2024.

## INGEGNERIA LUNARE: RISORSE E POTENZIALITA'



► "Luna colorata". L'immagine del 1992, è il risultato dell'unione di 15 fotogrammi provenienti dalla sonda Galileo che, attraverso l'uso di falsi colori, permette di interpretare la composizione del suolo. In particolare: le aree rosse corrispondono agli altopiani, le tonalità dal blu all'arancione indicano l'antico flusso di lava vulcanica di un mare, o mare lunare e contengono più titanio rispetto alle regioni arancioni. Le piccole aree viola vicino al centro sono depositi piroclastici formati da eruzioni vulcaniche esplosive.

Fonte: <https://science.nasa.gov/resource/colorful-moon/>, ultima consultazione novembre 2024.

Pur possedendo sofisticati strumenti astronomici sappiamo che non sono sufficienti per fornire tutte le informazioni necessarie rispetto a un dato luogo; motivo per cui, fino all'effettivo allunaggio, non si aveva la certezza, ad esempio, che il suolo lunare fosse solido.

Le informazioni possedute, tuttavia, ci consentono di ricostruirne la storia geologica. È ritenuto si sia formata circa 4,5 miliardi di anni fa a seguito di una collisione tra la Terra primordiale e un corpo celeste di dimensioni simili a quelle di Marte, noto come Theia. La sua presenza aiuta a stabilizzare l'oscillazione dell'asse terrestre, contribuendo a mantenere un clima relativamente stabile. La gravità che da essa si genera provoca le maree regolando i ritmi umani da migliaia di anni.

Possedendone inoltre un numero ragionevole di campioni è possibile eseguire sperimentazioni laboratoriali precise che permettono di ipotizzare il miglior utilizzo dei singoli materiali e la loro migliore declinazione. A differenza del pianeta Marte, dove non si possiede l'assoluta certezza della totale assenza di vita<sup>183</sup>, si è certi che la Luna sia completamente sprovvista di tracce biologiche; questo rende più facile e più celere il trasporto delle rocce che non necessitano più di alcun periodo di quarantena<sup>184</sup>. Il vantaggio è chiaramente quello

<sup>183</sup> Si veda il capitolo 8 (Marte), della presente tesi di laurea.

<sup>184</sup> La possibilità di contaminazione dell'ambiente terrestre da parte di organismi biologici è entrata da subito come parte integrante delle tutele riferite alle missioni spaziali. Il primo a confrontarsi con questa realtà è stato il programma Apollo che dovette stabilire linee guida base. Sostanzialmente le rocce venivano prima racchiuse nell'Apollo Lunar Sample Return Container, per poi sulla terra svolgere la quarantena in una struttura mobile di quarantena collocata in un laboratorio di ricevimento dove sostavano non solo gli oggetti, ma anche gli astronauti. Con le analisi vennero progressivamente ridotte le misure di sicurezza, fino ad essere completamente eliminate con

di un trasporto meno costoso e di una richiesta di minori attenzioni rispetto a quanto sarà per il pianeta rosso.

L'analisi dei campioni risulta fondamentale. Grazie a questi è stato possibile scoprire che, ad esempio, il satellite terrestre contiene ferro chimicamente puro. Questo, già di per sé un materiale prezioso, è reso ancora più interessante poiché, dato l'ambiente differente, non è incappato nel processo di ossidazione che sulla Terra causa processi chimici che ne alterano la proprietà e l'aspetto estetico. Inoltre, dalle indagini che sono state effettuate si è stabilito che la regolite, che contiene al suo interno un numero quantitativo di metalli (tra i più comuni alluminio, titanio, ferro e magnesio), possiede densità diverse basate sulla profondità della collocazione: se lo strato superiore possiede particelle finemente compatte, al di sotto di un metro, la percentuale aumenta notevolmente. Pur essendo versatile è anche decisamente fragile e la sua applicazione strutturale è limitata. È più probabile che venga applicata come schermatura dalle radiazioni o come barriera per i detriti causati dai lanci<sup>185</sup>.

Dunque, sulla superficie lunare, dove la gestione oculata delle risorse locali è un fattore cruciale per la sostenibilità a lungo termine delle missioni, l'uso di regolite e rocce lunari può ridurre significativamente la necessità di trasporto di materiali dalla Terra, in particolar

la conferma che, sulla Luna, non c'è vita alcuna. KEMPPANEN J., 2019.

<sup>185</sup> RUESS F., SCHAEZLN J., BENAROYA H., 2004.

modo basandosi sulle tecniche di produzione antiche<sup>186</sup>. La prima citata, la regolite è la più abbondante in superficie ed è un materiale simile alla sabbia, tendenzialmente scivoloso a causa di granelli di vetro vulcanico e alla polvere fine che da essa si genera<sup>187</sup>. Si è probabilmente formata nel corso dell'evoluzione a partire dall'impatto dei meteoriti, da cui la Luna non ha protezione alcuna ed è potenzialmente mortale per l'essere umano, più che per la sua composizione chimica, per la sua finezza: le particelle più piccole sono pari a 2,5 µm<sup>188</sup> ed essendo sospese dalla gravità ridotta, non si attaccano solo alle tute, ma c'è il rischio che penetrino nei polmoni ed entrino in circolo con il sangue.

Le variazioni termiche superficiali comportano dilatazioni e contrazioni termiche significative, creando sfide ingegneristiche rilevanti per le strutture esposte: quando una di queste è direttamente esposta a queste escursioni termiche estreme, è essenziale che venga costruita con materiali che possiedano un'elevata elasticità per resistere ai cambiamenti dimensionali senza subire danni. Inoltre, l'uso di elementi con diversi coefficienti di dilatazione termica deve essere gestito con estrema attenzione, poiché le differenze nell'espansione tra materiali adiacenti possono provocare stress strutturali che conducono a fratture o guasti.

---

<sup>186</sup> BENAROYA H., BERNOLD L., 2008.

<sup>187</sup> *Ibidem*.

<sup>188</sup> BENAROYA H., 2017.

La fatica del materiale, causata dai ripetuti cicli, rappresenta un problema critico che necessita di soluzioni avanzate per essere mitigato. Anche le strutture che sono protette da schermature termiche non sono esenti da questo fenomeno. Durante la fase di costruzione, prima che le schermature protettive siano posizionate, tutte le strutture saranno inevitabilmente esposte a queste condizioni. Pertanto, è fondamentale che la progettazione, a maggior ragione degli elementi strutturali, tenga conto di questa esposizione iniziale, implementando materiali e tecniche costruttive che possano sopportare gli stress termici durante questa fase critica. Per questi motivi la regolite, di per sé, non è sufficiente. Non dispone delle caratteristiche necessarie per gestire tali tensioni.

Tuttavia, il rinforzo può essere realizzato con materiali locali. I materiali su di essa presenti, come il vetro lunare rendono fattibile la creazione di fibre ad alta resistenza utilizzabili come rinforzo per il calcestruzzo, la regolite stessa se fusa e raffreddata rapidamente diventa simile al vetro. Pur essendo sperimentale, sembra essere una buona opportunità costruttiva<sup>189</sup>. Anche l'acqua, di cui spesso si è dubitata la presenza è stata confermata ed è noto che la sua estrazione, per via della ridotta gravità, è molto meno complicata che sulla Terra<sup>190</sup>.

---

<sup>189</sup> RUESS F., SCHAENZLIN J., BENAROYA H., 2004.

<sup>190</sup> GIBNEY E., 2018.

Se però per Marte sarà necessario trovare soluzioni differenti<sup>191</sup>, l'alto contenuto di calcio presente agevolerà almeno la miscelazione per il cemento. In questo caso il problema maggiore è dato dalla ridotta gravità, sarà necessario creare un ambiente pressurizzato per il getto: il vuoto estrae l'acqua necessaria per le reazioni chimiche di indurimento e ne riduce le proprietà<sup>192</sup>. Anche la produzione metallurgica non sarebbe semplice, per quanto preziosa. Per questo motivo sarà probabilmente una delle prime cose ad essere insediata seppur con delle precauzioni: ad esempio prediligendo l'acciaio che consente la raffinazione a temperature minori<sup>193</sup>.

---

<sup>191</sup> Si veda il capitolo 8 (Marte), della presente tesi di laurea.

<sup>192</sup> RUESS F., SCHAENZLIN J., BENAROYA H., 2004.

<sup>193</sup> *Ibidem*.

## Capitolo

## 08

## Marte

- Materiali marziani
- Confronto con materiali terrestri

93  
97

# MARTE

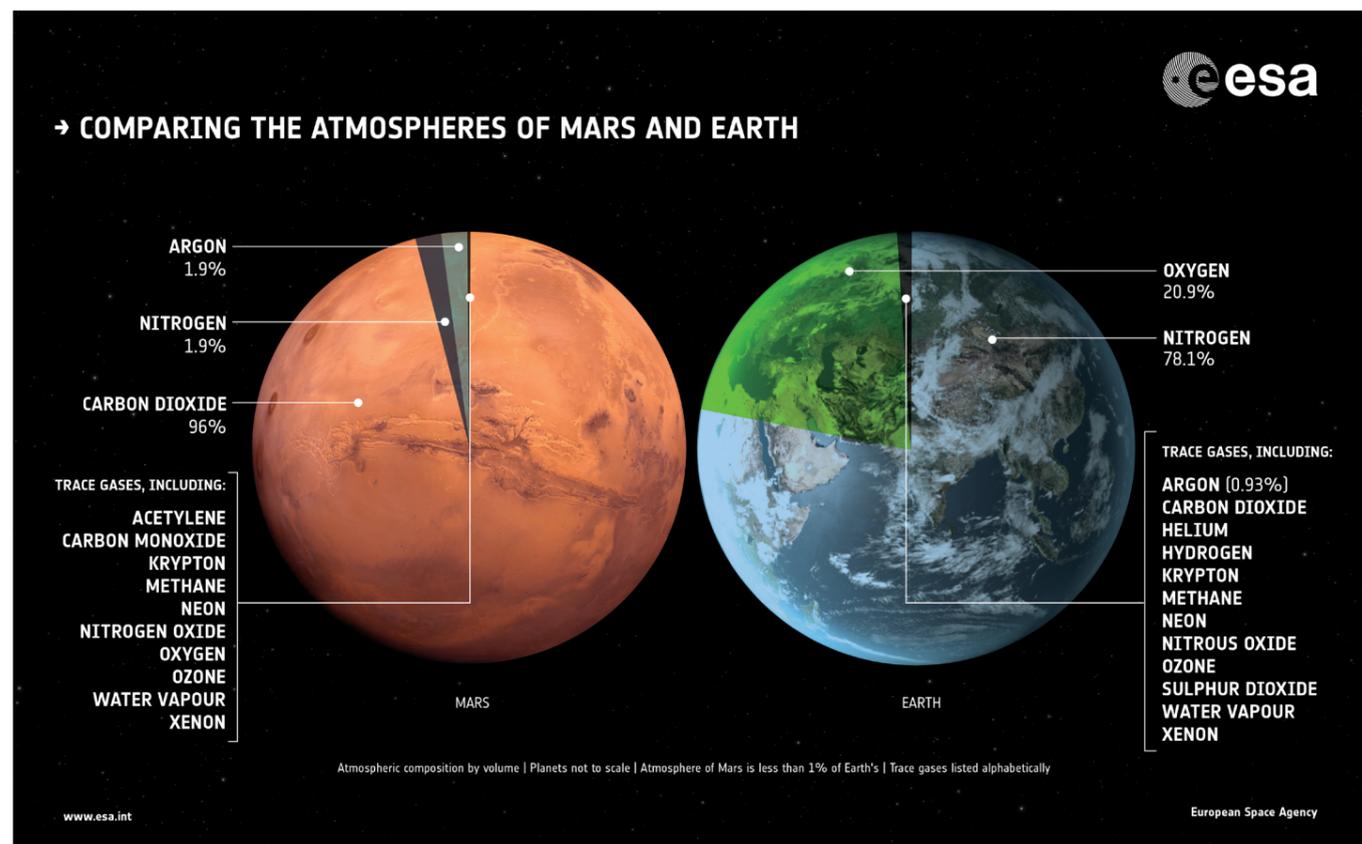
Pur essendo il pianeta con il maggior numero di esplorazioni effettuate, Marte presenta non poche difficoltà per le missioni spaziali. Nonostante si sia tentato il lancio di più di quaranta veicoli, meno della metà sono giunti a destinazione<sup>194</sup>. Con il passare del tempo e il fallire delle missioni, nella comunità scientifica si è iniziato a parlare di “demone marziano”. Una delle difficoltà maggiormente riscontrata è il così detto: calcolo della velocità di fuga. La complessità in questo caso consiste nella gestione delle energie che vanno impiegate; per economia di gestione, si richiede al mezzo una velocità sempre maggiore rispetto a quella del campo gravitazionale del Pianeta di partenza e dunque la dimensione del razzo che verrà impiegato dovrà essere direttamente proporzionale a quella dell’oggetto che si intende spedire in orbita. Per questo motivo le tipologie di analisi su di esso effettuate sono state molteplici ed hanno fatto utilizzo di diversi metodi: dalle sonde, ai rover, ai droni. Questo fino al 1997 quando è stata stabilita la politica del “Faster, Cheaper, Better” promossa da Daniel Goldin, all’epoca amministratore della NASA<sup>195</sup>. Il tasso di successo dell’FBC è stato però così misero (pari al 63% dal 1996 al 1999) da portare ad una revisione dello schema di

<sup>194</sup> *La storia dell’esplorazione di Marte*, disponibile al sito: [https://www.esa.int/Space\\_in\\_Member\\_States/Italy/La\\_storia\\_dell\\_esplorazione\\_di\\_Marte](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Italy/La_storia_dell_esplorazione_di_Marte), ultima consultazione luglio 2024.

<sup>195</sup> FRANK E. A., 2019.

progettazione delle missioni. Questo non ha frenato l’interesse verso il Pianeta Rosso, che ha visto alternarsi periodi di incredibili investimenti e di totale disinteresse. Oggi vi sono diverse missioni pianificate, tra cui: Mars Sample Return, prevista a partire dal 2026 che presume il prelievo dei campioni raccolti da Perseverance ed EscaPADE, la cui partenza è legata ad una azienda privata (la Blue Origin) ed il cui obiettivo è quello dello studio della magnetosfera. Nonostante l’elevato numero di studi effettuato è normale chiedersi il motivo per cui l’essere umano non abbia ancora raggiunto fisicamente il corpo celeste. I motivi sono diversi. Prima di tutto si tratta di un pianeta diverso dalla Terra, le cui condizioni sono nettamente peggiori rispetto a qualsiasi luogo inospitale della Terra<sup>196</sup>. È bene precisare che le condizioni atmosferiche sono tali per cui l’uomo non potrebbe sopravvivere senza una tuta spaziale (del tutto paragonabile a quelle utilizzate nella ISS, seppur essa si trovi in orbita). La pressione al suolo è simile a quella riscontrata a circa trenta chilometri s.l.m causando ovviamente una atmosfera decisamente rarefatta. La temperatura dello stesso oscilla attorno ai -60° C con picchi che superano i -100° C e possiede, in generale, una gravità pari a circa un terzo del pianeta Terra.

<sup>196</sup> BALBI A., 2022.



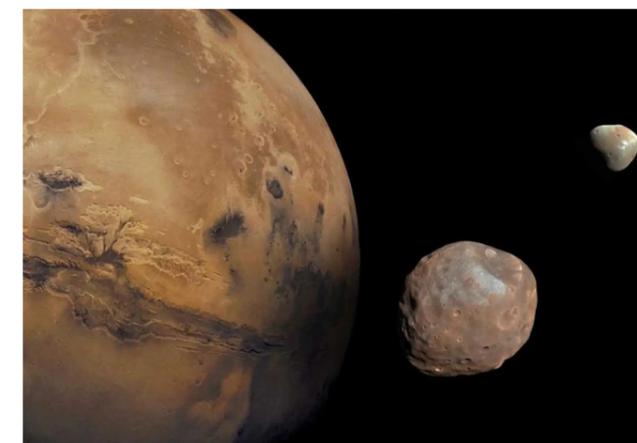
► Composizioni atmosferiche marziane e terrestri.  
 Fonte: [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2018/04/Comparing\\_the\\_atmospheres\\_of\\_Mars\\_and\\_Earth](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2018/04/Comparing_the_atmospheres_of_Mars_and_Earth), ultima consultazione luglio 2024.

A questo si aggiunge la scarsa protezione dalle radiazioni solari di un campo magnetico molto debole, ma ai problemi si uniscono le possibilità: le informazioni collezionate nel tempo hanno permesso di comprendere processi che avvengono anche sulla Terra. Dalle raccolte dati si è informati, ad esempio, che miliardi di anni fa era un pianeta più umido e caldo e che la sua colorazione, da cui ne deriva

la definizione di Pianeta Rosso, è dovuta ai minerali di ferro presenti sulla superficie<sup>197</sup>. Se dal punto di vista geologico ci sono notevoli differenze, le similitudini astronomiche sono altrettanto degne di nota: possiede un periodo di rotazione attorno al sole di 24,6 ore e una inclinazione pari a 25 gradi rispetto all'ellittica (che per la terra sono 23,4). La discrepanza

<sup>197</sup> NASA, *Mars facts*, disponibile al sito <https://science.nasa.gov/mars/facts/>, ultima consultazione luglio 2024.

maggiore è data dai suoi due satelliti (*Phobos* e *Deimos*) con caratteristiche molto diverse dalla Luna. Sono infatti decisamente più piccole e non possiedono, di conseguenza, una forma sferica nonostante siano in orbita attorno al pianeta.



► "Lune di Marte" Marte (a sinistra) con i suoi satelliti naturali: Phobos e Deimos. Sono tra le più piccole del sistema solare. Phobos orbita a 6.000 chilometri dalla superficie marziana e sta gradualmente spiraleggiando verso l'interno, avvicinandosi di circa 1,8 metri ogni secolo. Entro 50 milioni di anni, si schianterà su Marte o si spezzerà e formerà un anello attorno al pianeta. Deimos impiega invece 30 ore per ogni orbita e si trova ad una distanza maggiore.  
 Fonte: <https://science.nasa.gov/mars/moons/>, ultima consultazione luglio 2024.

Scendendo nel particolare, la topografia del pianeta è resa ulteriormente interessante dalle sue condizioni geologiche che hanno formato un canyon circa dieci volte maggiore del Grand Canyon terrestre: nel punto più profondo corrisponde a circa 7 chilometri e si estende per ben 320<sup>198</sup>. A differenza della Terra, dove tendenzialmente questi luoghi sono il frutto

<sup>198</sup> *Ibidem*.

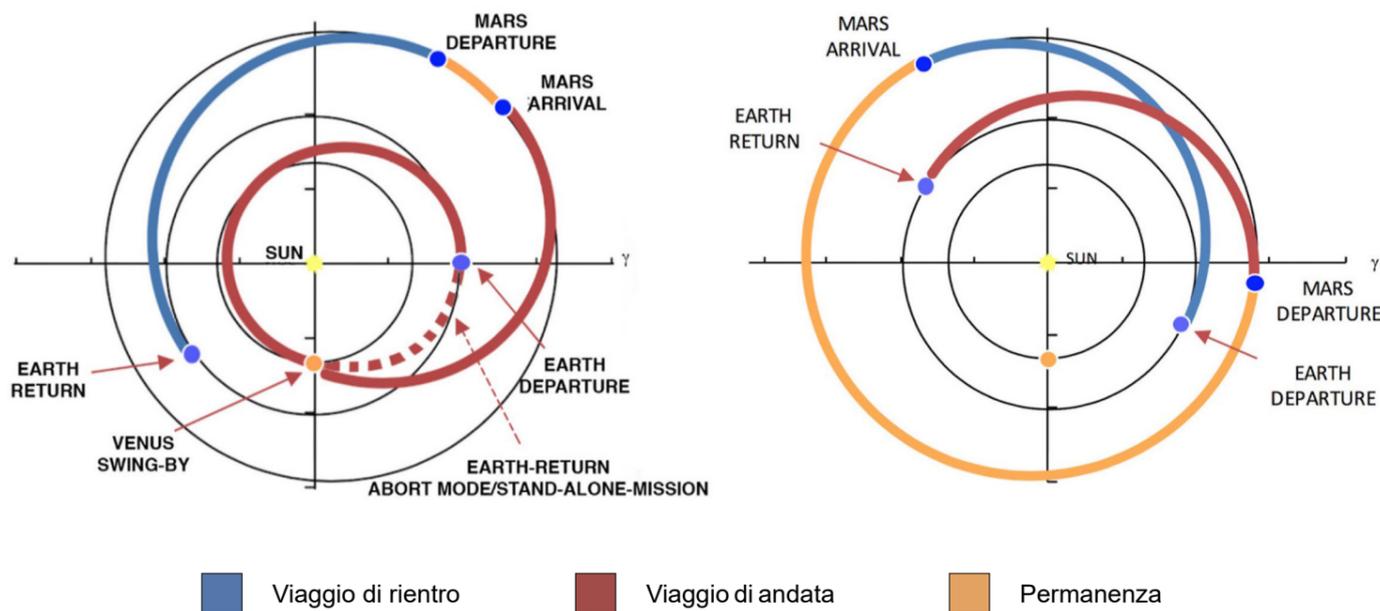
dell'erosione, qui si tratta di un elemento formatosi da movimenti tettonici e sismici. Nel tempo sono state fatte varie ipotesi di terraformazione<sup>199</sup>, ma al momento nessuna di queste risulta attuabile. Nell'articolo del 1991 "Making Mars habitable"<sup>200</sup> vengono fatte considerazioni a partire dai punti in comune tra Terra e Marte sugli organismi vegetali e animali e ne vengono evidenziate le differenze di maggiore rilevanza (come gli effetti nocivi delle radiazioni o dell'assenza di ossigeno). Nell'esperimento si procede poi con la spiegazione delle necessità per la vita e si fanno ipotesi scientifiche varie, sulle possibilità che si possedevano all'epoca, per l'attuazione del piano. Il risultato è che, ipoteticamente, le due fasi fondamentali sarebbero: scaldare il pianeta ed alterarne lo stato chimico. Non si arriva però ad una soluzione vera e propria e dunque ad una conclusione. La complessità del problema rende la ricerca incompleta. D'altronde se fosse così semplice, lo stesso meccanismo potrebbe essere applicato alla Terra per risolvere la crisi climatica. Essendo dunque non esaustiva la nostra conoscenza di Marte è importante

<sup>199</sup> Con terra-formazione si intende il processo teorico ed ipotetico di trasformare un ambiente planetario o lunare per renderlo abitabile per gli esseri umani o altre forme di vita terrestri. Spesso discusso nel contesto dell'esplorazione spaziale e della colonizzazione di altri pianeti o lune nel nostro sistema solare, coinvolge una serie di interventi su larga scala, come l'alterazione dell'atmosfera, la modifica della temperatura, la creazione di acqua liquida sulla superficie e la creazione di ecosistemi funzionali.

<sup>200</sup> MCKAY C.P., TOON O.B., KASTING J.F., 1991.

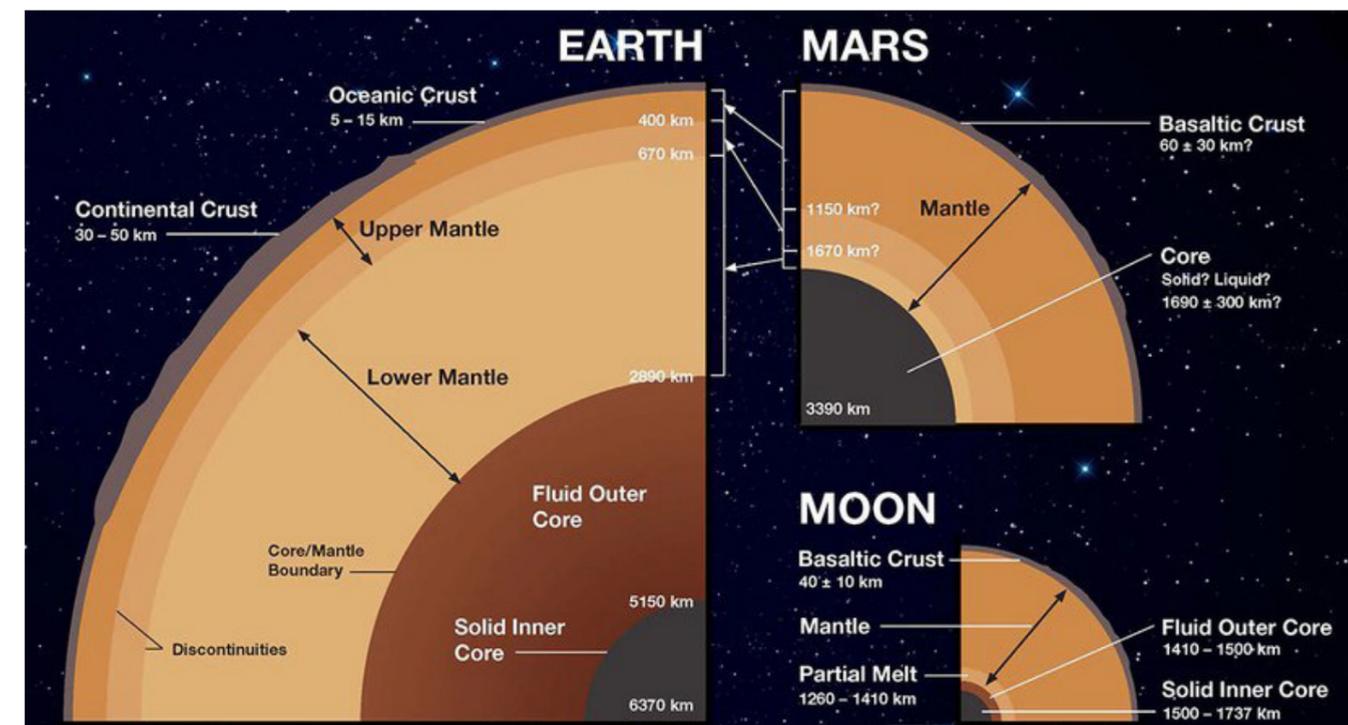
continuare con le ricerche. Questo non può prescindere dalla spedizione di esseri umani; che dovrà tenere conto di quanto elencato precedentemente e delle tempistiche legate agli spostamenti da e per lo stesso. Attualmente vi sono due ipotesi legate alla posizione di Terra-Marte-Sole: la prima prevede una permanenza breve, pari a un mese, ed un viaggio di ritorno più lungo, di circa quattrocentotrenta giorni (da accomunarsi con la delicata operazione di fionda gravitazionale attorno al pianeta Venere).

La seconda ha invece una durata di viaggio più breve, pari al viaggio di andata; dunque, centoottanta giorni ma prevede una permanenza nettamente superiore, di ben cinquecentocinquanta giorni. Va da sé che un viaggio di questa portata presuppone una preparazione ed una conoscenza approfondite che vanno ad integrarsi con la comprensione delle esigenze dell'essere umano che dovrà affrontare tale sfida.



► “Confronto delle missioni su Marte con breve e lungo soggiorno. La missione di opposizione (sinistra) ha una traiettoria Terra-Venere-Marte e prevede un sorvolo di Venere in uscita in rotta verso Marte. Il ritorno facoltativo sulla Terra da Venere come missione autonoma Terra-Venere-Terra (EVE) o in caso di interruzione Terra-Venere-Marte è mostrato con una linea tratteggiata. La missione di congiunzione (destra) prevede tempi di viaggio interplanetario più brevi da e per Marte, ma tempi di missione più lunghi a causa della permanenza prolungata su Marte.”  
Fonte: IZENBERG N. R., MCNUTT JR. R. L., RUNYON K. D., ET AL., 2021.

### MATERIALI MARZIANI



► “Schema delle somiglianze e delle differenze tra Terra, Marte e Luna terrestre.”  
Fonte: <https://astrobiology.nasa.gov/news/the-accretion-of-mars/>, ultima consultazione luglio 2024.

La complessa struttura interna, composta da un nucleo centrale denso, con un raggio stimato tra 1.500 e 2.100 chilometri, rivela molto della sua storia geologica. È uno dei quattro pianeti rocciosi del Sistema Solare (insieme a Mercurio, Venere e Terra) ma non possiede un campo magnetico globale nonostante il suo centro sia metallico: composto da una lega di ferro, nichel e zolfo è circondato da un mantello roccioso con uno spessore compreso tra 1.240 e 1.880 chilometri<sup>201</sup>.

La sua crosta, con una profondità variabile tra 10 e 50 chilometri, è poi composta da elementi quali ferro, magnesio, alluminio, calcio e potassio e permette di identificare un passato di attività geologica e le motivazioni della differenziazione del pianeta<sup>202</sup>. Sappiamo che le sue fasi possono essere suddivise in tre periodi: Noachiano (circa 4 miliardi di anni fa e corrisponde al periodo immediatamente successivo alla formazione), Esperiano (3,5 miliardi di anni fa) e Amazzoniano (da 1,800

<sup>201</sup> FERRI P., 2023.

<sup>202</sup> LIU J., LI H., SOLE L., ET AL., 2022.

miliardi di anni fa ad oggi)<sup>203</sup>. È possibile che al primo periodo siano asseribili i maggiori cambiamenti climatici, mentre non possiamo stabilire con certezza se 1,8 miliardi di anni fa il pianeta fosse più freddo o più caldo e quando e perché effettivamente l'acqua abbia iniziato a scomparire concentrandosi a nord e a sud del mondo<sup>204</sup>.

Ne possediamo delle mappature che ci aiutano a trarre conclusioni come la precedente, ad esempio, quella eseguita con il CRISM. Lo spettrometro infrarosso a bordo della missione Mars Reconnaissance Orbiter ha definito la composizione geografica in cui sono presenti pianure, bacini, vulcani e montagne. È stato poi usato un modello termico migliorato e un algoritmo di derivazione dell'inerzia termica per studiare l'emissività della temperatura nell'arco di tre anni e di conseguenza i comportamenti termici e creare una mappatura più complessa.

I punti che per primi emergono nelle viste sono i due Poli che, come sul nostro Pianeta, sono congelati e composti da calotte permanenti in cui è presente l'unica acqua superficiale apparentemente disponibile. Il polo posto a sud possiede uno strato superiore di ghiaccio di anidride carbonica e uno strato sottostante di ghiaccio di acqua in cui circa il 30% dell'atmosfera congela durante l'inverno; Il Polo

<sup>203</sup> Ecco la storia geologica del Pianeta Rosso, disponibile al sito: <https://www.unina.it/-/1322969-ecco-la-storia-geologica-del-pianeta-rosso>, ultima consultazione giugno 2024.

<sup>204</sup> GENTA G., 2023.

Nord invece si stima possieda circa due milioni di chilometri cubi d'acqua<sup>205</sup>.

Non essendo però presenti oceani o mari, è stato determinato uno zero altitudinale convenzionale a partire dal quale si misurano le alture presenti: ad esempio il Monte Olimpo è il monte più alto ed è pari a 21.282 m. L'altitudine è stabilita a partire dai dati raccolti dalle sonde orbitanti e pari a una pressione atmosferica specifica di 610,5 Pascal. Grazie poi al Mars Global Surveyor e all'impiego di un altimetro laser sono state prodotte mappe ancora più precise da cui sono state ricavate informazioni di dettaglio. Le vaste pianure del pianeta rosso evocano i deserti rocciosi della Terra<sup>206</sup>, con la loro distesa di sabbia rossa e la presenza di massi e rocce disseminati ovunque. Particolarmente degni di nota sono i ripidi versanti di montagne che rappresentano le zone più affascinanti per l'esplorazione scientifica. Le rocce marziane individuate, prevalentemente di natura basaltica, hanno aiutato ad approfondire un passato geologicamente dinamico, benché talune regioni possano presentare una maggiore concentrazione di silicati rispetto al basalto.

Inoltre, in base alla nostra esperienza possiamo dire che l'assenza di acqua liquida e di materiali organici potrebbe agevolare la mobilità e dunque la colonizzazione. Il suo suolo offre già di per sé sfide complesse dovute anche dalla sua composizione: regolite ricca di ossido di ferro, la cui granulometria e composizione chimica

<sup>205</sup> FERRI P., 2023.

<sup>206</sup> GENTA G., 2023.

mostrano una significativa variabilità spaziale, risultato probabilmente dell'erosione ad opera dei venti e dell'acqua che un tempo fluiva sulla superficie del pianeta che rendono taluni terreni esplorabili solo da droni.

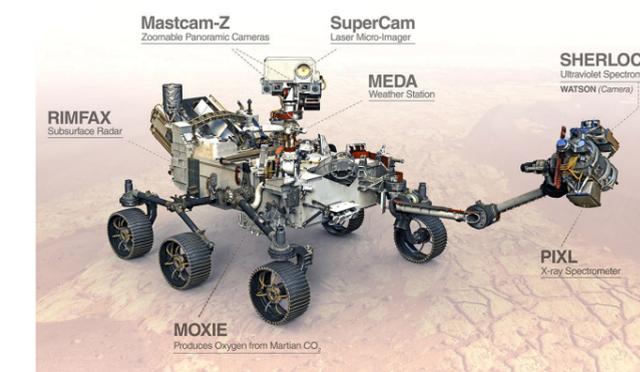
A maggior ragione gli studi sono resi complessi dalle possibilità di contaminazioni. L'ICAMSR ha ad esempio avanzato l'ipotesi<sup>207</sup> di interrompere brevemente il viaggio verso la terra dei campioni da Marte con una quarantena sulla ISS. Non avendo certezze assolute sulla presenza o meno di materiale biologico non possiamo per il momento stabilire una strategia completa. In un futuro potrebbero ad esempio essere stabilite zone sicure di atterraggio oppure essere completamente allontanate tali idee in caso si confermasse la completa e totale assenza della vita. Il carattere basico del suolo riduce la probabilità di individuare forme di vita sulla superficie esposta. Tuttavia, vi è la possibilità che organismi sopravvivano in nicchie protette dalle radiazioni e dalla luce solare diretta, come le profondità di canyon o le caverne.

Indipendentemente che sia attualmente presente o meno, l'essere umano non è in grado di sopravvivervi ed è dunque fondamentale capire quali materiali possano venirci in soccorso per la creazione di habitat utili. Prendendo in considerazione l'opzione di costruire facendo uso delle risorse *in situ*, possiamo analizzare tre materiali fondamentali

<sup>207</sup> *Ibidem*.

presenti sulla superficie: regolite, basalto e ceneri vulcaniche<sup>208</sup>.

La prima, che va ad unirsi a deposito eolico, fluviale e polveri, compone il suolo del pianeta rosso. È a sua volta composta da basalto alterato (dove sono contenuti solfati e perclorati) e possiede elementi di base quali: C, H, O, N, P, S, K, Mg, Na e Ca<sup>209 210</sup>.



► “Gli strumenti di Perseverance.”

Fonte: <https://aulascienze.scuola.zanichelli.it/multimedia-scienze/come-te-lo-spiego-scienze/come-fatto-il-rover-perseverance-e-cosa-ci-fa-su-marte-con-un-elicottero>, ultima consultazione luglio 2024.

Il rover Perseverance, a partire dal 2021, ha raccolto campioni che non sono tuttavia ancora state trasportate sulla terra. Il futuro MSR<sup>211</sup> si farà carico di questo compito, arduo sia dal punto di vista economico (il costo si aggira attorno agli undici miliardi di dollari americani), che tecnologico e logistico (vista la distanza, le

<sup>208</sup> SCOTT A. S., OZE C., 2018.

<sup>209</sup> Carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto, fosforo, zolfo, potassio, magnesio, sodio, calcio.

<sup>210</sup> KASIVISWANATHAN P., SWANNER E. D., HALVERSON L. J., VIJAYAPALANI P., 2022.

<sup>211</sup> DONALDSON A.A., 2024.

finestre di lancio e la gestione delle quarantene). Tutto ciò che sappiamo quindi sul terreno è stato studiato da remoto avvalendosi di rover e mezzi orbitanti oppure di simulanti.

“GLI STATI UNITI, L'ESA E LA RUSSIA SONO PIÙ AVANZATI NELLE TECNOLOGIE DI FORMAZIONE DEL SUOLO, MENTRE LA CINA È ANCORA AGLI INIZI. ATTUALMENTE, CI SONO PIÙ DI 40 TIPI DI SIMULANTI DEL SUOLO MARZIANO CHE RICOPRONO DIVERSE PARTI DELLA SUPERFICIE DI MARTE. OLTRE AL TIPICO BASALTICO, INCLUDONO ANCHE REGOLITE ACIDA, ALCALINA, ARGILLOSA, ARGILLOSA PERCLORATA, CLORURO, SOLFATO, CARBONATO, EMATITE E ALTRE REGOLITI PIROGENI. STATI UNITI, RUSSIA, CINA E GIAPPONE STANNO PIANIFICANDO UNA SERIE DI MISSIONI DI RITORNO DI CAMPIONI DA MARTE (MSR), CHE CONSENTIREBBE DI RIPORTARE SULLA TERRA L'EFFETTIVO SUOLO MARZIANO PER ANALISI PIÙ APPROFONDITE.”<sup>212</sup>

La generazione di questi ultimi avviene in laboratorio a partire da materiali singoli o composti attraverso essiccazione e frantumazione. Nel 2011 l'ESA ha condotto una simulazione<sup>213</sup> ricavando tre tipologie di terreno: un analogo della polvere fine, uno della *sabbia eolica* e uno della sabbia grossolana. L'obiettivo in questo caso era di produrre simulanti utili a rappresentare il suolo e condurre test di mobilità per lo sviluppo di mezzi; possiamo comunque trarne considerazioni utili anche per l'edilizia. Saremmo ad esempio in grado di testare la

resistenza e la durabilità delle strutture e di identificare il miglior metodo di applicazione in base anche alla granulometria.

Il basalto è invece tipicamente generato dal raffreddamento della lava ed è quindi ascrivibile alle rocce ignee. Anche in questo caso ci sono stati tentativi di simulazione del materiale che hanno permesso di ipotizzarne la composizione e le proprietà. Ne esistono varie categorizzazioni in base ai componenti che permettono di considerare la stampa 3D con impiego di tale materiale come base, come una tecnica utile all'applicazione per la costruzione di strutture complesse. In questo caso lo studio è stato però principalmente condotto con l'analisi di materiali terrestri. Un esempio è il progetto BASALT<sup>214</sup> della NASA. Il programma, della durata di quattro anni, è iniziato nel 2016 e prevedeva di concentrarsi su esperimenti interdisciplinari condotti in ambienti che simulano le condizioni di Marte. Gli obiettivi fondamentali erano tre: scientifici, operativi e tecnologici<sup>215</sup>. Sono stati svolti, dagli scienziati, in due località con caratteristiche simili: la zona di Rift attiva sull'isola di Hawaii e la piana del fiume Snake in Idaho, entrambe caratterizzate da attività vulcanica basaltica. Il tipo di ricerca è in questo caso detta analogico perché si cerca di ricreare il più possibile condizioni simili in un ambiente che possiede già caratteristiche

analoghe<sup>216</sup>. Si può evincere da questa ricerca che le metodologie operative sono importanti quanto lo studio della composizione materica stessa, in assenza di campioni non tutti i materiali sono teorizzabili; sono però testabili tutti gli schemi per i team di ricerca.



► “Un team parte attraverso il campo di lava vicino al cratere Keanakako'i sul vulcano Kilauea delle Hawaii. Il loro obiettivo è individuare e valutare siti di interesse scientifico e raccogliere campioni geologici e biologici per il team scientifico del progetto BASALT.”

Fonte: <https://www.nasa.gov/missions/analog-field-testing/what-is-basalt/>, ultima consultazione agosto 2024.

Il terzo materiale citato, la cenere vulcanica, è ciò che conferisce al pianeta il suo colore caratteristico. È composta da ferro che, ossidatosi ha assunto la colorazione rossa e che in alcuni luoghi è costituita da pirosseno e olivina<sup>217</sup>. Il primo è generalmente scuro e può contribuire a toni più scuri sulla superficie, mentre la seconda può variare dal verde al giallo-bruno. In alcune regioni vulcaniche, questi

minerali possono essere abbondanti<sup>218</sup>, aggiungendo varietà ai colori della superficie. Studiare i processi che hanno portato alla formazione delle caldere e dunque della cenere ci fornisce una visione più completa non solo sui materiali ma anche sui luoghi. Avere presente l'evoluzione vulcanica consente di elaborare modelli tridimensionali complessi per la scelta dei siti in cui collocare le future colonie.

### CONFRONTO CON MATERIALI TERRESTRI

Confrontare Terra e Marte è fondamentale per diversi motivi. Innanzitutto, offre una finestra sull'evoluzione planetaria, aiutandoci a comprendere come gli astri si siano formati e modificati nel tempo. Marte, in particolare, potrebbe rivelare indizi sulle prime condizioni che potrebbero aver supportato la vita, data la sua somiglianza con la Terra primordiale. Inoltre, questo confronto è cruciale per valutare la potenziale abitabilità e le possibilità di colonizzazione futura. Analizzare le risorse naturali e le condizioni ambientali marziane è imprescindibile ed è noto che per farlo verrà usato il nostro pianeta come riferimento<sup>219</sup>, proprio come Leonardo, secoli fa, per produrre disegni e schemi di congegni per il volo si sia dedicato per anni allo studio del volo degli uccelli<sup>220</sup>; dunque ad una cosa che in un certo senso poteva già essere familiare alla mente umana.

<sup>214</sup> TABOR A., 2019.

<sup>215</sup> BEATON K. H., CHAPPELL S. P., ABERCROMBY A. F. J., LIM D. S., 2018.

<sup>212</sup> LIU J., LI H., SOLE L., ET AL., 2022.

<sup>213</sup> GUAZZO T. P., PATEL N., BRUNSKILL C., ET ALL., 2011.

<sup>216</sup> *Ibidem*.

<sup>217</sup> LIU J., LI H., SOLE L., ET AL., 2022.

<sup>218</sup> AHRENS C., CATALDO V., LEONE G., 2021.

<sup>219</sup> FARR T. G., 2004.

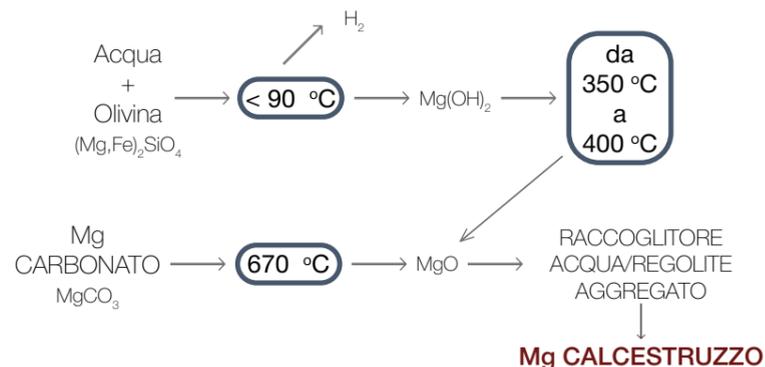
<sup>220</sup> GIACOMELLI R., 1919.

Per questo motivo dal 2001, anno in cui il National Research Council si è riunito<sup>221</sup> per formalizzare diverse scelte scientifiche, tra cui l'esplorazione, si è iniziato a valutare in che modo gli studi terrestri si possano collegare a quelli marziani. Sappiamo per esempio che il basalto, ampiamente disponibile e facilmente estraibile, può essere utilizzato nella realizzazione dei blocchi da costruzione. Oltretutto la lana di roccia in quanto isolante termico è il risultato di minerali fusi e filati in fibre da cui si ricavano fibre intrecciate e combinate ed è prodotta proprio utilizzando il basalto. Per quanto vero che andrebbero valutate le proprietà del materiale marziano campionato, possiamo ipotizzare che, in caso di effettivi riscontri, potremmo applicare le stesse tecniche terrestri di lavorazione (in questo caso con forni ad alta temperatura).

Indipendentemente che si usi la stampa 3D o meno, uno dei materiali da costruzione più facili da produrre è il calcestruzzo. Sappiamo che questo è composto di base da: legante + H<sub>2</sub>O + aggregato fine + aggregato grossolano. A questi possono ovviamente essere aggiunti additivi per produrre un materiale in grado di garantire stabilità e coesione.

Il primo citato, il legante, è ricavato da elementi inorganici e, unito all'acqua, compone un impasto plastico. Questo in fase di presa e indurimento perde di plasticità e sviluppa proprietà meccaniche. Sulla Terra presuppone

l'utilizzo di calce aeree o gesso. Assunto che l'aggregato fine e quello grossolano sono reperibili sulla superficie e che l'acqua può essere recuperata dai ghiacciai o condensata<sup>222</sup>, il problema maggiore resta la generazione di un legante con proprietà utili.



► Schema della serpentinizzazione (processo 1) e della decarbonatazione o calcinazione di MgCO<sub>3</sub> (processo 2) relative alla produzione di calcestruzzo marziano.

Nel 2018 è stato condotto uno studio<sup>223</sup> da Allan N. Scott, docente presso l'università di Canterbury, Christopher Oze, fondatore della Aspiring Materials (azienda che si occupa della sperimentazione materica per la generazione di materiali innovativi). L'obiettivo era quello di produrre un calcestruzzo a base di magnesio (Mg) ed energia usando la tecnica della serpentinizzazione. Il processo terrestre basato sul carbonato di calcio (Ca) non è utile per due motivi fondamentali: perché il Pianeta Rosso possiede una composizione ricca di Mg e perché le temperature necessarie richiederebbero una

quantità di energia enorme e dunque una generazione più complessa. Sappiamo però che l'olivina (per la maggior parte del gruppo) può essere rappresentata nel sistema Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>-Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>-Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> e che con temperature relativamente basse (<300 °C) ed acqua subisce idrolisi nel processo di serpentinizzazione, intesa come l'idrolisi e la trasformazione di minerali ferromagnesiaci primari come, in questo caso, dell'olivina. Una delle condizioni di base per tale processo è quello di avere a disposizione l'acqua di cui Marte, insieme ad altri Corpi Celesti, dispone<sup>224</sup>.

Successivamente, da questo, i prodotti secondari correlati formano, dopo ulteriori lavorazioni, l'ossido di magnesio (MgO), un prodotto simile alla calce. Il risultato non è positivo solo per la creazione di futuri habitat, ma anche perché è stato provato che:

“LA CREAZIONE E L'UTILIZZO DI MgO DA Mg(OH)<sub>2</sub> NON HA RICHIESTO ALCUN RILASCIO DI CO<sub>2</sub> E UN'ENERGIA MINIMA (VALE A DIRE BASSE TEMPERATURE <400 °C), SOPRATTUTTO SE CONFRONTATA CON L'ATTUALE PRODUZIONE DI CEMENTO CHE RICHIEDE TEMPERATURE BEN SUPERIORI A 1.000 °C. QUESTO SISTEMA LEGANTE MG HA IL POTENZIALE PER RIDURRE SIGNIFICATIVAMENTE LE EMISSIONI GLOBALI DI CO<sub>2</sub> CORRELATE ALLA PRODUZIONE DI CEMENTO.”<sup>225</sup>

Parallelamente quindi possiamo dire che, grazie alle sperimentazioni, possiamo produrre

calcestruzzo utile su Marte con le conoscenze pregresse terrestri e conseguentemente possiamo sfruttare le nozioni acquisite per applicazioni ecologiche. L'analisi comparativa delle caratteristiche chimiche e fisiche dei materiali di Terra e Marte rivela<sup>226</sup> una serie di similitudini e differenze significative che arricchiscono la nostra comprensione degli stessi. Come possiamo dedurre entrambi condividono un certo grado di affinità in termini di composizione chimica delle loro rocce di superficie, come confermato dai dati ottenuti da meteoriti e analisi di campioni di superficie.

Le differenze nella dimensione e nell'inventario, ad esempio, di elementi volatili suggeriscono soltanto differenti storie evolutive. Marte, con una minore gravità e un'atmosfera più tenue, ha una capacità limitata di trattenere questo tipo di elementi e questa differenza può aver influenzato significativamente il clima e l'idrosfera del pianeta nel corso del tempo<sup>227</sup> non rendendo comunque impossibile la colonizzazione. Possiamo quindi dire che, seppur servano ulteriori verifiche laboratoriali, le analogie nella composizione chimica e le tecniche di lavorazione già note, come la produzione di calcestruzzo a base di Mg attraverso la serpentinizzazione, dimostrano come le conoscenze terrestri possano essere adattate nell'esplorazione spaziale.

<sup>221</sup> FARR T. G., 2004.

<sup>222</sup> LIU J., LI H., SOLE L., ET AL., 2022.

<sup>223</sup> SCOTT A. S., OZE C., 2018.

<sup>224</sup> HOLM N.G., OZE C., MOUSIS O., 2015.

<sup>225</sup> *Ibidem.*

<sup>226</sup> YOSHIZAKI T., MCDONOUGH W., 2021.

<sup>227</sup> *Ibidem.*

## Appunti e approfondimenti

# IL PARERE DEGLI ESPERTI

L'intervista è stata utile per comprendere la prospettiva di uno Space Architect, che ha avuto a che fare con le sfide tecniche tipiche della specializzazione. Attraverso il suo contributo, in qualità di esperto del settore, emergono spunti fondamentali per comprendere come progettare in maniera consapevole ispirandosi a soluzioni terrestri, come verrà approfondito nella seconda parte della tesi.

*Quali sono le principali sfide tecniche nella progettazione di strutture in grado di resistere alle condizioni estreme dello spazio?*

Nella mia esperienza con gli habitat marziani (che studio da quasi dieci anni ormai), le radiazioni sono le più importanti perché, fondamentalmente, possono ucciderti. La NASA ne ha stabilito una quantità non letale, ed è risaputo che la stessa viene raggiunta su Marte in poche settimane. In un rapporto di un team di astronauti (in orbita bassa) viene spiegato che alcuni, mentre dormono, vedono Lampi di Luce nei loro occhi. Questo è causato dalle particelle ad alta energia provenienti dal Sole che non vengono deviate dallo scudo magnetico.

L'altro problema è la resistenza e l'integrità strutturale. La soluzione adottata cambia se ciò che costruisci è per un'orbita bassa, un veicolo spaziale o una superficie. Avrai bisogno di diversi tipi di resistenza. Il più delle volte perché non c'è atmosfera o pressione. A gravità inferiore, ad esempio, la principale fonte di resistenza dopo il lancio è interna. Devi mantenere l'atmosfera e la pressione come all'interno di un pallone, incrementando il volume dell'aria. Inoltre, lo stesso sistema di lancio fornirà poi i requisiti per



**Aerospace Engineer  
& Space Architect at  
Axiom Space Crew Systems**

## Jose-Miguel Armijo Vielma

*Space Architect e ingegnere di sistemi cileno, ha oltre 15 anni di esperienza nella progettazione di habitat terrestri e spaziali, sistemi dell'equipaggio e interfacce mission-critical. Vive a Houston, attualmente lavora come Design Engineer presso Axiom Space, dove ha guidato lo sviluppo di sottosistemi di habitat finanziati dalla NASA e interfacce dell'equipaggio per la Stazione Spaziale Internazionale, specializzandosi in architettura concettuale, ingegneria dei sistemi, integrazione parametrica e CAD e ottimizzazione dei processi.*

*Quali ritiene siano le competenze più importanti per un architetto che vuole specializzarsi nella progettazione spaziale?*

sapere quali materiali o design scegliere in modo da produrre un modulo più coeso.

Penso che si debba avere una conoscenza multidisciplinare in modo da sapere il più possibile. L'architettura spaziale non riguarda solo la struttura, ma anche tante altre questioni, come le radiazioni. Devi essere in grado di entrare nei dettagli, come quanta protezione dalle radiazioni devono avere le mie pareti, e di cercare risposte nella scienza, aggiornandole alle conoscenze più recenti. Allo stesso tempo, devi mantenere il tuo approccio "incentrato sull'uomo" pensando a come gli esseri umani vivranno in quelle condizioni specifiche: come le persone si muoveranno o come interagiranno con le macchine, le procedure, la ricerca, ecc. Devi essere in grado di apprendere molti dettagli critici e di vedere il quadro generale. Penso che uno dei grandi punti di forza che abbiamo, come architetti, sia la nostra capacità di integrare conoscenze diverse. Questo è qualcosa che so che gli ingegneri agognano. Esistono specializzazioni che svolgono *anche* quel tipo di lavoro che, in un certo senso, è già insito negli architetti.

*Ha viaggiato molto e possiede molte competenze diverse. Pensa che questo l'aiuti nel suo lavoro di architetto spaziale? In che modo?*

Viaggiare e vivere in diversi continenti e paesi è utile perché nell'industria spaziale dovrai vivere con molte persone di diversi paesi, con lingue diverse e imparare a lavorare con tutti. Ciò significa essere in grado di adattarsi rapidamente e questa è una skill importante sia come

astronauta, che come architetto. Quando si pensa ad un progetto, le identità culturali sono qualcosa che deve sempre essere preso in considerazione. Quando viaggi, vivi in diversi paesi, hai la possibilità di migliorare le tue capacità e queste si rifletteranno sicuramente sul tuo lavoro. L'architettura spaziale riguarda molti principi ingegneristici, ma anche la sensibilità per i dettagli e diverse scale di lavoro. Ecco perché siamo strettamente correlati allo spazio, agli aerei e a tutto ciò che è sopra le nuvole. Ogni volta che prendo un aereo cerco di disegnare, scattare foto e trovare idee. Quegli spazi sono ottimizzati per gestire diverse attività. L'ispirazione è perfetta perché fondamentalmente è quello che facciamo: ottimizzazione senza dimenticare le condizioni necessarie per il benessere umano.

*Ha parlato di architettura spaziale e terrestre. Come pensa che l'architettura spaziale si rifletterà in quella terrestre?*

Gli architetti spaziali saranno gli ambasciatori di nuove tecnologie e idee per lo spazio applicate sulla Terra. Ci sono molte cose nate per lo spazio come computer, velcro, ecc. che sono state poi utilizzate per garantire una vita migliore per tutti. Ho iniziato questo percorso per questo. Ad esempio, negli habitat stampati in 3D per Marte miglioreremo le tecniche che abbiamo e con il tempo potrebbero trasformarsi in alternative a ciò che facciamo adesso. Non solo: riciclaggio di acqua, aria, energia. Tutti questi sono sistemi nati per lo spazio ma avranno un impatto. Ad

esempio, l'aria nella ISS viene costantemente riciclata e, in alcune città del mondo, avere aria fresca è ora un lusso, così come per l'acqua.

*Il punto fondamentale della tesi non è avere un progetto, ma imparare come le tecniche storiche possono aiutare. Tutto ciò che facciamo per lo spazio non è qualcosa che creiamo, ma qualcosa che ricreiamo da ciò che già sappiamo. Lei cosa ne pensa?*

È davvero interconnesso. Ho appena presentato un prototipo stampato in 3D per Marte e ho iniziato quella conversazione mostrando un antico villaggio in Cile. Situato nella parte settentrionale del deserto di Atacama, è stato costruito 2500 anni fa e realizzato in argilla, impiegando strutture con la tipica base rotonda ora utilizzata nella stampa 3D. Il villaggio si chiama Tulo e quando ero lì, ho notato che quel tipo di costruzione è ancora applicato ed è esattamente ciò di cui probabilmente avremo bisogno per Marte. Lavorare con il terreno è qualcosa che ha già migliaia di anni di tradizione e le persone di allora sapevano già come usarlo correttamente. La differenza principale sarà probabilmente che ora a fare la stratificazione saranno i robot e non più gli umani. Molte cose del passato possono essere applicate e unite con l'attuale flessibilità tecnologica.



parte  
terza | SVILUPPO

"We leave as we came and,  
God willing, as we shall return,  
with peace and hope for all mankind."

Gene Cernan

Nella pagina precedente:  
Stazione orbitante lunare  
Progetto ARTEMIS;  
fonte: <https://www.nasa.gov/feature/living-and-working-on-the-moon/>, ultima consultazione settembre 2024.

## Capitolo

# 09

### Dalla pietra allo spazio: lezioni dalla tradizione

- Incidenza delle radiazioni **112**
- Micrometeoriti **115**
- Comunicazioni e autonomia **118**
- Condizioni ambientali ed energia **119**

# DALLA PIETRA ALLO SPAZIO: LEZIONI DALLA TRADIZIONE

Le lezioni apprese per la sopravvivenza umana sono declinabili su aspetti diversi che si uniscono nella progettazione di un ambiente abitabile e protetto per l'essere umano anche su Luna e Marte.

I sistemi costruttivi tradizionali sono la scelta più logica come fondamenta per la valutazione dei progetti. Caratterizzati da un forte legame con l'ambiente circostante, sono poi riflessi nella scelta dei materiali. Pietra, grazie alle sue proprietà meccaniche e terra grazie alla sua facile reperibilità e impiego<sup>228</sup>.

Sin dalle epoche più antiche, le popolazioni nomadi hanno osservato che superfici di gesso e calce aerea, a contatto con il fuoco, subivano trasformazioni fisiche che, una volta essiccate, le rendevano più dure. Questo ha portato all'uso della calce, la cui prima documentazione risale a Gerusalemme nel X secolo a.C. durante il regno di Salomone, per la costruzione di cisterne<sup>229</sup>.

In seguito, durante l'epoca romana, l'uso della calce venne ulteriormente perfezionato, dando vita a tecniche costruttive di straordinaria efficienza e durabilità, come dimostrano i

numerosi reperti archeologici. L'*opus caementicium* era originariamente semplicemente composto da elementi lapidei legati in modo tale da farlo diventare, non solo di riempimento, ma anche come materiale strutturale<sup>230</sup>. La scelta delle aggiunte era dettata dall'esperienza più che da vere sperimentazioni; motivo per cui non vi erano parole univocamente utilizzate per definirlo. La lenta maturazione portò però a risultati straordinari di cui facciamo tutt'ora uso<sup>231</sup>. Un esempio noto ne è il Pantheon di Roma, che ha assunto la sua forma attuale tra il 118 e il 128 d.C.<sup>232</sup> e che possiede una cella rotonda, costituita da un muro cilindrico alto 30 metri e spesso 3,2 metri, suddiviso in tre settori sovrapposti. Il suo interno è caratterizzato da un equilibrio spaziale, con un'altezza dal pavimento alla sommità della cupola (ovvero alla chiave) pari al diametro della stessa che va a formare una perfetta sfera iscritta in un cilindro<sup>233</sup>. La muratura di cui è composto si alleggerisce progressivamente, passando da scaglie di tufo e mattoni nel secondo settore, a sole scaglie di mattoni nel terzo. Le spinte della costruzione,

<sup>228</sup> AMERIO C., CANAVESIO G., 2011, pp. 24-29.

<sup>229</sup> GASTALDI M., BERTOLINI L., 2011, pp. 51-87.

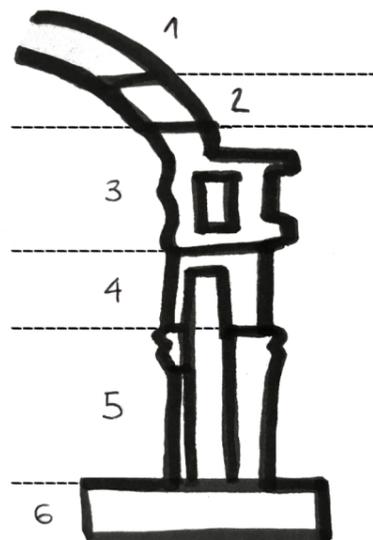
<sup>230</sup> WARD-PERKINS J. B., 1974, p. 97.

<sup>231</sup> *Ibidem*.

<sup>232</sup> *Ivi*, pp. 133-141.

<sup>233</sup> *Ibidem*.

soprattutto quelle derivanti dall'enorme cupola emisferica che sovrasta la rotonda, sono distribuite attraverso un complesso sistema di volte e archi di scarico. La cupola è la più grande mai costruita senza armature, è stata realizzata su una cassaforma in legno con strati alternati di malta, scaglie di tufo, mattoni, scorie vulcaniche e lapilli, per ridurre il peso e culmina in un'apertura circolare di quasi 9 metri di diametro<sup>234</sup>.



► La suddivisione settoriale degli inerti, a partire dalla porzione più pesante, può essere così articolata: 6- travertino; 5- travertino e tufo; 4- tufo e mattoni; 3- mattoni; 2- tufo e mattoni; 1- tufo e pomice. L'alleggerimento è progressivo e dimostra la versatilità del calcestruzzo a vantaggio dell'aggiunta di materiali quali basalto e regolite marziane.

Questa opera così grandiosa, seppur antica, ci permette oggi di fare considerazioni rispetto a quanto l'ingegno possa portare alla realizzazione

di strutture complesse utilizzando sistemi costruttivi articolati ma tutto sommato semplici. In questo caso, la proporzione di *caementa* nel conglomerato è stata bilanciata sulla base di peso e resistenza a compressione necessaria nelle varie porzioni della struttura: se il travertino è stato usato per le fondazioni, si ha invece il tufo giallo e pomice (materiali notoriamente dotati di una maggiore porosità) negli ultimi anelli<sup>235</sup>.

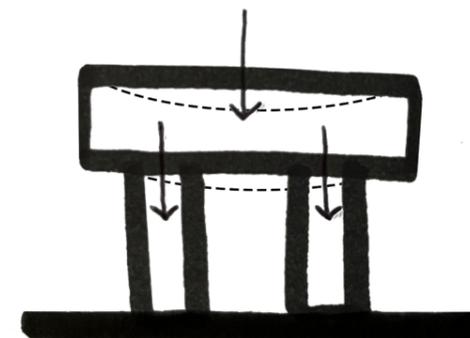
Tutti accorgimenti perfezionati nel tempo e la cui applicazione non resta sepolta nei libri di storia ma continua nella vita di tutti i giorni:

“LA RIVISITAZIONE DELLA COSTRUZIONE STORICA HA OGGI UNA DOPPIA FINALITÀ: RICONOSCERE L'ESSENZA DI UN PATRIMONIO COSTRUTTIVO CHE LA CULTURA MODERNA DESIDERA CONSERVARE, E RICAVARE UNA LEZIONE DI REALISMO SINTETICO CHE LA PARCELLIZZAZIONE DISCIPLINARE DELLA SCIENZA MODERNA TENDE A PERDERE.”<sup>236</sup>

Anche l'arco in quanto elemento architettonico che consente la distribuzione delle forze lungo una curva e ha origini antiche con applicazioni avveniristiche. Il suo funzionamento semplice che, per mutuo contrasto distribuisce il carico verso i suoi piedritti, solitamente due pilastri o pareti, crea una spinta laterale che viene contrastata da altre strutture, come archi vicini, o da catene appositamente costruiti.

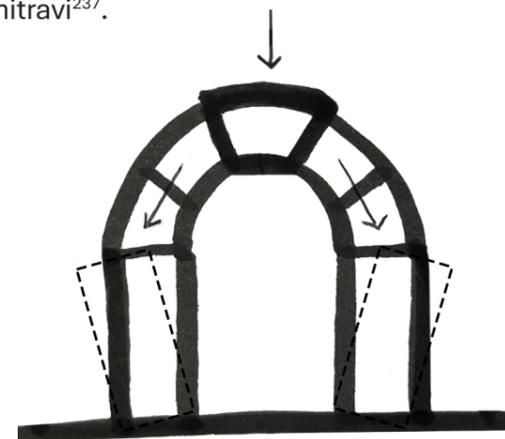
<sup>235</sup> Ward-Perkins J. B., 1974, pp. 133-141.

<sup>236</sup> GIUFFRÈ A., 2010, pp. 43-74.



► Lo schema trilitico, composto da piedritti e architrave, è principalmente soggetto a forze di flessione.

Questo principio permette di sostenere pesi notevoli con materiali che, se impiegati diversamente, non avrebbero la stessa resistenza a trazione. Il suo sviluppo ha in passato rivoluzionato il modo di costruire, permettendo la realizzazione di strutture più grandi e resistenti rispetto a quelle ottenibili con l'uso esclusivo di elementi orizzontali come gli architravi<sup>237</sup>.



► L'arco crea invece una spinta di tipo laterale e se accostata a contrafforti consente un carico maggiore rispetto al sistema trilitico.

<sup>237</sup> AMERIO C., CANAVESIO G., 2011, pp. 113-122.

Si deve ai Romani il suo perfezionamento applicato poi in numerose opere pubbliche, come ponti, acquedotti e teatri. Originariamente, l'arco in muratura, spesso costruito con pietre o mattoni, veniva realizzato attraverso una centina, una struttura temporanea in legno che sorreggeva le pietre fino al completamento dell'arco stesso, permettendo alla chiave di volta di bloccare le forze in gioco e stabilizzare la costruzione. Uno degli esempi più noti dell'uso dell'arco è il Colosseo, dove l'impiego sistematico di archi sovrapposti ha permesso di creare un edificio di dimensioni imponenti, capace di ospitare decine di migliaia di spettatori e dove si è imparato a valutare la tenuta degli stessi.

Questa tecnica costruttiva non solo ha assicurato la resistenza e la durabilità della struttura, ma ha anche consentito di realizzare facciate esteticamente armoniose e funzionali, dotate di numerosi ingressi per facilitare il flusso di persone e non è mai stato abbandonato. Senza dubbio, gli archi costruiti in condizioni di gravità lunare, sensibilmente inferiore a quella terrestre, offriranno nuove opportunità. In particolare, la combinazione di archi con tecnologie ISRU che sfruttano le risorse disponibili in loco, consentirà la creazione di rifugi lunari come risultato di una sinergia tra l'efficacia strutturale e l'applicazione di principi costruttivi di base già testati con successo sulla Terra<sup>238</sup>.

<sup>238</sup> HÄUPLIK-MEUSBURGER S., BANNOVA O., 2016, pp. 256-267.

## INCIDENZA DELLE RADIAZIONI



► Il limite medio consentito all'esposizione alle radiazioni ionizzanti (se ricevute come esposizione professionale) affinché non ne conseguano danni permanenti e pari a 20 mSv (in Europa). Gli astronauti sono esposti a radiazioni ionizzanti con dosi efficaci nell'intervallo da 50 a 2.000 mSv. (1 mSv corrisponde a circa 3 radiografie del torace).

La scoperta delle fasce di Van Allen, risalente al 1958, è considerata come la prima dell'era spaziale. Ne abbiamo compreso, grazie al lancio di satelliti e misurazioni terrestri la composizione, costituita da elettroni e protoni relativistici intrappolati nel campo magnetico, e la loro funzione fondamentale, corrispondente alla diminuzione del flusso di raggi cosmici galattici causati dall'interazione con le perturbazioni solari.

Sappiamo che, persino la ISS gode di una certa protezione grazie appunto alle citate fasce. Ma questa sicurezza che non è presente né sulla Luna né su Marte, né tantomeno nello spazio. L'esposizione alle radiazioni cosmiche (GCR) risulta letale. Essendo composte principalmente da ioni di ferro che attraversano sia i veicoli spaziali sia i tessuti umani, possono generare particelle secondarie, ovvero i neutroni<sup>239</sup>, che ci garantiscono che, per il momento, un essere umano non sopravviverebbe ad un viaggio a lunga distanza.

Esiste un programma NASA, SRH pensato per imparare quanto necessario su di esse. Ciò che le rende pericolose sono i componenti delle particelle cariche di energia: i nuclei ad alta energia di elementi più pesanti. L'esposizione causa sia effetti a breve termine (assimilabili agli effetti di un evento solare), sia a lungo termine (ad esempio il cancro<sup>240</sup>). Sebbene le prime

<sup>239</sup> LI W., HUDSON M. K., 2019.

<sup>240</sup> "L'eccessiva esposizione a dosi di radiazioni può aumentare il rischio di sviluppo di alcuni tipi di cancro a lungo termine. Durante le emergenze nucleari può essere

siano maggiormente pericolose per le missioni spaziali di cui potenzialmente possono causare il fallimento, le seconde sono ciò che attualmente rende l'esplorazione spaziale impossibile. Possediamo però dei margini ingegneristici che ci permettono quantomeno di ridurre il rischio. Questo prescinde da considerazioni economiche. Qualsiasi contratto lavorativo ne comporta e, in un certo senso, il consenso informato aiuta a rendere consapevoli dei problemi nei quali si può incorrere, a maggior ragione nell'aerospazio. Ad oggi conosciamo cinque possibili approcci di tutela: operativo (minore esposizione), preventivo, schermatura, screening di predisposizioni genetiche oppure di terapia genetica (di cui ancora non conosciamo però l'effettiva applicazione). Al momento le deduzioni tratte si basano principalmente sulla popolazione di Hiroshima e Nagasaki<sup>241</sup>, ma ci

rilasciato iodio radioattivo che, se inalato o ingerito, si concentra nella tiroide e aumenta il rischio di cancro alla tiroide nei giovani (da 0 a 18 anni). Per ridurre il rischio di sviluppare un cancro alla tiroide, possono essere somministrate pillole di ioduro di potassio, ma ciò deve essere fatto solo quando indicato dalle autorità locali." Ulteriori informazioni relative alla protezione e al rischio legati alle radiazioni possono essere reperite sul sito dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, in particolare all'indirizzo: <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-and-health>, ultima consultazione agosto 2024.

<sup>241</sup> "La bomba all'uranio esplosa su Hiroshima alla fine della Seconda Guerra Mondiale, il 6 agosto 1945, ha raso al suolo e bruciato circa il 70% degli edifici ed ucciso 140.000 persone entro la fine dello stesso anno, oltre ad aver provocato un aumento dei tassi di cancro, leucemia ed altre malattie croniche tra i sopravvissuti. La bomba al plutonio sganciata su Nagasaki tre giorni dopo ha raso al

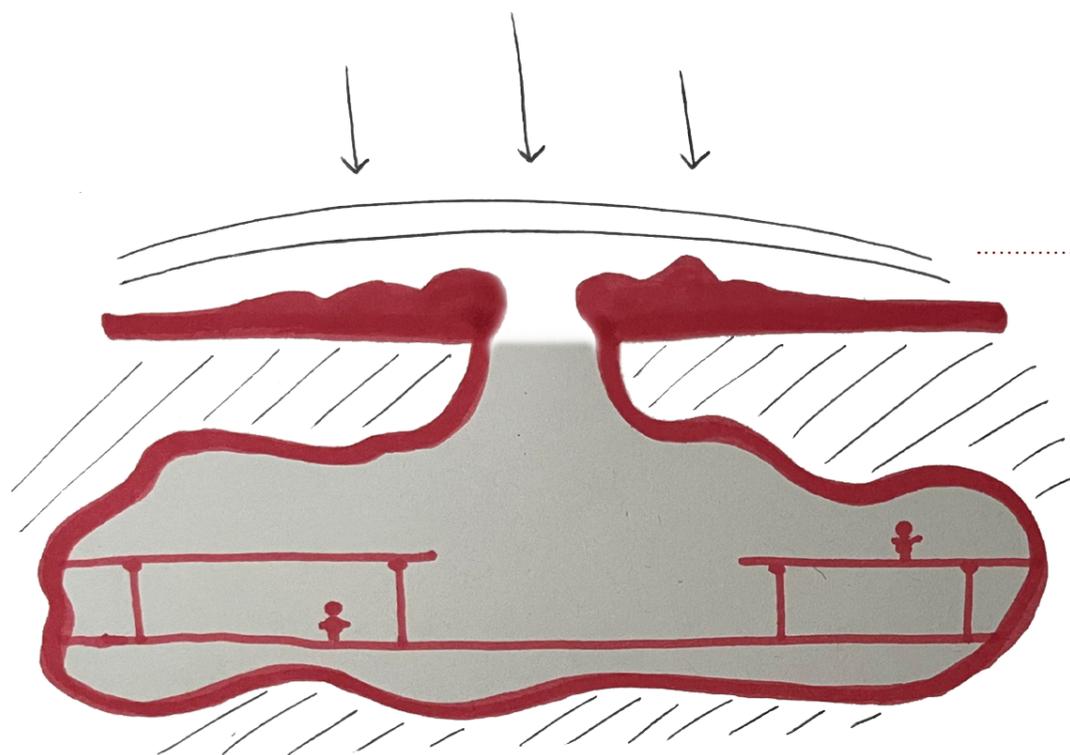
sono questioni fondamentali risolvibili solo nello spazio, ad esempio i meccanismi di risposta radiobiologica<sup>242</sup>.

Seppur l'atmosfera di Marte contribuisca a ridurre l'effetto, la sua inefficacia nel bloccare le radiazioni cosmiche impone l'adozione di soluzioni innovative per la schermatura degli habitat. La storia dei rifugi antiatomici terrestri è profondamente legata all'esplorazione spaziale, in particolare per la necessità di proteggere le persone dalle onde ionizzanti. Durante la Guerra Fredda, con l'aumento della minaccia nucleare, furono progettati e costruiti molti rifugi per difendere la popolazione dagli effetti di potenziali esplosioni nucleari. Questi rifugi erano progettati per offrire schermature contro le radiazioni gamma e i neutroni, utilizzando materiali densi come il cemento per ridurre l'intensità e la penetrazione.

Gli oltre cento anni di evoluzione costruttiva intercorsi dalla scoperta delle radiazioni ad oggi hanno incrementato le tecniche di protezione e ridotto gli spessori necessari. Basandosi però

suolo 6,7 km<sup>2</sup> di città provocando 74.000 morti entro la fine dello stesso anno. [...] Ancora oggi, le strutture sanitarie giapponesi si trovano a dover curare ogni anno migliaia di vittime per malattie attribuibili ai bombardamenti del 1945." Al sito della Croce Rossa Italiana è disponibile l'articolo completo che illustra come, ancora oggi, vi siano organizzazioni di tutto il mondo che contribuiscono alla ricerca della prevenzione e collaborano per la gestione di emergenze simili: <https://cri.it/2023/08/04/78-anni-dopo-hiroshima-e-nagasaki-la-necessita-sempre-piu-forte-di-garantire-che-le-armi-nucleari-non-vengano-mai-piu-utilizzate/>, ultima consultazione agosto 2024.

<sup>242</sup> SCHIMMERLING W., CUCINOTTA F. A., WILSON J. W., 2003.



**LAVA TUBE**

I tunnel sotterranei posseggono una protezione intrinseca data dalla stessa composizione del terreno e potrebbero essere utili per la costruzione di habitat.



**CALCESTRUZZO**

**REGOLITE**

Così come avveniva durante la Guerra Fredda, la stratificazione di componenti materici con proprietà chimico-fisiche utili potrebbe costituire un buon riparo dalle radiazioni incidenti sul suolo marziano e lunare.

**STRATIFICAZIONI**

sempre sul tema fondamentale della difficoltà di trasporto<sup>243</sup>, dovremo, almeno in un primo momento, fare un passo indietro.

Le alternative che ci si pongono, su entrambi i corpi celesti valutati, sono sostanzialmente due: restare al livello del suolo creando uno scudo esterno oppure scendere al di sotto sfruttando cavità naturali<sup>244</sup>.

Nella prima ipotesi l'uso di strati protettivi multipli potrebbe essere la giusta via. I rifugi terrestri spesso combinavano cemento e terreno per ottenere la massima schermatura. Su Marte, si potrebbe applicare una tecnica simile, sfruttando risorse locali come la regolite, che potrebbe essere utilizzata per costruire strati sovrapposti alla struttura dell'habitat che aumenti la protezione senza trasportare materiali pesanti dalla Terra. Questa tecnica sfrutterebbe sia le capacità schermanti naturali del terreno sia le sue proprietà termiche, contribuendo anche a isolare dalle temperature estreme.

Anche nel secondo caso, i tunnel già presenti sulla Luna e su Marte, rappresentano una soluzione storicamente ispirata. Nella progettazione dei rifugi sotterranei, i costruttori terrestri hanno spesso optato per l'edificazione al di sotto della superficie per proteggere gli

abitanti dall'intensità delle radiazioni e dagli effetti delle esplosioni. Analogamente, le cavità potrebbero servire da rifugio naturale per le missioni spaziali, poiché lo strato roccioso sopra di essi fornirebbe una schermatura utile. Inoltre, queste cavità consentirebbero di costruire strutture abitabili con minor consumo energetico rispetto alla costruzione di una copertura artificiale completa.

**MICROMETEORITI**

Per quanto apparentemente sia la scelta migliore<sup>245</sup>, la Luna presenta una fragilità intrinseca: priva di atmosfera, stagioni o variazioni climatiche, potrebbe subire profonde alterazioni a seguito di un intervento umano su larga scala. Possiede, per altro, insieme a Marte, una protezione nettamente inferiore a moltissimi fattori, compreso l'impatto di meteoriti.

Sebbene si ritenga che l'impatto degli asteroidi sia costante a partire da 3 bilioni di anni fa, vi sono studi che dimostrano il contrario. Le indagini sono possibili grazie alla valutazione dei crateri di cui si dispone. La datazione di quelli terrestri è complicata da fattori come l'erosione, la tettonica delle placche e la difficoltà nel trovare campioni adatti per la datazione radiometrica, come rocce da impatto o serie sedimentarie ben caratterizzate. Possiamo stabilire che i crateri con età note e precise sono numerosi e di piccola dimensione nel Neogene e

<sup>243</sup> Si veda il capitolo 6 (Questioni di trasporto), della presente tesi di laurea.

<sup>244</sup> Esisterebbe una terza via, della schermatura data da campi elettromagnetici ma non verrà presa in considerazione. Al momento è una tecnica solo sperimentale e non vi sono garanzie in merito all'effettivo funzionamento

<sup>245</sup> HÄUPLIK-MEUSBURGER S., BANNOVA O., 2016, pp. 92-103.

Quaternario (0-23 milioni di anni), mentre nel Precambriano (>541 milioni di anni) sono più grandi, ma meno diffusi<sup>246</sup>. Per la Luna, la datazione dei crateri si basa principalmente sulla loro densità in combinazione con le età radiometriche dei campioni lunari raccolti dalle missioni umane e robotiche. Questa combinazione permette di calibrare le cronologie assolute, poi adattate per Marte e altri corpi del sistema solare<sup>247</sup>.

La ciclicità potrebbe derivare da vari fattori astronomici e cosmici, inclusi possibili disturbi gravitazionali all'interno del sistema solare o variazioni nell'orbita di oggetti nella cintura di asteroidi. Nonostante i progressi, rimangono molte incertezze riguardo ai meccanismi esatti che regolano la frequenza e la distribuzione degli impatti asteroidali<sup>248</sup>. Attualmente, ci sono migliaia di oggetti artificiali in orbita che possono essere monitorati dalla Terra, ma ci sono anche molte più particelle più piccole che non possono essere rilevate con gli strumenti attuali. Queste piccole particelle, anche se di dimensioni inferiori a un millimetro, possono colpire i veicoli spaziali a velocità molto elevate (circa 10 km/s per i detriti spaziali e 20 km/s per i meteoroidi), causando danni significativi alle superfici esterne e persino agli equipaggiamenti interni<sup>249</sup>.

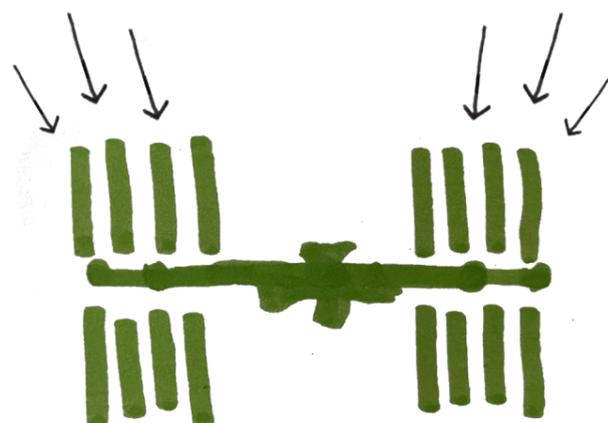
<sup>246</sup> LAGAIN A., KRESLAVSKY M., BARATOUX D., ET AL., 2022.

<sup>247</sup> *Ibidem*.

<sup>248</sup> *Ibidem*.

<sup>249</sup> DROLSHAGEN G., MCDONNELL J.A.M., STEVENSON T.J., (a cura di), 1996.

La stessa ISS deve fare i conti quotidianamente con tale problema.



La ISS subisce spesso impatti con detriti naturali o artificiali che quotidianamente orbitano attorno alla Terra.

#### DETRITI SPAZIALI

Le mura medievali sono un esempio storico di protezione strutturale che può essere utile per la progettazione spaziale. Le strutture portanti delle fortezze medievali erano progettate con diversi strati di difesa per resistere agli impatti degli arieti, delle balestre e delle prime forme di artiglieria. Questo approccio, si basava su barriere multiple e materiali per assorbire l'impatto e proteggere l'interno<sup>250</sup>.

Allo stesso modo, nei veicoli spaziali, si utilizzano strati di sacrificio per gestire i danni

<sup>250</sup> CAVADA E., GENTILINI G. (a cura di), 2007.

causati da piccoli detriti e micrometeoriti<sup>251</sup>. Quando queste particelle colpiscono a velocità elevate, gli strati esterni agiscono come catalizzatori di energia, attenuando la forza dell'impatto prima che arrivi ai componenti critici. Proprio come le mura medievali, i diversi strati nei veicoli spaziali sono progettati per frammentare e disperdere l'energia dell'impatto. La dimensione e il materiale degli strati dipendono dalle caratteristiche dei detriti o meteoroidi che si vogliono contrastare. Come nelle fortezze, dove i muri di spessore maggiore venivano posizionati nelle aree più esposte o vulnerabili, anche nelle strutture spaziali alcune zone possono richiedere strati aggiuntivi o più robusti, specialmente nelle parti della struttura orientate verso il "vento" spaziale dei detriti. Le tecniche di costruzione delle mura medievali includono inoltre angoli di inclinazione, che deviano parzialmente gli impatti. Anche nei veicoli spaziali, questa tecnica è ripresa: ad esempio, angolazioni strategiche degli strati esterni consentono di ridurre la probabilità di un impatto diretto.

Ogni strato svolge un ruolo specifico nel proteggere l'equipaggiamento interno. Grazie a questi principi architettonici, si può migliorare la resistenza dei veicoli spaziali agli impatti, proteggendo meglio missioni ed equipaggio.

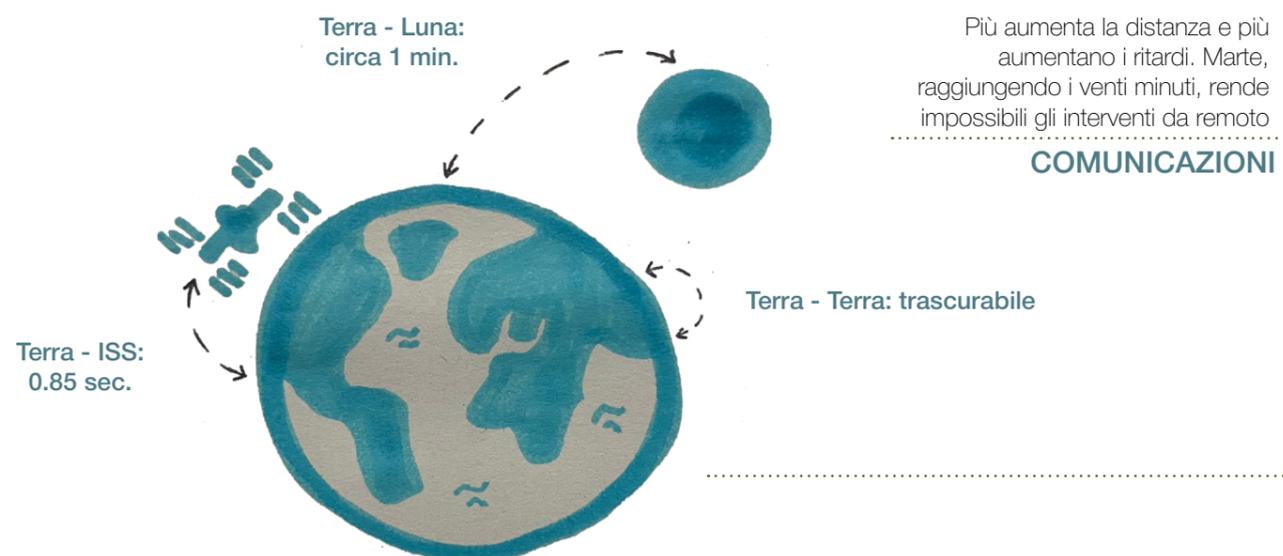
<sup>251</sup> DROLSHAGEN G., MCDONNELL J.A.M., STEVENSON T.J., (a cura di), 1996.



Anche a livello urbanistico la gestione era per livelli e permetteva di creare diversi strati di protezione sino a quello più interno che era occupato dalla nobiltà e dai Signori del territorio. Le mura più esterne creavano, in un certo senso, lo stesso strato di sacrificio che è progettato per la ISS.

#### FORTIFICAZIONI MEDIEVALI

## COMUNICAZIONI E AUTONOMIA



Nel confronto tra la Luna e Marte come candidati per la colonizzazione umana, la distanza che separa questi corpi celesti dalla Terra, è un fattore che incide profondamente sulla logistica degli spostamenti.

Le difficoltà di comunicazione con il Pianeta Rosso costituiscono un ostacolo significativo, poiché i ritardi nelle trasmissioni possono rendere vani gli interventi in caso di emergenza. Se sulla Luna il controllo e la riparazione è gestibile da remoto, Marte possiede un ritardo nelle comunicazioni che oscilla dai cinque ai venti minuti. A ciò si aggiungono le sfide poste dalle questioni orbitali: mentre la Luna, in quanto satellite naturale, è sempre a una

distanza relativamente costante e accessibile<sup>252</sup>, le missioni verso Marte richiedono un'attenta pianificazione in funzione delle finestre di lancio, onde evitare uno spreco ingente di risorse. Nonostante i numerosi rapporti stilati dalle agenzie spaziali, che indicano la Luna come l'opzione preferibile<sup>253</sup> per una colonizzazione iniziale, il dibattito su quale dei due corpi celesti

<sup>252</sup> Recentemente è stata eseguita un'operazione chirurgica a bordo della ISS. Un braccio robotico comandato dalla Terra ha operato un modello di gomma che simulava tessuto umano proprio per testare la velocità di risposta in caso di emergenza. Pur essendoci un ritardo pari a 0.85 sec nelle comunicazioni, testare questi sistemi è fondamentale per i successivi passi su altri corpi celesti. *Chirurgie spaziali*, disponibile al sito: <https://eniscuola.eni.com/it-IT/news/2024/chirurgie-spaziali.html>, ultima consultazione ottobre 2024.

<sup>253</sup> HÄUPLIK-MEUSBURGER S., BANNOVA O., 2016, pp. 92-103.

debba essere il primo obiettivo dell'umanità persiste. La costante fondamentale resta la necessità di garantire se non la completa, quantomeno la quasi totale autonomia degli equipaggi. Per quanto i sistemi siano progrediti, non è garantito raggiungano livelli adeguati da azzerare i ritardi nelle comunicazioni in tempi utili. Essendo indipendenza e autonomia caratteristiche fondamentali per il successo delle civiltà umane, specialmente nei contesti più estremi e isolati, molte culture hanno sviluppato sistemi complessi di irrigazione, agricoltura e stoccaggio per sopravvivere e prosperare anche durante lunghi periodi di isolamento o di condizioni avverse. Come per gli antichi insediamenti, la sopravvivenza umana su Marte o sulla Luna richiederà infrastrutture robuste e affidabili e una profonda autonomia nella gestione delle risorse. L'autosufficienza non sarà solo una questione di praticità, ma una necessità, anche in termini di progettazione sociale. I futuri abitanti di Marte e della Luna dovranno sviluppare una nuova cultura scientifica e ingegneristica che favorisca la flessibilità e la capacità di innovare in maniera autonoma rispetto alla Terra.

## CONDIZIONI AMBIENTALI ED ENERGIA

Partendo dal presupposto che la rosa delle possibilità per la costruzione di un qualsivoglia habitat dipende dal corpo celeste in cui ci si trova, vi sono una serie di considerazioni

strutturali ulteriori da specificare sui pianeti presi in considerazione.

La Luna, con una gravità pari a un sesto di quella terrestre, offre opportunità per la costruzione di strutture relativamente leggere e flessibili da cui deriva un approccio ingegneristico più versatile, che deve comunque raffrontarsi con gli effetti a lungo termine che il luogo ha sulla fisiologia umana: potrebbe risultare necessaria l'integrazione di meccanismi che simulino la gravità terrestre, se non per annullare, quantomeno per ridurre gli impatti sull'uomo. L'assenza quasi totale di atmosfera rappresenta un ulteriore fattore critico. Gli habitat costruiti su questo satellite devono essere progettati per resistere all'impatto dei precedentemente citati micrometeoriti e alle radiazioni solari dirette<sup>254</sup>. Dal punto di vista energetico, offre condizioni vantaggiose grazie alla costante esposizione alla luce solare durante il giorno lunare, permettendo un'efficace operatività dei pannelli solari. Tuttavia, la lunga durata della notte lunare, equivalente a circa 14 giorni terrestri<sup>255</sup>, richiede l'implementazione di avanzati sistemi di

<sup>254</sup> HÄUPLIK-MEUSBURGER S., BANNOVA O., 2016.

<sup>255</sup> "Poiché una rotazione della luna dura circa 28 giorni sulla Terra, la notte lunare, ovvero quando la superficie della luna non è esposta al sole, dura circa 14 giorni. Questo lungo ciclo notturno significa che le temperature scendono drasticamente, fino a circa -280 gradi Fahrenheit, creando un ambiente incredibilmente intenso e distruggendo le capacità della maggior parte delle apparecchiature." *Surviving the Lunar Night*, disponibile al sito: <https://www.nei.org/news/2021/surviving-the-lunar-night#:~:text=Because%20one%20rotation%20of%20the,sun%2C%20lasts%20about%2014%20days.,> ultima consultazione agosto 2024.

stoccaggio energetico per garantire la continuità delle operazioni che implicano una gestione oculata della spartizione locale degli spazi riparati. Se da un lato un habitat interamente dedicato ad attività laboratoriali produrrebbe potenzialmente risultati migliori, è fondamentale che vi siano spazi di dimensioni importanti dedicati all'immagazzinaggio di energia. Si presuppone, che data la delicatezza della strumentazione sia necessaria una protezione maggiore.

Dal punto di vista ambientale si può affermare invece che Marte offre un ciclo diurno simile a quello terrestre, ma presenta una serie di problemi non trascurabili: ad esempio la pressione atmosferica estremamente bassa e la composizione dell'aria (ricca di CO<sub>2</sub>). Anche la produzione di energia crea difficoltà aggiuntive. Le tempeste che vi si generano possono arrivare a oscurare i pannelli solari, compromettendo gravemente la capacità di produrre energia. Tra questi le più frequenti sono di sabbia, così estese da essere visibili dalla Terra e, per quanto maggiore dimensione di solito significa minore intensità, ve ne sono di più circoscritte con una potenza e frequenza maggiore. Questi eventi possono raggiungere circa 60 miglia orarie<sup>256</sup>, meno della metà degli uragani, ma, data la dimensione ridotta delle particelle unite alla minore gravità, si solleva più materiale. Al processo si unisce l'elettrostaticità degli elementi che crea problemi non indifferenti alle

strumentazioni. L'ultima grande tempesta mappata risale al 2007<sup>257</sup>.

Nonostante il lungo monitoraggio condotto dagli scienziati nel corso del tempo, attraverso telescopi terrestri e veicoli spaziali in orbita attorno a Marte, persistono interrogativi sulle cause degli intervalli prolungati tra un evento e l'altro. Una delle poche informazioni che abbiamo è che tendono a manifestarsi nel periodo estivo a Sud del pianeta. Al momento, per quando siano oggetto di studio, non possediamo alternative praticabili; nemmeno nucleari, quindi studiare le tempeste di sabbia e capire come arginarle è fondamentale.

Ci sono luoghi terrestri che, sebbene con condizioni al contorno diverse, affrontano questo tipo di problematiche da sempre. Questo fenomeno è infatti tipicamente comune nei luoghi desertici.

L'ultima in Asia, nel 2005, è stata così estesa da coprire un sesto del raggio terrestre<sup>258</sup>, cioè un'area di un migliaio di chilometri. Sebbene ve ne siano testimonianze molto antiche, il cambiamento climatico sta contribuendo alla loro estensione con conseguenze anche sulla salute dei residenti delle aree coinvolte. Ancora una volta, il legame tra l'esplorazione spaziale e il progresso terrestre è legato in un rapporto ambivalente, a maggior ragione in ambienti avversi come gli altri corpi celesti.

---

<sup>257</sup> *Ibidem.*

<sup>258</sup> CASSARDO C., 2006.

---

<sup>256</sup> HILLE C. B., 2015.

# VERSO UNA PROGETTAZIONE SPAZIALE EFFICACE

La progettazione degli habitat varia notevolmente a seconda che siano destinati all'orbita (o spazio aperto) o alla superficie di un pianeta<sup>259</sup>. Gli habitat in orbita devono affrontare la microgravità, radiazioni cosmiche e la necessità di mantenere una pressione interna stabile, ma hanno a disposizione una quantità elevata di energia, poiché quella solare è disponibile e senza limiti<sup>260</sup>. Inoltre, si ha l'incredibile vantaggio dell'assenza di peso che rende l'assemblaggio semplice e la modularità utile e versatile.

Originariamente, stazioni come la Vostok, possedevano spazio soltanto per un astronauta al quale era impedito il movimento e l'esercizio fisico<sup>261</sup>. Proprio per l'acquisizione della consapevolezza dei vantaggi, le successive Saljut possedevano alloggi di maggiori dimensioni, anche se comunque inferiori a quelle attuali. Con il passare del tempo ed il progredire della scienza, si è compreso che le stazioni necessitassero di luoghi non soltanto di permanenza ma anche di ricerca ed è per questo

motivo che nella Mir furono installate ben sei strutture e non più soltanto due di attracco<sup>262</sup>. Grazie a queste fu possibile l'installazione di un intero laboratorio di ricerca progettato in modo da possedere lo stretto necessario per le sperimentazioni. Il primo vero e proprio elemento di svago inserito nelle stazioni spaziali fu quello di un televisore che, seppur originariamente non pianificato, si rivelò essenziale per il rilassamento emotivo degli astronauti. Le conseguenze fisiche dei viaggi hanno poi aggiunto tasselli importanti nella definizione della progettazione:

“AL RITORNO DAL LORO VOLO DI 18 GIORNI A BORDO DELLA SOJUZ-19 NEL 1970, ANDRIJAN NIKOLAEV E VITALIJ SEVAST'JANOV NON FURONO INIZIALMENTE IN GRADO DI CAMMINARE SENZA AIUTO; I COSMONAUTI AVEVANO PERSINO L'IMPRESSIONE DI POTER SENTIRE IL PESO DEI LORO ORGANI INTERNI. CI VOLLERO SEI MESI PERCHÉ SI RIPRENDESSERO COMPLETAMENTE DAL LORO ADATTAMENTO ALL'ASSENZA DI GRAVITÀ.”<sup>263</sup>

Con il tempo si è compresa l'importanza di valutare in modo assennato il giusto equilibrio tra

<sup>259</sup> SKOLENKO J. A., 2021.

<sup>260</sup> *Orbital Space Settlements*, disponibile al sito: <https://nss.org/orbital-space-settlements/>, ultima consultazione ottobre 2024.

<sup>261</sup> *Ivi*, pp.15-30.

<sup>262</sup> *Ibidem*.

<sup>263</sup> *Ivi*, p. 19.

## Capitolo

# 10

### Verso una progettazione spaziale efficace

- Analisi delle esigenze progettuali **125**
- Confronto con soluzioni terrestri **130**
- Linee guida per un ipotetico modello abitativo **138**

ottimizzazione dello spazio e necessità umane. Anche gli habitat superficiali subiranno inderogabilmente lo stesso processo, con il tempo. Come definito nei precedenti capitoli<sup>264</sup>, sia Luna che Marte (e in realtà per quanto ne sappiamo, qualsiasi altro corpo celeste nel Sistema Solare) posseggono condizioni che li annoverano tra i luoghi inospitali. La fase successiva a quella teorica è quella di sperimentazione e questa ha portato all'elaborazione di opzioni costruttive varie che tengono in considerazione un numero sempre maggiore di fattori, in proporzione alle scoperte e alle tecniche a disposizione. Diversi studiosi (tra cui tesisti, progettisti e archistar) si sono cimentati, in via non solo teorica, all'applicazione delle necessità dell'uomo nella progettazione spaziale. La stessa città di Torino, che si è posta come obiettivo quello di diventare la "Houston italiana"<sup>265</sup> ha visto gli investimenti nel settore aerospaziale aumentare proprio per via del rinvigorito interesse nel settore. Vista la vastità dei progetti e delle idee e al fine di determinare un percorso lineare si prenderanno in esame tre esempi di progetti volti a stabilire uno schema logico di definizione progettuale: uno meramente ideologico, uno teorico ed uno pratico. Accanto è riportato uno schema che illustra come sarà organizzato il capitolo, al fine di facilitarne la lettura.

<sup>264</sup> Si vedano i capitoli 7 (Luna) e 8 (Marte), della presente tesi di laurea.

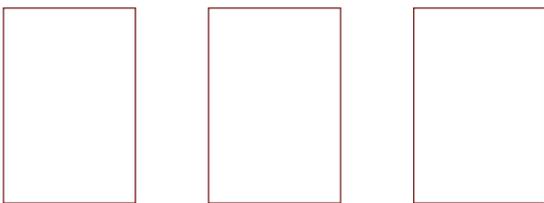
<sup>265</sup> LEVI R., 2023.

### Esigenze



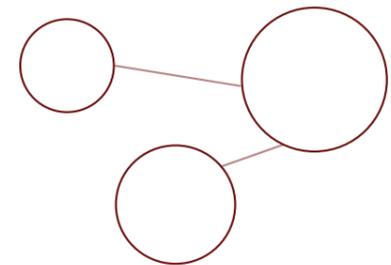
► Elenco delle aree utili ad un insediamento (valido per Luna e Marte).

### Riferimenti



► Riferimenti progettuali terrestri utili per permettere una oculata gestione dei volumi.

### Modello abitativo



► Una possibile gestione delle fasi e sviluppo schematico dell'habitat.

## ANALISI DELLE ESIGENZE PROGETTUALI

Il primo progetto è il prodotto della fantasia di un autore che, seppur con una base scientifica, immagina una realtà in cui la progettazione nello spazio è attuale e fondamentale per lo sviluppo umano. Il celebre libro *The Martian*<sup>266</sup> di Andy Weir<sup>267</sup>, scritto per la maggior parte in prima persona dal punto di vista del protagonista, un astronauta, della missione Ares 3, esplora una serie di problemi tecnici e psicologici che potrebbero, in futuro, riguardare missioni a lunga durata nello spazio, con particolare riferimento a quelle su Marte. Sebbene l'evento scatenante del romanzo, una tempesta che porta all'abbandono di un membro dell'equipaggio sulla superficie del pianeta, sia ritenuto poco plausibile da un punto di vista scientifico<sup>268</sup>, il resto della narrazione è accurato nei dettagli tecnici, utili per trarre conclusioni di rilevanza architettonica e ingegneristica in contesti di esplorazione spaziale.

Uno degli aspetti fondamentali evidenziati nel libro è la gestione del materiale necessario per

<sup>266</sup> WEIR A., 2017.

<sup>267</sup> Andy Weir è un autore americano appassionato di spazio, le cui pubblicazioni acquistano veridicità grazie alle intense ricerche svolte per la redazione delle *novels* marziane. *Andy Weir*, disponibile al sito: <https://andyweirauthor.com/>, ultima consultazione giugno 2024.

<sup>268</sup> Pur essendo vero che l'estensione delle tempeste marziane sia talmente vasta da essere visibili anche dai telescopi terrestri, la massima velocità che raggiungono equivale a meno della metà dei venti derivanti dagli uragani terrestri come confermato da Michael Smith, del Goddard Space Flight Center della Nasa. BONFRANCESCHI A. L., 2015.

la sopravvivenza e il ritorno sulla Terra. Viene citata, ad esempio, l'importanza delle missioni senza equipaggio (nel libro ne vengono menzionate quattordici) che precedono l'arrivo degli astronauti e trasportano materiale essenziale, incluso il modulo di ascesa (MAV), fondamentale per il rientro. La logistica e la gestione di queste risorse rivestono un ruolo cruciale nelle missioni a lungo termine, poiché il fallimento di uno di questi passaggi comprometterebbe la sopravvivenza dell'equipaggio prima ancora che questi possano portare a termine qualsivoglia esperimento o ricerca possibile.

Dal punto di vista architettonico, l'elemento principale affrontato è il dimensionamento degli spazi abitativi. Oltre a soddisfare i requisiti minimi di sopravvivenza, è essenziale che gli spazi siano progettati per adattarsi alle necessità psicologiche e operative dell'equipaggio. Un habitat deve poter garantire non solo spazi vitali, ma anche aree destinate alla coltivazione di cibo, un elemento cruciale in assenza di un'atmosfera marziana utilizzabile. Le serre, ad esempio, concettualmente simili a quelle terrestri, dovrebbero essere ermetiche, mantenere una temperatura costante, avere un isolamento efficace e sistemi di ventilazione ben progettati, con un ambiente batteriologico controllato per massimizzare la produttività delle coltivazioni tenendo in considerazione un'adeguata rotazione o arricchimento, senza il quale potrebbe diventare sterile, compromettendo l'autosufficienza. Seppur

ridotti al minimo, gli spazi, dovrebbero essere abbastanza grandi da garantire quindi una varietà adeguata. La gestione dell'atmosfera ne è una diretta conseguenza: un eccesso di ossigeno è altrettanto fatale alla sua eventuale carenza.

Un altro aspetto psicologicamente rilevante, sia nel libro che nella realtà, è la gestione dello stress. Il protagonista sopravvive concentrandosi su obiettivi giornalieri e risolvendo problemi uno alla volta, riducendo il carico mentale dovuto alla situazione estrema. In questo senso, la progettazione modulare degli habitat può fornire un ulteriore vantaggio: strutture che possono essere smontate, modificate e ricostruite offrono non solo flessibilità operativa, ma anche uno scopo a lungo termine per gli astronauti, contribuendo a mantenere il morale alto. Un ambiente modificabile e adattabile, infatti, rende le missioni meno alienanti e psicologicamente più gestibili, favorendo la produttività. Ancora, la generazione di energia costituisce un ostacolo importante. Senza di essa i sistemi di supporto vitale non avrebbero alimentazione sufficiente e come abbiamo visto in precedenza<sup>269</sup>, i pannelli solari non bastano.

L'impiego di piccoli reattori nucleari richiede un'attenta considerazione delle distanze di sicurezza, inevitabilmente maggiori rispetto a quelle necessarie per sistemi a rischio inferiore. Queste distanze, insieme alle misure di

<sup>269</sup> Si vedano i capitoli 7 (Luna) e 8 (Marte), della presente tesi di laurea.

protezione necessarie, devono essere attentamente valutate, influenzando la pianificazione urbanistica anche in relazione con i punti di atterraggio. Qui il background architettonico diventa fondamentale per determinare le giuste proporzioni in questi contesti. Così come sulla Terra si è gradualmente adottata la pratica di distanziare i cimiteri dalle aree abitate per motivi di sicurezza<sup>270</sup>, anche nello spazio vale lo stesso principio: più una zona comporta rischi, maggiore deve essere la distanza dagli spazi abitati.

Per quanto in un caso si tratti di rischio biologico e nell'altro nucleare, in un luogo dove la decomposizione non esiste<sup>271</sup> (per via dell'assenza dei batteri), va considerato questo come punto non trascurabile al pari di altri apparentemente di maggiore importanza. La gestione dei rischi deve quindi includere anche considerazioni sul destino dei corpi in caso di decesso. Così come sulla Terra i cimiteri sono stati storicamente distanziati dalle aree abitate per ragioni sanitarie e simboliche, anche in una colonia spaziale futura sarà necessario prevedere spazi dedicati alla gestione dei resti umani. Questo non solo per questioni igieniche,

<sup>270</sup> ZUCCONI G., 2022.

<sup>271</sup> *Morte nello spazio: ecco cosa accadrebbe ai nostri corpi*, disponibile al sito: <https://reccom.org/morte-nello-spazio-cosa-accadrebbe-ai-nostri-corpi/>, ultima consultazione agosto 2024.

ma anche per garantire il rispetto psicologico (e culturale<sup>272</sup>) per l'equipaggio.

La pianificazione urbanistica dovrà integrare aree sicure per reattori nucleari e altri rischi operativi, così come per le eventuali aree di sepoltura, o strutture di contenimento, considerando che ogni componente dell'habitat avrà un impatto diretto sulla sopravvivenza e sul benessere della comunità. In un ambiente ostile, dove il rischio di incidenti, esplosioni o danni meteorici<sup>273</sup> è sempre presente, la creazione di uno spazio di backup a una distanza utile dall'habitat principale è essenziale e questo spazio dovrebbe essere completamente indipendente ed assumere il ruolo di piano di emergenza in caso di guasti. Lo stesso luogo garantirebbe agli astronauti un luogo separato e sicuro anche per il mantenimento di un adeguato livello di stress.

La compartimentazione costituisce un archetipo fondamentale per orchestrare l'operatività di sistemi complessi. Consideriamo le metropoli: la loro efficienza è strettamente legata all'organizzazione in compartimenti distinti, ognuno dei quali svolge una funzione specifica. Affinché le metropoli possano operare in modo

<sup>272</sup> La ISS, nel corso della sua storia ha ospitato centinaia di persone di nazionalità diverse, con tutte le accortezze che ne conseguono, sia a livello di alimentazione che di gestione del lavoro. Disponibile al sito: <https://www.nasa.gov/international-space-station/space-station-visitors-by-country/>, ultima consultazione agosto 2024.

<sup>273</sup> Si veda il capitolo 9 (Dalla pietra allo Spazio: lezioni dalla tradizione), della presente tesi di laurea.

sinergico, è necessario implementare diversi dipartimenti, e il sistema nel suo complesso verrebbe compromesso se avvenisse un miscuglio tra di essi. La divisione è essenziale, ma è altresì cruciale che i compartimenti siano sufficientemente prossimi e interconnessi al fine di garantire un funzionamento ottimale, analogamente a quanto si verifica nelle cellule degli organismi viventi<sup>274</sup>. Così come avviene sulla Terra, anche al di fuori è importante mantenere questi principi, legati non alla vita terrestre ma al modo di vivere degli esseri umani in generale. In nostro aiuto possono venire diversi concetti ben noti, che fanno parte del nostro patrimonio culturale e ci permettono, nella progettazione quotidiana e non solo, di fare scelte ponderate e specifiche per ciascun studio.

In ogni caso, qualsiasi struttura venga costruita in loco va considerata non solo nella quantità di suolo che occupa ma anche nel peso dei singoli elementi da collocare. Pur beneficiando della gravità ridotta, pone comunque sfide tecniche non trascurabili. Anche se il peso degli oggetti è inferiore rispetto alla Terra, i movimenti degli astronauti sono resi più complessi dalle tute spaziali, che, per quanto alleggerite nel corso degli anni, continuano a rappresentare un ostacolo. Sono fondamentali per la protezione dall'ambiente esterno, ma aggiungono un carico che deve essere considerato nella progettazione e nelle operazioni quotidiane. Interessante, nel

<sup>274</sup> NURSE P., 2021.

libro, è l'espedito usato dal protagonista per trasportare oggetti pesanti: ispirandosi a tecniche di costruzione antiche, come le rampe di sabbia e pietre degli Egizi<sup>275</sup>, dimostra come anche la tecnologia più semplice possa essere adattata alle condizioni extra-terrestri.

Un altro dettaglio affascinante del libro è l'utilizzo di strumenti antichi per affrontare problemi moderni. Quando il protagonista deve orientarsi su Marte, costruisce un sestante, ovvero lo strumento di navigazione utilizzato fin dal XVI secolo che, nel suo caso, va a sostituirsi a sofisticati strumenti tecnologici che sono andati perduti. Questo dimostra come, in condizioni estreme, la semplicità e l'affidabilità degli strumenti tradizionali possano ancora avere un ruolo importante nelle missioni spaziali. Sebbene il team sia genericamente composto da persone con competenze complementari, la cultura generale dei singoli può essere di grande aiuto, e non solo in ambito architettonico. Dalla trattazione ne possiamo trarre un elenco di necessità da formularsi nel progetto, in relazione con la storia dell'umanità.

<sup>275</sup> "Le rampe, formate da sabbia e pietrisco, furono impiegate per far scorrere le slitte con il blocco di pietra fino all'altezza della base su cui posizionarlo; probabilmente venivano gradualmente innalzate attorno alla piramide, man mano che il manufatto cresceva in altezza. L'argano spagnolo era costituito da un'incastellatura alla quale si fissavano due funi che scorrevano sotto il blocco da sollevare. Con l'aiuto di due barre di legno si attorcigliavano entrambe che, accorciandosi, sollevavano il monolite." FERUGLIO DAL DAN C., 2016.

Ogni sezione contiene: una descrizione dell'area per spiegarne l'importanza e la funzione; un indicatore (basso, medio, alto) per comprendere quanto sia rilevante la conoscenza storica nel contesto progettuale; la posizione ottimale per l'area (soprasuolo o sottosuolo). Lo schema risultante ci permette di fare delle considerazioni.

Partendo dal presupposto che la componente ingegneristica non sarà mai nulla e la collocazione geografica sarà influente e potrebbe modificarne leggermente i risultati, si nota come l'apporto delle conoscenze storiche sia per la maggior parte alto. Possiamo dire che, per la pianificazione degli spazi funzionali, ci sarà sempre una componente dove sarà necessario progettare, tenendo conto delle esperienze terrestri. Si ipotizza dunque che la maggior parte delle aree dedicate all'interazione sociale, sia lavorativa che personale, saranno preferibilmente collocate soprasuolo per garantire un adeguato benessere psicofisico, mentre le aree più sensibili saranno posizionate al di sotto per garantirne isolamento maggiore ed una maggiore sicurezza. È chiaro inoltre che, la progettazione urbanistica dell'area sarà fortemente influenzata dalla durata della missione che potrebbe declinare in maniera diversa le singole aree trattate.

Alla luce di queste considerazioni, lo schema rappresenta una base per l'analisi preliminare a cui seguiranno riferimenti progettuali specifici, che saranno approfonditi nel capitolo successivo.

### Aree individuali

Poter riposare o svolgere attività in solitaria è fondamentale nelle lunghe permanenze previste. Vanno proporzionate in base al numero dell'equipaggio e non richiedono spazi elevati.

Utilità della storia della progettazione architettonica

**Alta**

- Soprasuolo
- Sottosuolo

### Generazione e stoccaggio di energia

Sia nel caso dei pannelli solari che nel caso di energia di tipo nucleare esiste una quantità di spazi base che vanno predisposti correlati alle distanze che questi devono avere dagli habitat in relazione al livello di rischio.

Utilità della storia della progettazione architettonica

**Bassa**

- Soprasuolo
- Sottosuolo

### Luoghi di svago e luoghi comuni

Luoghi come mensa o palestra saranno probabilmente di natura comune così da favorire l'interazione e lo scambio di feedback sullo stato della missione.

Utilità della storia della progettazione architettonica

**Alta**

- Soprasuolo
- Sottosuolo

### Aree per le colture (serre)

Gli spazi minimi per le coltivazioni del terreno andranno moltiplicati per la rotazione utile al mantenimento di nutrienti nel terreno.

Utilità della storia della progettazione architettonica

**Alta**

- Soprasuolo
- Sottosuolo

### Zone laboratoriali

Indispensabili saranno aree dell'habitat dove svolgere indagini di laboratorio ed esperimenti. La proporzione sarà determinata dal tipo di indagine e dalla quantità di personale richiesta per tale scopo.

Utilità della storia della progettazione architettonica

**Alta**

- Soprasuolo
- Sottosuolo

### Area sicura, separata dall'habitat

Una zona a distanza di sicurezza utile dal luogo centrale di permanenza da utilizzare in caso di imprevisti o danni che possa permettere di sopravvivere e valutare delle soluzioni agli eventuali imprevisti.

Utilità della storia della progettazione architettonica

**Media**

- Soprasuolo
- Sottosuolo

## CONFRONTO CON SOLUZIONI TERRESTRI

Il secondo progetto è il risultato dal lavoro di ricerca di uno studente universitario che propone un progetto di un habitat marziano.

Dmytro Khyzhniak, nella sua tesi dal titolo “Human settlement on the surface of Mars”<sup>276</sup>, dopo una indagine sulle condizioni marziane e sulle necessità umane e progettuali, ipotizza una soluzione che si collocherà sulla superficie. Stabilendo che, *de facto*, non si è in grado, al momento, di definire con precisione le condizioni in cui si trovano gli strati sotterranei, è probabile che in un primo momento, tutti gli ambienti saranno collocati sulla superficie<sup>277</sup>.

Vengono poi definite le quantità di risorse necessarie per essere umano<sup>278</sup>, la definizione della durata e la selezione del sito. Come specificato nei precedenti capitoli<sup>279</sup>, la durata della permanenza sulla superficie dipende dal tipo di traiettoria che viene stabilita, pari indicativamente ad un mese oppure a circa cinque. In entrambi i casi va definito il punto di atterraggio e di permanenza che viene scelto nel testo a partire da una rosa ipotizzata di tre luoghi: Mawrth Vallis (22.6°N - 16.5°W), Jezero

Crater (18.38°N - 77.58°E) ed Elysium Fossae (24.8°N - 213.7°W)<sup>280</sup>.

Esistono numerosi criteri di scelta di un sito di costruzione e, così come sulla Terra, vanno considerate le condizioni al suolo, le disponibilità idriche (con relative distanze) e le eventuali protezioni naturali che un sito piuttosto che un altro possono offrire. In passato queste valutazioni erano di importanza nettamente maggiore a quella odierna ed acquisiscono nuovo vigore sia per Marte che per Luna.

A maggior ragione, per via delle condizioni avverse, il dibattito sulla valutazione dei potenziali siti di atterraggio diventa fondamentale ed estremamente delicato. Uno dei più importanti criteri da valutare è ovviamente la reperibilità dell'acqua, che, nel caso di Marte, può essere ricavata da ghiaccio o minerali idrati<sup>281</sup>.

Polvere e altitudine sono altrettanto importanti: la prima per via del rischio di copertura di pannelli solari e macchinari, la seconda per assicurare una quantità adeguata di attrito in fase di *landing*<sup>282</sup>. Va inoltre considerato che il pianeta Marte dispone di zone di maggiore e minore esposizione alla luce ed una alternanza di stagioni. L'inclinazione assiale maggiore e la maggiore eccentricità della sua rotazione

attorno al Sole rendono le variazioni molto più drastiche rispetto a quelle terrestri<sup>283</sup> ed è noto che le escursioni termiche sono potenzialmente distruttive per le strutture.

È chiaro quindi che, in gran parte, la composizione architettonico-ingegneristica, sarà influenzata dal luogo che verrà scelto come migliore per un iniziale habitat. Sia Marte che Luna posseggono territori con caratteristiche geofisiche differenti e non presentano un suolo sempre costante (esattamente la stessa regola che vale sulla Terra). Nel caso della tesi di riferimento la scelta cade sull'opzione di Mawrth Vallis<sup>284</sup> nella quale si ipotizza la costruzione di un sistema modulare a partire dall'idea delle bolle<sup>285</sup> che consentirebbero di occupare al meglio il terreno o i lava tube. Ovviamente necessiterebbero di una struttura di supporto ma non è la prima volta che si considera l'opzione di habitat gonfiabili per l'esplorazione spaziale proprio perché garantiscono una elevata versatilità permettendo di realizzare spazi di dimensioni maggiori con un minor impiego di materiali<sup>286</sup>.

Alternativa al sistema *inflating*<sup>287</sup> è quello della stampa tridimensionale in cui l'azienda ICON con sede ad Austin ha avviato una collaborazione con NASA, grazie alla quale è iniziata una ricerca per lo studio di sistemi di progettazione che si basano sullo sfruttamento di risorse *in situ*<sup>288</sup>.

Tuttavia, indipendentemente dal sistema scelto, la modularità e la componibilità dei sistemi resta la chiave per una progettazione efficace e la riconsiderazione di quanto appreso dall'esperienza sulla Terra nel corso dei secoli diventa fondamentale. Riprendendo quindi lo schema definito nel capitolo precedente, è possibile proseguire con la valutazione dei singoli ambienti paragonata con il costruito terrestre a testimonianza e rafforzamento delle percentuali precedentemente inserite.

La ricerca svolta nella tesi di Dmytro Khyzhniak rappresenta un esempio di come multidisciplinarietà e collaborazione si uniscano. Dunque, per ogni area sono stati scelti, sulla base delle assunzioni dedotte dalla ricerca, unita con quanto trattato nei capitoli precedenti, progetti terrestri realizzati che aiutino a comprendere come le conoscenze a nostra disposizione utili nella definizione dei singoli ambienti o della proporzione dimensionale tra zone.

<sup>276</sup> D. KHYZHNIAK, 2022.

<sup>277</sup> *Ivi*, p. 140.

<sup>278</sup> “Per un membro dell'equipaggio, si tratterebbe di 1 kg di ossigeno al giorno, di cui circa 0,8 riciclati, 1 kg di cibo, 4 kg di acqua potabile di cui 0,8 riciclati e il resto utilizzato per il lavaggio, e 26 kg di acqua di lavaggio di cui 0,9 recuperati.” *Ivi*, p. 141.

<sup>279</sup> Si veda il capitolo 8 (Marte), della presente tesi di laurea.

<sup>280</sup> *Ivi*, pp. 174-177.

<sup>281</sup> DAVIS R., CHO L., McDONALD E., O'BRIEN J., PARKS M., 2022.

<sup>282</sup> “[...] più è alto il sito, minore è l'atmosfera, il che significa meno aria per rallentare un veicolo spaziale durante l'atterraggio” *Ibidem*.

<sup>283</sup> CAPLINGER M., 1994.

<sup>284</sup> Una delle più antiche valli del pianeta Marte, in cui sono stati osservati minerali argillosi. È considerata come un buon punto di atterraggio di sonde e non solo. *Mawrth Vallis*, disponibile al sito: <https://science.nasa.gov/resource/mawrth-vallis-3-d/>, ultima consultazione novembre 2024.

<sup>285</sup> *Ivi*, pp. 158-177

<sup>286</sup> DAVID L., 2024.

<sup>287</sup> Con sistema *inflating* si intende la categoria di costruzioni che presuppongono un pallone o una qualsiasi struttura che viene trasportata e poi gonfiata direttamente nel luogo prescelto.

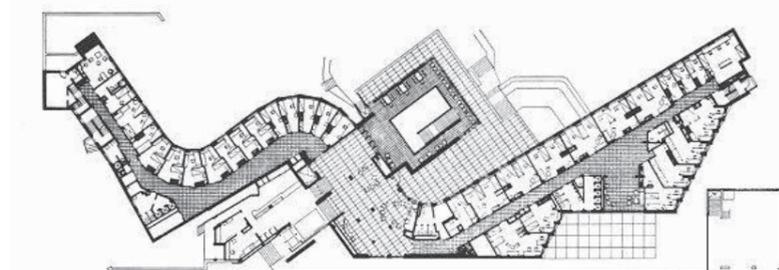
<sup>288</sup> ICON TEAM, 2023.

## Aree individuali



Le residenze universitarie sono il luogo per antonomasia dove coesistono armonicamente luoghi individuali e collettivi. Baker House (1947-'48), progetto di Alvar Aalto, raccoglie al suo interno non solo principi teorici ma anche pratici di gestione dello spazio in funzione delle esigenze e dell'alternanza materica. CURTIS W.J.R, 2006, pp. 454-455.

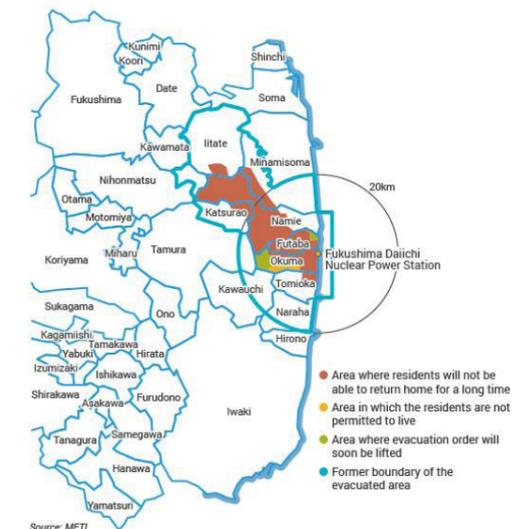
- ▶ Alvar Aalto, dormitorio Baker House, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1947-48. Ibidem.



- ▶ Pianta del dormitorio Baker House. La distinzione di destinazione è visiva e planimetrica: aree individuali nelle zone curvilinee e zone comuni in quelle rettangolari. Fonte: <https://www.archdaily.com/61752/ad-classics-mit-baker-house-dormitory-alvar-aalto>, u.c. novembre 2024.

## Generazione e stoccaggio di energia

State of Reconstruction of Fukushima Prefecture

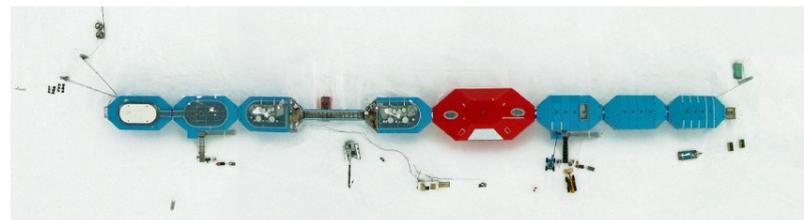


- ▶ Stato di contaminazione delle aree attorno a Fukushima, post incidente del 2011. Fonte: <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/fukushima-daichi-accident>, u.c. novembre 2024.

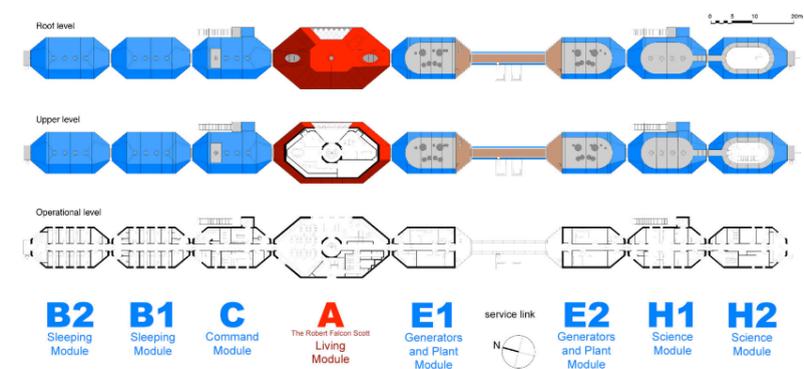


- ▶ Fotografia della centrale di Chernobyl, dopo l'esplosione del reattore, nel 1986. Fonte: <https://www.cultura.trentino.it/Biblio/Approfondimenti/accaddeoggi-26-aprile-1986-disastro-di-Chernobyl>, u.c. novembre 2024.

## Luoghi di svago e luoghi comuni



- La stazione Halley VI è la prima struttura di ricerca temporanea costruita sul ghiaccio, nel Mare di Weddel. Ha come scopo quello di fornire spazi utili allo studio di dati meteorologici, è costruita con schema modulare e possiede un modulo (di colore rosso) posizionato al centro per le aree, come la mensa, che diventano zone comuni per socializzare. Fonte: <https://www.bas.ac.uk/polar-operations/sites-and-facilities/facility/halley/>, ultima consultazione novembre 2024.



- Moduli e layout della stazione di ricerca. Fonte: <https://www.bas.ac.uk/polar-operations/sites-and-facilities/facility/halley/halley-research-station-module-layout/>, ultima consultazione novembre 2024.

## Aree per le colture



- L'esperienza terrestre per la progettazione di luoghi adatti alla coltivazione si traduce oggi in serre cilindriche dove avvengono gli effettivi esperimenti di mono o inter coltura. Nelle fotografie uno studio dell'Università di Wageningen (Paesi Bassi) Fonte: GRANATH B., 2017.

## Zone laboratoriali



Le strutture laboratoriali possono svilupparsi in superficie o nel sottosuolo in base al tipo di ricerca e al grado di protezione per il luogo o per la popolazione si richiede. Ne esistono diversi esempi collocati in diverse parti del Mondo. Sono tendenzialmente strutture di medie dimensioni che si sviluppano per compartimenti.

- Sale dei LNGS, in Italia. Fonte: <https://gallery.lngs.infn.it/>, ultima consultazione novembre 2024.



- Struttura di contenimento, sala principale dei laboratori. Ibidem.

## Zona sicura



- Durante la Guerra Fredda vennero costruiti diversi bunker in giro per il mondo. Indipendentemente dalla loro dimensione erano genericamente strutturati nello stesso modo. Possedevano una stratificazione materica (spesso con calcestruzzo), avevano una zona di decontaminazione o intermedia di dimensioni variabili e soprattutto possedevano qualche tipo di comunicazione esterna. La foto mostra una ricostruzione del bunker collocato all'estremità meridionale di Llandrindod Wells dove era predisposto uno spazio interno in costante dialogo con lo spazio circostante attraverso rilevatori e sensori. Fonte: <https://blackmountainsarchaeology.com/2022/12/09/royal-observation-corps-underground-monitoring-post-llandrindod-wells/>, ultima consultazione novembre 2024.

## LINEE GUIDA PER UN IPOTETICO MODELLO ABITATIVO

Il terzo progetto, utilizzato per concludere la trattazione, è riferito all'unico satellite naturale della Terra. È forse il più semplice rispetto ai precedenti a livello compositivo ma possiede il vantaggio di poter essere il primo modulo abitativo effettivamente realizzabile.

Il modulo, che sarà prodotto dalla Thales Alenia Space, in collaborazione con l'ASI e con altre aziende minori del territorio italiano, farà parte del più grande sviluppo della Stazione Spaziale prevista per Luna in cui ne sono previsti tre di produzione e progettazione italiana e sarà comprensivo nel programma Artemis<sup>289</sup>.

Il Multi Purpose Habitat (MPH) è stato annunciato nell'estate del 2024 e, come suggerisce il nome, l'idea è di creare un ambiente versatile e sicuro per la permanenza su Luna, così da generare le prime effettive valutazioni sulla permanenza su un altro Corpo Celeste, in vista delle future missioni sul più lontano Pianeta Rosso<sup>290</sup>.

“L'HABITAT DELLA SUPERFICIE LUNARE MPH SARÀ LARGO TRE METRI E LUNGO SEI, CON UNA MASSA DI CIRCA 15 TONNELLATE. SARÀ DOTATO DI RUOTE, CHE GLI CONSENTIRANNO DI ESSERE POSIZIONATO PER SUPPORTARE

<sup>289</sup> Lunar Multi-Purpose Habitat activities officially underway, disponibile al sito: <https://www.thalesaleniaspace.com/en/news/lunar-multi-purpose-habitat-activities-officially-underway>, ultima consultazione novembre 2024.

<sup>290</sup> PARNSON A., 26 Luglio 2024.

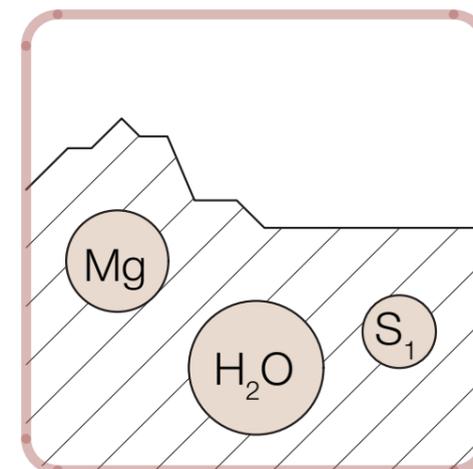
MISSIONI CON EQUIPAGGIO IN DIVERSE POSIZIONI SULLA SUPERFICIE LUNARE. L'HABITAT SARÀ IN GRADO DI SUPPORTARE DUE ASTRONAUTI PER UNA MISSIONE ALL'ANNO, DELLA DURATA COMPRESA TRA 7 E 30 GIORNI. SARÀ ANCHE IN GRADO DI SUPPORTARE EQUIPAGGI PIÙ GRANDI PER BREVI PERIODI IN CASO DI EMERGENZA. QUANDO L'HABITAT NON SUPPORTA UN EQUIPAGGIO, CONDURRÀ AUTONOMAMENTE ESPERIMENTI SCIENTIFICI.”<sup>291</sup>

L'importanza del progetto citato è inversamente proporzionale alla sua dimensione. Poter effettivamente testare un oggetto artificiale permetterà di valutare tutti i problemi che si conoscono e quelli che eventualmente non si sono ancora presi in considerazione. Pensare ad un habitat di dimensioni ridotte, la cui funzione non è determinata in maniera definitiva e la cui adattabilità non è solo rispetto all'interno ma anche alla manovrabilità esterna, rendono più fattibile ed economicamente accettabile la colonizzazione di altri pianeti, almeno in una prima fase.

Nell'ottica, dunque, di valutare i punti fondamentali della presente tesi, si procede con l'elaborazione di un concept utile che schematizzi quanto riportato integrando le considerazioni fatte in precedenza. L'intenzione non è dunque quella di determinare un progetto completo ma di fornire delle linee generali che possano essere sviluppate successivamente ed adattate al Pianeta prescelto per le missioni.

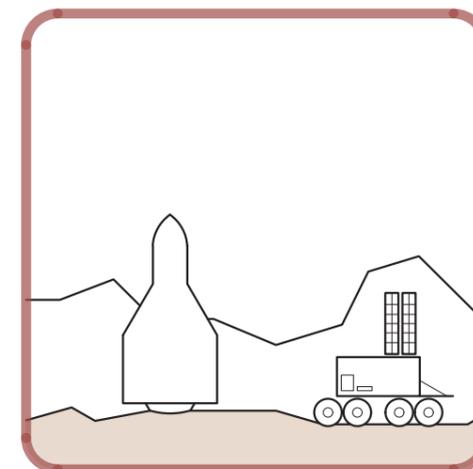
<sup>291</sup> PARNSON A., 20 Settembre 2024.

FASE  
1



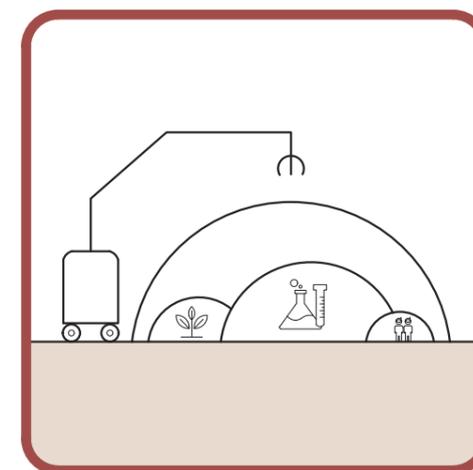
- I. Rilevazioni materiche
- II. Valutazioni chimico-fisiche
- III. Definizione dei luoghi di atterraggio e di sviluppo degli habitat

FASE  
2

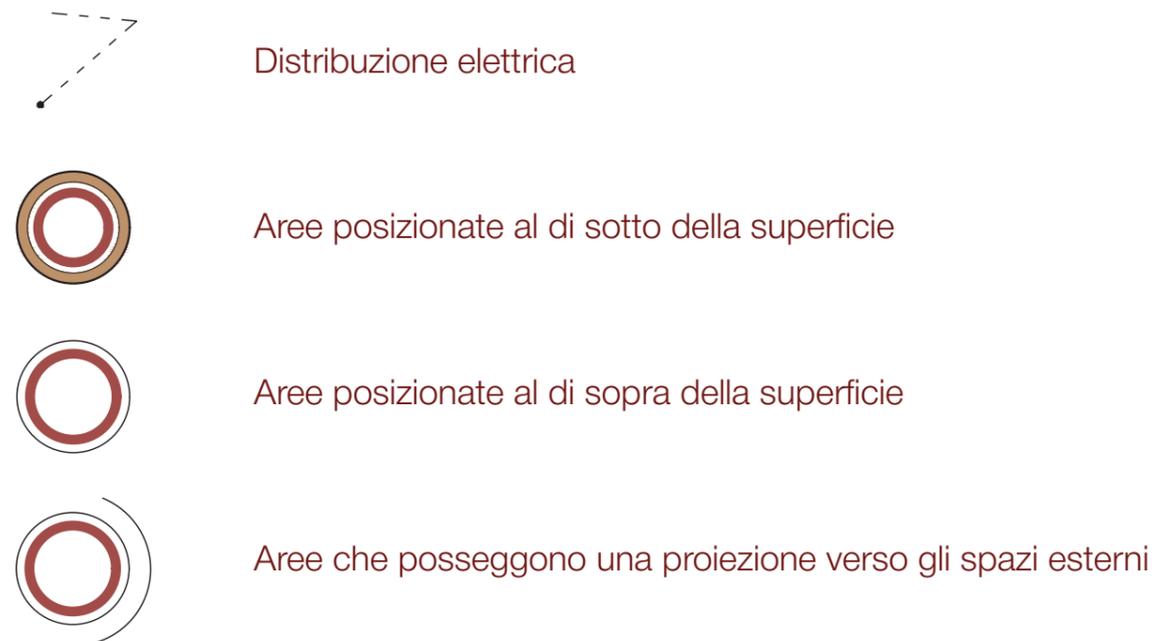


- I. Infrastrutture
- II. Missioni a breve termine
- III. Indagini scientifiche

FASE  
3



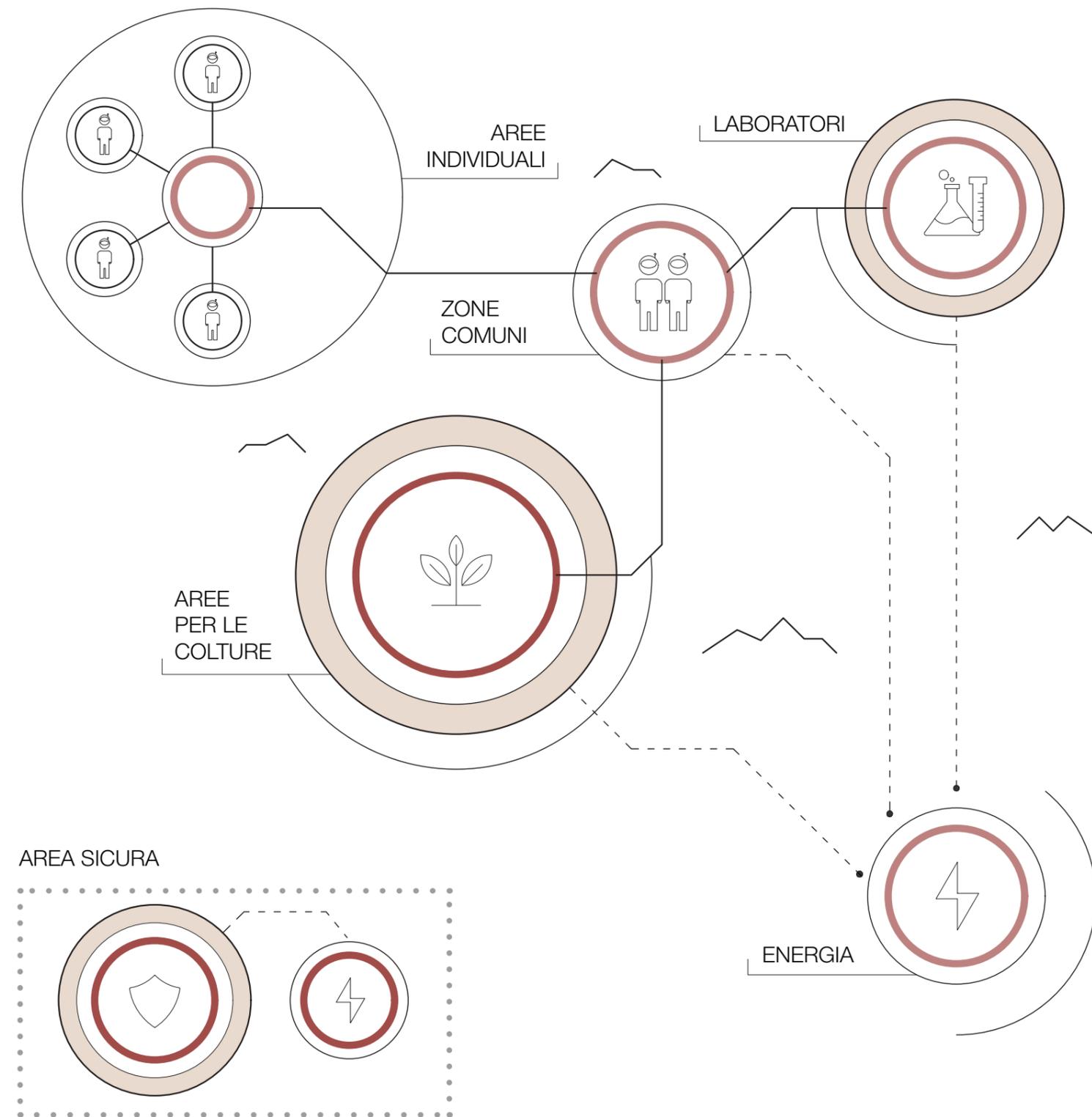
- I. Utilizzo delle risorse in situ per l'estensione del perimetro
- II. Missioni a lungo termine



Il concept nella pagina accanto integra lo schema nella pagina precedente dove veniva ricordato che, qualsiasi tipo di insediamento si intenda progettare, sarà caratterizzato da fasi e che queste saranno parte di una strategia più ampia di azione.

Restano validi i concetti di modularità e di autosufficienza che vengono qui trasportati in una serie proporzionale di aree che ospiteranno parti differenti dell'insediamento umano. Ognuna di esse terrà conto delle necessità delle specifiche missioni e possiederà una distinta gerarchia spaziale.

Quanto prodotto è da intendersi come adattabile a qualsiasi superficie, in quanto non sono precisate le specifiche progettuali. Essendo le missioni verso Marte e verso Luna in due fasi diverse non sarebbe corretto creare una soluzione univoca. Se del primo non si possiedono ancora informazioni concrete e non si è in grado di definire una effettiva data di inizio delle operazioni; per il satellite terrestre si possono già stabilire una serie di assunzioni basate sugli atterraggi già effettuati. Questi consentono, ad esempio, di avere luoghi di atterraggio conosciuti e sicuri.



# SOSTENIBILITA' E COSTRUZIONE NELLO SPAZIO

Il termine *sostenibilità* è entrato a far parte del lessico comune, sia in ambito spaziale che architettonico. A partire dal 2015, anno dell'Accordo di Parigi sui cambiamenti climatici<sup>292</sup>, sono state chiarite le definizioni e le politiche necessarie per lo sviluppo sostenibile. È stato stabilito che:

“LO SVILUPPO SOSTENIBILE È STATO DEFINITO COME UNO SVILUPPO CHE SODDISFA I BISOGNI DEL PRESENTE SENZA COMPROMETTERE LA CAPACITÀ DELLE GENERAZIONI FUTURE DI SODDISFARE I PROPRI. [...] PER RAGGIUNGERE UNO SVILUPPO SOSTENIBILE, È FONDAMENTALE ARMONIZZARE TRE ELEMENTI FONDAMENTALI: CRESCITA ECONOMICA, INCLUSIONE SOCIALE E PROTEZIONE AMBIENTALE. QUESTI ELEMENTI SONO INTERCONNESSI E SONO TUTTI CRUCIALI PER IL BENESSERE DEGLI INDIVIDUI E DELLE SOCIETÀ.”<sup>293</sup>

Il percorso prefissato prevede non solo pubblicazioni e ricerca, ma anche eventi ed

<sup>292</sup> Balocco V., 2024.

<sup>293</sup> *The Sustainable Development Agenda*, disponibile al sito: [azioni pratiche. La portata potenziale del progetto è su scala globale ed influisce su tutte le industrie del Globo comprese, appunto, quelle edilizie e spaziali. Esistono, a livello sia teorico che pratico, molti punti in comune tra i due mondi che si riflettono nelle applicazioni quotidiane. Un esempio è il passaggio dall'Economia Lineare a quella Circolare.](https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/#:~:text=Sustainable%20development%20has%20been%20defined,to%20meet%20their%20own%20needs,ultima consultazione luglio 2024.</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

Partendo dal presupposto che il ruolo dei cambiamenti climatici ha accentuato, negli scenari economici, i limiti del sistema economico lineare e che questi, come noto, non avranno infatti risvolti solo in termini di variazioni climatiche lente, ma anche in variabilità improvvisa e violenta, è stato studiato dalla Fondazione Ellen Mac Arthur<sup>294</sup> che il passaggio da un sistema lineare ad uno circolare contribuirebbe alla riduzione del 40% delle emissioni nella produzione di materiali industriali. Il Life Cycle Thinking concepisce pertanto il progetto come un processo che si sviluppa lungo tutto il suo ciclo di vita, alle diverse scale: materiali, sistemi, edifici,

<sup>294</sup> *Ellen Mac Arthur Foundation*, disponibile al sito: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>, ultima consultazione agosto 2024.

## Capitolo

# 11

## Sostenibilità e costruzione nello spazio

- Cosa si intende con sostenibilità oggi, sulla Terra **144**
- Cambiare punto di vista: la sostenibilità nello spazio **147**

infrastrutture e non solo. È un sistema sostanzialmente rigenerativo che sostituisce il concetto di fine vita con, ad esempio, il restauro<sup>295</sup>.

Rappresenta un cambiamento paradigmatico nel modo in cui concepiamo la produzione e il consumo. Contrariamente al modello lineare tradizionale, basato sul concetto di "prendere, produrre e smaltire", si concentra sulla riduzione degli sprechi, l'estensione della vita utile dei materiali e la rigenerazione dei sistemi naturali. Non solo promuove un uso più efficiente delle risorse, ma diventa anche un principio guida per la progettazione di edifici sostenibili: questi devono essere progettati pensando alla loro intera vita utile, prevedendo la possibilità di aggiornamenti e ristrutturazioni che ne prolunghino l'uso con materiali facilmente smontabili e riutilizzabili. Presuppone un sistema economico pensato per rigenerarsi, in cui tutte le attività, dall'estrazione alla produzione, sono organizzate così che i rifiuti diventino risorse. Questi sono gestiti in modo tale da essere smantellati e riutilizzati più volte con fini produttivi creando valore aggiunto e disaccoppiando la crescita economica dallo sfruttamento delle risorse naturali<sup>296</sup>.

Il principio fondamentale non è quello di mettere in discussione il sistema economico attuale, spaziale ed architettonico, ma di renderlo migliore attingendo all'innovazione tecnologica e all'efficientamento dei processi produttivi. Per

<sup>295</sup> FREGONARA E., 2021.

<sup>296</sup> *Ibidem*.

lo Spazio, come per la Terra, si intende usare l'architettura circolare. Trovandoci a maggior ragione in un contesto con risorse limitate, di difficile estrazione e di complesso utilizzo, è imprescindibile trovare modi per usare tutto più volte. Il processo industriale, all'interno dell'economia circolare, si fonda sull'utilizzo di energia proveniente da fonti naturali rinnovabili e dunque, per applicare il concetto di circolarità, il sistema che più probabilmente verrà utilizzato sulla Luna è quello dei pannelli solari (il cui utilizzo è stato efficientato grazie sia all'impiego sulla Terra che sulla ISS). L'affinamento delle modalità aiuterebbe a non commettere nuovamente errori già commessi come l'utilizzo indiscriminato delle materie prime fino al loro completo e totale esaurimento.

### COSA SI INTENDE CON SOSTENIBILITA' OGGI, SULLA TERRA<sup>297</sup>

Dal punto di vista chimico si intendono come inquinanti, tutti gli agenti chimici, fisici e biologici che modificano le caratteristiche ambientali di un luogo. Questi sono causati da attività che producono emissioni di cui solo una parte viene assorbita e smaltita dall'atmosfera. I primi sono chiamati *flow pollution*, ossia ciò che provoca un danno legato al flusso dei residui (alla velocità in cui sono rilasciati) e il cui danno si ferma quando si ferma il flusso. I secondi, *stock pollution*, producono invece un danno in

<sup>297</sup> VALLINO E., 2021.

funzione dell'accumulo residuo dato dalla concentrazione nell'ecosistema il cui aumento è direttamente proporzionale alla riduzione della capacità di assorbimento dell'ecosistema. L'ordine di grandezza al quale questi flussi creano danni dipende da un elevato numero di variabili, tra cui la posizione geografica.

Possono poi essere suddivise le fonti di inquinamento in ulteriori categorie (stazionare o mobili, con diffusione uniforme o non uniforme) che presuppongono sempre che i processi fisici e chimici richiedono tempo. Il tasso di degrado delle sostanze inquinanti è basso ed in ogni periodo di un dato tempo resterà una precedente porzione di danno che si accumulerà alla successiva. È noto che ridurre a zero questo impatto è pressoché impossibile e, nel tempo, si è stabilito un quantitativo accettabile determinato dal criterio di efficienza, il modello statico dei flussi di inquinamento.

Assunto dunque che l'inquinamento sia osservabile e che sia tecnicamente fattibile controllarlo, nella teoria economica la quantità ottimale si avrà quando il beneficio marginale di una unità aggiunta dall'attività sarà uguale al costo marginale della stessa. Di base, la curva del costo sociale è positiva: il danno cresce con l'inquinamento ma più l'ambiente supera le capacità di assorbimento e più è alto il tasso a cui i danni arrivano. Il beneficio sociale avrà dunque una curva negativa perché costa sempre di più inquinare meno e il danno da inquinamento è un costo esterno (negativo) e i

costi ricadono sulla popolazione che non ha facoltà decisionale.

Esistono diverse strategie per gestire le emissioni e garantire una ricaduta positiva, ad esempio i permessi di emissioni commercializzabili. Queste possono essere acquistate tra le singole imprese e si crea un mercato delle emissioni con una conseguente redistribuzione. Il sistema del *cap and trade system* è stato applicato nel 1995 negli USA e nel 2005 in Europa: è stata fissata dal governo una soglia massima di emissione possibile e sono stati distribuiti i permessi con un massimo per corporazione. Nel 2005 il sistema ha coinvolto circa undicimila impianti energetici intensivi ottenendo molto successo e garantendo, al 2020, di ottenere una riduzione del 21% sul totale emesso.

Seppur le intenzioni siano buone, i villaggi olimpici sono un chiaro esempio di come, partendo da un pensiero sostenibile, non sempre i principi base siano stati applicati in modo efficiente. Questo è avvenuto a Torino nel 2006<sup>298</sup> come nel 2024 a Parigi.

Il Villaggio Olimpico francese, collocato nei comuni di Saint-Denis, Saint-Ouen e Île-Saint-Denis, ha avuto come obiettivo ambizioso quello di diventare il progetto più sostenibile mai realizzato lasciando, a lungo termine, una eredità positiva ai suoi abitanti. Sono stati in esso sviluppati sistemi di raccolta e riutilizzo delle acque meteoriche, gli edifici sono stati

<sup>298</sup> BOSIA D., SAVIO L., 2016.

progettati per essere ad alta efficienza energetica e sono state favorite le politiche di mobilità sostenibile agevolando la costruzione di piste ciclabili e percorsi pedonali<sup>299</sup>. Tuttavia, la sostenibilità non è solo ascrivibile ad un utilizzo minore delle risorse naturali ma prevede il benessere degli individui che ne fanno parte. È chiaro che, se confrontate alle edizioni passate, ci sia stato un passo in avanti ma è anche vero che, essendo passati molti anni dalle teorizzazioni sull'inquinamento dovuto dalle manifestazioni sportive, potevano essere fatte scelte più oculate.

Sebbene sia previsto che tutte le sedi delle Olimpiadi del 2024 siano facilmente accessibili in bicicletta o con i mezzi pubblici, un'importante eccezione è rappresentata dalle gare di surf, che si svolgeranno a Teahupo'o, un villaggio sulla costa sud-occidentale di Tahiti, nella Polinesia francese. Questo luogo è noto per le sue onde, rendendolo una tappa fondamentale per il campionato mondiale di surf. Gli organizzatori hanno previsto l'arrivo di più di mille persone per l'evento sull'isola, di cui almeno la metà arriveranno in aereo. Inoltre, seppur il villaggio olimpico per gli atleti è costituito da case modulari temporanee (ispirate alle abitazioni tradizionali polinesiane, che verranno trasformate in alloggi sociali una volta terminate le Olimpiadi) è stata sostituita la

tradizionale torre di legno per i giudici e i fotografi con una nuova struttura in alluminio di maggiori dimensioni. Questa scelta ha sollevato forti critiche da parte della popolazione locale e degli osservatori internazionali, portando a una petizione con decine di migliaia di firme e diverse manifestazioni per il mantenimento della struttura originaria. L'unico accordo trovato è stato però il ridimensionamento della nuova torre, che sarà installata su fondamenta in cemento ancorate alla barriera corallina<sup>300</sup>.

È chiaro che la preesistenza non era in grado di soddisfare le norme di sicurezza previste e che la collocazione della stessa era tale per cui fosse necessario garantire la resistenza agli agenti atmosferici ma viste le prerogative dell'evento potevano essere utilizzati altri luoghi rinunciando, forse, ad onde importanti ma garantendo una maggiore protezione della biodiversità terrestre e marittima ed una tutela dei luoghi. Spostare il problema dal vecchio continente non riduce l'impatto ambientale.

A distanza di diciotto anni non si è stati in grado di compiere il passo successivo per la gestione delle risorse (e non solo) in modo efficiente. Seppur le prerogative siano diverse, l'obiettivo è lo stesso sia sulla Terra che su altri pianeti. Ad oggi soffriamo di emissioni passate e in futuro soffriremo di quelle presenti su scala globale. Il

<sup>300</sup> Ulteriori informazioni possono essere reperite nell'articolo *“Tra un mese Parigi 2024, ma non chiamiamole “olimpiadi sostenibili””* disponibile all'indirizzo: <https://economiecircolare.com/parigi-2024-olimpiadi-sostenibili/>, ultima consultazione agosto 2024.

cambiamento climatico (CC) testa il nostro quadro economico di efficienza ed equità sino al suo limite, l'aumento di CO2 nell'atmosfera produce processi che riducono il decadimento naturale e l'assorbimento da parte delle foreste. In aggiunta, la deforestazione incrementa il problema di deflusso. Le attuali politiche di mitigazione prevedono la riduzione dei gas serra, l'aumento dei pozzi di carbonio e migliori pratiche per ridurre il consumo di energia senza sacrificare la crescita ma un piano senza una applicazione non porta ad alcun miglioramento. L'esplorazione spaziale offre un'opportunità unica per ripensare le pratiche sostenibili: lo spostamento di prospettiva su ambienti estremamente limitati garantisce la necessità di una applicazione diversa e più efficiente dei sistemi conosciuti per la creazione di habitat completamente autosufficienti.

## CAMBIARE PUNTO DI VISTA: LA SOSTENIBILITA' NELLO SPAZIO

Seppur limitate, le risorse terrestri posseggono una maggiore variabilità rispetto a Luna e Marte, prima di tutto perché la conoscenza del nostro pianeta è maggiore. Dunque, mentre qui la concertazione è sulla riduzione dell'impatto ambientale e alla gestione dello stock già presente, nello spazio si parla di contaminazione biologica e chimica legata alla gestione di risorse per la creazione di habitat. Inoltre, lo

stesso Franco Ongaro, responsabile spazio di Leonardo, specifica che:

“GUARDANDO AL FUTURO, LA SOSTENIBILITÀ È LA MAGGIORE SFIDA DEL NOSTRO TEMPO [...] I SATELLITI E I DATI CI AIUTERANNO MOLTISSIMO A CAPIRE, PREDIRE E METTERCI AL RIPARO. NOI DOBBIAMO AGIRE PER EVITARE IL GLOBAL WARMING NEL 2050 MA I FENOMENI METEO ESTREMI SONO GIÀ QUI: DOBBIAMO CONVIVERCI E AIUTARE A PREVENIRE QUESTI FENOMENI PIÙ VIOLENTI. [...]. IL GPS HA RESO OBSOLETI INUTILI I FARI SULLE COSTE: IL NOSTRO SISTEMA ESA AEOLUS HA DIMOSTRATO CHE POSSIAMO FARE A MENO DEI PALLONI SONDA E DELLE CENTRALINE DEL VENTO IN MONTAGNA PERCHÉ UNA VOLTA ALLA SETTIMANA IL SISTEMA MAPPA I VENTI. CON IL PROGETTO DELLA COMMISSIONE EUROPEA, IRIS, AVREMO UNO STARLINK PER LE CONNESSIONI VIA SATELLITE. LO SPAZIO È UNA PARTE IMPORTANTE DELL'INFRASTRUTTURA CIVILE DI OGNI PAESE MODERNO, ANCHE PER LA CYBER RESILIENZA”<sup>301</sup>.

Oltre al cogliere l'opportunità di usarlo come campo di sperimentazione va considerato il modo migliore di conquistarlo senza distruggerlo; attualmente, come qualsiasi cosa relativa all'essere umano, anche l'aerospazio (per il momento) produce rifiuti. Sebbene non tutti pericolosi nel breve periodo vanno limitati. Questi artefatti attualmente presenti possono essere categorizzati come segue.

<sup>301</sup> SIDERI M., 2023.

I primi possono essere ascritti a ciò che, partito dalla Terra, è diretto verso lo spazio interstellare. Sono tendenzialmente missioni che, concluso il loro compito, sono state spedite verso lo spazio aperto, nella speranza che, come la Voyager 1, diventino simbolo dell'*Homo sapiens* per il resto del Cosmo. Vi sono poi tutti i residui delle missioni che sono andate perse a causa di guasti alle comunicazioni o problemi tecnici, o ancora quelli deliberatamente abbandonati dopo che il loro utilizzo nel sistema era terminato. Hanno ora una loro orbita eliocentrica intorno al sole e sono più di cinquanta (solo sette sono missioni ancora attive), di cui ventinove solo degli Stati Uniti. Infine, tutti i rifiuti spaziali che circondano la terra<sup>302</sup>.

Questi ultimi sono ovviamente i più pericolosi per gli esseri umani e per l'ecosistema perché periodicamente scendono in caduta libera verso il suolo. Comprende decine di milioni di pezzi: schegge di satelliti, scorie di motori a razzo, refrigerante delle centrali nucleari e simili. La maggior parte di essi brucerà a contatto con l'atmosfera ma il primo problema è già quello di trovare un modo di produrne di meno, proprio perché ciò che già presente è potenzialmente dannoso per le missioni future<sup>303</sup>.

La Nasa possiede un piano di sostenibilità il cui punto fondamentale è l'utilizzo e non l'esaurimento delle risorse affinché le prossime generazioni abbiano le stesse possibilità di

impiego<sup>304</sup>. L'esperienza che abbiamo può aiutarci in questo senso. Il concetto considerato come moderno di *zero waste* era intrinseco per culture antiche come quella indigena nordamericana: tutto, dai rifiuti organici ai materiali da costruzione, venivano riutilizzati. Alla base delle loro pratiche c'era un rispetto per la Terra come essere vivente che ne incoraggiava il senso di responsabilità e di amministrazione consapevole. Quindi, sia a livello architettonico che agricolo, sapendo che è effettivamente fattibile<sup>305</sup> colonizzare, possiamo stabilire che i sistemi antichi possono essere d'aiuto. Ad esempio, l'intercropping, è una pratica antica che consiste nel coltivare contemporaneamente due o più specie diverse nello stesso campo. Questo metodo si distingue dalla monocoltura "tradizionale", in cui viene piantata una sola specie per campo. È noto da tempo che offre numerosi vantaggi rispetto alla monocoltura, tra cui un incremento della biomassa vegetale e una maggiore resa di una o più delle specie coinvolte, un miglioramento del valore nutrizionale del raccolto e una più efficiente utilizzazione delle risorse all'interno del sistema agricolo. Questi effetti benefici sono stati documentati sia in esperimenti sul campo che in quelli condotti in serra. I benefici dell'intercropping si manifestano spesso in un utilizzo più efficace delle risorse, se confrontato con le prestazioni delle singole specie coltivate

<sup>304</sup> HÄUPLIK-MEUSBURGER S., BANNOVA O., 2016.

<sup>305</sup> GONÇALVES R., WIEGER WAMELINK G. W., VAN DER PUTTEN P., EVERS J. B., 2024.

separatamente in monocoltura<sup>306</sup>. In questo caso unendo dunque le conoscenze architettoniche con quelle riferite alla coltura siamo in grado di fornire, potenzialmente, un ambiente utile alle colture sul pianeta Marte. Vi sono ovviamente condizioni avverse dovute principalmente alle condizioni della regolite: alcune caratteristiche fisiche e chimiche della regolite marziana, come l'elevata compattezza e il pH alto, possono creare un ambiente sfavorevole per la sopravvivenza dei batteri rizobi e limitare la disponibilità di nutrienti necessari per la crescita delle colture. Migliorarne le condizioni, ad esempio riducendo la compattezza del suolo e riciclando i rifiuti creando del compost aumenterebbe la disponibilità dei nutrienti. Lavorare con la natura invece di andarle contro, anche in luoghi avversi come quelli marziani, può fornire una spinta verso la direzione prefissata dalle agenzie spaziali di colonizzare altri pianeti.

Se da un lato le tecniche antiche possono compensare i nutrienti mancanti tra specie vegetali diverse, dall'altra possono aiutare concettualmente a formulare ambienti protetti.

<sup>306</sup> *Ibidem*.

<sup>302</sup> O'LEARY B. L., CAPELOTTI P.J., 2015.

<sup>303</sup> *Ibidem*.

## Appunti e approfondimenti

# IL PARERE DEGLI ESPERTI

Nella conclusione del lavoro si è trattato di sostenibilità. Il tema, in realtà spesso ripreso, risulta fondamentale sia sulla Terra che al di fuori di essa, ed è per questo motivo che l'opportunità di un confronto con il COO di Astroscale, azienda leader nello sviluppo spaziale sostenibile, è stato importante per permettere di trarre delle conclusioni appropriate.

*In che modo lavorare in un'azienda che coniuga sostenibilità e spazio ha cambiato la sua visione rispetto all'esplorazione?*

Nell'utilizzo e nell'esplorazione dello Spazio, garantire un appropriato livello di sostenibilità è stato considerato almeno fin da quando Donald Kessler ha elaborato il concetto di Sindrome di Kessler (riferita al rischio dell'aumento esponenziale dei detriti in orbita terrestre) alla fine degli anni '70.

L'ambiente spaziale è fondamentalmente una risorsa non rinnovabile che rischia di essere contaminata in modo permanente se non vengono adottate misure preventive. Tuttavia, anche se siamo consapevoli dell'importanza della sostenibilità da decenni, fino a poco tempo fa non era una considerazione significativa per aziende e Paesi.

Lavorare per un'azienda che ha fatto della sostenibilità il suo obiettivo primario, ha sicuramente modificato il mio modo di vedere le cose. Ora è chiaro, per me e per il resto del mondo, che non possiamo continuare a utilizzare ed esplorare lo spazio senza prestare la dovuta attenzione a garantire la sostenibilità a lungo termine.



COO at ASTROSCALE

## Chris Blackerby

*Lavora in Astroscale come Group COO dall'agosto 2017 e guida lo sviluppo strategico globale per l'azienda. Prima di entrare in Astroscale, ha ricoperto il ruolo di Attaché for Asia per NASA ed è stato funzionario senior per la politica spaziale presso l'ambasciata statunitense di Tokyo. È stato consulente strategico per l'ambasciatore statunitense in Giappone e per funzionari senior del governo statunitense; ha agito come intermediario ufficiale tra NASA e i suoi partner in Asia nella negoziazione di accordi e nella risoluzione di controversie. Chris ha conseguito una laurea in Storia ed educazione presso l'Università di Richmond, un master in Relazioni internazionali presso l'Università di Rhode Island e un MBA presso la McDonough School of Business presso la Georgetown University.*

*Se dovesse spiegare le differenze tra sostenibilità nello Spazio e sulla Terra, come lo farebbe?*

In realtà sono piuttosto simili. In entrambi i casi, ci stiamo impegnando per fornire un servizio ai clienti assicurandoci di non ipotecare il nostro futuro. La sostenibilità è ovviamente direttamente collegata al mantenimento di buone condizioni ambientali. Questo è fondamentale sia nello Spazio che sulla Terra, sia finanziariamente che socialmente. Non possiamo tuttavia continuare, come azienda, se non gestiamo i costi e non aumentiamo i ricavi. Ma dobbiamo considerare come essere inclusivi al meglio, offrendo opportunità a tutti indipendentemente da genere, nazionalità, razza, ecc.

La conclusione è che, sia nello Spazio che sulla Terra, dobbiamo preservare l'ambiente e far crescere un ecosistema che apporti benefici alla società, tenendo sempre a mente il futuro.

*La gestione dei progetti diventa più difficile quando si parla di sostenibilità? Lei pensa che sia un vantaggio o un peso?*

Nel breve termine, è più difficile. Portare la sostenibilità nelle operazioni comporta costi aggiuntivi e richiede maggiore attenzione nella progettazione di una missione e nella scelta dei fornitori.

Quando abbiamo iniziato, e quando la maggior parte delle aziende di tecnologia avanzata iniziano le operazioni, la sostenibilità a volte è una questione di secondo ordine. La prima priorità è far crescere un team, dimostrare la strategia, costruire una base di clienti, ecc. Portare le pratiche sostenibili nella gestione dei progetti il prima possibile è sicuramente la migliore pratica e nel lungo termine diventa un

vantaggio. Ma c'è un equilibrio che deve verificarsi tra essere sostenibili dal punto di vista ambientale ed esserlo finanziariamente.

Sì. Al 100%. Imparare dal passato e da altri settori è fondamentale per capire come crescere in modo sostenibile. Non è facile, ma è l'unico modo in cui saremo in grado di garantire che l'esplorazione e l'utilizzo dello Spazio possano essere assicurati anche per le generazioni future.

*Il progetto della tesi è stato quello di mostrare come le tecniche storiche possano aiutare nella progettazione di habitat spaziali. Imparare dal passato può aiutare a ridurre sia i costi che il consumo di risorse. Lei cosa ne pensa?*

# CONCLUSIONI

Ogni edificio oggi progettato possiede, in sé, le conoscenze che nei millenni sono andate sommandosi. Sappiamo che una copertura in una zona montana è bene non sia in paglia, così come abbiamo imparato che un cimitero è bene non sia in centro città. In qualsiasi scala si progetti, le connessioni con la storia dell'architettura sono strette e bidirezionali. La progettazione in ambienti extra-terrestri non fa differenza. L'esplorazione del Cosmo è intimamente legata all'evoluzione del pensiero architettonico e ingegneristico e questo ne ha un impatto determinante, sia nello sviluppo di soluzioni innovative, che nella generazione di un percorso continuativo tra passato e futuro.

L'adattamento di materiali, risorse e tecnologie impiegate in contesti terrestri dimostra che le sfide già affrontate sulla Terra possono essere riformulate e applicate con successo in ambienti lunari e marziani. La capacità dell'essere umano di innovare si configura come base per la progettazione di habitat. In questi progetti, le discipline ingegneristiche, architettoniche e umanistiche devono convergere armoniosamente, non solo per garantire la funzionalità tecnica delle strutture, ma anche per assicurare il benessere psicofisico degli esseri umani che le abiteranno.

In questo contesto, l'architetto ha un ruolo poliedrico e la sua funzione diventa quella di mediatore. Lo sviluppo naturale delle competenze professionali porterà necessariamente ad una evoluzione che, come in qualsiasi altro ambito, non dimenticherà di quanto è stato prima di lui, ma integrerà e sfrutterà ogni punto fondamentale.

Si è poi compreso come anche la sostenibilità possegga un ruolo importante. La necessità di garantire la sopravvivenza a lungo termine in ambienti extraterrestri impone l'adozione di strategie avanzate di gestione delle risorse, un tema cardine affrontato in tutta la tesi. L'approccio progettuale, pertanto, deve considerare le necessità fondamentali dell'essere umano, come delineato nella gerarchia di Maslow, adattando tali concetti alle peculiarità dello spazio.

La Space Architecture non riguarda unicamente l'ambito tecnologico, ma anche componenti culturali e filosofiche. Incarna il desiderio dell'umanità di spingersi oltre i propri confini e di esplorare l'ignoto, non solo come una conquista tecnica, ma come espressione della volontà di superare i propri limiti, siano essi fisici o mentali. Per le future generazioni di architetti e ingegneri, questo campo rappresenta una sfida stimolante e un'opportunità per mettere in pratica le lezioni

Capitolo

# 12

Conclusioni

- Possibili implementazioni

156

apprese dalla storia dell'architettura, adattandole a un nuovo contesto che ha il potenziale di ridefinire il destino dell'umanità.

La tesi ha dimostrato che lo studio delle tecniche architettoniche tradizionali non solo è cruciale per il progresso, ma è fondamentale per garantire il successo delle future missioni umane. Conoscere e comprendere il passato consente di costruire un futuro più solido e consapevole, in cui l'architettura non si limita alla creazione di spazi abitabili, ma diventa uno strumento per esplorare la natura dell'essere umano e il suo posto nell'universo.

#### POSSIBILI IMPLEMENTAZIONI

La ricerca possiede una serie di spunti che potranno essere utili per l'approfondimento di molti dei temi trattati. Essendo così vasti possiedono, di per sé, diverse prospettive di studio e dunque di estensione. La possibilità di interagire con esperti di settori, che in qualche modo ne sono partecipi, ha reso la comprensione delle singole parti più semplici e qualunque tipo di ragionamento successivo dovrebbe rendere questa porzione di collaborazione più attiva. Inoltre, la partecipazione a convegni, conferenze e workshop ha reso le indagini più realistiche e complete e pertanto è un aspetto importante da mantenere.

Dunque, le possibili implementazioni potrebbero riguardare progetti per la superficie lunare in cui

vengano specificate ulteriormente analogie e punti in comune con le procedure conosciute. Ancora, nel momento in cui si possiederanno campioni marziani, si potrebbe procedere in maniera analoga anche per il Pianeta Rosso. A livello pratico, si potrebbe costruire un prototipo di habitat per la permanenza a lungo termine, attraverso la progettazione di strutture modulari e autosufficienti, capaci di utilizzare risorse in situ, come l'estrazione di acqua da ghiaccio su Marte o l'uso del suolo lunare come materiale da costruzione. In quest'ottica, le conoscenze storiche sull'uso sostenibile delle risorse naturali possono essere applicate per sviluppare soluzioni che minimizzino l'impatto ambientale.

Si potrebbe incrementare lo sviluppo di nuovi materiali in grado di sopportare condizioni estreme. La collaborazione può portare alla creazione di leghe metalliche leggere e super resistenti, rivestimenti protettivi e materiali compositi che migliorino la resistenza strutturale e la sostenibilità delle costruzioni rivalutando le conoscenze degli antichi popoli. Molti di questi materiali potrebbero poi avere applicazioni anche sulla Terra, soprattutto in settori come l'edilizia.

L'integrazione di competenze multidisciplinari e la collaborazione tra agenzie spaziali, enti di ricerca e aziende private ha dimostrato l'importanza di un approccio globale per la risoluzione dei problemi. Questo modello di cooperazione potrebbe poi essere implementato

anche in settori come la pianificazione urbana, la gestione delle emergenze e lo sviluppo infrastrutturale sostenibile, promuovendo uno scambio continuo di informazioni e tecnologie.

La tesi affronta un argomento infinitamente vasto ed include aspetti storici, progettuali, ingegneristici, chimici e psicologici. Sebbene il lavoro sia stato organizzato in maniera rigorosa è impossibile coprire in maniera assoluta tutte le possibili estensioni. Essendo dunque le ricerche scientifiche aperte e facenti parte di un discorso che riguarda numerosi esperti, la speranza è che dia vita ad un dibattito, favorevole o contrario e che dia spazio a futuri approfondimenti.

- AAVV, *Il ritorno alla Luna: Prospettive, collaborazioni e piani di sviluppo*, in “Rivista Trimestrale della Società Italiana per l’Organizzazione Internazionale”, quaderno 17, 2020, pp. 203-215.
- AAVV, *Navigation Strategy and Results for New Horizons’ Approach and Flyby of the Pluto System*, Conference paper of the AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, aug. 2015.
- AGENZIA SPAZIALE ITALIANA, *L’ambiente spaziale*, disponibile al sito: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.asi.it/wp-content/uploads/2019/07/2-Secondo-Capitolo-LISS\\_-\\_L\\_ambiente\\_spaziale.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.asi.it/wp-content/uploads/2019/07/2-Secondo-Capitolo-LISS_-_L_ambiente_spaziale.pdf)
- AHRENS C., CATALDO V., LEONE G., *Mars: A Volcanic World*, Springer, 2021, pp. 71-94.
- ALCUBIERRE M., *The Warp Drive: Hyper-fast Travel Within General Relativity*, in “Classical and Quantum Gravity”, vol.11, n.5, set. 2000.
- ALLEN J., *NASA SP-289, Apollo 15 Preliminary Science Report*, Summary of Scientific Results, 1971, p. 2-11
- ALTIERI E., SIMEONI M., PICCIN S., *Quanto e quando inquinano i razzi? La guida completa all’inquinamento dei lanci spaziali*, agosto 2022, disponibile al sito: <https://www.astrospazio.it/2022/08/03/quanto-e-quando-inquinano-i-razzi-la-guida-completa-allinquinamento-dei-lanci-spaziali/>, ultima consultazione aprile 2024.
- AMERIO C., CANAVESIO G., *Tecniche ed elementi costruttivi*, SEI, Torino 2011.
- ASI, *Space rider*, disponibile al sito: <https://www.asi.it/trasporto-spaziale/space-rider/>, ultima consultazione marzo 2024.
- BALBI A., *Cosa sappiamo dell’universo*, PODCAST in “Spotify”, dal 2022.
- BALOCCO V., *Accordo sul clima di Parigi: che cos’è, cosa chiede, come sta evolvendo*, giugno 2024 disponibile al sito: <https://www.esg360.it/normative-e-compliance/accordo-sul-clima-di-parigi-che-cose-cosa-chiede-come-sta-evolvendo/>, ultima consultazione luglio 2024.
- BANNOVA O., BAROFF L. (a cura di), *A realistic vision of the mars expedition: how many people must go?*, 62nd International Astronautical Congress, Cape Town 2010.
- BANNOVA O., *Kosmicheskaya arhitektura*, in “Взгляд в будущее”, n. 9, settembre 2008, disponibile al sito <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sicsa.egr.uh.edu/sites/sicsa/files/files/publications/arhitektura1.pdf>, ultima consultazione marzo 2024.
- BANNOVA O., *Terrestrial Analogs for Planetary Surface Facility Planning and Operations*, in “SASAKAWA INTERNATIONAL CENTER FOR SPACE ARCHITECTURE”, University of Houston 2008.
- BEATON K. H., CHAPPELL S. P., ABERCROMBY A. F. J., LIM D. S., *Space-to-Ground Interactions While Conducting Scientific Fieldwork under Mars Mission Constraints*, Report della conferenza internazionale per esperti aerospaziali, accademici, personale militare e leader del settore, USA, 2018.
- BENAROYA H., BERNOLD L., *Engineering of lunar bases*, in “Acta Astronautica”, n. 62, 2008.
- BENAROYA H., *Lunar habitats: A brief overview of issues and concepts*, in “REACH - Reviews in Human Space Exploration”, n. 7-8, 2017.
- BIGNAMI G.F., *L’esplorazione dello spazio*, Il mulino, Bologna 2006.
- BIGNAMI L., *Una base permanente sul lato nascosto della Luna*, in “Focus”, 6 maggio 2015.

Materiale cartaceo e multimediale

# BIBLIOGRAFIA

- BLISS D., *How the world of exploration has changed*, in “National Geographic”, 29 JAN 2018.
- BONCINELLI E., *La vita e i suoi misteri; Dalla genetica alla salvaguardia dell'ambiente*, Mondadori Electa, Milano 2016.
- BONFRANCESCHI A. L., La scienza di Sopravvissuto – The Martian, in “Scienza”, 2015, disponibile al sito: <https://www.wired.it/scienza/spazio/2015/10/02/sopravvissuto-the-martian-scienza/>, ultima consultazione giugno 2024.
- BOSIA D., SAVIO L., *Dal governo del progetto all'evidenza degli esiti: il Villaggio Olimpico di Torino 2006*, in “Techne”, n.12, 2016, pp.137-143.
- BOSO A., *Codice Appalti*, disponibile al sito: [https://www.codiceappalti.it/glossario\\_appalti/QUADRO\\_ESIGENZIALE\\_\(DLGS\\_50\\_2016\)/9292](https://www.codiceappalti.it/glossario_appalti/QUADRO_ESIGENZIALE_(DLGS_50_2016)/9292), ultima consultazione dicembre 2023.
- BOTTA M., CREPET P., ZOIS G., *Dove abitano le emozioni, la felicità e i luoghi in cui viviamo*, Einaudi, Torino 2007.
- BROWN T., *Motivations for Colonization*, in “National Geographic Society” June 2, 2022.
- BRYNJOLFSSON E., MCAFEE A., *La nuova rivoluzione delle macchine, lavoro e prosperità nell'era della tecnologia trionfante*, Feltrinelli, Milano 2015.
- BURGOS M., *Coperni's cloudy air swipe bag with NASA's silica aerogel*, marzo 2024, disponibile al sito: <https://www.designboom.com/design/coperni-air-swipe-bag-nasa-silica-aerogel-fw24-03-05-2024/>, ultima consultazione giugno 2024.
- CAPLINGER M., *Seasons on Mars*, 1994, disponibile al sito: <https://www.msss.com/http/ps/seasons/seasons.html>, ultima consultazione settembre 2024.
- CAPRARÀ G., *Dal 2040 qualcuno vivrà sulla Luna: come il progetto Olympus vuole costruire abitazioni in 3D con la regolite*, 6 ottobre 2023, disponibile al sito: [https://www.corriere.it/tecnologia/23\\_ottobre\\_06/case-sulla-luna-2040-progetto-olympus-nasa-d1bc1df9-e8c9-4c8e-8ba7-8f4ddb1f5xlk.shtml](https://www.corriere.it/tecnologia/23_ottobre_06/case-sulla-luna-2040-progetto-olympus-nasa-d1bc1df9-e8c9-4c8e-8ba7-8f4ddb1f5xlk.shtml), ultima consultazione novembre 2024.
- CAPRARÀ G., *L'Italia vuole la luna*, in “Corriere della sera”, anno 2, n.3, 2023.
- CARACCILO P.F., *Metro, dopo 9 anni pronta la nuova tratta della linea 1: venerdì l'inaugurazione*, in “LaStampa”, articolo disponibile online all'indirizzo: <https://www.lastampa.it/torino/2021/04/17/news/metro-dopo-9-anni-pronta-la-nuova-tratta-della-linea-1-venerdi-l-inaugurazione-1.40163531/>, ultima consultazione maggio 2024.
- CARDILLO M., *Vent'anni di Stazione Spaziale. Ecco com'è stata costruita, pezzo dopo pezzo*, <https://www.astrospazio.it/2020/10/28/ventanni-di-stazione-spaziale-ecco-come-stata-costruita-pezzo-dopo-pezzo/>, ultima consultazione febbraio 2024.
- CARLO C., VALENTINO M., VALZANO L., *Il progetto biomimetico. Eteronomia ed autopoiesi nell'integrazione tra tecnologia e biologia*, in “TECHNE”, n. 21, 2021, pp. 112-123.
- CASSARDO C., *Le violente tempeste di polvere nell'Asia sud-orientale*, in “Nimbus”, vol. 37-38, 1° gennaio 2006, pp. 41-45.
- CAVADA E., GENTILINI G. (a cura di), *Il restauro dei castelli: analisi e interventi sulle architetture fortificate. Conoscere per restaurare*, atti dei seminari in archeologia per l'architettura, Trento 2007, pp.15-28.
- CERRI P., NICOLIN P. (a cura di), *Le Corbusier, Verso una architettura*, Longanesi, Milano 2003.
- CLAPP F. G., *Along and across the Great Wall of China*, in “Geographical Review”, Vol. 9, N. 4, Apr. - Jun. 1920, pp. 221-249.
- COCKELL C.S., *Human Governance Beyond Earth, Implications for Freedom*, Springer, Switzerland 2015.
- COMUNE DI TORINO, *Verde pubblico*, disponibile al sito: <http://www.comune.torino.it/verdepubblico/parchi-e-giardini/restauro-del-parco-del-valentino-approvato-il-progetto-di-fattibilita-tecnica-ed-economica-lavori-per-13-milioni-di-euro/>, 2023, ultima consultazione, gennaio 2024.
- COTRONEI V., MARUCCI D., (a cura di), *Explora*, Agenzia Spaziale Italiana, Roma 2018.
- COVONE G., *Altre Terre, viaggio alla scoperta di pianeti extrasolari*, Harper Collins, Trebaseleghe (PD) 2023.
- CROSETTI A., VAIANO D., *Beni culturali e paesaggistici*, G. Giappichelli, Torino 2018;
- CURTIS W.J.R., *L'architettura moderna dal 1900*, Phaidon Press Limited, London 2006.
- D'ANNA P., *Universo osservabile: una sfera con un diametro di 93 miliardi di anni luce*, disponibile al sito: <https://www.passioneastronomia.it/universo-una-sfera-con-un-diametro-di-93-miliardi-di-anni-luce/#:~:text=Le%20ultime%20stime%20ipotizzano%20che,93%20miliardi%20di%20anni%20luce>, ultima consultazione dicembre 2023.
- DAVENPORT C., *The New Space Age, The moon beckons once again, and this time NASA wants to stay*, in “The Washington Post”, 6 gennaio 2024, <https://www.washingtonpost.com/technology/interactive/2023/nasa-moon-artemis-launch/>, ultima consultazione giugno 2024.
- DAVID L., *Blowing up: Inflatable space habitats could be key to exploring the solar system*, 2024, disponibile al sito: <https://www.space.com/expandable-space-habitats-moon-mars-private-companies>, ultima consultazione novembre 2024.
- DAVIS R., CHO L., McDONALD E., O'BRIEN J., PARKS M., *Criteria for Landing Site Selection*, 2022, disponibile al sito: <https://blogs.nasa.gov/redplanetdispatch/2022/12/13/criteria-for-landing-site-selection/>, ultima consultazione novembre 2024.
- DI PIPPO S., *Lo spazio come driver di sviluppo economico sostenibile*, disponibile al sito: <https://www.eai.enea.it/archivio/ricerca-e-innovazione-per-la-sfida-spaziale/lo-spazio-come-driver-di-sviluppo-economico-sostenibile.html>, ultima consultazione ottobre 2023.
- DONALDSON A.A., *NASA Sets Path to Return Mars Samples, Seeks Innovative Designs*, Aprile 2024, disponibile al sito: <https://www.nasa.gov/news-release/nasa-sets-path-to-return-mars-samples-seeks-innovative-designs/>, ultima consultazione agosto 2024.
- DONOVAN J., *Space Architects Will Help Us Live and Work Among the Stars*, disponibile al sito: <https://science.howstuffworks.com/space-architecture-news.htm> ultima consultazione luglio 2023.
- DRAKE N., *Il Pianeta X potrebbe essere più vicino e reale di quanto crediamo*, in “National Geographic Italia”, settembre 2021.

- DROLSHAGEN G., McDONNELL J.A.M., STEVENSON T.J., (a cura di), *Optical survey of micrometeoroid and space debris impact features on EURECA*, Vol.44, n.4, Aprile 1996, pp 317-340.
- EMME E.E., *Perspective on space exploration*, in “The Air Power Historian”, Vol. 11, n. 1, gennaio 1964, pp. 6-10.
- ESA, *20 anni di ricerca sulla Stazione Spaziale Internazionale*, novembre 2020, disponibile al sito [https://www.esa.int/Space\\_in\\_Member\\_States/Italy/20\\_anni\\_di\\_ricerca\\_sulla\\_Stazione\\_Spaziale\\_Internazionale](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Italy/20_anni_di_ricerca_sulla_Stazione_Spaziale_Internazionale), ultima consultazione marzo 2024.
- ESA, <https://www.esa.int/>, ultima consultazione dicembre 2023.
- FARR T. G., *Terrestrial analogs to Mars: The NRC community decadal report*, in “Planetary and Space Science”, vol. 52, n. 1-3, gennaio - marzo 2004, pp. 3-10.
- FASSIN D., *La villeggiatura a Gressoney Saint-Jean. Le trasformazioni nel periodo compreso tra la metà del Settecento e i primi decenni del Novecento*, Rel. Annalisa Dameri, Alice Pozzati. Politecnico di Torino, Corso di laurea magistrale in Architettura Per Il Patrimonio, 2024.
- FERUGLIO DAL DAN C., *La proporzione divina delle piramidi*, 2016, disponibile al sito: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.archeofriuli.it/wp-content/uploads/2016/11/la%20proporzione%20divina%20delle%20piramidi.pdf>, ultima consultazione ottobre 2024.
- FISSOLO B., *«Il paradiso degli inglesi»: Bordighera 1855-1915*, Rel. Annalisa Dameri, Alice Pozzati. Politecnico di Torino, Corso di laurea magistrale in Architettura Per Il Patrimonio, 2024.
- FRANK E. A., *Faster, Better, Cheaper: A maligned era of NASA's history*, gennaio 2019, disponibile al sito: <https://www.elizabethafrank.com/colliding-worlds/fbc#:~:text=The%20Faster%2C%20Better%2C%20Cheaper%20philosophy,success%20with%20low%2Dcost%20projects>, ultima consultazione maggio 2024.
- FREGONARA E., lezioni di “*Economia per l'architettura sostenibile*”, contributo di “Estimo”, Politecnico di Torino, Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Patrimonio, 2021.
- GALLIANI M., *Onde di roccia su Marte*, disponibile al sito: <https://www.media.inaf.it/2012/03/23/onde-di-roccia-su-marte/#:~:text=Per%20il%20team%20di%20scienziati,prevalenti%20che%20spirano%20sul%20pianeta>, ultima consultazione gennaio 2024.
- GASKILL M. L., *Mental Well-Being in Space*, 15 agosto 2024, disponibile al sito: <https://www.nasa.gov/missions/station/iss-research/mental-well-being-in-space/#:~:text=Crew%20members%20experience%20multiple%20sunrises,well%2Dbeing%20of%20crew%20members>, ultima consultazione agosto 2024.
- GASTALDI M., BERTOLINI L., *Introduzione ai materiali per l'architettura*, De Agostini Scuola, Novara 2011.
- GENTA G., *Prossima fermata Marte*, Bietti, Milano 2023.
- GIACOMELLI R., *Gli studi di Leonardo sul volo*, in “Archivio di Storia nella Scienza”, vol.1, n.2, giugno 1919, pp. 174-176.
- GIBNEY E., *How to build a Moon base, Researches are ramping us plans for living on the Moon*, in “Nature”, n. 562, 24 ottobre 2018, pp. 474-478.
- GIUFFRÈ A., *Leggendo il libro delle antiche architetture, aspetti statici del restauro, saggi 1985-1997*, Gangemi editore, Roma 2010.
- GONÇALVES R., WIEGER WAMELINK G. W., VAN DER PUTTEN P., EVERS J. B., *Intercropping on Mars: A promising system to optimise fresh food production in future martian colonies*, in “Plus One”, 1 maggio 2024, DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302149>
- GOUACHE T. P., PATEL N., BRUNSKILL C, ET ALL., *Soil simulant sourcing for the ExoMars rover testbed*, in “Planetary and Space Science”, Vol. 59, Issue 8, June 2011, pp. 779-787. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pss.2011.03.006>
- GRANATH B., *Lunar, Martian Greenhouses Designed to Mimic Those on Earth*, 2017, <https://www.nasa.gov/science-research/lunar-martian-greenhouses-designed-to-mimic-those-on-earth/>, ultima consultazione novembre 2024.
- GROS P., (a cura di), *Vitruvio, De architectura*, Einaudi, Torino 1997.
- GROTTI L., *Nasa «alla deriva nello spazio»: altro che basi sulla Luna, ora al massimo scattano un paio di foto*, in “Tempi”, 6 dicembre 2012.
- HÄUPLIK-MEUSBURGER S., BANNOVA O., *Space Architecture and Habitability: An Asset in Aerospace Engineering and Architectural Curricula*, in “Acta Futura” vol.10, 2016.
- HÄUPLIK-MEUSBURGER S., BANNOVA O., *Space Architecture Education for Engineers and Architects Designing and Planning Beyond Earth*, Springer International Publishing, Switzerland, 2016.
- HÄUPLIK-MEUSBURGER S., BINSTED K., BASSINGTHWAIGHTE T., PETROV G., *Habitability Studies and Full Scale Simulation Research: Preliminary themes following HISEAS mission IV*, 47th International Conference on Environmental Systems, Charleston, South Carolina, 2017.
- HAWKING S.W., *Dal big bang ai Buchi neri, breve storia del tempo*, Rizzoli, Milano 2011.
- HILLE C. B., *La realtà e la finzione delle tempeste di polvere marziane*, 18 settembre 2015, disponibile all'indirizzo: <https://www.nasa.gov/solar-system/the-fact-and-fiction-of-martian-dust-storms/>, ultima consultazione luglio 2024.
- HIRSHORN S. R., VOSS L. D., BROMLEY L.K., *NASA Systems Engineering Handbook*, febbraio 2017, disponibile al sito: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20170001761>, ultima consultazione maggio 2024.
- HIRSHORN S.R., VOSS L.D., BROLEY L.K., *NASA Systems Engineering Handbook*, Nasa, Houston 2017.
- HOFSTETTER W. K., WOOSTER P. D., CRAWLEY E. F., *Analysis of Human Lunar Outpost Strategies and Architectures*, in “AIAA Space”, 2007.
- HOGGETT P. (a cura di), *Sydney Opera House Special Issue*, in “The Arup Journal”, Vol. 8, N. 3, Ottobre 1973, pp. 5-6.
- HOLM N.G., OZE C., MOUSIS O., *Serpentinization and the Formation of H2 and CH4 on Celestial Bodies (Planets, Moons, Comets)*, in “Astrobiology” vol. 15, n.7, 2015, pp. 587–600.
- ICON TEAM, *Project Olympus*, 2023, disponibile al sito: <https://www.iconbuild.com/projects/project-olympus>, ultima consultazione novembre 2024.
- IZZO D., SIMOES L. F., (a cura di), *Space Architecture, Advanced Concepts Team*, in “Acta Futura”, issue 10, 2016.

- KACHA A., *Space Architecture*, TEDxBrentwoodCollegeSchool, disponibile al sito: [https://www.youtube.com/watch?v=il8Wl4dyloY&ab\\_channel=TEDxTalks](https://www.youtube.com/watch?v=il8Wl4dyloY&ab_channel=TEDxTalks), ultima consultazione novembre 2023.
- KASIVISWANATHAN P., SWANNER E. D., HALVERSON L. J., VIJAYAPALANI P., *Farming on Mars: Treatment of basaltic regolith soil and briny water simulants sustains plant growth*, in “PLoSOne”, vol. 17, n. 8, doi: 10.1371/journal.pone.0272209.
- KEEFE H., *Making the final frontier feasible: A critical look at the current body of outer space law*, in “Santa Clara Computer and High Technology Law Journal”, n. 11, 1995, pp. 345–346.
- KEMPPANEN J., *Apollo Lunar Quarantine, A 50th Anniversary View*, in “Apollo Flight Journal”, 7 luglio 2019.
- KENRICK D.T., GRISKEVICIUS V., NEUBERG S.L., SCHALLER M., *Renovating the Pyramid of Needs: Contemporary Extensions Built Upon Ancient Foundations*, in “Perspect Psychol Sci”, n. 5(3), 2010, pp. 292–314, doi: 10.1177/1745691610369469
- KOOLHAAS R., *Delirious New York, A retroactive Manifesto for Manhattan*, The Monacelli Press, New York 1994.
- KOZICKA J., *Architectural problems of a Martian base design as a habitat in extreme conditions, Practical architectural guidelines to design a Martian base*, Tesi di dottorato, Gdańsk University of Technology, Rel. Prof. dr hab. inż. Jarostaw Przewłócki, a.a. 2007/2008.
- LAGAIN A., KRESLAVSKY M., BARATOUX D., ET AL., *Has the impact flux of small and large asteroids varied through time on Mars, the Earth and the Moon?*, in “Earth and Planetary Science Letters”, n. 579, 2022.
- LANDOLINA R., *Study and development of a small lunar habitat inside Moon Lava Tubes based on ARTEMIS model*, Tesi di laurea magistrale in ingegneria aerospaziale, Politecnico di Torino, Rel. Prof. Mainini Laura, a.a. 2020/2021.
- LANDONI M., *L'Agenzia Spaziale Italiana, tra stato innovatore e dimensione europea*, Il Mulino, Bologna 2017.
- LESAGE E., MASSOL H., HOWELL S.M., SCHMIDT F., *Simulation of Freezing Cryomagma Reservoirs in Viscoelastic Ice Shells*, in “The Planetary Science Journal”, vol. 3, n.170, luglio 2022.
- LEVI R., *Torino ora va sulla Luna con il centro dell'Altec*, in “Torinocronacaqui”, anno LXXIV, n. 122, 2023.
- LI W., HUDSON M. K., *Earth's Van Allen Radiation Belts: From Discovery to the Van Allen Probes Era*, in “Journal of Geophysical Research: Space Physics”, Vol. 124, n. 11, 23 novembre 2019, p. 8319-8351. DOI: <https://doi.org/10.1029/2018JA025940>.
- LINDEBOOM R.E.F., DE PAEPE J., VANOPPEN M., ET AL., *A five-stage treatment train for water recovery from urine and shower water for long-term human Space missions*, in “Desalination”, Vol. 495, 1 December 2020.
- LIU J., LI H., SOLE L., ET AL., *In-situ resources for infrastructure construction on Mars: A review*, in “International Journal of Transportation Science and Technology”, Vol. 11, n.1, marzo 2022, pp. 1-16.
- LOMBARDI A. M., (a cura di), *Keplero, il Cosmo come armonia di movimenti*, Grafica Veneta, Trebaseleghe (PD), 2020.
- LORENZINI S., *L'Italia e il trattato di pace del 1947*, Il Mulino, Bologna 2007.
- MARTINI A., *Breve storia della normativa edilizia in Italia*, disponibile al sito: <https://www.costruzionimartini.com/norme-edilizia-urbanistica/breve-storia-della-normativa-edilizia-in-italia/>, in “Norme edilizia urbanistica”, 2020, ultima consultazione gennaio 2024.
- MASLOW A. H., *A Theory of Human Motivation*, in “Psychological Review”, n. 50, pp. 370-396, disponibile al sito: <https://psychclassics.yorku.ca/Maslow/motivation.htm>, ultima consultazione giugno 2024.
- MCKAY C.P., TOON O.B., KASTING J.F., *Making Mars habitable*, in “Nature”, vol. 352, 8 agosto 1991.
- MEGALE V., *Le biotecnologie a supporto dell'esplorazione spaziale, il limite principale alle sfide dello Spazio è la nostra biologia, ma probabilmente è anche dove cercare la soluzione*, <https://www.astrospace.it/2020/03/04/le-biotecnologie-a-supporto-dellesplorazione-spaziale/>, ultima consultazione aprile 2024.
- MENDELL W.W., *Lunar Bases and Space Activities of the 21<sup>st</sup> Century*, Editor, Lunar Planetary Institute, Houston 1985.
- NASA, <https://www.nasa.gov/>, ultima consultazione settembre 2023.
- NASA, *NASA Building Information Modeling (BIM) Scope of Services and Requirements for Architects and Engineers*, disponibile al sito: <https://standards.nasa.gov/standard/NASA/NASA-STD-10001>, ultima consultazione maggio 2024.
- NESVOLD E., *Making New Worlds, Exploring the Ethics of Human Settlement in SpacerCo*, in “WordPress”, podcast, since 8 nov. 2017.
- NETTI V., lezione “*Architecture beyond Earth, A Technological Roadmap to build on the lunar and martian surface*”, Sasakawa International Center for Space Architecture, Univeristà di Houston, Moonshot workshop, 26 marzo 2024.
- NROSE S., *Bold Mars architecture heralds a new era for spatial exploration*, disponibile al sito: <https://www.wallpaper.com/architecture/moving-to-mars-architecture-projects-in-space>, ultima consultazione luglio 2023.
- NURSE P., *Che cosa è la vita? I cinque principi fondamentali della biologia*, Mondadori, Milano 2021.
- O'LEARY B. L., CAPELOTTI P.J., *Archaeology and Heritage of the Human Movement into Space*, Springer International Publishing, Switzerland 2015, pp. 54-57.
- PANZARELLA M., (a cura di), *Ejournal*, in “Palermo architettura”, n.09, 2012, pp. 11-35.
- PARLAMENTO EUROPEO, *OGM: tutto quello che c'è da sapere*, disponibile al sito: <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20151013STO97392/ogm-tutto-quello-che-c-e-da-sapere>, ultima consultazione gennaio 2024.
- PARSONSON A., *Italy's Lunar Surface Habitat Passes Key Milestone*, 26 luglio 2024, disponibile al sito: <https://europeanspaceflight.com/italys-lunar-surface-habitat-passes-key-milestone/>, ultima consultazione novembre 2024.
- PARSONSON A., *NASA Greenlights Next Phase of Italian Lunar Habitat Project*, 20 settembre 2024, disponibile al sito: <https://europeanspaceflight.com/nasa-greenlights-next-phase-of-italian-lunar-habitat-project/>, ultima consultazione novembre 2024.

- PEARLMAN R., *One Year in Space: A History of Ultra-Long Missions Off Planet Earth*, in “Space” 26 March 2015.
- PEDRI A., *Antartide, scienziato russo accoltella il collega: “Mi ha rivelato il finale di un giallo”*, in “il primato nazionale”, 2018.
- PERNA M., DEL FREO., (a cura di), *Manuale di Micenologia*, in “Studi egei viciniorientali”, n.5, 2011.
- PHILLIPS T., lezione “*A Day in the life*”, Sasakawa International Center for Space Architecture, Univeristà di Houston, Moonshot workshop, 30 marzo 2024.
- PICCIN S., *NASA presenta la sua richiesta di budget per il 2025, con diversi aggiornamenti utili*, marzo 2024, disponibile al sito: <https://www.astrospace.it/2024/03/12/nasa-presenta-la-sua-richiesta-di-budget-per-il-2025-con-diversi-aggiornamenti-utili/>, ultima consultazione maggio 2024.
- PIEVANI T., *Un filosofo e un’astrofisica dialogano sull’universo*, in “Sette”, n.25, 2023.
- RANDALL L., *Passaggi curvi. I misteri delle dimensioni nascoste dell’universo*, Il Saggiatore, Milano 2006.
- ROMEO E., lezione su “I beni culturali”, Politecnico di Torino, Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Patrimonio, 7 ottobre 2021.
- ROVELLI C., *Dialogo. E la vita non avrà più segreti*, in “Sette”, n.18, 2023.
- RUESS F., SCHAEZLIN J., BENAROYA H., *Structural Design of a Lunar Habitat*, in “JOURNAL OF AEROSPACE ENGINEERING”, marzo 2004.
- SCHARMEN F., *The Architecture of Outer Space*, disponibile al sito: <https://placesjournal.org/reading-list/the-architecture-of-outer-space/?cn-reloaded=1&cn-reloaded=1>, ultima consultazione luglio 2023.
- SCHIMMERLING W., CUCINOTTA F. A., WILSON J. W., *Radiation risk and human space exploration*, Vol. 31, n. 1, 2003, pp. 27-34.
- SCHRÖDINGER E., *Che cos’è la vita? La cellula vivente dal punto di vista fisico*, Adelphi, Milano 1995.
- SCOTT A. N., OZE C., *Constructing Mars: Concrete and Energy Production From Serpentinization Products*, in “Earth and Space Science”, Vol. 5, Issue 8, 1 August 2018, pp. 364-370
- *Self-Assembling Space Architecture – TESSERAE*, disponibile al sito: [https://www.youtube.com/watch?v=dYmFbeRnJAw&ab\\_channel=MITSpaceExplorationInitiative](https://www.youtube.com/watch?v=dYmFbeRnJAw&ab_channel=MITSpaceExplorationInitiative).
- SICA P., *Storia dell’urbanistica 2: l’Ottocento*, Laterza, Roma 1981.
- SICA P., *Storia dell’urbanistica, l’Ottocento*, Laterza, Bari 1991, pp. 401-613.
- SIDERI M., *Missione “Terra Fuori”*, in “Corriere della Sera”, a. 148, n. 296, 15 dicembre 2023, pp.48-49.
- SKOLENKO J. A., *L’era spaziale, l’esplorazione del cosmo tra scienza e filosofia*, Printi s.r.l., Manocalzati, AV 2021.
- SPACE X, *Falcon user’s guide*, Space Exploration Technologies Corp., California 2021.
- TABOR A., *What is BASALT?*, Marzo 2019, disponibile al sito: <https://www.nasa.gov/missions/analog-field-testing/what-is-basalt/>, ultima consultazione agosto 2024.
- TAMBORRINO R. (a cura di), *Le Corbusier, Scritti*, Einaudi, Torino 2003.
- TEMPORELLI M., *Noi siamo tecnologia, dieci invenzioni che ci hanno cambiato per sempre*, Mondadori, Milano, 2021.
- VALLINO E., lezioni di “*Economia per l’architettura sostenibile*”, contributo di “Politica Economica”, Politecnico di Torino, Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Patrimonio, 2021.
- VALTIERI S., *La Nasa sceglie Prada per le tute spaziali degli astronauti che torneranno sulla Luna*, in “Focus”, 23 ottobre 2023.
- VERNE J., *Dalla Terra alla Luna*, SEI, Torino, 1965
- VOLPE G., *Un patrimonio italiano, beni culturali, paesaggio e cittadini*, Utet, Novara 2016.
- WARD-PERKINS J. B., *Storia universale dell’architettura, Architettura romana*, Electra Editrice, Venezia 1974.
- WASSER, D. JOBES, *Space Settlements, Property Rights, and International Law: Could a Lunar Settlement Claim the Lunar Real Estate It Needs to Survive*, in “Journal of Air Law and Commerce”, n.73, 2008.
- WEHBI Z., TAHER R., FARAJ J., LEMENAND T., MORTAZAVI M., KHALED M., *Waste Water Heat Recovery Systems types and applications: Comprehensive review, critical analysis, and potential recommendations*, in “Energy Reports” vol.9, n.9, 2023, pp. 16-33.
- YOSHIZAKI T., MCDONOUGH W., *Earth and Mars – Distinct inner solar system products*, in “Geochemistry”, vol. 81, n.2, Maggio 2021.
- ZUCCONI G., *La città dell’Ottocento*, Laterza, Bari 2022.

*Non est ad astra mollis e terris via.*



Esplorazione spaziale e sostenibilità rappresentano il futuro dell'umanità e, pur estendendosi oltre i confini del Pianeta Terra, ripercorrono e reinterpretano le conoscenze del passato. In questo contesto, contraddistinto da una forte interdisciplinarietà, l'architettura emerge come strumento fondamentale per la progettazione di habitat e la padronanza di un Architetto del Patrimonio della storia della costruzione si colloca come cardine per risolverne le difficoltà. Integrando soluzioni provenienti da discipline diverse, si intende dimostrare come il costruito sia fonte di conoscenza per l'utilizzo di risorse in situ, l'isolamento ambientale e l'adattamento. La ricerca esplora come le lezioni apprese dalla storia dell'architettura possano ispirare innovazioni progettuali per costruire su altri Pianeti in modo consapevole, valutando nello specifico Luna e Marte come due sistemi complessi e come tappe fondamentali per il progresso. Gli intenti sono l'indagine teorica ed il tracciamento di linee guida generali per il futuro dell'esplorazione che garantiscano sicurezza, rispondendo alle condizioni estreme, in un approccio multidisciplinare guidato dalle modalità collaborative caratteristiche dell'architettura.

