



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea in Architettura Costruzione Città
A.a. 2023/2024
Sessione di Laurea Luglio 2024

Ritorno alla Luna

Analisi sulla situazione attuale e sugli ipotetici scenari
futuri nell'ambito della colonizzazione lunare

Relatore:
Prof.re Giovanni Durbiano

Co-relatori:
Prof.ssa Valentina Sumini
Federica Joe Gardella
Marta Rossi

Candidata:

Camilla Arese

INDICE

<u>Abstract</u>	4
<u>Capitolo 1 – Introduzione</u>	5
- Storia e missioni future	8
<u>Capitolo 2 – Considerazioni generali</u>	11
- Dalla Terra alla Luna	12
- Conclusioni	16
- Metodologie a confronto	17
<u>Capitolo 3 – Confronto Terra/Luna</u>	20
- Collocazione del sito	21
- Confronto Terra/Luna	23
- Illuminazione	26
- Ventilazione	29
- Coperture	30
- Scale	31
- Abitabilità	33
- Comfort termico	38
- Comfort acustico	40
- Vegetazione	41
<u>Capitolo 4 – Come funziona una missione spaziale</u>	43
- Definizione della tipologia della missione	44
- Definizione della durata della missione	45
- Definizione del numero di astronauti	46
- Definizione dei costi di una missione spaziale	47
<u>Capitolo 5 – Scenario</u>	48
- Compatibilità degli elementi terrestri sulla Luna	49
- Dimensioni degli ambienti	66
<u>Capitolo 6 – Ipotesi progettuali</u>	70
- Riferimento 1	71
- Riferimento 2	73
- Primo tentativo di ipotesi progettuale	76
- Ipotesi progettuale	79
<u>Capitolo 7 – Conclusioni</u>	84
- Ringraziamenti	86
<u>Bibliografia e sitografia</u>	87

Abstract

Viviamo in un'epoca storica in cui la ricerca scientifica sta compiendo enormi passi in avanti nel campo dell'esplorazione dello spazio. Dalle missioni realizzate dalla NASA del programma Apollo negli anni '60 e '70 a quello di Artemis attualmente in corso, alla base del progresso tecnologico in tale ambito vi sono diverse motivazioni, tra le quali troviamo principalmente la curiosità dell'uomo di scoprire cosa si trova oltre i confini della Terra e la necessità, portata alla luce soprattutto in questo ultimo decennio, di ipotizzare differenti soluzioni a lungo termine rispetto alle possibili conseguenze che potrebbe subire il nostro pianeta a causa della crisi climatica.

L'esplorazione dello spazio a quest'ultimo scopo si può rivelare essere di estrema importanza: la presenza in orbita di un ambiente ostile all'uomo è certamente un ostacolo, ma allo stesso tempo un'opportunità per lo sviluppo di tecnologie avanzate per la sostenibilità ambientale, dagli studi di processi biologici per la produzione di fonti vitali come cibo e acqua, ai sistemi di riciclaggio delle risorse. Tali soluzioni, elaborate appositamente per rendere vivibile lo spazio, potrebbero essere utilizzate anche per affrontare la crisi climatica sulla Terra.

Questa tesi si concentrerà in particolar modo sulla progettazione architettonica di un insediamento sulla superficie della Luna e sulle metodologie utilizzate: l'intento è quello di, in primo luogo, studiare l'ambiente lunare per poter individuare le principali problematiche ed i rischi ad esso correlati, per poi analizzare le necessità primarie dell'uomo, in modo tale da poter studiare valide soluzioni dal punto di vista architettonico, legate ad esempio alla scelta dei materiali da impiegare o alla definizione delle destinazioni d'uso, con lo scopo di rendere vivibile il nostro satellite.

Lo studio che si ha intenzione di intraprendere all'interno della tesi è finalizzato dunque, tramite le metodologie a cui si farà ricorso per realizzare l'ipotesi progettuale, a porre l'attenzione su quale possa essere il ruolo dell'architettura all'interno di questo grande progetto di colonizzazione dello spazio: con la sempre più reale prospettiva di vivere lo spazio, è necessario progettare habitat sicuri, confortevoli e che siano in grado di rispondere alle esigenze degli utenti, esattamente come si è sempre verificato sulla Terra, ma con parametri differenti da prendere in considerazione.

Tale obiettivo apre dunque le porte a diverse riflessioni sul concetto di architettura per come siamo abituati a concepirla, facendo quindi un paragone tra il nostro pianeta e lo spazio.

Dall'analisi emerge come molti criteri applicati sulla Terra non siano compatibili con l'ambiente spaziale, aprendo quindi la possibilità di elaborare nuove linee guida che possano funzionare in entrambi i contesti, progettare lo spazio per osservare meglio il nostro pianeta.

CAPITOLO 1

Introduzione

Si potrebbe pensare che dietro alla ricerca scientifica e allo sviluppo delle tecnologie necessarie per la sempre più vicina colonizzazione dello spazio ci siano, tra le più svariate motivazioni, il desiderio di conoscenza e l'immaginazione umana di un futuro e di mondi distanti dalla nostra realtà quotidiana.

A fungere da ispirazione ha avuto un ruolo fondamentale la fantascienza, la quale ha contribuito in modo significativo a suscitare la curiosità e l'ambizione di diverse generazioni all'esplorazione dell'ignoto.

È proprio grazie alla passione per la fantascienza nelle sue più svariate forme che nasce la volontà di intraprendere questa ricerca di tesi.

Ma cosa rende la fantascienza un tassello così importante nel quadro complessivo della vita al di fuori del pianeta Terra?

Il fascino nei confronti dello spazio ha suscitato negli artisti come una necessità di esprimere questo desiderio nelle più svariate forme d'arte: da scrittori come Isaac Asimov o Arthur C. Clarke, che nel 1954 immaginò per primo, nella sua opera *Exploration on the Moon*, un insediamento lunare composto da moduli gonfiabili ricoperti da polvere lunare; fino a registi e sceneggiatori come George Lucas e Gene Roddenberry. Nell'attesa che il progresso scientifico e tecnologico possa rendere realtà concreta la colonizzazione dello spazio, la fantascienza ha affascinato milioni di persone in tutto il mondo provando ad illustrare, tramite rappresentazioni narrative e cinematografiche, scenari audaci di colonie spaziali più o meno verosimili, sviluppando di conseguenza design innovativi da cui poter prendere ispirazione per la realizzazione di nuove possibili strutture.

Si può dunque affermare che senza dubbio la fantascienza abbia, a modo suo, alimentato nell'uomo l'aspirazione di conoscere sempre di più ciò che si trova al di là dei confini del nostro pianeta e, di conseguenza, ispirato anche la ricerca scientifica e tecnologica affinché queste visioni possano finalmente divenire realtà.

Queste non sono le sole motivazioni che nel corso della storia hanno spinto l'umanità verso la colonizzazione dello spazio. La Luna, in particolar modo, rappresenta un obiettivo strategico grazie alla sua vicinanza alla Terra, ideale come trampolino di lancio per missioni spaziali che guardano ancora più lontano, come ad esempio l'esplorazione di Marte.

In secondo luogo sul nostro satellite vi sono risorse preziose che potrebbero tornare utili sulla Terra: recenti esperimenti condotti da numerose istituzioni cinesi, tra cui il Beijing Research Institute of Uranium Geology, hanno dimostrato che, dallo studio dei campioni

lunari prelevati tramite la missione Chang'e 5 è presente l'elio-3, un combustibile che potrebbe aiutare ad alimentare i modelli dei moderni reattori a fusione nucleare¹.

L'esplorazione spaziale è inoltre fondamentale per monitorare e tentare di contrastare la crisi climatica terrestre, esistono ad oggi diversi programmi a tale scopo, come il *Copernicus Climate Change Service*, un programma avviato dall'Unione Europea che si occupa di analizzare le condizioni climatiche terrestri e le diverse variazioni; il programma dell'ESA *Clean Space* che si pone l'obiettivo di sviluppare tecnologie per ridurre i detriti spaziali, ma che possono essere utilizzate anche per la gestione dei rifiuti terrestri; il *NASA Carbon Monitoring System (CMS)*, un programma di ricerca che si occupa di monitorare la gestione del carbonio sulla Terra.

¹ F. Durante, *La Cina ha iniziato a studiare i campioni lunari di Chang'e 5, e cerca l'Elío-3*, in "astropace.it", 18 Settembre 2021.

/ Storia e missioni future

Dal giorno in cui il primo uomo mise piede sul suolo lunare, il 20 Luglio 1969, l'ambiziosa prospettiva di poter colonizzare lo spazio è divenuta sempre più reale.

Molteplici sono state le missioni spaziali che nel corso degli ultimi decenni hanno puntato alla Luna per studiarne le condizioni ambientali. Tra le principali ricordiamo il Programma Luna della Russia avuto luogo tra il 1959 e il 1976, con l'obiettivo di esplorare la superficie lunare raccogliendone dati scientifici; il Programma Apollo degli Stati Uniti, tra il 1961 e il 1972, che ha consistito in diverse missioni che hanno portato in totale 12 astronauti sul satellite, grazie ai quali è stato possibile raccogliere campioni di suolo lunare per poter studiarne la geologia; i Programmi Clementine e Luna Prospector, lanciati dagli Stati Uniti rispettivamente nel 1994 e 1998, i cui obiettivi principali sono stati quelli di studiare la superficie lunare cercando tracce di acqua e materiali che potessero rivelarsi utili ad un'eventuale permanenza sul satellite.

Ad oggi però, a poco più di 50 anni dal primo uomo sulla Luna, il nostro satellite continua ad essere disabitato.

A partire dal 2017 la NASA sta portando avanti il programma **Artemis**, in collaborazione con compagnie private, quali la SpaceX di Elon Musk e la Blue Origin di Jeff Bezos, e le agenzie spaziali europea, canadese, giapponese e degli Emirati Arabi, per cercare di *riportare gli astronauti sulla superficie lunare entro il 2024, inclusa la prima donna e il prossimo uomo*² (tradotto dall'autrice), con l'obiettivo di stabilire un insediamento umano entro il 2028.

La prima tappa del programma, Artemis I, è stata raggiunta il 16 Novembre 2022 con il lancio del primo Space Launch System Orion, la cui missione è stata quella di testare i limiti del veicolo spaziale e metterlo alla prova³.

Seguirà dunque Artemis II, programmata inizialmente per il mese di Novembre 2024 e successivamente rinviata al 2025, che consisterà nel primo lancio con equipaggio a bordo della navicella Orion, grazie al quale verranno eseguiti dei test per aprire la strada allo sbarco degli astronauti sulla Luna con Artemis III, nel 2026, missione nella quale questi alluneranno presso il Polo Sud del satellite, dove condurranno ricerche scientifiche sull'area, prima di far ritorno sulla Terra.

² NASA: *Moon to Mars Architecture*, NASA in ["https://www.nasa.gov/moontomarsarchitecture/"](https://www.nasa.gov/moontomarsarchitecture/)

³ *Terminata la prima missione lunare Artemis*, in ["https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Italy/Terminata_la_prima_missione_lunare_Artemis"](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Italy/Terminata_la_prima_missione_lunare_Artemis), 12 dicembre 2022

Per il 2028, con Artemis IV, è invece previsto il lancio di un primo modulo abitativo, l'I-Hab, che si aggregherà al Lunar Gateway, la prima stazione spaziale in orbita cislunare con l'obiettivo di fungere da supporto per le missioni sulla superficie lunare⁴. La medesima missione vedrà inoltre un secondo allunaggio con due astronauti.

Con Artemis V, nel 2029, sarà il modulo ESPRIT dell'ESA ad unirsi al Lunar Gateway, mentre sulla Luna sbarcheranno altri due astronauti.

Si concluderà quindi alla fine degli anni 2020 con Artemis VI, grazie cui si ipotizza verranno esplorati siti coinvolti precedentemente da missioni robotiche.

Oltre agli Stati Uniti anche la Cina ha intrapreso un proprio programma per lo sbarco sulla Luna: si tratta di Chang'E, iniziato nel 2007 e che momentaneamente prevede missioni fino al 2028.

A differenza di Artemis, però, non sono previsti allunaggi da parte di astronauti, solo di rover robotici al fine di raccogliere campioni e condurre ricerche scientifiche.

Da alcuni anni ormai le agenzie spaziali, concentrate sul faticoso ritorno sul suolo lunare, stanno provando ad ipotizzare scenari progettuali di insediamenti sul nostro satellite: la NASA ad esempio, che prevede di realizzare habitat sulla Luna entro il 2040, nel 2020 ha commissionato ad ICON, in collaborazione con BIG e SEArch+, il progetto della **Lunar Lantern** (Fig. 1), che prevede la realizzazione di un insediamento lunare caratterizzato da strutture durevoli, autosufficienti e resilienti mediante l'utilizzo di stampanti 3D⁵.

È grazie a questa iniziativa che l'agenzia spaziale americana sta testando la tecnologia della stampa 3D, tramite cui si ambisce a costruire edifici direttamente sulla Luna utilizzando il cosiddetto "calcestruzzo lunare", composto da frammenti di rocce, minerali e polveri derivanti dal suolo lunare.

⁴ NASA, *Gateway*, in "<https://www.nasa.gov/mission/gateway/>"

⁵ M. Yashar, *Project Olympus: The Lunar Lantern*, 2022.

<https://www.melodieyashar.com/lunar-lantern>



Figura 1_Lunar Lantern. Fonte: <https://www.melodieyashar.com/lunar-lantern>

L'ESA invece a partire dal 2015 ha iniziato a promuovere il concetto di **Moon Village** (Fig. 2), un'iniziativa che prevede la collaborazione internazionale ed interdisciplinare al fine di realizzare il primo villaggio lunare. Al momento tra i principali collaboratori vi sono lo studio di progettazione Skidmore, Owing & Merrill (SOM) ed il MIT. Il progetto consiste in una serie di moduli gonfiabili, trasportabili sulla Luna, caratterizzati da un design strutturale innovativo, che comprende un telaio perimetrale composito rigido ed un guscio strutturale gonfiabile che integra un assemblaggio multistrato con un sistema di protezione ambientale. Tale soluzione consente di ottimizzare il comfort spaziale, visivo, termico e dell'aria all'interno dell'abitazione⁶.



Figura 2_Moon Village. Fonte: ESA

⁶ SOM, *Moon Village*, in "<https://www.som.com/research/moon-village/>"

CAPITOLO 2

Considerazioni generali

/ Dalla Terra alla Luna

Se provassimo ad immaginare come potrebbe essere un insediamento sulla Luna, probabilmente ci verrebbe da pensare ad un ambiente che presenti le medesime caratteristiche concettuali - o comunque molto simili - di un'abitazione terrestre, ad esempio nella suddivisione degli ambienti, nella tipologia di arredamento e nella morfologia propria della struttura. Questo perché siamo inevitabilmente influenzati da ciò che ci circonda da sempre, tendiamo dunque a proiettare su scenari non terrestri le nostre esperienze terrestri, con tutte le convenzioni del caso, invece di adattarci alla realtà molto distante dell'ambiente lunare.

La progettazione architettonica sulla Terra come la intendiamo oggi è il risultato dell'esigenza di adattamento da parte dell'uomo alle condizioni climatiche esterne: l'edificio, anche nelle sue primitive espressioni, è sempre stato un riparo sicuro che consentiva di affrontare sia le condizioni climatiche, sia le situazioni di pericolo⁷. L'evoluzione nel corso dei secoli delle tecnologie edilizie con il parallelo alternarsi degli stili architettonici è il risultato di innumerevoli studi che hanno coinvolto svariate discipline come la fisica e la chimica, tramite le quali inevitabilmente gli edifici che popolano il nostro pianeta sono stati ideati e realizzati per potersi adattare alle leggi fisiche e chimiche e alle condizioni ambientali terrestri, in maniera da garantire in modo sempre più efficace il benessere ambientale.

Per chiarire tale concetto si possono citare alcune delle caratteristiche fondamentali attorno cui implicitamente affondano le radici della progettazione, quali ad esempio la **forza di gravità** che genera un determinato carico verticale su ogni componente di un edificio, da cui deriva di conseguenza la scelta di quale possa essere il metodo migliore affinché la struttura sia stabile.

L'**atmosfera**, composta principalmente da azoto e ossigeno, svolge un ruolo significativo nella regolazione della **temperatura**, poiché nel momento in cui la radiazione solare raggiunge la superficie terrestre una parte del calore viene assorbita e trattenuta dall'atmosfera, contribuendo in tal modo al mantenimento di una temperatura media globale stabile. La presenza di atmosfera è di fondamentale importanza anche per quanto riguarda l'origine delle condizioni meteorologiche: nelle diverse regioni della Terra si hanno differenti assorbimenti di calore da parte dell'atmosfera, creando in tal modo gradienti di temperatura che conducono alla formazione di svariati fenomeni atmosferici, quali ad esempio piogge e venti.

⁷ G. Cammarata, *Climatologia dell'ambiente costruito*, 2016.

Da questi fattori nascono esigenze di tipo materiale e strutturale, dunque la scelta dei materiali da utilizzare per garantire la stabilità e la funzionalità dell'edificio compatibilmente alle condizioni ambientali esterne, a livello chimico e fisico, al fine di tutelare la sicurezza ed il benessere degli utenti.

Ma cosa succede nel momento in cui cambia radicalmente il contesto in cui si vuole realizzare un nuovo insediamento?

Nel caso della Luna è necessario anzitutto tener conto delle condizioni ambientali che differiscono in maniera drastica da quelle terrestri, rendendo il nostro satellite un luogo particolarmente ostile alla permanenza umana: la forza di gravità lunare equivale a $1,62 \text{ m/s}^2$, pari dunque a circa $1/6$ di quella del nostro pianeta.

La gravità ridotta può diventare un vantaggio in termini di progettazione, in quanto gli edifici sulla Luna devono sorreggere un carico strutturale inferiore rispetto a quelli terrestri, si possono quindi realizzare stabilimenti di dimensioni maggiori e più leggeri rispetto a quelli a cui siamo generalmente abituati sulla Terra, con la possibilità di utilizzare minori quantità di materiali.

A causa dell'assenza di un campo magnetico l'atmosfera è decisamente rarefatta, con conseguenti escursioni termiche estreme, con temperature che oscillano tra massime di 120°C e minime di -247°C .

Dall'assenza di un campo magnetico e, dunque, di un'atmosfera rilevante derivano inoltre diverse problematiche, quali ad esempio la mancanza di pressione atmosferica e la diretta esposizione alle radiazioni cosmiche e solari e alle polveri lunari, elementi particolarmente pericolosi per la sopravvivenza dell'uomo sulla Luna.

Anche dal punto di vista orografico la Luna si discosta significativamente dalla Terra, essendo composta per la maggior parte da regolite, una miscela di polvere e detriti rocciosi formatasi principalmente a seguito delle attività meteoritiche che hanno coinvolto il nostro satellite nel corso del tempo e che hanno anche contribuito alla caratterizzazione della morfologia della superficie del suolo lunare, creando crateri e vere e proprie catene montuose di grandi dimensioni.

Si tratta dunque di una tipologia di paesaggio che si discosta da quello terrestre dal punto di vista morfologico e, di conseguenza, è necessario tenere in considerazione che inevitabilmente anche le risorse che ne possono scaturire sono molto differenti: l'offerta di una gamma ridotta di risorse che deriva dall'ambiente lunare

rappresenta una tra le molteplici sfide da affrontare per poter abitare il nostro satellite.

Altra importante caratteristica da tenere in considerazione sta nel fatto che il territorio lunare è interessato dai cosiddetti lunamoti o moonquakes.

Tale termine sta ad indicare gli eventi sismici, anche intensi, che si verificano sul suolo lunare. Per la rilevazione è stata utilizzata una rete di sismografi dislocati sulla superficie lunare e posizionati tra il 1969 e il 1972 in occasione di sei missioni Apollo, le quali hanno operato tra il 1969 e il 1977, anno in cui sono state disattivate per problemi economici. Le rilevazioni furono condotte in modo sia attivo che passivo, attivo con la detonazione di piccole cariche da parte degli astronauti per registrare i terremoti indotti dalle esplosioni, passivo rilevando l'attività sismica naturale della Luna.

La principale causa esterna dei lunamoti è da ricercarsi nell'impatto con i meteoriti che, nel raggiungere la superficie lunare, generano onde sismiche e la conseguente creazione di un cratere da impatto. La Luna non possiede un'atmosfera in grado di distruggere i meteoriti, pertanto, anche i più piccoli generano lunamoti.

Per quanto riguarda le cause interne vi sono:

- I **deep moonquakes o lunamoti profondi**. Si verificano con una maggiore frequenza e una maggiore profondità. Avvengono ad una profondità tra i 700 e i 1200 km e derivano dall'effetto dell'attrazione gravitazionale esercitata dalla Terra sulla Luna.
- I **lunamoti termici**. Vengono innescati in superficie da escursioni termiche anche di 250° C che la superficie lunare subisce tra il dì lunare, con una temperatura di circa 120° C e la notte lunare, con una temperatura di - 130° C. La contrazione che ne deriva dal rapido raffreddamento notturno e l'espansione derivante dal rapido riscaldamento a inizio giorno generano lunamoti.
- Gli **shallow moonquakes o lunamoti superficiali** sono lunamoti che si verificano raramente. Ne sono stati registrati solo 28 ed avvengono ad una profondità di 200 km. Questi eventi sono tra i più energici e possono raggiungere una magnitudo 5.5 sulla scala Richter.

Il rimpicciolimento della superficie lunare è dovuto alla diminuzione della temperatura interna della Luna la quale, non avendo una sorgente di calore al suo interno, continua a diminuire. Di conseguenza, raffreddandosi, forma delle faglie di spinta che tendono a sovrapporsi e a generare lunamoti.



Figura 3. Foto scattata dalla sonda Apollo 15 dei crateri Aristarchus e Herodotus.

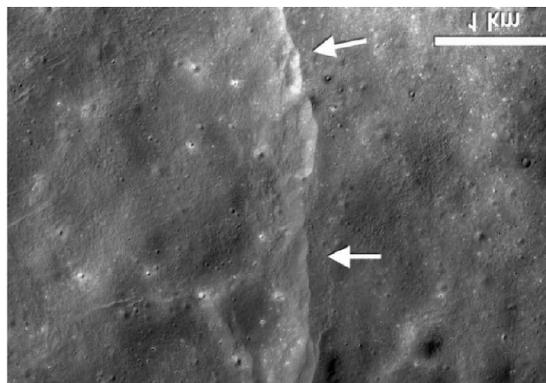


Figura 4. Faglia di spinta sulla superficie lunare prodotta dal suo graduale rimpicciolimento

La differenza tra lunamoti e terremoti è da ricercarsi nella causa: per quanto riguarda i terremoti, essi, derivano dalla natura tettonica della Terra e dal loro conseguente movimento mentre sulla Luna non sono presenti le placche. La conseguenza di tale mancanza si può riscontrare anche nella durata degli eventi, difatti, sulla Terra durano pochi secondi, mentre sulla Luna possono durare alcuni minuti o anche di più poiché la composizione della superficie non permette di diradarne le vibrazioni in tempi brevi.

Tuttavia, un gruppo di ricercatori dell'Università del Maryland, tra cui Nicholas Schmerr, ha progettato un nuovo algoritmo per analizzare i dati raccolti dagli strumenti posizionati sulla Luna dalle missioni Apollo, negli anni '60 e '70 e ha evidenziato lo spostamento di massi e regolite smossa in prossimità di scarpate e faglie che si formano per l'esistenza di attività tettonica.

Successivamente queste posizioni sono state sovrapposte alle immagini di Lro (Lunar Reconnaissance Orbiter) delle faglie

tettoniche giungendo alla conclusione che otto dei sismi dipendano da una attività tettonica lungo le faglie e non dall'attività che proviene dalle profondità della Luna o dall'impatto con gli asteroidi.

Secondo quanto riportato sulla rivista *Nature Geoscience*, Schmerr ritiene che le faglie siano attive ancora oggi e che possano generare ancora lunamoti.

/ Conclusioni

Ne si può quindi dedurre che, al fine di realizzare un insediamento sul suolo lunare, sia del tutto impossibile adottare le medesime convenzioni progettuali e costruttive che siamo abituati ad utilizzare sulla Terra, proprio perché le soluzioni tecnologiche a cui siamo soliti ricorrere sono state appositamente studiate per adattarsi alle condizioni ambientali terrestri.

Quella di progettare un insediamento sulla Luna si propone essere dunque una sfida di rilevante importanza, dovendo far fronte a condizioni ambientali che inevitabilmente pongono i progettisti di fronte alla necessità di rivedere completamente le convenzioni progettuali consolidate sulla Terra, al fine di creare soluzioni efficaci e sostenibili in vista della sempre più concreta realtà del ritorno dell'uomo sulla Luna.

L'intenzione dietro a questa ricerca di tesi è dunque quella di analizzare le convenzioni progettuali consolidate sulla Terra e le motivazioni alla base della loro formulazione, che includono complesse interazioni tra aspetti naturali, storici, tecnici e politici. Sulla base di questa analisi si vuole dunque ipotizzare come tali convenzioni possano essere adattate o rielaborate in modo innovativo ed efficace per un contesto nuovo e diverso come quello lunare.

L'obiettivo è quello di contribuire al progresso della progettazione spaziale sostenibile cercando di definire quale sarà il ruolo della figura professionale dell'architetto nell'ambito della colonizzazione dello spazio, in vista di un'ormai non più così lontana vita oltre la Terra.

/ Metodologie a confronto

La presente ricerca di tesi ha avuto inizio nel mese di Marzo 2023 con l'opportunità di partecipare al seminario di tesi "Teoria e critica dell'azione progettuale" tenuto dai professori Giovanni Durbiano e Alessandro Armando, che mi ha permesso di avere un primo approccio alla disciplina della metodologia del progetto.

Durante il corso sono state poste le prime basi per l'avvio della ricerca, l'intenzione iniziale di questa tesi era quella di proporre un'idea di progetto di un insediamento lunare per scopi scientifici, in vista delle future missioni spaziali.

L'analisi delle particolari condizioni ambientali del nostro satellite è stato il primo approccio per quanto concerne il tema dell'architettura spaziale, al fine di comprendere appieno il contesto progettuale, con tutte le difficoltà del caso, in modo tale da poter avere gli strumenti necessari per iniziare una ricerca sulle diverse soluzioni da ipotizzare.

Di fondamentale importanza sono state le tesi che sono state precedentemente elaborate sul tema della realizzazione di un insediamento lunare: ***Processo progettuale e progettazione di un'infrastruttura turistica in ambiente lunare*** – una nuova era per la progettazione architettonica (S. Alongi, M. Beccia, M. Ranieri); ***Habitation on the Moon*** – Designing for a New Frontier (E. Nur Yavuz, E. Kirmiziyasil, 2023); ***In-Between*** – Bridging Earth to the Moon with the architectural project (M. Mammino, 2023).

Tra i punti in comune più rilevanti dei tre elaborati vi è la presenza della mappatura dei processi progettuali che hanno portato alla definizione di una strategia per procedere alla stesura dei vari scenari plausibili in una futura colonizzazione lunare.

L'approccio iniziale al mio elaborato di tesi è consistito nell'analisi unicamente concentrata sulla realizzazione dell'habitat a livello progettuale, secondo uno schema lineare all'interno del quale ciascuna fase era a sé stante, senza che venissero considerate le condizioni al contorno, ovvero tutto ciò che riguarda una missione spaziale (Grafico 1).

In seguito ad alcuni incontri avvenuti con il collettivo di tesi, si è ritenuto necessario svolgere l'elaborato perseguendo un obiettivo leggermente diverso, ovvero che comprendesse la realizzazione di un insediamento sulla Luna, ma rendendo corpo centrale della tesi il costante paragone tra le istanze che condizionano la progettazione sulla Terra, dunque tutto ciò che si cela dietro alla definizione dei regolamenti edilizi terrestri, e quelli che potrebbero essere i criteri secondo i quali stilare, in futuro, un ipotetico regolamento edilizio lunare.

In tal modo si è ampliata la ricerca, con l'obiettivo di porre le basi per comprendere tutte quelle che potrebbero essere le eventuali implicazioni della sempre più imminente colonizzazione lunare, ad esempio sul come possa avvenire la regolarizzazione degli standard edilizi sulla Luna, rispetto alla Terra.

Grazie a questo intervento e alla conseguente introduzione di un maggior numero di fonti bibliografiche da consultare, il processo ha iniziato ad assumere un flusso non lineare e maggiormente interattivo, in seguito soprattutto all'entrata in gioco di molteplici argomenti e implicazioni da analizzare. (Grafico 2)

/ Approccio n. 1

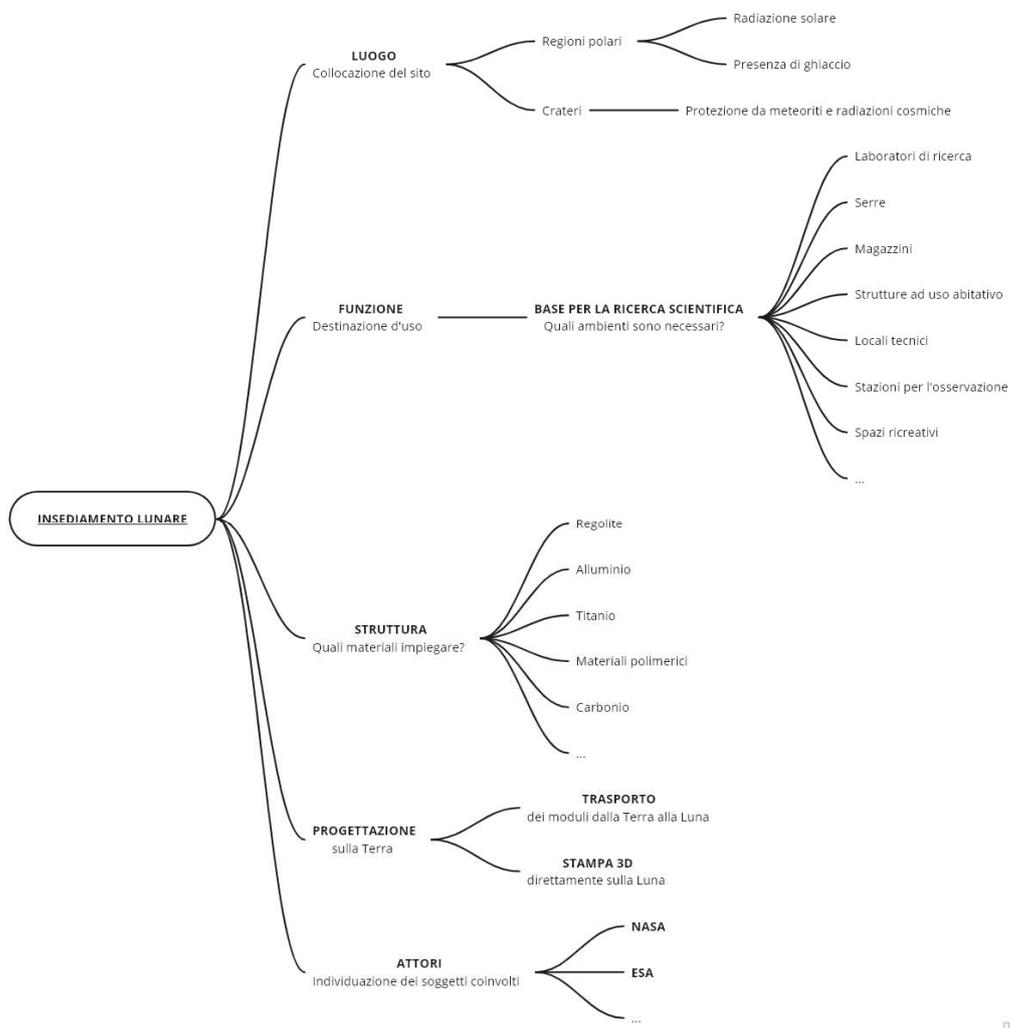


Grafico 1_Primo approccio lineare incentrato sul progetto dell'habitat

/ Approccio n. 2

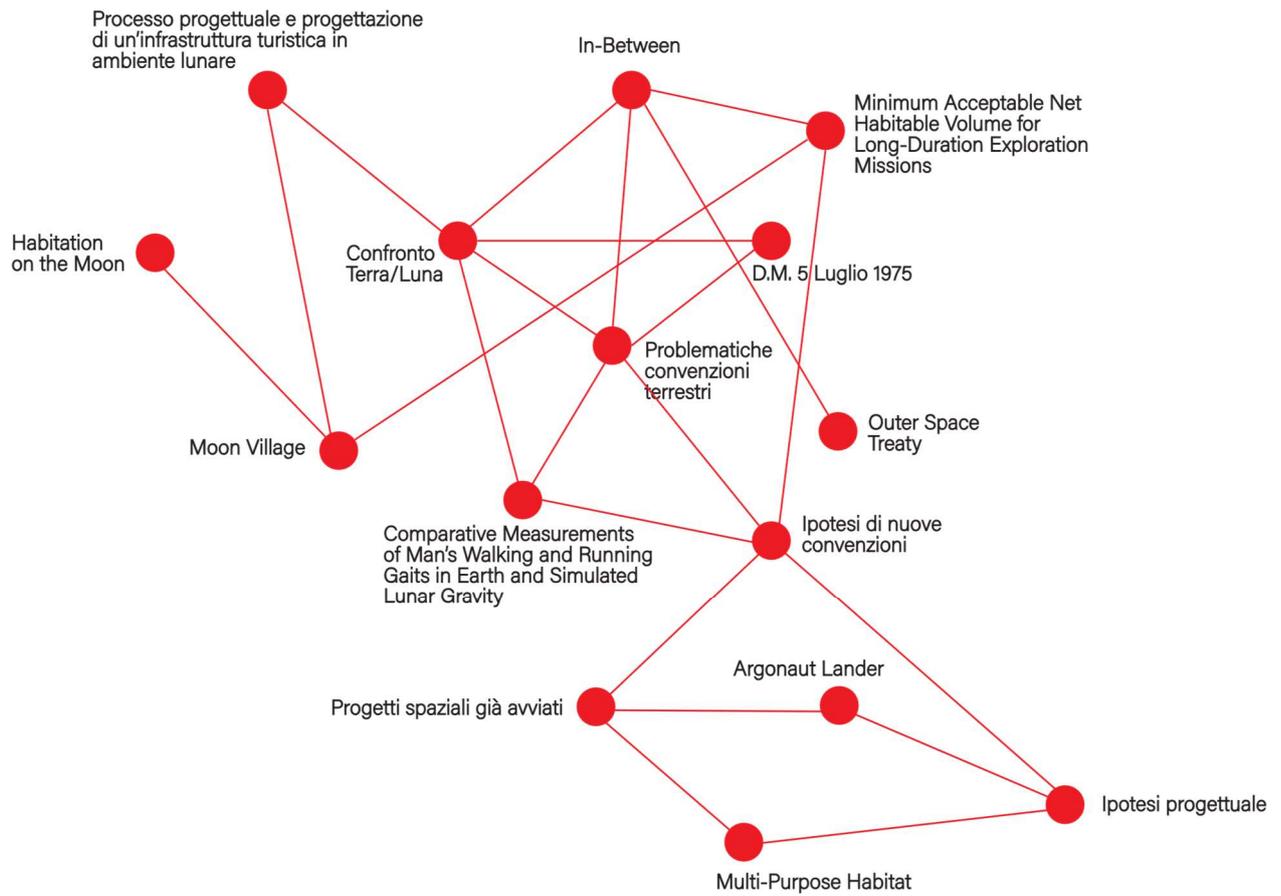


Grafico 2_ Secondo approccio che prende in considerazione più fattori

CAPITOLO 3

Confronto Terra/Luna

/ Collocazione del sito

Nell'intento di realizzare un confronto tra la Terra e la Luna, tra le documentazioni che si è scelto di tenere in considerazione la sopracitata tesi magistrale intitolata *Processo progettuale e progettazione di un'infrastruttura turistica in ambiente lunare – una nuova era per la progettazione architettonica*, scritta da S. Alongi, M. Beccia, M. Ranieri.

La ricerca ha spaziato tra diversi macroargomenti, offrendo un'ampia panoramica della situazione attuale nell'ambito della colonizzazione dello spazio da più punti di vista, quali quello ambientale, quello geopolitico e quello architettonico.

Gli autori della tesi, una volta individuate la missione e la destinazione d'uso di un ipotetico scenario di progetto, hanno approfondito l'analisi delle condizioni ambientali lunari, quali la gravità ridotta, l'atmosfera rarefatta, le temperature estreme e l'esposizione alle radiazioni solari e cosmiche e alle polveri lunari, per cercare di trovare un punto che potesse rivelarsi strategico per la realizzazione di un modulo abitativo destinato ad ospitare quattro astronauti per un lasso temporale di circa 3/4 mesi⁸.

Negli ultimi anni svariati studi e ricerche condotti dalla NASA hanno rilevato 13 aree sulla Luna che possono essere considerate potenzialmente adatte a prestarsi come zone ideali per i prossimi allunaggi della missione Artemis (la 3, più precisamente)⁹ e come base per la realizzazione di un insediamento (Fig. 5)

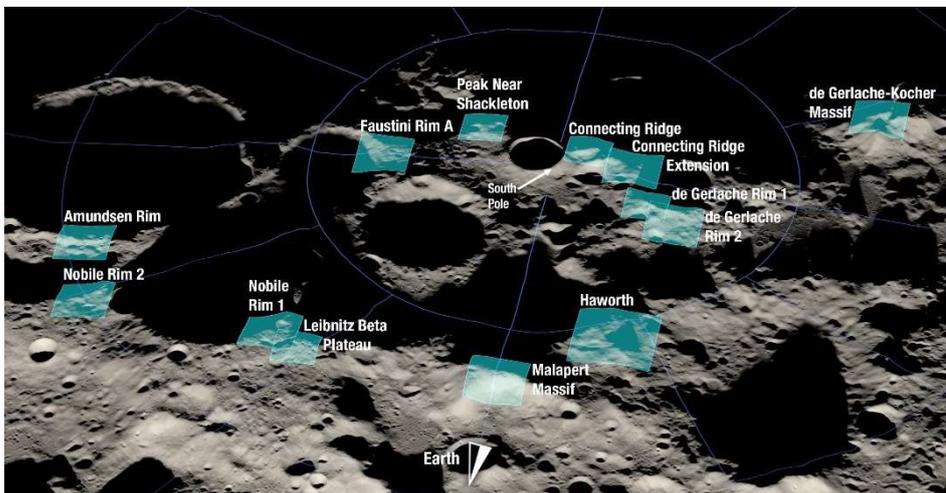


Figura 5_Le 13 zone selezionate dalla NASA per l'allunaggio di Artemis 3. Fonte: NASA

⁸ S. Alongi, M. Beccia, M. Ranieri, *Processo progettuale e progettazione di un'infrastruttura turistica in ambiente lunare - una nuova era per la progettazione architettonica*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura, Politecnico di Torino, 2021.

⁹ S. Piccin, *Ecco le 13 possibili zone di allunaggio per Artemis 3*, in "astropace.it", 20 agosto 2022

Tra queste vi è il cratere Shackleton, scelto dagli autori della tesi, poiché dalle ricerche scientifiche effettuate dalla NASA è emersa la presenza nelle sue vicinanze di importanti e abbondanti riserve di acqua sottoforma di ghiaccio nel sottosuolo, oltre al vantaggio di trovarsi presso il Polo Sud, una posizione favorevole per la ricezione della radiazione solare sfruttabile come fonte energetica¹⁰.

Non è solo la superficie lunare ad essere abitabile: anche il sottosuolo può essere sfruttato per l'abitabilità umana, grazie ai *lava tubes* lunari, grotte generate dall'escavazione della lava che presentano caratteristiche morfologiche simili alle caverne terrestri (Fig. 6), dalle quali però si differenziano principalmente per le dimensioni: mentre sulla Terra raggiungono tra i 10 m e i 30 m di diametro, sulla Luna possono invece misurare fino a più di 40 km di lunghezza¹¹.

Tale collocazione si ritiene ideale poiché si è al riparo dalle radiazioni e dai meteoriti.

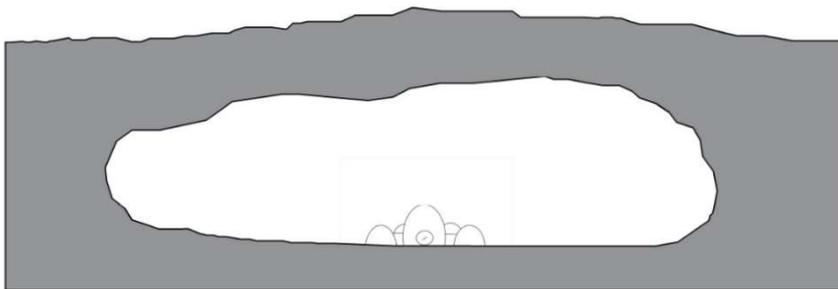


Figura 6_ Schizzo concettuale di un ipotetico insediamento all'interno di un lavatube (disegno realizzato da C. Arese)

¹⁰ A. D'Ottavio, *Polo sud lunare: il nuovo "west" della geopolitica spaziale e non solo*, in "Geopolitica.info", 2021.

¹¹ F. Sauro, R. Pozzobon, M. Massironi, P. De Berardinis, T. Santagata, J. De Waele, *Lava tubes on Earth, Moon and Mars: A review on their size and morphology revealed by comparative planetology*, Earth-Science Reviews, Volume 209, 2020

/ Confronto Terra-Luna

È già noto come l'ambiente lunare sia altamente ostile per la vita umana, a causa dei fattori citati, si ritiene dunque necessario cercare di trarre il miglior vantaggio possibile dalle esigue risorse che si hanno a disposizione, oppure di provare a sfruttare quelli che apparentemente potrebbero essere considerati dei limiti, trasformandoli in caratteristiche vantaggiose.

È con questo concetto che si vuole entrare nel merito del tentativo di ipotizzare una possibile conformazione di un insediamento sulla Luna, utilizzando come trampolino di lancio le ricerche precedentemente effettuate.

Consultando la tesi *Processo progettuale e progettazione di un'infrastruttura turistica in ambiente lunare – una nuova era per la progettazione architettonica* è possibile imbattersi in rappresentazioni illustrative di scenari dimostranti come potrebbero ipoteticamente apparire gli interni delle strutture (Fig. 7 e 8)



Figure 7, 8_Render tratti dalla tesi *Processo progettuale e progettazione di un'infrastruttura turistica in ambiente lunare - una nuova era per la progettazione architettonica* (S. Alongi, M. Beccia, M. Ranieri)

Si tratta di render che danno al lettore la percezione della sempre più concreta possibilità di una vita sulla Luna.

Ma, come è anche stato riportato dagli autori stessi, se si prova a concentrare l'attenzione ancora una volta sul rapporto che un edificio lunare debba avere con l'ambiente che lo circonda, si può concludere che per alcuni aspetti la realizzazione delle immagini sia stata in parte influenzata dalle convenzioni che siamo abituati sperimentare sulla Terra, ad esempio la modalità con cui è stato organizzato l'allestimento, considerato non adeguato ad una struttura lunare.

In un ambiente ostile come quello lunare è fondamentale un uso economico degli spazi per far fronte alla limitata disponibilità delle risorse necessarie per la vita, è importante dunque avere ambienti di piccole dimensioni da ottimizzare nel miglior modo possibile.

A fronte di questo genere di problematiche verrebbe dunque da chiedersi in quale altro modo si potrebbe progettare uno spazio interno sfruttando a proprio vantaggio le caratteristiche che a primo impatto potrebbero sembrare degli ostacoli.

Per rispondere a questa domanda potrebbe rivelarsi essere uno spunto interessante un confronto con le **Istruzioni Ministeriali del 20 Giugno 1896**, un documento che riguarda la compilazione dei regolamenti locali sull'igiene del suolo e dell'abitato¹², ma in particolar modo analizzare il **Decreto Ministeriale del 5 Luglio 1975**, denominato ***Modificazioni alle istruzioni ministeriali 20 Giugno 1896, relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico-sanitari principali dei locali di abitazione***, un documento redatto con l'intento di porre delle linee guida nazionali, più stringenti ed adeguate rispetto alla legge precedente, da rispettare riguardo all'interno delle abitazioni in tema di altezze dei locali, superfici, temperatura interna, illuminazione naturale, ventilazione e materiali di costruzione.

¹² *Istruzioni Ministeriali 20 giugno 1896*, in "architettura.it"

Per procedere all'analisi verranno presi in considerazione gli elementi principali che tipicamente compongono l'ambiente interno ed esterno di un'abitazione terrestre, cercando di capire quali caratteristiche possono essere riproposte sulla Luna e quali invece no, oppure se si possano rielaborare in modo che risultino funzionalmente coerenti con il contesto ambientale del satellite.

All'interno del D.M. 5 Luglio 1975 viene decretata una serie di articoli che sarà successivamente analizzata più approfonditamente per provare a capire quali tra queste convenzioni possono essere proiettate nell'ambiente lunare, ipotizzandone la fattibilità.

È possibile raggruppare gli articoli sulla base di macrocategorie, quali le misure di altezze e superfici; la temperatura interna; l'illuminazione naturale; la ventilazione; l'acustica.

Nel tentativo di ipotizzare delle convenzioni che possano adattarsi ad un habitat lunare si è inevitabilmente influenzati in gran parte dalle condizioni che siamo abituati ad adottare da sempre sulla Terra.

Dopo aver compreso appieno le varie problematiche fisiche ed ambientali che caratterizzano il nostro satellite, la sfida principale è quella di realizzare un confronto con le caratteristiche terrestri, nel tentativo di proporre qualcosa di nuovo, in modo tale da avere nuove risorse da cui accingere sulla Luna, e anche sulla Terra.

La strategia per elaborare una proposta progettuale per un insediamento lunare è stata quella di proiettare un modello standard di edificio ad uso abitativo terrestre sulla Luna, per poi esaminare ogni caratteristica in modo da individuare quali componenti possono essere adatte anche al contesto lunare e quali invece no.

/ Illuminazione

Osservando l'abitazione terrestre esternamente, diverse sono le prime proprietà che catturano l'attenzione, quali la presenza di finestre, balconi e della copertura.

In un edificio terrestre la presenza di aperture, e quindi di un'illuminazione interna ottimale, è di fondamentale necessità affinché possano essere garantiti il comfort e l'abitabilità dell'ambiente.

Per questo motivo il D.M. 5 Luglio 1975 ha dedicato un articolo all'**illuminazione naturale**:

Art. 5

Tutti i locali degli alloggi, eccettuati quelli destinati a servizi igienici, disimpegni, corridoi, vani scala e ripostigli debbono fruire di illuminazione naturale diretta, adeguata alla destinazione d'uso.

Per ciascun locale d'abitazione, l'ampiezza della finestra deve essere proporzionata in modo da assicurare un valore di fattore di luce diurna medio non inferiore al 2‰, e comunque la superficie finestrata apribile non dovrà essere inferiore a 1/8 della superficie del pavimento.

Per gli edifici compresi nell'edilizia pubblica residenziale occorre assicurare, sulla base di quanto sopra disposto e dei risultati e sperimentazioni razionali, l'adozione di dimensioni unificate di finestre e, quindi, dei relativi infissi.

A causa della rarefazione dell'atmosfera lunare, l'esposizione alle radiazioni cosmiche è pari a circa 200 volte la quantità di radiazioni che riceviamo sulla Terra¹³, una misura che aumenterebbe di oltre il 3% il rischio di effetti negativi sulla salute dell'uomo.

Pertanto, non è possibile prevedere la fruizione di illuminazione naturale diretta all'interno di un habitat lunare, come invece può e deve essere garantita sulla Terra, dove è possibile disporre di aperture grazie alla presenza di atmosfera; non è dunque nemmeno possibile usufruire di spazi esterni come quelli dei balconi.

¹³ A. Mann, *Moon safe for long-term human exploration, first surface radiation measurements show*, in "<https://www.science.org/content/article/moon-safe-long-term-human-exploration-first-surface-radiation-measurements-show>" 25 Settembre 2020.

Un approccio interessante è quello adottato nel progetto della già precedentemente citata Lunar Lantern (Fig. 10 e 11), un avamposto progettato da ICON in collaborazione con SEArch+ per la NASA con lo scopo di superare i fattori di sicurezza per i suoi abitanti a sostegno della prima missione estesa dell'umanità sul suolo lunare¹⁴. La soluzione adottata in tema di illuminazione interna consiste nell'utilizzo di sistema di illuminazione controllato da un'intelligenza artificiale in grado di modulare luminosità e temperatura del colore, al fine di mantenere il ritmo circadiano degli astronauti.

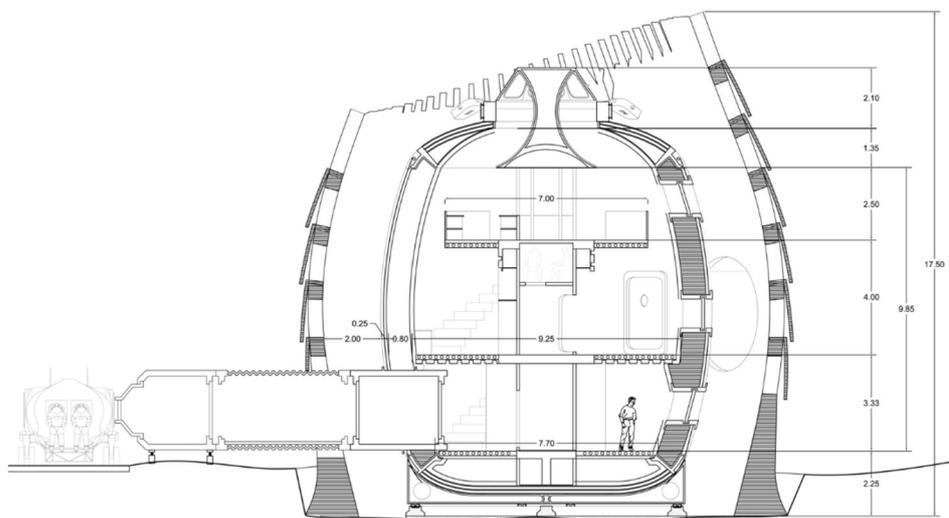


Figure 10, 11_ Lunar Lantern. Fonte: <https://www.spacearch.com/lunar-lantern>

¹⁴ *Lunar Lantern*, in “spacearch.com”.

È necessario inoltre misurare la quantità di illuminazione naturale che è possibile garantire al fine di tutelare il benessere visivo dell'utenza.

A questo scopo sulla Terra si fa affidamento alla disciplina dell'illuminotecnica per quanto riguarda il progetto dell'illuminazione naturale, che tratta come garantire condizioni di sufficienza di flusso luminoso, al fine di rispettare le prescrizioni dell'illuminamento minimo all'interno degli ambienti sulla base delle destinazioni d'uso.

Le condizioni al contorno che definiscono l'illuminazione naturale sono il **flusso luminoso diretto**, ovvero quello proveniente dal sole e/o dalla volta celeste e che entra direttamente nell'ambiente attraverso le finestre; il **flusso luminoso indiretto**, ovvero quella porzione di flusso luminoso che entra in contatto con superfici riflettenti esterne all'ambiente; il **flusso di riflessione interna**, generato dalle riflessioni multiple che si verificano sulle superfici interne.

Sulla base di questi fattori è stato adottato un metodo per affrontare il progetto dell'illuminazione naturale, più precisamente per verificare il numero e la misura ideali delle aperture, mediante il calcolo del **fattore medio di luce diurna** (FLDm), ovvero il rapporto, espresso in percentuale, tra l'illuminamento medio dell'ambiente e l'illuminamento che si ha nello stesso istante su una superficie orizzontale esterna esposta alla volta celeste con cielo coperto il quale si basa sul principio di conservazione dell'energia: calcolato il flusso luminoso entrante in un ambiente confinato, si dovrà esprimere dal punto di vista energetico. Più il coefficiente di trasmissione è elevato, maggiore sarà la quantità di flusso luminoso entrante.

Secondo la normativa italiana il fattore medio di luce diurna varia in base alla destinazione d'uso dell'ambiente. Ipotizzando di voler realizzare un habitat, quindi ad uso residenziale, sulla base della norma UNI 10840 il valore da rispettare di FLDm sarebbe $\geq 2\%$.

Ad oggi però non esiste ancora una soluzione che possa garantire l'ingresso di illuminazione naturale, contatto con l'ambiente esterno e protezione dalle radiazioni allo stesso tempo, quindi si ritiene opportuno avvalersi dell'illuminazione artificiale, appositamente progettata in modo da supportare lo stato psicofisico dell'equipaggio durante la permanenza sulla Luna.

/ Ventilazione

La presenza di aperture non è solo richiesta per la questione dell'illuminazione interna, quanto invece anche al fine di poter garantire la ventilazione, per un corretto ricambio d'aria all'interno degli ambienti.

Negli edifici terrestri il tema della **ventilazione** è trattato dal D.M. 5 Luglio 1975:

Art. 6

Quando le caratteristiche tipologiche degli alloggi diano luogo a condizioni che non consentano di fruire di ventilazione naturale, si dovrà ricorrere alla ventilazione meccanica centralizzata immettendo aria opportunamente captata e con requisiti igienici confacenti.

È comunque da assicurare, in ogni caso, l'aspirazione di fumi, vapori ed esalazioni nei punti di produzione (cucine, gabinetti, ecc.) prima che si diffondano.

Il "posto di cottura", eventualmente annesso al locale di soggiorno, deve comunicare ampiamente con quest'ultimo e deve essere adeguatamente munito di impianto di aspirazione forzata sui fornelli.

Art. 7

La stanza da bagno deve essere fornita di apertura all'esterno per il ricambio dell'aria o dotata di impianto di aspirazione meccanica.

Nelle stanze da bagno sprovviste di apertura all'esterno è proibita l'installazione di apparecchi a fiamma libera.

Per ciascun alloggio, almeno una stanza da bagno deve essere dotata dei seguenti impianti igienici: vaso, bidet, vasca da bagno o doccia, lavabo.

Sulla Luna non è possibile però, a differenza della Terra, disporre di serramenti apribili a contatto con l'ambiente, a causa della mancanza di pressione atmosferica che porta a dover adottare habitat internamente pressurizzati.

Dunque, quella della ventilazione naturale per il ricircolo dell'aria è una condizione che in un ambiente extraterrestre privo di atmosfera non può essere rispettata. Si dovrà quindi ricorrere alla ventilazione meccanica di ricircolo, in modo che l'aria interna venga purificata dall'impianto e reintrodotta all'interno dell'ambiente, poiché non è possibile adottare la ventilazione meccanica controllata, in quanto

non può essere prelevata aria contenente ossigeno dall'ambiente esterno. Non essendo quindi nessun ambiente all'interno dell'habitat lunare provvisto di aperture all'esterno occorrerà evitare l'installazione di apparecchi a fiamma libera.

/ Coperture

Nel caso delle coperture invece, sulla Terra ne esistono svariate tipologie in base alla zona climatica, da quella a falde, progettata poter garantire protezione dagli agenti atmosferici ed un corretto smaltimento delle acque piovane, alle coperture piane, che possono essere sfruttate come spazi praticabili e come giardini pensili.

Sulla Luna non ci sono le stesse condizioni meteorologiche a cui siamo abituati sulla Terra, si hanno però piogge di meteoriti e polveri lunari che possono rivelarsi pericolosamente dannose per le strutture e soprattutto per la sopravvivenza degli esseri umani.

Per fronteggiare questi pericoli l'intero edificio deve essere una sorta di scudo, motivo per il quale il concetto di copertura in ambito spaziale non può essere considerato come sulla Terra.

/ Scale

Tenendo sempre in considerazione come riferimento principale il modello dell'edificio abitativo standard, immaginando di addentrarci al suo interno uno dei primi elementi che saltano all'occhio è la presenza delle scale.

Quello delle scale all'interno di un insediamento lunare è un argomento in realtà già in parte trattato all'interno della tesi *In Between - Bridging Earth to the Moon with the architectural project* (M. Mammino).

Un esempio citato nel corso della ricerca è quello della scala, intesa come componente architettonica generalmente utilizzata per permettere il collegamento tra i diversi piani di un edificio.

La loro conformazione tipica è il risultato di una combinazione di diversi fattori in risposta all'esigenza di sviluppare gli edifici in altezza e di disporre dunque di un sistema che permetta l'accesso ai livelli superiori.

La configurazione della scala per come la conosciamo abitualmente è dovuta alla soddisfazione dei criteri di ergonomia e di risoluzione dello spazio disponibile: si deve dunque progettare uno spazio adeguato affinché il passaggio su di essa avvenga in modo

confortevole, in modo da evitare l'affaticamento di chi la percorre tutelandone la sicurezza, riducendo il rischio di incidenti.

Nel corso del tempo sono state decretate diverse misure per quanto riguardano la pendenza, la larghezza, l'alzata e la pedata: ad oggi è ritenuto adeguato che in un ambiente interno una rampa di scale debba disporre di un'inclinazione compresa tra i 30° e i 60° rispetto al piano del pavimento; la larghezza debba essere dimensionata in base al flusso di persone previsto, in un contesto residenziale può quindi essere ipotizzata di almeno 80 cm; l'alzata deve essere compresa tra i 15 e i 17 cm, mentre la pedata viene ricavata dalla formula di Blondel:

$$2a + p = 62 \div 64 \text{ cm}$$

dove a=alzata, p=pedata.

La pedata ideale è considerata generalmente di 30 cm¹⁵.

È inoltre altamente consigliabile che la rampa di scale disponga di un pianerottolo di sosta ad intervalli predefiniti di gradini, sempre al fine di prevenire l'affaticamento degli utenti.

Generalmente si ritiene adeguata la progettazione di un pianerottolo al massimo ogni 15 gradini, con larghezza non inferiore a quella della rampa¹⁶.

Diverse sono le tipologie di scale che sono state elaborate:

- **Scala dritta**

Si tratta di una tipologia di rampa che può essere declinata in molteplici modi, a seconda dello spazio che si ha a disposizione e della distanza da percorrere tra un livello e l'altro.

- **Scala a chiocciola**

Si tratta di una configurazione secondo la quale l'andamento della rampa segue una forma elicoidale in direzione verticale, che si snoda attorno ad un asse centrale. Generalmente si ricorre a questa soluzione laddove lo spazio disponibile in pianta per la collocazione

¹⁵ *Come progettare una scala: criteri, norme ed esempi da scaricare*, in "biblus.acca.it"

¹⁶ *Ibidem* n.15

di una rampa di scale sia particolarmente limitata in rapporto al dislivello necessario da percorrere.

Può essere a pianta circolare o quadrata ed avere diverse configurazioni in base alla forma e alla dimensione dello spazio all'interno del quale viene collocata.

- **Scala a pioli**

Viene definita anche “scala portatile”, data la sua versatilità ad essere considerata maggiormente un attrezzo associato a varie tipologie di impieghi.

La riduzione di gravità comporta diverse alterazioni nella locomozione, tra le quali maggiori instabilità nell'andatura e ampiezza dei movimenti¹⁷.

Ipotizzando ad esempio di utilizzare la scala dritta per il collegamento tra i diversi livelli di un edificio, si può considerare l'idea di porre modifiche alle misure di pendenza,alzata e pedata, in modo tale che siano conformi alla locomozione a gravità ridotta. Per quanto riguarda la pendenza della rampa l'ESA ha riportato che può essere considerata ideale un'inclinazione dal pavimento tra i 67° e i 78°¹⁸.

Anche le misure dell'alzata e della pedata dovrebbero essere soggette a modifiche, poiché la distanza percorsa in altezza con il movimento di uno slancio verso l'alto, come avviene nel caso della salita di una rampa di scale, è maggiore sulla Luna rispetto alla Terra, dunque risulterebbe opportuno aumentare la misura sia di alzata sia di pedata, in base alla distanza più comoda percorribile. Questo concetto può ritenersi valido se si pensa al movimento in salita, ma non è detto che possa valere anche per la discesa. Necessaria è inoltre la presenza di un corrimano, sempre per questioni di sicurezza.

¹⁷ D.E. Hewes, A.A. Spady Jr., R.L. Harris, *Comparative Measurements of Man's Walking and Running Gaits in Earth and Simulated Lunar Gravity*, NASA TN D-3363, Giugno 1966.

¹⁸ ESA, ESTEC, *CDF Study Report, Moon Village Conceptual Design of a Lunar Habitat*, CDF-202(A) Issue 1.1., 2020.

/ Abitabilità

Successivamente alle scale può essere individuato un altro aspetto importante, quale la **dimensione e l'abitabilità degli ambienti** interni in termini di spazio fruibile.

Il tema nel D.M. 5 Luglio 1975 è trattato nel seguente modo:

Art. 1

L'altezza minima utile dei locali adibiti ad abitazione è fissata in m 2,70, riducibili a m 2,40 per i corridoi, i disimpegni in genere, i bagni, i gabinetti ed i ripostigli.

Nei comuni montani al di sopra dei 1000 m s.l.m. può essere consentita, tenuto conto delle condizioni climatiche locali e della locale tipologia edilizia, una riduzione dell'altezza minima dei locali abitabili a 2,55 m.

Art. 2

Per ogni abitante deve essere assicurata una superficie abitabile non inferiore a 14 m², per i primi 4 abitanti, ed a 10 m², per ciascuno dei successivi.

Le stanze da letto debbono avere una superficie minima di 9 m², se per una persona, e di 14 m², se per due persone.

Ogni alloggio deve essere dotato di una stanza di soggiorno di almeno 14 m².

Le stanze da letto, il soggiorno e la cucina debbono essere provvisti di finestra apribile.

Art. 3

Ferma restando l'altezza minima interna di 2,70 m, salvo che per i comuni situati al di sopra dei 1000 m s.l.m. per i quali valgono le misure ridotte già indicate all'art. 1, l'alloggio monostanza, per una persona, deve avere una superficie minima, comprensiva dei servizi, non inferiore a 28 m², e non inferiore a 38 m², se per due persone.

Il limite di altezza minima dei locali adibiti ad abitazione è stato constatato per motivi di agibilità di un edificio, oltre a ragioni igienico-sanitarie: un'altezza minima di 2,70 metri è infatti una misura ritenuta consona a rendere un ambiente sicuro per poter essere fruibile, salubre dal punto di vista della circolazione dell'aria e adatto in tema di efficienza degli impianti e di risparmio

energetico, se pensiamo ad esempio all'utilizzo di sistemi per il riscaldamento o il raffrescamento dell'aria¹⁹.

Come per il primo articolo, anche le misure riguardanti le superfici espresse negli articoli 2 e 3 sono state decretate in base ad alcuni criteri, quali la salute e la sicurezza, al fine di garantire un ambiente salubre e sicuro; la misura in questo caso viene decisa in base alla destinazione d'uso: la dimensione di un ambiente deve infatti permettere un'adeguata mobilità e vivibilità al suo interno, tenendo conto dello spazio necessario affinché sia garantita la sua corretta funzionalità.

Da uno studio condotto dalla NASA risalente al 2015, *Minimum acceptable Net Habitable Volume for Long-Duration Exploration Missions*, emerge che per poter ipotizzare delle misure consone ad una permanenza extraterrestre prolungata (si fa riferimento a Marte, in questo caso, dove la gravità equivale a 3,71 m/s², pari dunque a circa 1/3 di quella terrestre, e di conseguenza circa il doppio di quella sulla Luna), in modo da garantire il benessere psicologico ed il comfort dell'equipaggio, è necessario come prima cosa prendere in considerazione alcuni parametri, quali ad esempio la durata della missione e la sua natura, oltre alla dimensione dell'equipaggio e alla sua composizione in termini di genere, cultura e impiego.

Gli autori dello studio hanno, come primo approccio, identificato le principali necessità e attività (alimentazione, riposo, attività sociali, lavoro, igiene ed attività fisica, ad esempio) che ci si aspetta intraprendere durante una permanenza prolungata, per poi così stilare una lista delle aree necessarie a garantire la soddisfazione di queste esigenze, quali spazi per il riposo e la privacy, aree per le attività sociali e di ristoro, spazi per il lavoro, palestre, infermerie, magazzini e spazi per l'igiene personale²⁰.

Nel tentativo di immaginare un ambiente, ad esempio ad uso residenziale, è necessario provare a prevedere quali saranno le funzioni e le azioni che si potrebbero svolgere al suo interno.

È di fondamentale importanza dunque esaminare la locomozione umana all'interno di un ipotetico habitat lunare caratterizzato dalla riduzione di gravità, classificando le principali tipologie di movimenti e la loro variazione sul suolo lunare in rapporto a quello terrestre.

¹⁹ *Altezza locali abitativi: norme e valori*, in "certifico.com"

²⁰ A. Whitmire, L. Leveton, H. Broustton, M. Basner, A. Keraney, L. Ikuma, M. Morris, *Minimum acceptable Net Habitable Volume for Long-Duration Exploration Missions*, NASA, 2015.

Uno studio risalente al 1966 condotto dalla NASA ha svolto alcuni test in gravità lunare simulata, in cui è stato chiesto ai partecipanti, vestiti con tute leggere da volo e stivali, di camminare e correre a varie velocità, fino alle loro massime capacità, sia in condizione di gravità terrestre, sia di gravità lunare simulata, al fine di valutare le velocità massime di camminata e di corsa in gravità lunare simulata. Ne è risultato che la velocità del passo sulla Luna sia maggiore rispetto a quello sulla Terra: a causa della gravità ridotta si ha una sensazione di riduzione del peso corporeo che rende più agevole il compimento di passi lunghi che portano l'essere umano a percorrere distanze fino a 8,5 m. Di conseguenza anche il salto, quindi avrà un'altezza e una distanza maggiori, mentre la postura tenderà ad assumere un'inclinazione in avanti²¹.

La riduzione di gravità può quindi rivelarsi essere un vantaggio per l'accesso a luoghi che sulla Terra sarebbero difficilmente raggiungibili a causa dell'altezza, come ad esempio il soffitto.

Più recentemente invece, nel 2022, la NASA ha pubblicato uno studio nel quale viene analizzata la progettazione del layout interno di un insediamento lunare, con l'obiettivo di fornire una struttura abitativa adeguata a supportare un equipaggio composto da 2 fino ad un massimo di 4 membri, durante missioni per periodi di almeno 30 giorni²².

Dalla ricerca si può notare che sono state individuate delle misure minime per le diverse attività basilari svolgibili all'interno dell'habitat, sulla base di linee guida derivanti da uno studio interno della NASA, *Foundational Surface Habitat Net Habitable Volume Recommendations*, il quale definisce le misure più adeguate di volumi e aree abitabili per ciascuna funzione (Tab. 1, 2 e 3).

La strategia adottata per arrivare all'individuazione di tali dati è stata quella di far riferimento ai dati precedentemente utilizzati per stabilire il volume abitabile netto di un veicolo spaziale in combinazione ad uno studio corrispondente che applica tale processo a missioni di lunga durata²³, adattandoli alla ricerca corrente, proiettandoli dunque ad un ipotetico insediamento sul suolo lunare.

²¹ D.E. Hewes, A.A. Spady Jr., R.L. Harris, *Comparative Measurements of Man's Walking and Running Gaits in Earth and Simulated Lunar Gravity*, NASA TN D-3363, Giugno 1966.

²² C. Burke, R.L. Howard Jr., P. Kessler, *Internal Layout of a Lunar Surface Habitat*, NASA, 2022.

²³ NASA, *Net Habitable Volume Verification Method (JSC-63557)*, NASA Human Health and Performance Directorate, 2014.

Tenendo conto della condizione di gravità ridotta, all'interno della ricerca sono state stimate delle volumetrie definite sulla base dei dati antropometrici del 99° percentile di corpi maschili e femminili e delle condizioni di sicurezza standard. Sulla base di ciò ne è dunque scaturito che l'altezza minima da garantire all'interno della maggior parte degli spazi funzionali possa essere di 2,4 m, quella nelle zone adibite al sonno e allo stivaggio temporaneo di oggetti pari a 1 m, mentre quella della camera di decompressione pari a 2,6 m²⁴.

Function	Volume (m ³)	Area (m ²)
Crew Habitation		
Access to Personal Stowage	2.60	1.08
Changing Clothes	2.40	1.00
Sleep Accommodation	3.64	1.82
Stretching	3.36	1.40
EVA Support		
Computer Display and Control Interface	2.24	1.12
Suit Component Testing and Repair	3.28	1.37
Temporary EVA Items Stowage	0.25	0.25
Exercise		
Exercise on a Resistive Device	3.60	1.50
Group Socialization and Recreation		
Group Movie Viewing	5.04	2.10
Group Tabletop Games	3.89	1.62
Personal Recreation	3.89	1.62
Human Waste Collection		
Emesis Waste Collection	2.18	0.91
Menses Waste Collection	2.18	0.91
Liquid Waste Collection	2.18	0.91
Solid Waste Collection	2.18	0.91
WMS Maintenance and Repair	2.18	0.91

Function	Volume (m ³)	Area (m ²)
Hygiene		
Appearance Viewing and Body Inspection	2.54	1.06
Facial Cleaning	2.54	1.06
Fingernail/Toenail Clipping	2.11	0.88
Full Body Cleaning	2.54	1.06
Hair Styling/Grooming	2.54	1.06
Hand Cleaning	2.54	1.06
Oral Hygiene	2.11	0.88
Shaving	2.11	0.88
Skin Care	2.11	0.88
Towel and Clothes Drying	2.11	0.88
Logistics		
Logistics Packing and Inventory Management	3.28	1.37
Maintenance and Repair		
Maintenance Workstation for Equipment Diagnostics	3.28	1.37
System Component and Electronics Repair	3.28	1.37
Meal Preparation		
Food Item Sorting	1.35	0.56
Food Preparation	1.35	0.56

Function	Volume (m ³)	Area (m ²)
Meal Consumption		
Full Crew Dining	3.89	1.62
Medical Operations		
Autonomous Ambulatory Care	2.68	1.12
Basic Medical Care (Space Motion Sickness, First Aid, etc.)	4.49	1.87
Computer Interface for Telemedicine and Data Entry	2.69	1.12
Mission Planning		
Mission Planning Computer Display and Control Interface Access	4.37	1.82
Mission Planning Work Surface Access	3.89	1.62
Team Meetings	4.37	1.82
Spacecraft Monitoring and Commanding		
Computer Interface for Teleoperation & Communication	4.37	1.82
Direct Window Viewing	1.35	0.56
Spacecraft Command and Control Interface	4.37	1.82
Translation Paths		
Crew Translation Paths	---	1.00m wide
Trash Management		
Trash Packing for Disposal	2.73	1.59
Utilization		
Internal Utilization Accommodation	---	---

Tabelle 1, 2, 3_ Superfici dell'habitat in base alle funzioni²⁵

²⁴ C. Burke, R.L. Howard Jr., P. Kessler, *Internal Layout of a Lunar Surface Habitat*, NASA, 2022.

²⁵ Ibidem n. 24

/ Comfort termico

Individuati gli ambienti e le misure adeguate è necessario concentrarsi sul comfort interno in termini di **benessere termico ed acustico**.

Sulla Terra queste proprietà sono regolate sempre dal D.M. 5 Luglio 1975:

Art. 4

Gli alloggi debbono essere dotati di impianti di riscaldamento ove le condizioni climatiche lo richiedano.

La temperatura di progetto dell'aria interna deve essere compresa tra i 18°C e i 20°C; deve essere, in effetti, rispondente a tali valori e deve essere uguale in tutti gli ambienti abitati e nei servizi, esclusi i ripostigli.

Nelle condizioni di occupazione e di uso degli alloggi, le superfici interne delle parti opache delle pareti non debbono presentare tracce di condensazione permanente.

La temperatura dell'aria interna di un ambiente deve essere compresa tra i 18°C e i 20°C, poiché questa misura rappresenta la circostanza ottimale per il comfort termico umano, al fine di garantire le condizioni ideali per il benessere all'interno dell'habitat. Questo dato per l'uomo vale sia sulla Terra, sia sulla Luna, per cui è possibile considerarlo un requisito mantenibile anche in ambiente lunare.

Mentre però sulla Terra, dove la temperatura media si aggira intorno ai 14°C, è più facile garantire questo valore all'interno degli ambienti, grazie alle tecnologie di isolamento e degli impianti di riscaldamento, sulla Luna invece è necessario prendere ulteriori accorgimenti, poiché a causa delle condizioni ambientali ostili vi è un fabbisogno di energia e di riscaldamento non indifferente.

Come riporta l'articolo dell'ESA *How to keep warm on the Moon*, sono già state prese in considerazione due possibili soluzioni a questo problema. Si tratta di due approcci che si basano sull'utilizzo della massa termica, ovvero la capacità del suolo lunare di assorbire ed immagazzinare energia nei periodi durante i quali questo è colpito dalla radiazione solare, per poi rilasciare l'energia accumulata durante la notte.

La prima soluzione prevede un elaborato sistema di riflettori che hanno l'obiettivo di incanalare l'energia immagazzinata dall'interno

verso l'esterno della regolite. Si è visto però che, sebbene sia un sistema adatto a fornire energia a piccoli rover, non è in grado di raggiungere una temperatura sufficiente a far funzionare un motore termico abbastanza potente da mantenere al caldo un habitat lunare.

La seconda soluzione comporterebbe invece l'utilizzo di un sistema di scambio termico formato da degli specchi, un motore termico e tubi di calore: durante il giorno il motore verrebbe alimentato dalla radiazione solare diretta immagazzinando anche il calore in eccesso derivante dal fenomeno della massa termica, mentre di notte il motore continuerebbe a funzionare grazie al rilascio dell'energia per la massa termica²⁶ (Fig. 12).

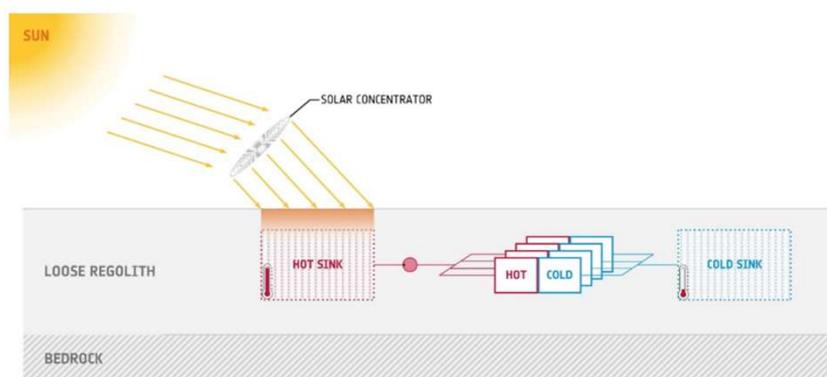


Figura 12_ Concept di un'ipotesi di stoccaggio per l'energia sulla Luna. Fonte: ESA

Oltre ad impianti energetici però è necessario avere un occhio di riguardo anche per le tecnologie di isolamento termico, una componente indispensabile affinché sia possibile raggiungere e mantenere temperature interne adeguate.

In Italia esistono diverse norme che regolano l'utilizzo di materiali isolanti nelle strutture edilizie.

La norma **UNI EN 16809-1:2020** ad esempio stabilisce le specifiche tecniche che devono avere gli isolanti prima dell'installazione.

In questo caso si parla specificatamente di polistirene espanso e le specifiche considerate sono la **conducibilità termica**, la **densità**, l'**insediamento**, la **reazione al fuoco** e la **durabilità** (resistenza

²⁶ ESA, *How to keep warm on the Moon*, in "esa.int", 17 marzo 2017.

termica e conducibilità termica contro invecchiamento e degradazione)²⁷.

Oltre a queste caratteristiche, sulla Luna è inoltre fondamentale che i materiali possano sopportare sbalzi termici estremi senza riportare danni. Un elemento che soddisfa questo requisito è l'aerogel, una sostanza composta per il 98% da aria e per il 2% da silice amorfa. Si tratta di un materiale decisamente leggero che in seguito a diversi esperimenti ha dimostrato di essere un ottimo isolante termico e, allo stesso tempo, di essere in grado di resistere a temperature estreme (dai -198°C ai 900°C) senza essere danneggiato²⁸.

Dato però l'elevato costo del trasporto di materiali dalla Terra alla Luna, sarebbe ideale ricavare dalle risorse lunari un elemento che possa soddisfare i requisiti necessari in fatto di isolamento termico. Una soluzione potrebbe trovarsi nell'utilizzo della regolite, di cui il suolo lunare è ricco, riguardo il quale sono in corso le ricerche per comprenderne meglio le potenzialità in ambito edilizio, come materiale costruttivo, prima che come isolante.

È stato rilevato come la regolite si possa prestare bene ad essere utilizzata come materiale isolante, essendo caratterizzata da una conduttività termica molto bassa, legata anche al fatto di avere una consistenza granulare. Dispone inoltre di un'elevata resistenza termica, la sua temperatura di fusione corrisponde infatti a circa 1300°C²⁹.

È necessario anche tener conto della dimensione dell'ambiente, poiché maggiore è la dimensione di un locale, maggiori saranno le quantità di energia o di materiale isolante necessarie affinché si raggiunga una temperatura interna sufficiente a soddisfare le esigenze termiche dell'utenza.

²⁷ G. Fuzio, *Isolanti termici: cambia la normativa per i materiali legati e sfusi in EPS. La nuova norma UNI EN 16809-1:2020*, in "ingenio-web.it", 3 aprile 2020.

²⁸ *Aerogel, una nuova versione aerospaziale dell'isolante termico*, in "compositimagazine.it", 25 febbraio 2019.

²⁹ M. Lavagna, *Incontro con l'esperto: la regolite lunare e i materiali granulari*, Esero Italia in "youtube.com", 24 ottobre 2022

/ Comfort acustico

L'ultimo articolo del D.M. 5 Luglio 1975 è invece incentrato sulla scelta dei materiali al fine di garantire un adeguato comfort **acustico**.

Art. 8

I materiali utilizzati per le costruzioni di alloggi e la loro messa in opera debbono garantire un'adeguata protezione acustica agli ambienti per quanto concerne i rumori da calpestio, rumori da traffico, rumori da impianti o apparecchi comunque installati nel fabbricato, rumori o suoni aerei provenienti da alloggi contigui e da locali o spazi destinati a servizi comuni.

All'uopo per una completa osservanza di quanto sopra disposto occorre far riferimento ai lavori ed agli standards consigliati dal Ministero dei lavori pubblici o da altri qualificati organi pubblici.

Per commentare quest'ultimo articolo occorre innanzitutto fare una premessa. L'onda sonora non si propaga nel vuoto, per viaggiare da una sorgente ad un ricevitore ha bisogno di un mezzo elastico da attraversare, come l'aria o l'acqua. Essendo la Luna priva di atmosfera, dunque non ci sono le condizioni necessarie affinché il suono possa essere trasmesso nello spazio.

Pertanto, è possibile concentrarsi esclusivamente sulla condizione interna agli habitat, dove invece si avrebbe un'atmosfera controllata grazie alla quale le onde sonore si propagherebbero normalmente. Sulla Terra per garantire un'acustica adeguata all'interno degli ambienti vengono utilizzati materiali fonoassorbenti e fonoisolanti come la lana di roccia, la lana di vetro e il polistirene espanso.

All'interno dell'habitat ci si può occupare soltanto del controllo del livello sonoro tra ambienti interni, poiché non si hanno rumori derivanti dall'esterno che possano interferire con la vita all'interno. L'ideale sarebbe fare affidamento su un unico materiale che sia in grado di garantire contemporaneamente comfort termico ed acustico, in modo tale da non gravare eccessivamente sul trasporto dei materiali. L'aerogel precedentemente citato, per quanto possa offrire elevate prestazioni per il comfort termico, non si può affermare altrettanto per quanto riguarda l'isolamento acustico. Un materiale che invece, almeno sulla Terra, si rivela performante per entrambe le esigenze è la lana di roccia.

Tuttavia, non è detto che in ambiente lunare sia la scelta ideale: a livello acustico l'habitat pressurizzato ricrea le condizioni atmosferiche di un'abitazione terrestre, all'interno della quale dunque le onde sonore possono essere trasmesse, indi per cui la

lana di roccia può soddisfare le esigenze di comfort acustico. Per quanto riguarda invece l'isolamento termico, in un ambiente lunare è necessario che il materiale sia in grado di resistere a sbalzi di temperatura molto importanti, caratteristica che l'aerogel ha dimostrato di poter fronteggiare, a differenza della lana di roccia, sulla cui reazione a temperature estreme come quelle lunari non si hanno ancora dati certi.

In conclusione, nel peggiore dei casi si potrebbe ipotizzare una combinazione di materiali isolanti: l'aerogel come isolante termico per proteggere l'habitat dalle temperature estreme esterne, mentre la lana di roccia come isolante acustico per regolare il suono tra gli ambienti interni.

/ Vegetazione

Una componente di cui disponiamo in abbondanza sulla Terra e l'assenza della quale sulla Luna è immediatamente percettibile, è la vegetazione.

La presenza della flora sul nostro pianeta è responsabile di molteplici benefici, dal punto di vista fisico come da quello psicologico.

Data l'impossibilità, almeno per ora, di coltivare piante sul suolo lunare, si potrebbe ad esempio ipotizzare la realizzazione di una grande serra che possa ospitare una sorta di foresta, come a voler ricreare quelle terrestri.

Si potrebbero progettare ambienti appositi per ospitare vegetazione, distinti in base alla tipologia, se per scopi agricoli e quindi per la fornitura di cibo, o se per motivi ricreativi di benessere psicologico.

Esiste già un progetto in corso per quanto riguarda la coltivazione di cibo in sistemi a circuito chiuso, si tratta dell'EDEN ISS (Fig. 13), una specie di serra il cui obiettivo è quello di far avanzare le tecnologie agricole in ambiente controllato, concentrandosi sulla dimostrazione a terra delle tecnologie di coltivazione delle piante e sulla loro applicazione nello spazio. EDEN ISS si occupa anche di procurare nutrimento sicuro per la ISS (Stazione Spaziale Internazionale), oltre ai futuri veicoli equipaggiati per le prossime missioni spaziali e gli eventuali insediamenti³⁰.

³⁰ *Ground Demonstration of Plant Cultivation Technologies for Safe Food Production in Space, in "eden-iss.net"*



Figura 13_EDEN ISS. Fonte: <https://eden-iss.net/>

Per quanto riguarda l'ipotesi della vegetazione non a fini di produzione del nutrimento, quanto invece per la necessità umana di stare a contatto con la natura, si potrebbero realizzare delle serre al cui interno possa esser riprodotto un ambiente naturale. Per favorire la crescita delle piante si pone ancora una volta il problema della necessità di disporre di illuminazione naturale, ma di non poter stare a diretta esposizione alle radiazioni, nonostante pare che le piante siano molto più resistenti alle radiazioni rispetto agli organismi animali, in quanto le cellule vegetali riescono a mettere in atto meccanismi cellulari complessi in grado di riparare il DNA danneggiato o per rimuovere i radicali liberi³¹.

Una soluzione ipotizzabile è quella di prendere esempio dalla ISS, all'interno della quale vi sono delle camere apposite, grandi circa quanto un tipico forno da cucina, attrezzate di luci a led che forniscono l'illuminazione necessaria affinché possano crescere le piante³²

³¹ C. Arena, G. Aronne, V. De Micco (Università di Napoli), *Effetti delle radiazioni ionizzanti sulla crescita delle piante*, in "avamposto42.esa.int"

³² A. Wagner, *NASA Research Boosts LED Lamps for Home and Garden*, in "nasa.gov", 21 Dicembre 2021.

CAPITOLO 4

Come funziona una missione spaziale

Prima di entrare nel dettaglio dell'aspetto progettuale architettonico vero e proprio dell'insediamento lunare occorre fare una premessa riguardante le complesse dinamiche che vi sono dietro alla pianificazione delle missioni spaziali.

Per illustrarle si può fare una comparazione con quelle che sono tra le caratteristiche fondamentali da tenere in considerazione quando, sulla Terra, si chiede ad un architetto di progettare un'abitazione, ovvero il **luogo**, il **periodo di permanenza** (ad esempio se si tratta di una residenza stabile oppure di un'abitazione adibita esclusivamente per le vacanze) e l'**utenza** a cui è rivolta.

Allo stesso modo il procedimento deve avvenire con la definizione delle missioni spaziali, dietro alle quali è dunque necessario un approfondito studio della missione, che si articola in tre fasi:

- **Definizione della tipologia della missione**
- **Definizione della durata della missione**
- **Definizione del numero di astronauti e del lavoro che devono svolgere**

/ Definizione della tipologia della missione

A seconda del livello di conoscenza dell'ambiente da esplorare è possibile stabilire la tipologia della missione tra le seguenti modalità:

- **Missione spaziale robotica:** si tratta di una missione che non prevede la presenza di un equipaggio a bordo, ma solo di macchinari quali ad esempio i rover o le sonde, che vengono inviati nello spazio ad eseguire compiti specifici al fine di raccogliere dati scientifici utili all'esplorazione del luogo. Non implicando la presenza di esseri umani, il rischio per la vita all'interno di questa tipologia di missione è nullo, ragione per la quale è possibile prolungare la durata della missione (anni, decenni);
- **Missione spaziale con equipaggio:** può essere effettuata solo nel momento in cui, tramite precedenti e numerose missioni delle prime due tipologie, si arriva ad avere un livello di conoscenza dell'ambiente e di infrastrutturazione del territorio tale da poter garantire la vita umana. A differenza della missione spaziale robotica, quella con equipaggio è

caratterizzata da un elevato rischio per la vita, ragione per la quale la durata delle missioni è generalmente molto più breve (settimane, mesi).

/ Definizione della durata della missione

Come si può evincere dal paragrafo precedente, la definizione della durata di una missione spaziale è il risultato di una complessa combinazione di vari fattori, quali ad esempio la tipologia della missione, gli obiettivi da perseguire, le condizioni ambientali del luogo oggetto di studio e, di conseguenza, la sicurezza.

Avendo come obiettivo finale quello di realizzare un insediamento che possa ospitare la vita umana sul suolo lunare, è possibile considerare direttamente l'opzione della missione che preveda la presenza di un equipaggio.

Note le condizioni ambientali lunari ostili alla vita umana, è necessario dunque stabilire la durata della missione in modo tale da limitare, per quanto possibile, i diversi rischi per la salute fisica e psicofisica degli astronauti.

Tra le problematiche principali che si hanno per quanto concerne il rischio per la vita umana è la presenza di radiazioni cosmiche, pertanto è necessario definire la durata della missione in base alle condizioni secondo le quali è possibile fornire una protezione adeguata affinché l'equipaggio sia colpito dal minor dosaggio radioattivo possibile.

Sulla ISS, ad esempio, la quale è provvista di adeguate schermature contro le radiazioni, e dove l'equipaggio è esposto ogni giorno al quantitativo radioattivo che sulla Terra un essere umano riceve in circa un anno, la permanenza degli astronauti è generalmente di circa 6 mesi, ma ci sono stati anche casi di astronauti che sono rimasti a bordo della stazione anche per più di un anno. In orbita lunare invece si riscontra in circa quattro settimane l'equivalente dose di radiazioni di un anno sulla ISS, mentre sul suolo lunare si ritiene che il quantitativo di radiazioni possa essere ancora superiore a causa della radioattività del terreno lunare dovuta alla sua elevata esposizione alle radiazioni e ai diversi fenomeni che si verificano sulla superficie, tra cui ad esempio la presenza di meteoriti che si imbattono contro il satellite.

Sulla base di questi dati si può giungere alla conclusione per cui la superficie lunare possa ospitare un equipaggio umano per circa 4 settimane, ma dal momento che si vuole arrivare ad avere un insediamento che possa permettere la vita sulla Luna per una durata maggiore è necessario studiare un modo per garantire una

schermatura dalle radiazioni tale da rendere possibile una permanenza prolungata anche ad alcuni mesi.

/ Definizione del numero di astronauti

Nell'ottica di tornare sul suolo lunare entro il 2030 con il programma Artemis, la NASA ha elaborato uno studio che *“fornisce requisiti tecnici uniformi per la salute dell'equipaggio, le prestazioni, l'addestramento, le operazioni mediche, la progettazione, la selezione e l'applicazione di hardware, pratiche e metodi per sistemi a misura d'uomo³³”,* al fine di *“guidare e focalizzare lo sviluppo dei requisiti tecnici sanitari dell'equipaggio come mezzo per proteggere gli equipaggi che viaggiano nello spazio, in modo tale da ridurre al minimo i rischi per la salute e le prestazioni degli equipaggi di volo nei programmi di volo spaziale umano³⁴”* (tradotto dall'autore).

Secondo quanto riportato dallo studio *NASA Engineer Spaceflight Human-System Standard Volume 2: Human Factors, Habitability, and Environmental Health³⁵* il numero degli astronauti che andrà a comporre l'equipaggio viene definito sulla base di alcuni fattori, quali ad esempio le caratteristiche fisiche: nel documento si parla di *“limiti superiori ed inferiori delle dimensioni fisiche, in quanto accettare un'ampia gamma di dimensioni fisiche (da molto grandi a molto piccole) ha un vantaggio: coloro che selezionano i membri dell'equipaggio possono scegliere tra una vasta gamma di background, talenti e competenze³⁶”*.

Altri fattori rilevanti nella definizione del numero dei membri dell'equipaggio riguardano l'età, il genere e le condizioni di salute, quest'ultime di fondamentale importanza in quanto si ritiene che in presenza di gravità ridotta il corpo umano sia soggetto a cambiamenti significativi riguardanti principalmente l'altezza e la postura, come avviene ad esempio in condizioni di microgravità.

³³ Office of the NASA Chief, *NASA Engineer Spaceflight Human-System Standard Volume 2: Human Factors, Habitability, and Environmental Health*, in “standards.nasa.gov”, 2015

³⁴ Ibidem n.33

³⁵ Ibidem n. 33

³⁶ Ibidem n.33

/ Definizione dei costi di una missione spaziale

Tassello fondamentale della pianificazione di una missione è la definizione dei costi che ne determinano la realizzazione.

Alla base della missione spaziale, come in qualsiasi altra tipologia di progetto indipendentemente dalla complessità e durata, vi è uno sviluppo “*sulla base di una sequenza di fasi che ne individuano gli obiettivi, i requisiti, i vincoli, le caratteristiche, le prestazioni, i costi ed i rischi*³⁷”.

Una missione non può iniziare senza un finanziamento del progetto in termini di ricerca e sviluppo delle tecnologie necessarie, di progettazione dei veicoli spaziali, dei rover, degli habitat, di tutti i macchinari necessari e della loro produzione.

Seguono poi i costi relativi alle operazioni di ogni fase della missione, dal lancio fino al rientro dell’equipaggio, sono dunque comprese tutte le operazioni di monitoraggio dell’intero processo dal centro di controllo, oltre all’analisi dei dati e dei campioni raccolti durante la missione.

Effettuare una stima dei costi, anche approssimativa, non è cosa immediata, poiché molte e complesse sono le variabili coinvolte all’interno dell’intero processo della missione spaziale, dalla sua progettazione fino all’effettiva conclusione della stessa.

A finanziare le missioni spaziali sono principalmente i governi, seguiti dalle agenzie spaziali e dalle aziende private, grazie alle quali la space economy ha assunto una nuova conformazione a partire dai primi anni 2000, in quanto hanno contribuito ad estendere i campi di interesse dell’esplorazione spaziale anche all’estrazione mineraria ed al turismo spaziale³⁸.

Il settore della space economy ha registrato nel 2021 un valore di 370 miliardi di dollari e si stima proseguirà la sua corsa con una crescita del +74% entro il 2030³⁹.

³⁷ *Missioni spaziali, dagli obiettivi al commissioning: tutte le fasi del making of*, SpacEconomy360, in www.spaceeconomy360.it/missioni-spaziali/missioni-spaziali-dagli-obiettivi-al-commissioning-tutte-le-fasi-del-making-of/, 8 Gennaio 2024.

³⁸ L. Maltauro per Accademia Politica, *Space Economy, il grande business da un trilione di dollari*, in <https://www.econopoly.ilsole24ore.com/2023/01/10/space-economy-miliardi/>, 10 Gennaio 2023.

³⁹ *Ibidem* n. 37

CAPITOLO 5

Scenario 1

/ Compatibilità degli elementi terrestri sulla Luna

Nel primo scenario che ho provato ad elaborare si è tentato di esaminare gli ambienti e gli elementi che caratterizzano una tipica abitazione terrestre, per provare a capire quali di questi possono essere compatibili con l'ambiente lunare e quali invece no.

Se si prende ad esempio una tipica abitazione dall'esterno, si possono subito notare alcune caratteristiche non compatibili con l'ambiente lunare (Fig. 14).

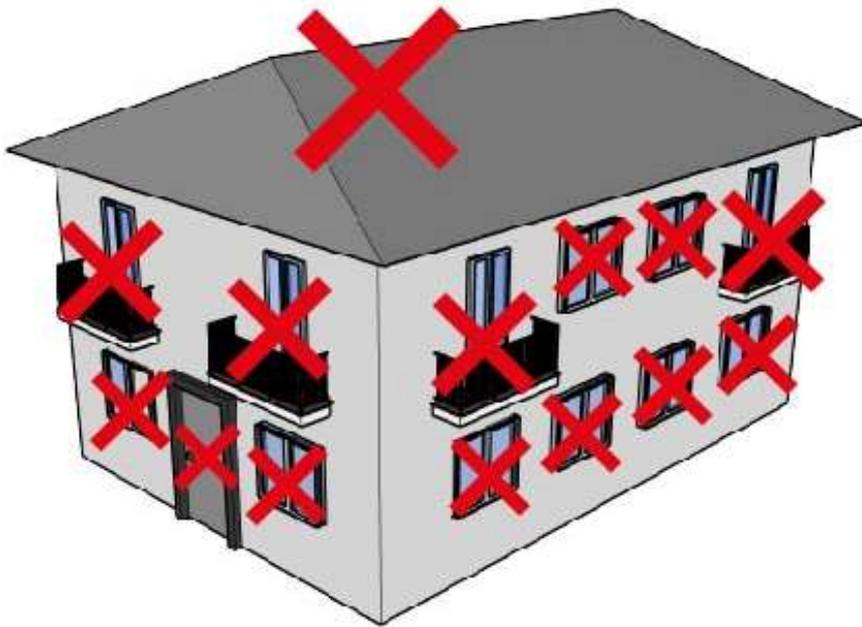


Figura 14_ Schema illustrativo di una tipica abitazione terrestre
(Disegno di C. Arese)

Si tratta della copertura e delle aperture: la prima non è necessaria per i motivi precedentemente citati, mentre le aperture non possono essere presenti a causa delle radiazioni cosmiche.

La presenza di finestre all'interno di un ambiente è molto importante non solo per mantenere un rapporto con l'ambiente esterno, ma anche per supportare il ritmo circadiano. È da riconoscere però che al momento non esiste ancora una tecnologia in grado di garantire, allo stesso tempo, sia la trasparenza del materiale, sia la protezione al 100% dalle radiazioni cosmiche.

Nell'ottica di una permanenza prolungata sul suolo lunare si può comunque provare a trovare un modo per poter mantenere un rapporto con l'ambiente esterno, al fine di poter garantire il benessere psicofisico degli utenti.

La soluzione che probabilmente ci si avvicina maggiormente è quella adottata da Foster & Partners in collaborazione con l'ESA, il cui progetto di insediamento lunare (Fig. 15) prevede la realizzazione di una cupola gonfiabile che funge da supporto per la costruzione tramite stampa 3D di più strati di regolite al di sopra di essa, come un guscio protettivo che presenta alcune aperture tubolari che permettono l'ingresso dell'illuminazione naturale senza il rischio di ritrovarsi a contatto diretto con le radiazioni⁴⁰: tali aperture consistono in coni zenitali attraverso i quali la luce naturale può illuminare l'ambiente interno, ma per minimizzare l'ingresso delle radiazioni vi è uno strato composto da funghi e ghiaccio: si è visto come tale combinazione di materiali, grazie alla melanina presente nei funghi, inneschi una reazione chimica tale da garantire una buona protezione dalle radiazioni, anche se non totale⁴¹.

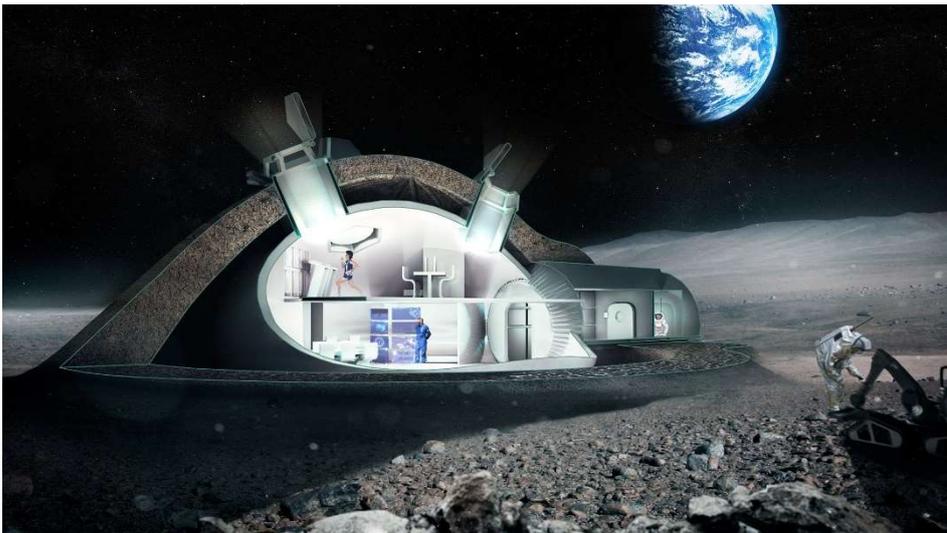


Figura 15_ Illustrazioni dell'habitat lunare ideato da Foster+Partners con l'ESA.
Fonte: fosterandpartners.com

Al momento però, per poter assicurare una protezione dalle radiazioni a 360 gradi, si ritiene necessario prendere in considerazione l'idea di ricorrere all'utilizzo di schermi che possano fungere da "finte finestre", sui quali poter proiettare le immagini dell'ambiente esterno, come se fosse una vera e propria apertura.

⁴⁰ *Lunar Habitation*, in "fosterandpartners.com", 2012.

⁴¹ L. De Angeli, *MushROOMS: mattoni di funghi per costruire case nello spazio, Moonwalkers*, 2020.

Dall'assenza di finestre però deriva un aspetto da non sottovalutare, ovvero l'impatto psicologico sull'utenza, in quanto la mancanza di aperture verso l'esterno può essere causa di sensazioni di isolamento e claustrofobia, dato che viene interrotta la connessione uomo-ambiente che sulla Terra sta alla base della quotidianità.

Il contatto con l'ambiente esterno è anche fondamentale per quanto riguarda la scansione del tempo, in quanto la luce naturale è di fondamentale importanza per la regolazione dei ritmi circadiani che influenzano le varie funzioni basilari umane.

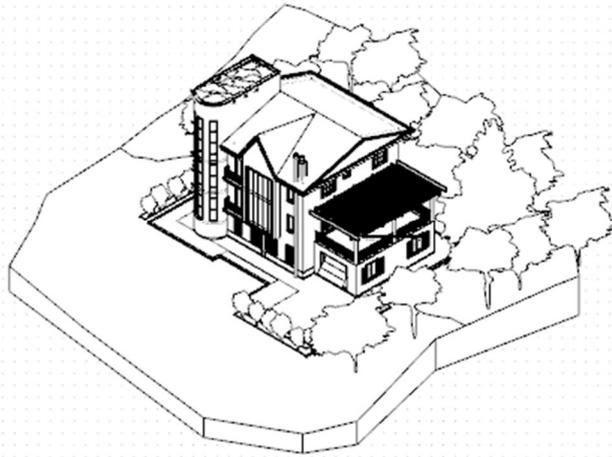


Fig. 16_ Schema assonometrico esterno abitazione.

In riferimento all' ambiente esterno dell'abitazione (Fig. 16), ovviamente non può essere presente alcun tipo di vegetazione in quanto la superficie lunare non presenta un'atmosfera atta a permettere la crescita di alberi o cespugli.

Procedendo nell'analisi dell'abitazione, attraverso esempi di planimetrie tipiche terrestri, si può notare un piano terra costituito da più vani.

Normalmente un'abitazione standard terrestre dispone dei seguenti ambienti: un soggiorno, una cucina, uno o più bagni, una o più camere da letto. Volendo arrivare ad un'ipotesi per un insediamento lunare che sia composta da abitazioni per gli astronauti e anche da ambienti appositi per la ricerca e per garantire la vita nello spazio, si può ipotizzare di partire da una base di abitazione terrestre, ma cercando a mano mano di prenderne le distanze, in modo tale da entrare sempre di più nell'ottica dell'ambiente lunare.

Riprendendo la tipica pianta terrestre (Fig. 17), prendendo un esempio di un piano terra, si può pensare di adibirlo a laboratorio,

in modo tale che gli astronauti, dopo le attività di ricerca e di eventuale prelievo di campioni dal suolo lunare, al loro ritorno abbiano diretto accesso al laboratorio dove poter depositare ed analizzare i campioni.

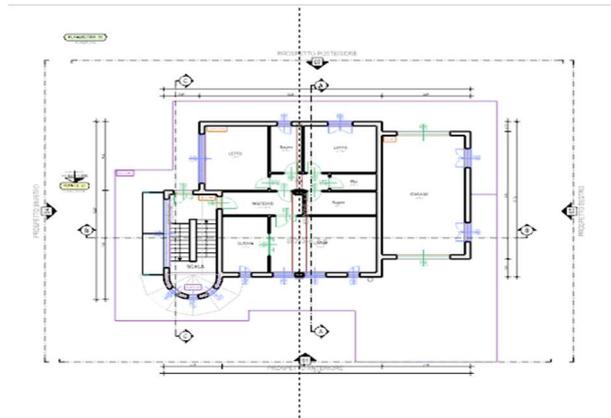


Figura 17_ Schema planimetrico Piano Terra tipo

Gli spostamenti degli studiosi possono avvenire attraverso l'utilizzo di un rover che sarà posizionato nel garage posto nei pressi dell'habitat per una larghezza di circa 2 m, una lunghezza di circa 4 m e un' altezza di 2,20 m apportando delle modifiche alla Legge 122/89 o L. Tognoli in merito a *“Disposizioni in materia di parcheggi, nelle nuove costruzioni ed anche nelle aree di pertinenza delle costruzioni stesse, debbono essere riservati appositi spazi per parcheggi in misura non inferiore ad un metro quadrato per ogni dieci metri cubi di costruzione⁴²”*.

Per quanto riguarda l'ingresso, esso non può collegare direttamente l'ambiente esterno lunare a quello interno dell'edificio: è necessaria la presenza di un airlock, una camera d'aria che permette il passaggio tra l'ambiente lunare privo di pressione atmosferica a quello pressurizzato dell'edificio. Viene inoltre adibita a camera sterile in cui sono presenti delle docce con getti di azoto liquido al fine di pulire le tute spaziali dalle polveri lunari, in modo tale da evitare la contaminazione dalle sostanze radioattive contenute nella regolite, ma anche per far sì che gli astronauti non siano veicoli di sostanze che possano contaminare l'ambiente lunare, poiché la contaminazione può essere bilaterale, dall'esterno verso l'interno e viceversa.

⁴² Art. 41 – sexies della legge 17 agosto 1942, n. 1150. Legge 24 marzo 1989, n. 122

Nell'ambiente posto di fronte all'airlock si può ipotizzare una zona adibita a spazio utile al deposito dell'equipaggiamento spaziale.

Si tratta di un elemento fondamentale per le EVA (Extra-Vehicular Activity) all'esterno dell'insediamento, in quanto il rischio di contaminare l'ambiente interno con particelle derivanti dal suolo lunare che si può depositare sulle tute spaziali è elevato⁴³. Un vano per il deposito dell'equipaggiamento all'interno dell'airlock è quindi fondamentale per disporre di un ambiente isolato dove poter effettuare operazioni di pulizia della strumentazione prima di accedere ad un ambiente.

I vani del deposito possono essere costituiti da più moduli componibili di dimensioni standard con elementi in serie e tubi appendiabiti e in riferimento alle dimensioni potrebbero essere aumentate per ottenere uno spazio maggiore. Gli armadi possono essere posizionati sia lungo la parete che ad angolo preferendo armadi da poter montare e smontare in breve tempo. È possibile prendere in considerazione la costruzione di una cabina armadio in quanto essa, sulla Terra, deve essere amovibile con una misura di minimo 80 cm interni e con l'accesso attraverso una porta scorrevole o a soffietto.

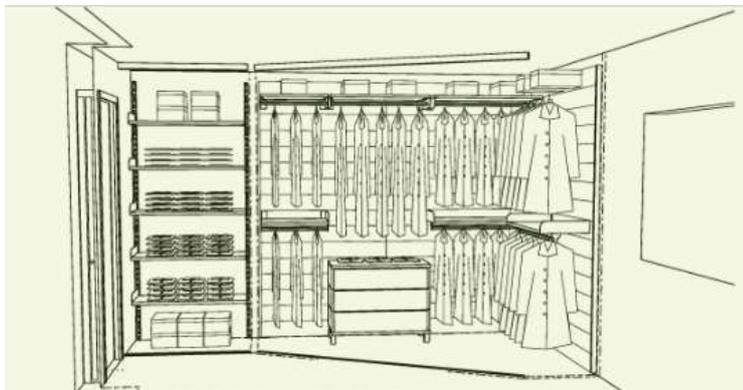


Figura 18_ Esempio di cabina armadio terrestre

⁴³ La contaminazione è da evitare anche nell'ambiente lunare con particelle derivanti dall'interno dell'insediamento. (Fonte: colloquio con la prof.ssa correlatrice V. Sumini)

Per accedere agli ambienti successivi si potrebbe ipotizzare un corridoio che conduca all'ambiente adibito a bagno e a due stanze adiacenti ad esso destinate a laboratorio per l'analisi dei materiali raccolti durante le esplorazioni.

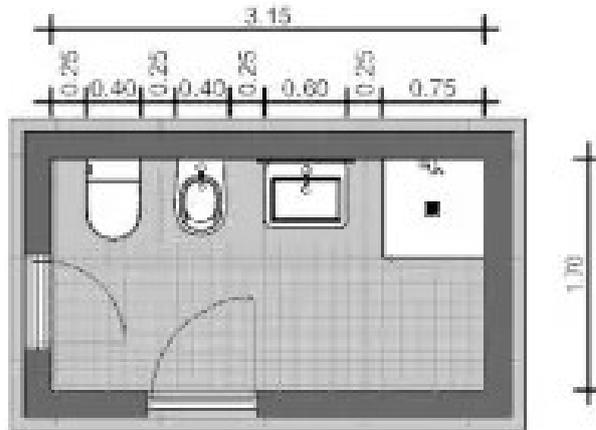


Figura 19_ Schema planimetrico stanza da bagno tipo⁴⁴

In riferimento alla Figura 19 l'ambiente bagno è dimensionato e distribuito in modo tale da permettere il posizionamento di wc, bidet, lavandino e doccia in linea, posti lungo la parete più lunga dell'ambiente.

Riprendendo il D.M. 5 luglio 1975, le stanze da bagno devono essere dotate di apparecchi igienico – sanitari quali wc, bidet, vasca da bagno o doccia e lavabo, evidenziando in particolar modo il divieto di posizionare apparecchi a fiamma libera nelle stanze da bagno prive di apertura all'esterno. La normativa UNI EN 14688 "Apparecchi sanitari – Requisiti funzionali e metodi di prova" stabilisce che un lavabo, affinché possa ritenersi a norma, debba evitare la presenza di fessurazioni, rotture o distorsioni; l'acqua debba scorrere via in modo agevole, resistere alle variazioni di temperatura e alle sostanze chimiche.

In riferimento alle pareti della doccia la normativa vigente UNI EN 14428 "Pareti doccia – Requisiti funzionali e metodi di prova" prevede la disposizione di pannelli o porte, un piatto doccia dotato di scarico, pulibilità, resistenza agli urti, alla corrosione, agli agenti chimici, ai cicli di bagnatura e asciugatura, al trattenimento dell'acqua.

⁴⁴ Come progettare un bagno. La guida completa. Biblus.
<https://biblus.acca.it/progettare-un-bagno-la-guida-completa/>

Il sistema di scarico prevede la raccolta e il riciclo di acqua in seguito al passaggio in un depuratore che permetta di fruire ulteriormente dell'acqua precedentemente utilizzata.

Per quanto riguarda il wc la normativa di riferimento UNI EN 997:2018 stabilisce i requisiti per quanto riguarda vasi indipendenti e abbinati a cassetta, con sifone integrato e per quanto riguarda il bidet la normativa di riferimento è UNI EN 14528: 2018.

Inoltre non è possibile realizzare finestre apribili, pertanto è necessario ipotizzare un sistema di aerazione che estragga l'aria malsana accumulata all'interno dell'ambiente ed immetta aria filtrata in quest'ultimo. Si potrebbe prevedere per tale sistema uno scambiatore di calore che, utilizzando l'aria contaminata, ne produca aria respirabile. In rimando alle misure specifiche, non sono riportate le altezze minime da rispettare ma vi è la possibilità di ridurre a 2,40 m e dotare le pareti di superfici sterilizzate e che richiedono una pulizia approfondita. Il pensiero predominante, relativo alla stanza da bagno, è quello di rendere l'ambiente privo di rischi per la salute umana seppur inserendo arredi che lo rendano accogliente. Altro elemento da considerare è l'utilizzo di elettrodomestici, in particolare, la lavatrice.

Per quanto riguarda il posizionamento dell'elettrodomestico lavatrice, si ipotizza un sistema di scarico collegato a quello dei servizi igienici che sia facilmente removibile in quanto il suolo lunare non è predisposto alla creazione e posizionamento di una rete fognaria.

Di conseguenza, si può ipotizzare un wc a cassetta estraibile, tipicamente utilizzato su veicoli quali i camper che utilizzi l'acqua di scarico della lavatrice raccolta precedentemente e privata di qualsiasi tipo di detergente.

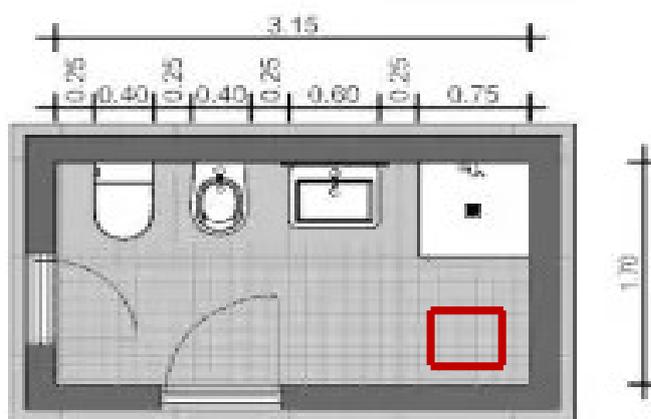


Figura 20_Posizionamento dell'elettrodomestico lavatrice

La presenza di un serbatoio esterno all'abitazione permette l'utilizzo di acqua ricavata dai ghiacci situati nei crateri lunari e di sfere di vetro capaci di catturare le molecole d'acqua le quali, sottoposte all'interazione del vento solare con la luce lunare, producono una continua riserva d'acqua⁴⁵.

Proseguendo al primo piano (Fig. 21) ci si imbatte nell'elemento scala, che invece di essere dritta, tipologia di scala che occupa molto spazio, oltre ai problemi precedentemente citati, si potrebbe ipotizzare una scala a pioli che possa occupare un vano di piccole dimensioni.

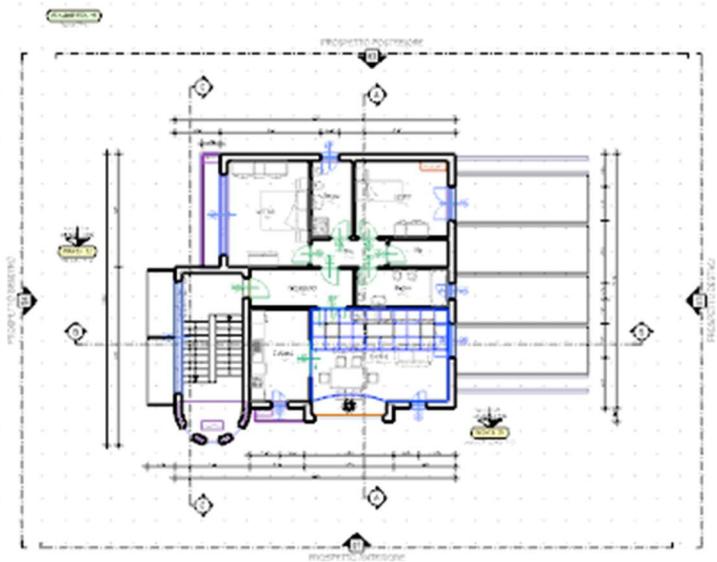


Figura 21_ Schema planimetrico Primo Piano tipo

Nella figura 20 il collegamento tra la rampa di scale e gli ambienti sopra menzionati, avviene attraverso un disimpegno che si può ipotizzare di eliminare totalmente al fine di creare un unico ambiente tra cucina e soggiorno. Altro ambiente che si può ipotizzare di eliminare è la seconda stanza da bagno in modo tale da ampliare i due ambienti adibiti a camere da letto.

L'eliminazione del disimpegno e della parete che separa l'ambiente cucina dall'ambiente soggiorno crea un ambiente open space in grado di fornire maggiore illuminazione all'intero piano considerando quanto detto fino a questo momento circa l'ipotesi relativa all'assenza di finestre.

In effetti, si può ipotizzare un sistema di illuminazione che non preveda luci forti ma luci che facciano adattare le persone al

⁴⁵ He, H., Ji, J., Zhang, Y. *et al.* A solar wind-derived water reservoir on the Moon hosted by impact glass beads. *Nat. Geosci.* **16**, 294–300 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01159-6>

cambiamento che avviene tra l'esterno e l'interno utilizzando luci blu/viola invece della luce blu/turchese alimentate dall'energia fornita da pannelli solari posizionati all'esterno essendo la Luna priva di un'atmosfera in grado di filtrare i raggi solari al contrario di quanto accade sulla Terra.

L'energia raccolta da tali pannelli permette il funzionamento di tutti i dispositivi elettronici presenti nell'abitazione e il funzionamento dell'impianto completo di illuminazione e di riscaldamento.

Per ciò che attiene al riscaldamento si può ipotizzare la produzione di calore attraverso l'impiego di una pompa di calore, in particolare acqua – acqua, che sfrutti le riserve d'acqua precedentemente raccolte.

Ritornando all'ipotesi iniziale in riferimento all'eliminazione delle pareti (Fig. 22) tra il disimpegno e gli ambienti adibiti a cucina e soggiorno e alla creazione di un open space vi è la possibilità di ricavare un unico ambiente in cui l'illuminazione artificiale è data da luci e faretti su un binario o con teste orientabili.

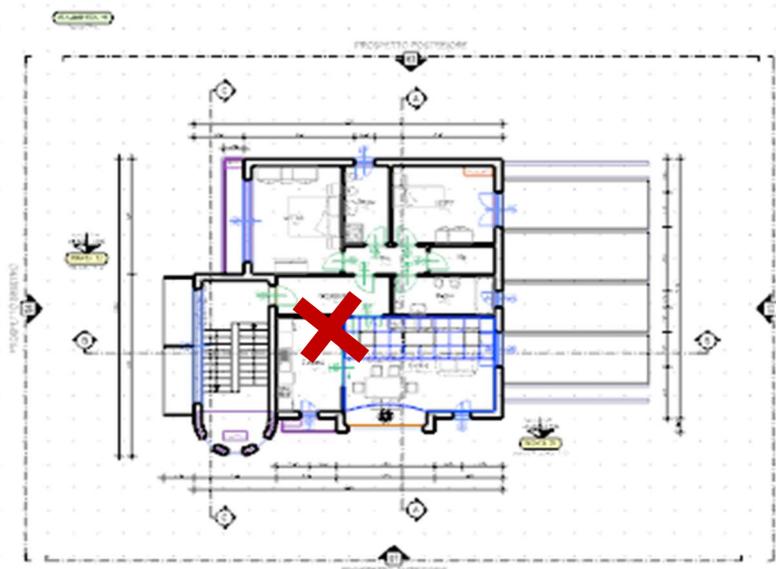


Figura 22_ Schema planimetrico eliminazione pareti

Analizzando la composizione dell'ambiente adibito a soggiorno, ad accesso diretto e in comunicazione diretta con la cucina, si nota l'importanza dell'arredamento nel creare una divisione tra i due ambienti conservando una sorta di privacy della visuale posizionandoli in due direzioni opposte e secondo una prospettiva differente oppure il posizionamento di pareti scorrevoli a scomparsa e dotate di schermi collegati con l'ambiente esterno in modo tale da poter monitorare quest'ultimo costantemente.



Figura 23_ Esempio schema planimetrico di ambiente open space⁴⁶

Gli elementi d'arredo che possono essere impiegati sono essenziali alla creazione di una zona relax attraverso il posizionamento di un divano che divida la zona arredata con il tavolo da pranzo e la zona adibita a soggiorno con un tavolino e una parete attrezzata.



Figura 24_ Esempio schema planimetrico di soggiorno⁴⁷

⁴⁶ Progettare un open space: consigli utili ed esempi pratici. Biblus <https://biblus.acca.it/progettare-un-open-space/>

⁴⁷ Ibidem n.46

Si potrebbe ritenere superfluo l'utilizzo, nell'habitat spaziale, di arredi quali la parete attrezzata ed usufruire di un semplice piano d'appoggio per posizionare lo schermo TV oppure si potrebbe ritenere non necessario tale dispositivo in quanto sostituibile con i già citati schermi sui quali poter avere un segnale intercambiabile tra le immagini dell'ambiente esterno e le proiezioni dei diversi device a cui potersi collegare. Inoltre, si è ipotizzato che il piano inferiore sia dotato di un laboratorio e che la parete divisoria posta al primo piano sia anch'essa dotata di schermi.

Il fine della scelta della creazione di un open space è da ricercarsi nella resa di un ambiente maggiormente accessibile e fruibile.

La maggiore fruibilità si può ricercare attraverso il posizionamento degli arredi relativi al soggiorno e degli arredi relativi alla cucina ai lati opposti dell'ambiente e attraverso l'utilizzo di una pavimentazione lucida in grado di realizzare un effetto ottico con il soffitto e donare agli ambienti una maggiore luminosità.

Per quanto riguarda l'impiego di un pavimento dotato di piastrelle lucide, esso si può ritenere poco funzionale per quanto riguardano la percorribilità e per quanto riguarda la totale assenza di fughe, si può ritenere non adatto in quanto utilizzato in ambienti umidi e non pertinente in questo caso, oltre al fatto che l'impiego di piastrelle non è ideale per quanto riguarda il loro trasporto sulla Luna, a causa della loro fragilità.



Figura 25_ Esempio schema planimetrico di cucina⁴⁸

⁴⁸ Progettare un open space: consigli utili ed esempi pratici. Biblus <https://biblus.acca.it/progettare-un-open-space/>

La cucina presenta uno spazio abbastanza ampio in modo tale da permettere agli occupanti di muoversi liberamente, permettendo una distanza percorribile di oltre un metro.

Il piano cottura e il lavello sono separati in modo tale da evitare contaminazioni delle risorse nutritive ed idriche limitate.

Per quanto riguarda la normativa utilizzata sulla Terra per la creazione di una cucina si fa riferimento alla normativa CEI 64/08 relativa agli impianti elettrici e D.M. 5 luglio 1975 per le altezze e i requisiti igienico-sanitari come menzionato nei capitoli precedenti.

La cucina con penisola è l'ideale per le abitazioni con open space in quanto crea un distacco tra la cucina e il soggiorno definendo gli spazi. Le misure adatte coprono uno spazio di 180 x 120 cm in modo tale da permettere il posizionamento degli elettrodomestici e la possibilità di usufruire del piano per il consumo dei pasti dotando la postazione di sedie o sgabelli.

In riferimento alle misure del piano cottura e delle parti che compongono la cucina si ritiene che la distanza non debba essere minore di 90 cm o maggiore di 120 cm con profondità minime da rispettare per quanto riguarda gli elementi che compongono la cucina come i pensili, piano di lavoro, frigorifero e pareti.

Per quanto riguarda il sistema di alimentazione del piano cottura si può ipotizzare un piano cottura a induzione che adoperi l'energia proveniente dai pannelli solari.

Il tavolo da pranzo è posto nella zona tra l'area adibita a soggiorno e le altre camere ma con un facile accesso dalla cucina per la distribuzione delle vivande e dal soggiorno per una maggiore condivisione e convivialità.



Figura 26_ Esempio disposizione tavolo da pranzo⁴⁹

⁴⁹ Come progettare un bagno. La guida completa. Biblus.
<https://biblus.acca.it/progettare-un-bagno-la-guida-completa/>

Si potrebbe ipotizzare, ulteriormente, la completa eliminazione del tavolo da pranzo vista la breve permanenza degli astronauti sul suolo lunare (circa tre o quattro mesi) e l'utilizzo della penisola in modo tale da ricavare spazio necessario al movimento vista l'impossibilità di trascorrere un tempo elevato all'esterno a causa delle condizioni climatiche e del suolo avverse.

Procedendo nell'analisi del Primo Piano, come riportato precedentemente, si può ipotizzare la completa eliminazione di una delle stanze da bagno in modo tale da ampliare la misura delle camere da letto (Fig. 27).

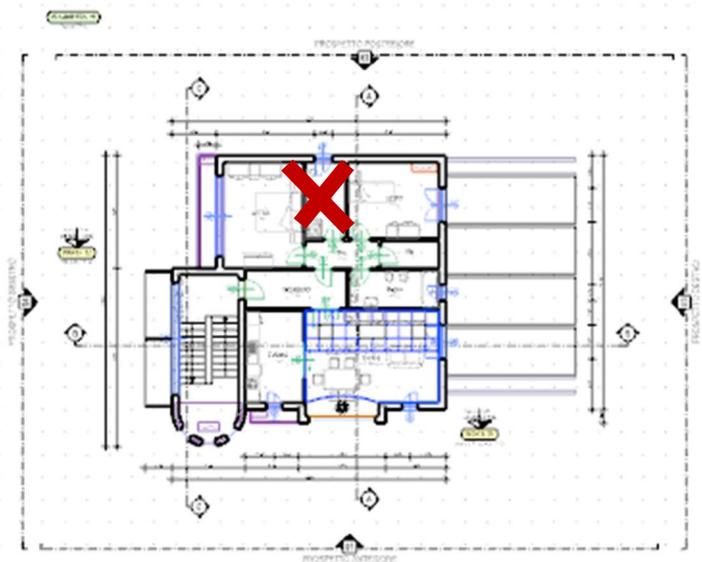


Figura 27_ Schema planimetrico del primo piano.
Particolare eliminazione stanza da bagno.

La stanza da bagno che si ritiene necessaria da conservare è dotata, oltre che dei servizi igienici quali wc, bidet e lavabo, anche di una vasca da bagno per un maggior comfort tenendo conto della normativa UNI EN 14516: 2019 relativa a durabilità e pulibilità.

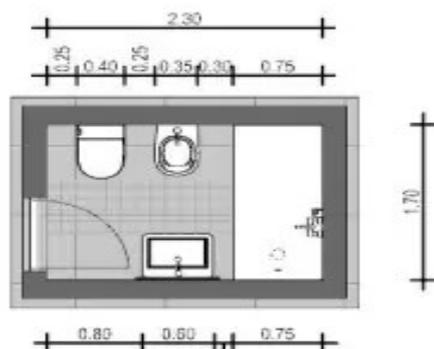


Figura 28_ Schema planimetrico di stanza da bagno con vasca⁵⁰

La prima obiezione riguarda il posizionamento della vasca da bagno se si considerano le dimensioni e la conseguente perdita di spazio. Altra obiezione riguarda i consumi di acqua.

La soluzione potrebbe essere la sostituzione della vasca con una doccia e la possibilità di inserire altri elementi d'arredo quali armadi o cassettoni necessari a contenere gli effetti personali.

Riprendendo l'ipotesi circa l'eliminazione della stanza da bagno posta al centro dei due ambienti adibiti a camere da letto si può considerare la possibilità di ampliare le due camere e renderle adatte ad ospitare due persone in modo tale da eliminare totalmente il piano secondo oppure convertirne la destinazione d'uso adeguandolo ad osservatorio astronomico per valutare le condizioni ambientali.

La normativa vigente sulla Terra, D.M. 5 luglio 1975 stabilisce che le misure minime relative alla superficie di una stanza da letto sono di 9mq per una persona e 14 mq per due persone.

Al fine di progettare una camera da letto adatta alle esigenze degli astronauti si può ipotizzare una camera con la presenza di un letto ed un vano per la deposizione di oggetti personali.

⁵⁰ Progettare un open space: consigli utili ed esempi pratici. Biblus <https://biblus.acca.it/progettare-un-open-space/>

È importante cercare di ottimizzare al massimo lo spazio disponibile, in modo che ci sia una buona percorribilità e la possibilità di apertura delle ante garantendo un passaggio minimo di 60 cm per quanto riguarda la lunghezza maggiore del letto e 90 cm per quanto riguarda il lato minore. Gli armadi, al fine di ridurre lo spazio occupato, possono essere dotati di ante scorrevoli. Il letto utilizzato è formato da doghe in legno da poter montare in tempi brevi. Un'alternativa differente e, di conseguenza, una probabile soluzione potrebbe prevedere il posizionamento del letto sul *tatami* (Fig. 29), tipico pavimento giapponese su cui è posizionato un materasso non molto spesso chiamato *futon*. In tal modo si evita l'utilizzo e il trasporto di ulteriori materiali necessari al completamento di tale ambiente.



Figura 29_ Esempio arredo camera da letto in stile giapponese⁵¹

⁵¹ Come arredare una camera in stile giapponese. Westwing
<https://www.westwing.it/inspiration/arredamento/camera-da-letto/camera-da-letto-giapponese/>

La seconda ipotesi si basa sul posizionamento di due letti singoli e altri arredi quali una seduta e un piano di lavoro. (Fig. 30)

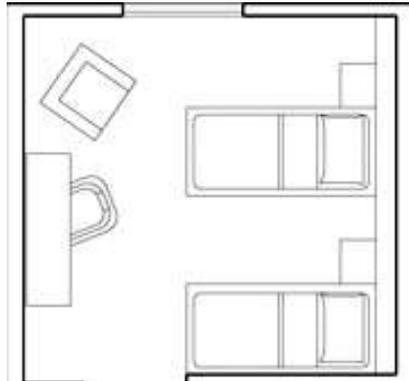


Figura 30_ Esempio schema planimetrico camera da letto⁵²

Per quanto sia una disposizione funzionale sulla Terra, in u habitat lunare elementi come la poltrona o la scrivania non sono indispensabili, possono dunque essere rimossi. La ridotta disponibilità degli spazi deve essere sfruttata in modo efficiente, senza sprecarla con l'inserimento di elementi superflui.

In riferimento allo spazio necessario a muoversi e a spostarsi all'interno del perimetro della camera la soluzione maggiormente agevole da adottare prevede l'utilizzo di letti a scomparsa dotati di armadi in modo tale da poter posizionare due scrivanie in ogni camera da letto da utilizzare come postazione di lavoro.

C'è da dire però che per un insediamento lunare il tipico ambiente di camera da letto non vedrebbe sulla Luna lo stesso utilizzo che se ne fa sulla Terra, sulla Luna infatti, se si prova ad esempio a fare un paragone con la ISS, dove i moduli per il riposo sono delle piccole cabine singole, si può pensare di ridurre lo spazio necessario, che quindi non sarà di minimo 9 m² come sulla Terra, ma nettamente inferiore.

Stesso ragionamento vale per ogni ambiente, principalmente per una questione di gestione del clima interno, in quanto mantenere un'atmosfera adatta alla vita umana richiede un impiego di energia non indifferente, indi per cui minori sono le dimensioni degli ambienti, meglio è.

⁵² Soluzioni per una camera da letto aggiuntiva. Archweb.

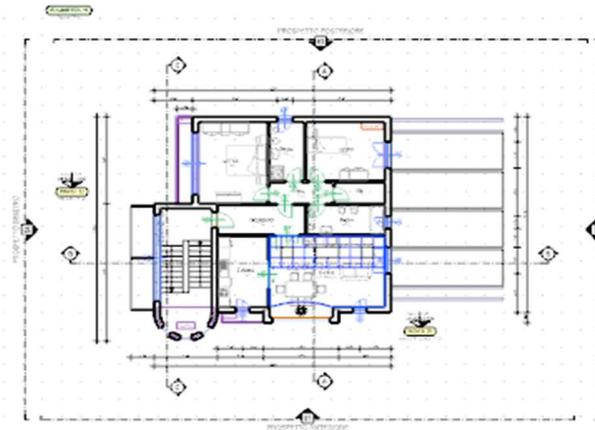


Figura 31_ Schema planimetrico Piano Secondo tipo

Per ciò che concerne il Piano Secondo possono essere effettuate varie considerazioni: la prima, vista l'ipotesi di ottimizzare gli ambienti adibiti a camere da letto situate al piano inferiore permettendo il posizionamento di più letti, preferibilmente a scomparsa, si può ritenere opportuno la completa eliminazione del piano in questione, oppure, per quanto riguarda la seconda ipotesi si può attuare una conversione dell'intero piano in osservatorio astronomico e in stazione di rilevamento, dotata di strumenti di ultima generazione, relativa alla raccolta di dati circa l'influenza dei corpi celesti e dei moti di rotazione, rivoluzione e traslazione della Luna sull'insorgenza dei lunamoti.

/ Dimensioni degli ambienti

Finora si è provato a vedere in che modo una tipica abitazione terrestre possa essere modificata nei diversi aspetti in modo da poter essere compatibile con la vita sulla superficie lunare.

In questo paragrafo si cercherà di entrare maggiormente nell'ottica dell'ambiente spaziale, dove gli ambienti terrestri verranno rivisitati a livello nominativo per creare un certo distacco dalla Terra e dal punto di vista degli spazi, dato che l'insediamento lunare non prevederà solo la realizzazione di un'abitazione, ma anche di ambienti dedicati al lavoro ed alla ricerca.

Prevedendo l'occupazione dell'insediamento da parte di un equipaggio di 4 astronauti che possa abitare sulla superficie lunare da un minimo di 30 giorni fino ad un massimo di 3/4 mesi, si ritiene necessaria la presenza dei seguenti ambienti:

- **Zona adibita alla preparazione ed al consumo dei pasti:** uno spazio comune composto da una piccola dispensa e da un mini frigorifero per la conservazione dei cibi, un lavello ed un piano cottura, opportunamente separati al fine di evitare contaminazioni, per la preparazione dei pasti ed un tavolo dove poterli consumare, oltre a rappresentare un elemento significativo al fine dell'interazione sociale. A tale scopo sono necessari un minimo di 0,56 m², per quanto riguarda lo stoccaggio del cibo e la preparazione dello stesso, più 1,62 m² destinati al consumo dei pasti⁵³, per un totale di 2,18 m², una dimensione decisamente ridotta rispetto alla superficie minima necessaria terrestre, che corrisponde ad una misura compresa tra gli 8 ed i 14 m² (20 m² se invece si tratta di un soggiorno dotato di angolo cottura)⁵⁴
- **Zona per il relax:** uno spazio comune dove potersi rilassare e socializzare con il resto dell'equipaggio praticando anche attività di svago come guardare film o intrattenersi con giochi da tavolo. A tale scopo si ritiene necessario un minimo di 2,10 m² complessivi, se si considerano i 1,62 m² richiesti sia per la pratica dei giochi da tavolo, sia per la ricreazione personale, oltre ai 2,10 m² per la visione di film⁵⁵. In questo

⁵³ C. Burke, R.L. Howard Jr., P. Kessler, *Internal Layout of a Lunar Surface Habitat*, NASA, 2022.

⁵⁴ Riferimento alla legislazione italiana. Fonte: Gazzetta Ufficiale, Art. 12, comma 3.

⁵⁵ C. Burke, R.L. Howard Jr., P. Kessler, *Internal Layout of a Lunar Surface Habitat*, NASA, 2022.

caso il totale della superficie resterebbe pari a 2,10 m², in quanto molte delle funzioni non richiedono degli spazi specifici a sé, ma possono condividere gli stessi spazi di altre⁵⁶. Sulla Terra tale ambiente corrisponderebbe al soggiorno, che richiede invece una superficie minima di 16 m²⁵⁷

- **Alloggi privati:** ambienti singoli, uno per ciascun membro dell'equipaggio, destinato alla privacy, al riposo ed allo stoccaggio dei beni personali. Queste funzioni richiedono una superficie minima di 1,82 m²⁵⁸. Il corrispettivo terrestre, che ritroviamo nell'ambiente camera da letto, necessita invece di una misura minima di 9 m²⁵⁹
- **Stazione per l'igiene personale:** ambiente destinato alla pulizia corporea ed al mantenimento di una corretta igiene personale, per tutte le operazioni si richiede una superficie minima di 1,06 m²⁶⁰.
- **Locale wc:** vano destinato esclusivamente alle funzioni di evacuazioni fisiologiche, è richiesta una superficie minima di 0,91 m²⁶¹. Sulla Terra vi è l'ambiente bagno che, generalmente, unisce il locale wc con la stazione per l'igiene personale, per un totale di superficie minima richiesta di 3,5 m².
- **Stazione per l'esercizio fisico:** di fondamentale importanza per contrastare gli effetti della riduzione di gravità sulla muscolatura e le articolazioni. Sulla ISS, ad esempio, quindi in condizioni di microgravità, gli astronauti dedicano almeno due ore al giorno all'attività fisica correndo sul tapis roulant, o pedalando su una cyclette⁶². Ipotizzando le medesime attività all'interno di un insediamento lunare, è richiesta una superficie minima di 1,50 m²⁶³, mentre sulla Terra sono

⁵⁶ C. Burke, R.L. Howard Jr., P. Kessler, *Internal Layout of a Lunar Surface Habitat*, NASA, 2022.

⁵⁷ Riferimento alla legislazione italiana. Fonte: D.M. 5 Luglio 1975

⁵⁸ C. Burke, R.L. Howard Jr., P. Kessler, *Internal Layout of a Lunar Surface Habitat*, NASA, 2022.

⁵⁹ Riferimento alla legislazione italiana. Fonte: D.M. 5 Luglio 1975

⁶⁰ C. Burke, R.L. Howard Jr., P. Kessler, *Internal Layout of a Lunar Surface Habitat*, NASA, 2022.

⁶¹ C. Burke, R.L. Howard Jr., P. Kessler, *Internal Layout of a Lunar Surface Habitat*, NASA, 2022.

⁶² ESA, *La vita nello spazio*, in "esa.int"

⁶³ C. Burke, R.L. Howard Jr., P. Kessler, *Internal Layout of a Lunar Surface Habitat*, NASA, 2022.

richiesti 1,6 m²/persona (fino a 10 utenti), con un minimo di 6,4 m² per ciascun spogliatoio maschi/femmine⁶⁴

- **ECLSS (Environmental Control and Life Support System):** di fondamentale importanza per la vita nello spazio, poiché si tratta di un complesso tecnologico avente l'obiettivo di garantire la sopravvivenza umana nello spazio monitorando l'atmosfera e i parametri dell'aria, mantenendo i corretti livelli di temperatura, pressione e di umidità, fornendo ossigeno ed acqua potabile e rimuovendo tracce organiche volatili⁶⁵. In un ambiente ostile come quello dello spazio è di fondamentale importanza il concetto della ridondanza: occorre avere sempre un piano di riserva nel caso in cui qualche elemento o parte di esso dovesse smettere di funzionare, motivo per il quale, a maggior ragione se l'insediamento è suddiviso in più moduli, è necessario fornire ciascun modulo di un ECLSS.
- **Centro medico:** fondamentale è anche la presenza di un ambulatorio che possa garantire le cure necessarie a mantenere l'equipaggio in salute e a far fronte a qualsiasi tipo di emergenza sanitaria. È richiesta una superficie minima di 1,87 m²⁶⁶
- **Laboratorio:** necessario al fine di condurre studi ed esperimenti scientifici.
- **Serra:** utile per la produzione di risorse nutrizionali in loco.
- **Modulo air-lock:** indispensabile per il passaggio dall'ambiente esterno privo di atmosfera a quello pressurizzato interno all'insediamento e viceversa. Mentre per tutti gli ambienti si raccomanda un'altezza minima di 2,5 m, per il modulo airlock sono invece richiesti almeno 2,6 m di altezza, in quanto deve favorire il transito degli astronauti mentre indossano o si tolgono le tute spaziali⁶⁷. In quanto a superficie sono richiesti almeno 5 m². Sono

⁶⁴ Riferimento alla legislazione italiana. Fonte: Gazzetta Ufficiale, Art. 7, comma 2.

⁶⁵ NASA Facts, *International Space Station Environmental Control and Life Support System*, FS-2004-12-175-MSFC, Dicembre 2004

⁶⁶ C. Burke, R.L. Howard Jr., P. Kessler, *Internal Layout of a Lunar Surface Habitat*, NASA, 2022.

⁶⁷ C. Burke, R.L. Howard Jr., P. Kessler, *Internal Layout of a Lunar Surface Habitat*, NASA, 2022.

necessari almeno due moduli airlock, per soddisfare il requisito di ridondanza citato pocanzi.

Da questi dati si può notare come le superfici minime richieste per i vari ambienti sulla Luna siano molto ridotte rispetto a quelle terrestri. Nel seguente grafico (Grafico 3) sono illustrati gli ambienti in proporzione alle superfici minime richieste e i collegamenti che possono avere tra di loro.

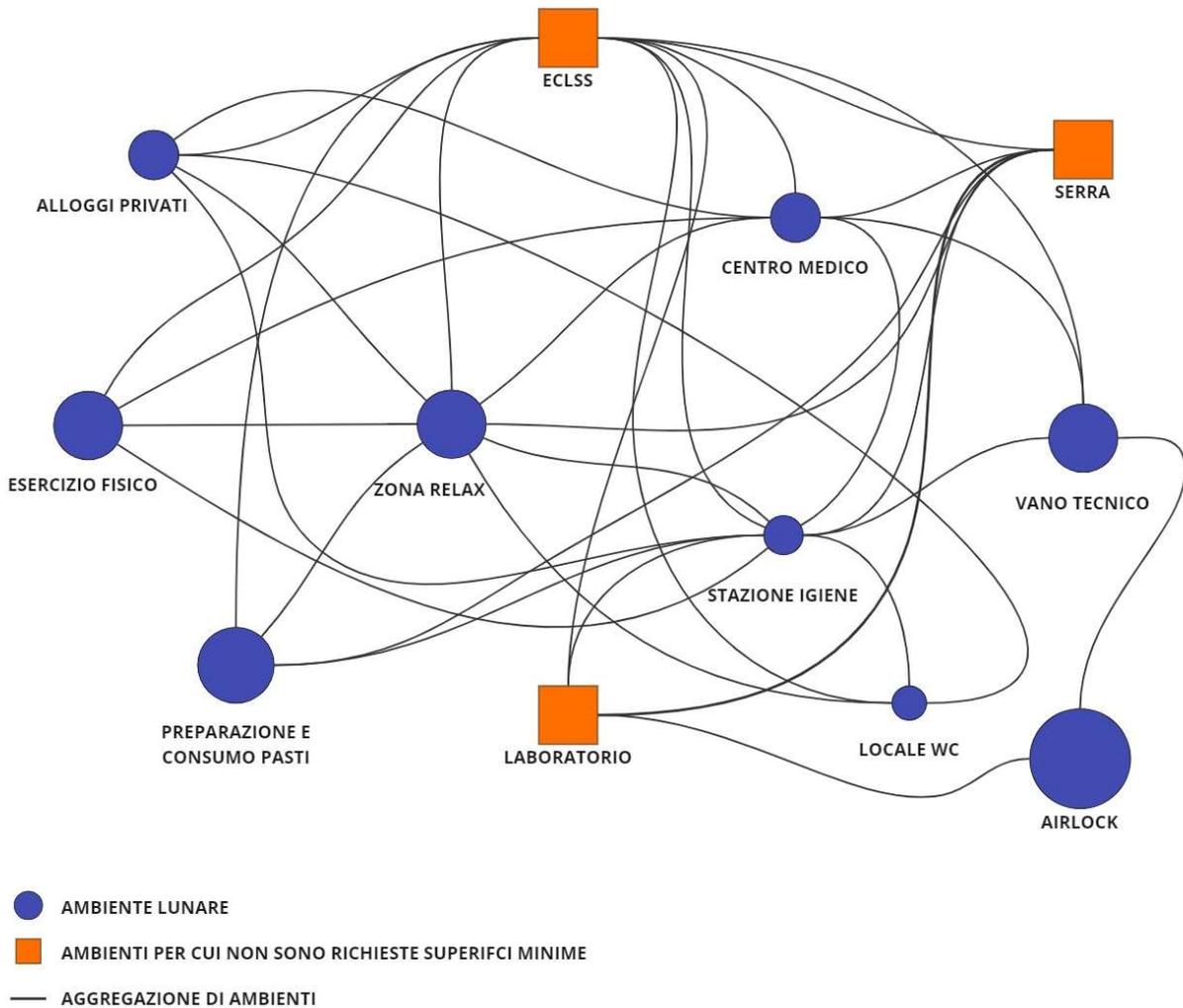


Grafico 3_ ambienti necessari in un habitat lunare

CAPITOLO 6

Ipotesi progettuali

/ Riferimento 1

Il primo riferimento per la realizzazione del precedente scenario è costituito da uno studio della NASA⁶⁸ all'interno del quale viene descritto il processo di realizzazione del layout interno del Surface Habitat (Fig. 32), un modulo progettato come struttura autosufficiente che dovrebbe fungere da base abitativa per gli astronauti e laboratorio scientifico al fine di studiare l'ambiente lunare, anche nell'ottica di preparare le future missioni su Marte⁶⁹.

Dal momento dell'allunaggio l'habitat si ritiene in grado di sostenere la vita umana per una durata di circa 30 giorni.



Figura 32_ Illustrazione concettuale di un artista del Surface Habitat⁷⁰

La struttura dell'habitat è ibrida, costituita da un modulo di pressione in alluminio con un diametro di 4,4 m e un'altezza di 2,6 m, sovrastato da due livelli contenuti in una struttura inflatabile che possiede un diametro esterno di circa 6,5 m e un'altezza di 5,2 m, con un nucleo interno di 3,3 m di diametro⁷¹. (Fig. 33, 34)

⁶⁸ C. Burke, R.L. Howard Jr., P. Kessler, *Internal Layout of a Lunar Surface Habitat*, NASA, 2022.

⁶⁹ Ibidem n.68

⁷⁰ Ibidem n.68

⁷¹ Ibidem n.68

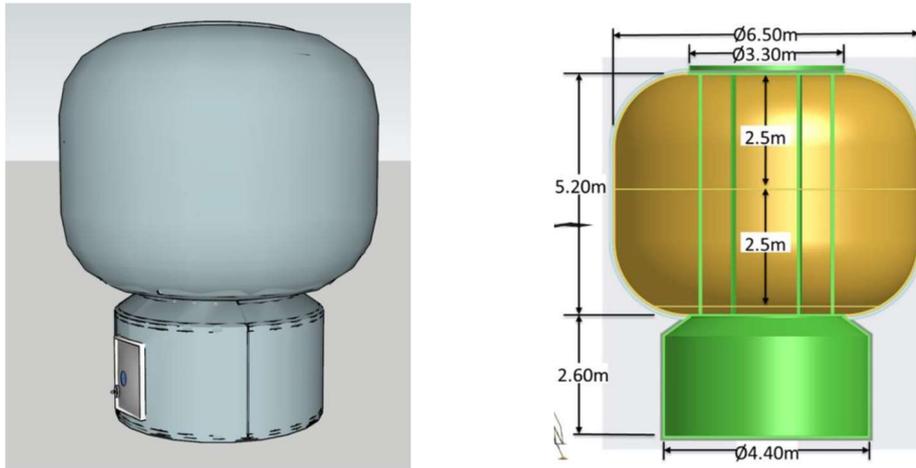


Figure 33, 34_ Disegno di riferimento del SH; Dimensioni del SH.

L'habitat è quindi suddiviso al proprio interno in tre livelli (Fig. 35):

- Primo livello: include una postazione di lavoro per la manutenzione, la logistica e la gestione dei rifiuti; una postazione EVA dedicata al supporto delle attività extraveicolari; un airlock per il passaggio dall'esterno all'interno.
- Secondo livello: include una stazione per l'igiene personale, un sistema per la gestione dei rifiuti e una stazione dedicata all'esercizio fisico.
- Terzo livello: include gli alloggi degli astronauti, un vano per la preparazione ed il consumo dei pasti, una stazione dedicata al Computer Generale.

Ciascun livello è provvisto del Life Support System (ECLSS).

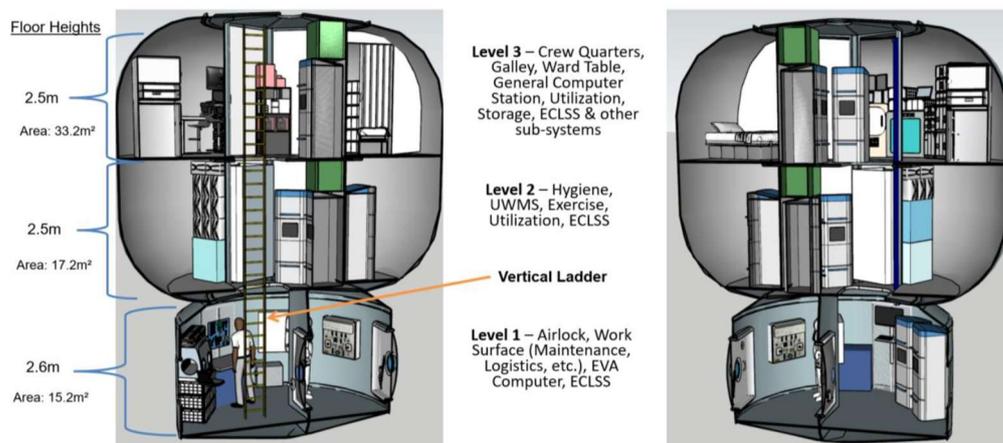


Figura 35_ Layout interno del SH⁷²

⁷² C. Burke, R.L. Howard Jr., P. Kessler, *Internal Layout of a Lunar Surface Habitat*, NASA, 2022.

/ Riferimento 2

Il secondo riferimento è invece il Moon Village (Fig. 36), un progetto che vede la collaborazione tra ESA, lo studio di architettura SOM ed il MIT.



Figure 36_ Moon Village⁷³

La struttura dell'habitat è composta da un insieme di moduli abitabili trasportabili separatamente e collegabili tra loro una volta giunti sul suolo lunare. Si tratta anche in questo caso di moduli ibridi costituiti da un telaio perimetrale rigido ed un guscio strutturale inflatabile, che integra uno strato munito di una tecnologia di protezione ambientale⁷⁴.

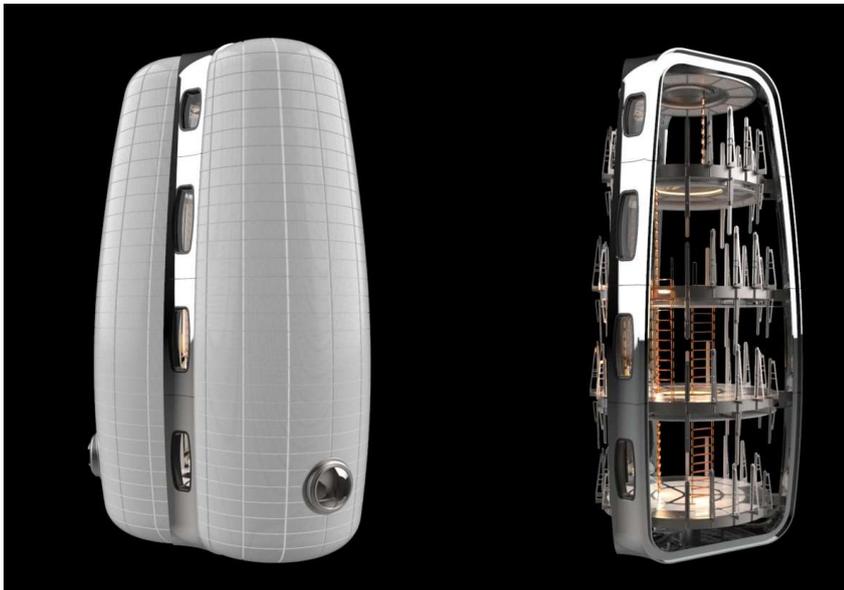


Figure 37, 38_ Modulo dall'esterno e modulo sezionato⁷⁵

⁷³ SOM, *Moon Village*, in "<https://www.som.com/research/moon-village/>"

⁷⁴ Ibidem n.73

⁷⁵ Ibidem n.73

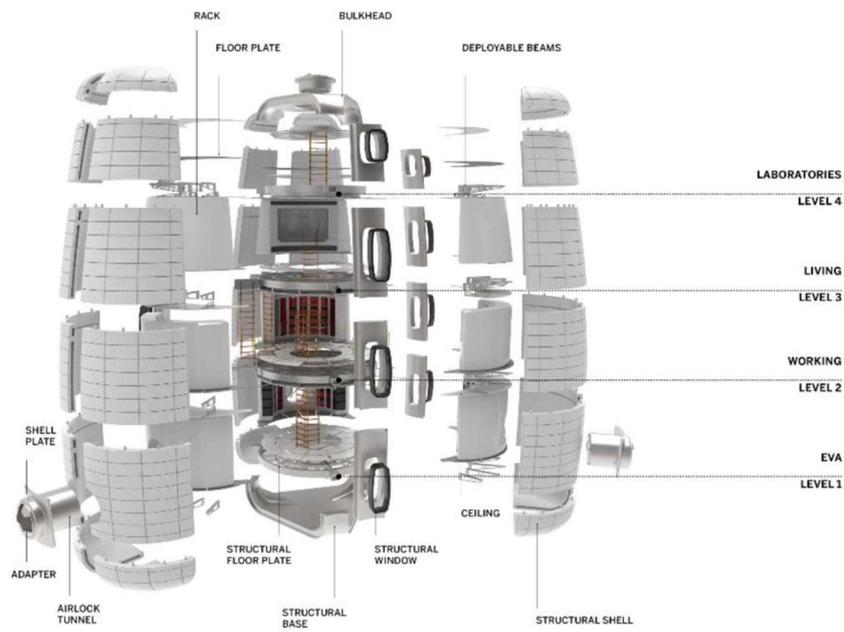


Figura 39_ Esploso di un modulo⁷⁶

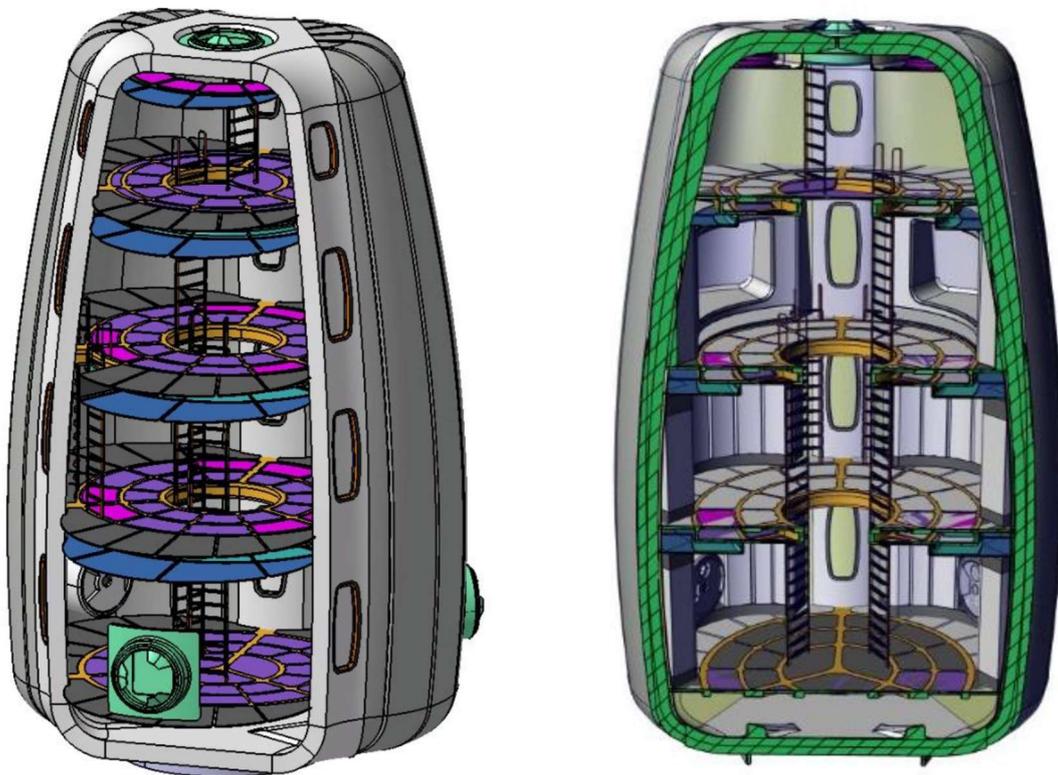


Figure 40, 41_ Sezioni concettuali dei moduli⁷⁷

⁷⁶ ESA, ESTEC, *CDF Study Report, Moon Village Conceptual Design of a Lunar Habitat, CDF-202(A) Issue 1.1.*, 2020.

⁷⁷ Ibidem n.76

L'interno della struttura è diviso in quattro livelli che possono essere classificati in tre categorie, quali alloggi, ricerca e aree logistiche:

- Al primo livello troviamo l'area logistica che comprende un centro di controllo e l'EVA, il programma di supporto per le attività extraveicolari;
- Al secondo ed al quarto livello sono collocate le aree di ricerca, spazi per il lavoro al secondo e laboratori al quarto;
- Al terzo livello invece la sezione per l'abitabilità, che comprende gli alloggi per l'equipaggio ed una zona adibita alla preparazione ed al consumo dei pasti⁷⁸

L'intenzione dietro al progetto è quella di ospitare un equipaggio composto da un massimo di 4 persone, per un periodo fino a 300 giorni.

⁷⁸ ESA, ESTEC, *CDF Study Report, Moon Village Conceptual Design of a Lunar Habitat, CDF-202(A) Issue 1.1.*, 2020.

/ Primo tentativo di ipotesi progettuale

Alla base di quello che sarà il progetto finale di questo elaborato, vi è stato un primo tentativo di ipotesi progettuale, un approccio che si è rivelato essere molto preliminare, ma che ha costituito da trampolino di lancio per l'ipotesi finale.

Il primo approccio all'elaborazione della prima ipotesi progettuale è stato quello di provare a disegnare delle piante concettuali

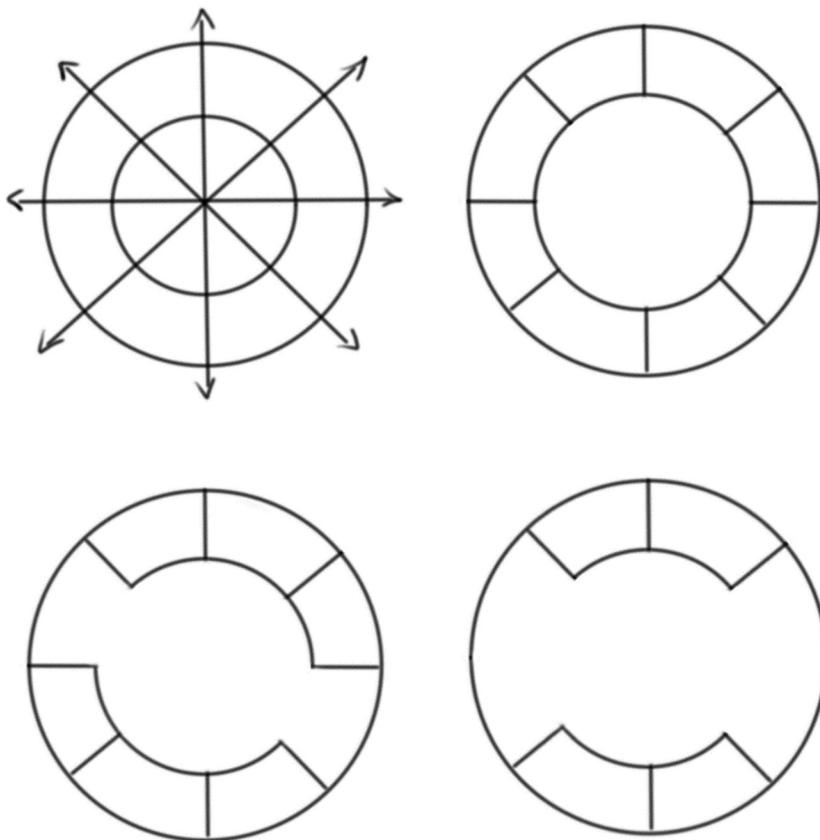


Figura 45_ Schizzi concettuali della suddivisione in pianta degli ambienti con esempi di diverse combinazioni dei moduli. Disegni di C. Arese

La scelta di una planimetria di forma circolare è dovuta ad una questione di praticità strutturale, in quanto la forma sferica in ambienti extraterrestri è quella più ottimizzata per quanto riguarda la pressurizzazione dell'ambiente interno, in particolar modo nel caso in cui la struttura sia di tipo inflatabile.

La scelta di questa tipologia di pianta ha permesso uno sviluppo degli spazi interni in senso radiale, partendo dal centro dove sono collocate le aree comuni, per poi proseguire verso gli estremi della circonferenza con moduli di ambienti adibiti ad altre funzioni: tali

moduli possono essere intercambiabili al fine di ottenere varie configurazioni differenti della suddivisione degli spazi.

A partire da questo concept si è provato a svilupparne un secondo (Fig. 46), nel quale la planimetria viene implementata con moduli adibiti ad alloggi, collegati al nucleo centrale, ma collocati all'esterno della circonferenza iniziale, in modo da garantire maggiore privacy.

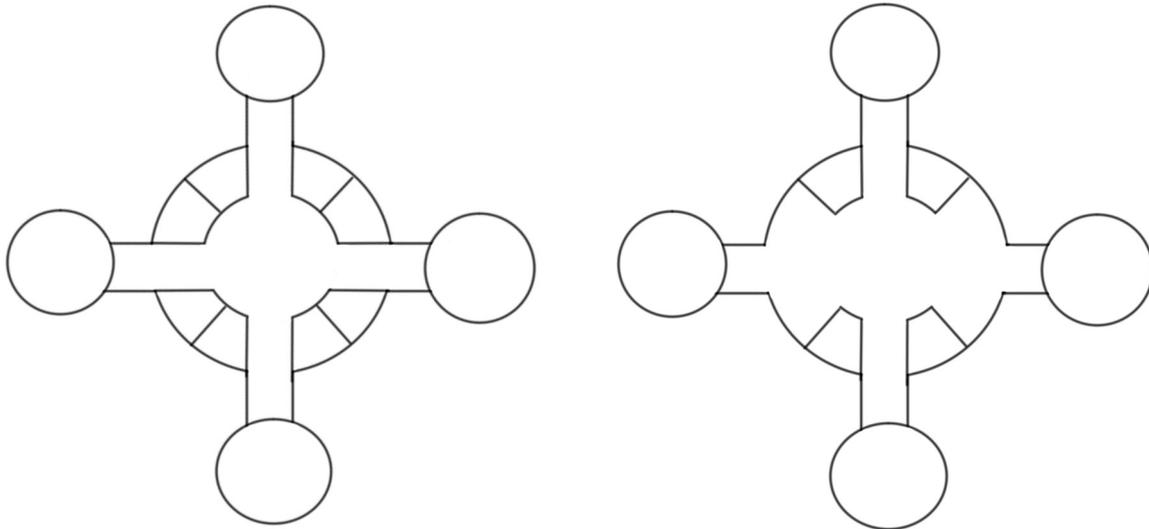


Figura 46_ Schizzi concettuali della seconda tipologia di planimetria
(Disegni di C. Arese)

Successivamente si è passati alla definizione degli spazi (Fig. 47); l'ipotesi è stata quella di organizzare l'insediamento su quattro livelli che comprendessero i seguenti ambienti:

- Soggiorno
- Cucina
- Bagno
- Laboratorio
- Magazzino
- Alloggi
- Palestra
- Spogliatoi
- Serra

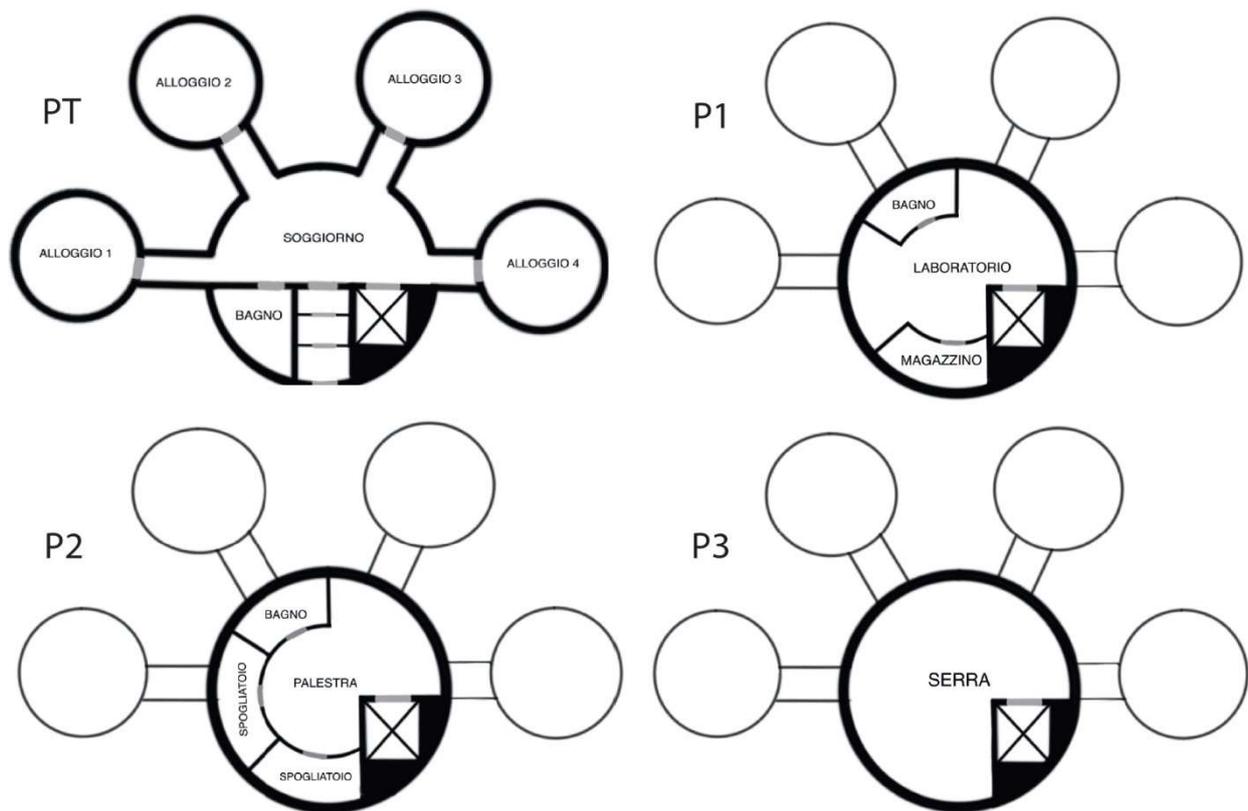


Figura 47_ Schizzi concettuali di ipotesi di suddivisione degli ambienti
(Disegni di C. Arese)

In seguito ad un incontro con il collettivo di tesi però è emerso come queste rappresentazioni fossero ancora molto attaccate al concetto di abitazione terrestre e poco proiettate al contesto spaziale, per quanto riguardano la nomenclatura, le tipologie e le dimensioni degli ambienti.

È stata dunque abbandonata la presente idea di progetto, per l'elaborazione di una seconda proposta che fosse più coerente rispetto quanto detto finora.

/ Ipotesi progettuale

Sulla base delle informazioni riportate finora è stato dunque possibile elaborare un'ipotesi progettuale per un insediamento lunare.

L'habitat che si vuole proporre ha destinazione d'uso principale di laboratorio per la ricerca scientifica, con l'obiettivo di ospitare un equipaggio di massimo 4 astronauti, per una permanenza di 3/4 mesi.

Si è scelto di mantenere la medesima conformazione circolare del primo concept di pianta (Fig. 48), ipotizzando la struttura essere un inflatabile.

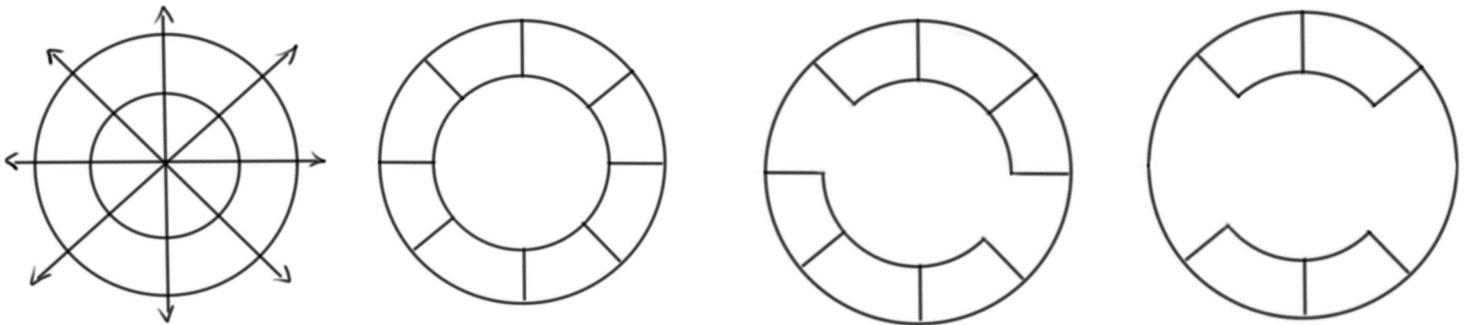


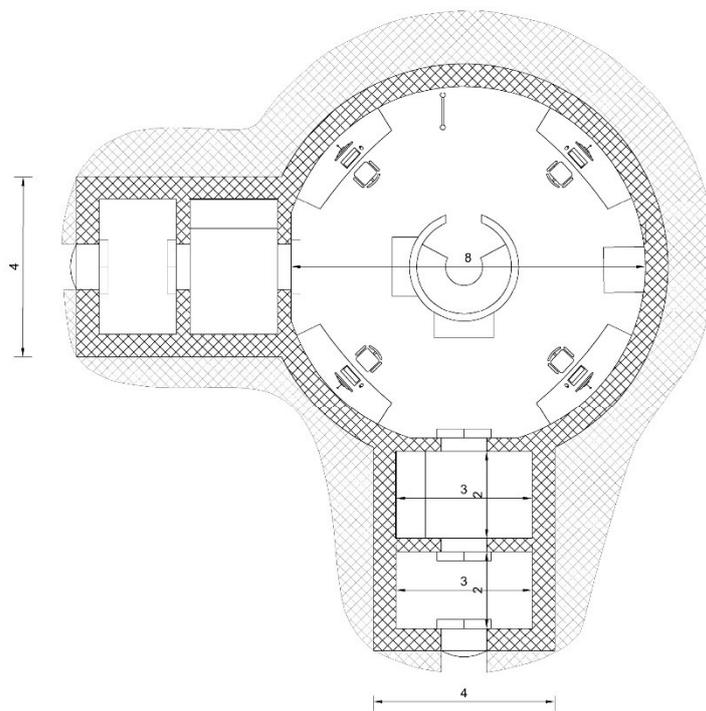
Figura 48_ Concept di planimetria circolare (Disegni di C. Arese)

Si è dunque passati alla definizione degli ambienti interni la struttura, ipotizzando una suddivisione su quattro livelli:

- Il primo livello (Fig. 49) è adibito a laboratorio collegato all'airlock, in modo tale per cui gli astronauti, una volta raccolti campioni sul suolo lunare, al loro ritorno possano immediatamente trasportare gli oggetti in laboratorio per poterli esaminare. All'interno dell'airlock è presente una piccola cabina armadio dove sarà possibile riporre le tute spaziali prima di entrare nell'edificio. Saranno presenti inoltre una postazione di supporto EVA per le attività extraveicolari e un ECLSS. L'altezza del primo livello è di 2,6 m.
- Il secondo livello (Fig. 50) prevede la presenza di locali adibiti a magazzini e vani tecnici, oltre ad un centro medico (3,8 m²), locali dedicati all'igiene personale (2,5 m²) ed al wc (2 m²), ed un ECLSS. L'altezza del secondo, terzo e quarto livello è di 2,5 m.

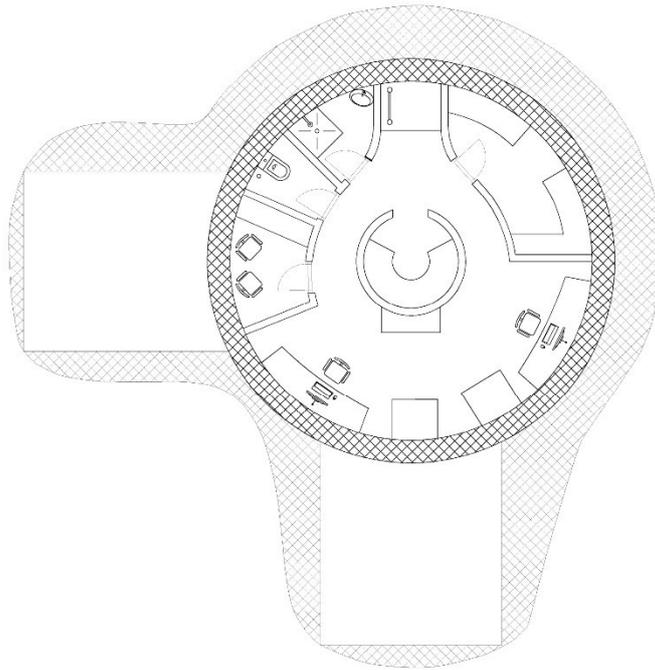
- Il terzo livello (Fig. 51) prevede la presenza di una zona comune adibita al relax (12 m²) caratterizzata dalla presenza di uno schermo a parete configurabile come finestra sull'ambiente esterno o come televisore. All'ambiente si collega un vano specifico per la produzione ed il consumo dei pasti (6,5 m²) e a moduli privati dedicati all'igiene personale ed al wc, un vano adibito a laboratorio con serra (12 m²) per la coltivazione di piante ed un ECLSS.
- Il quarto livello (Fig. 52) include gli alloggi dell'equipaggio (ogni alloggio ha una superficie di 3,5 m²), uno spazio dedicato all'esercizio fisico (8 m²) con annessi spogliatoi (due spogliatoi, 3 m² l'uno) ed un ECLSS.

I vari livelli della struttura sono raggiungibili da un unico vano scale percorribile tramite una scala a pioli che si sviluppa per tutta l'altezza dell'habitat.



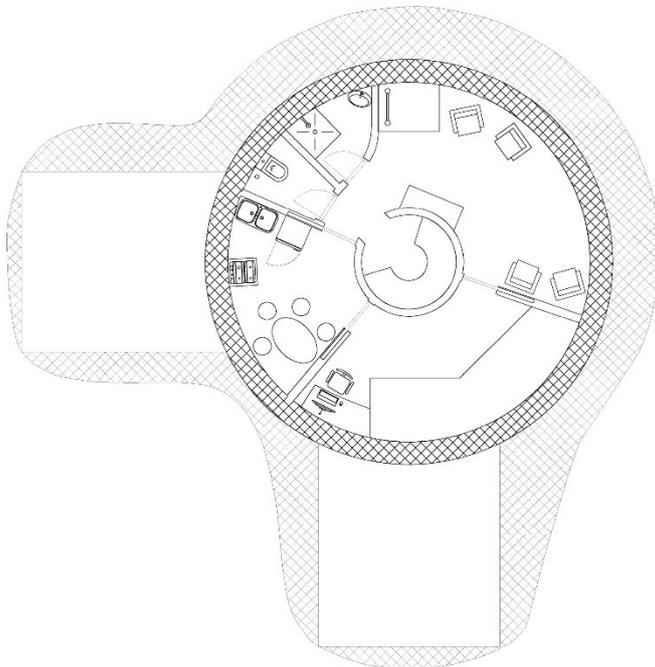
SCALA 1:100

Figura 49_ Pianta livello 1



SCALA 1:100

Figura 50_ Pianta livello 2



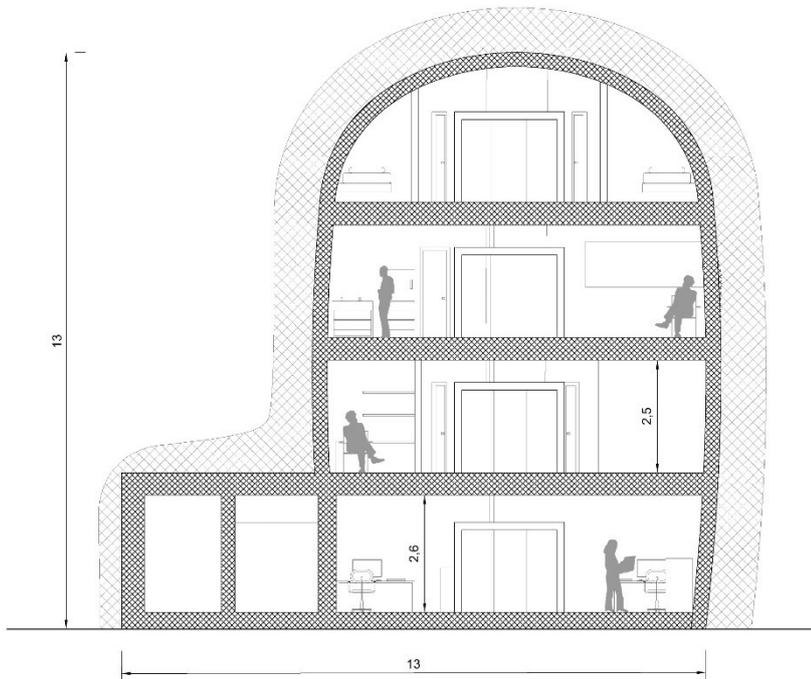
SCALA 1:100

Figura 51_ Pianta livello 3



SCALA 1:100

Figura 52_ Pianta livello 4



SCALA 1:100

Figura 53_ Sezione

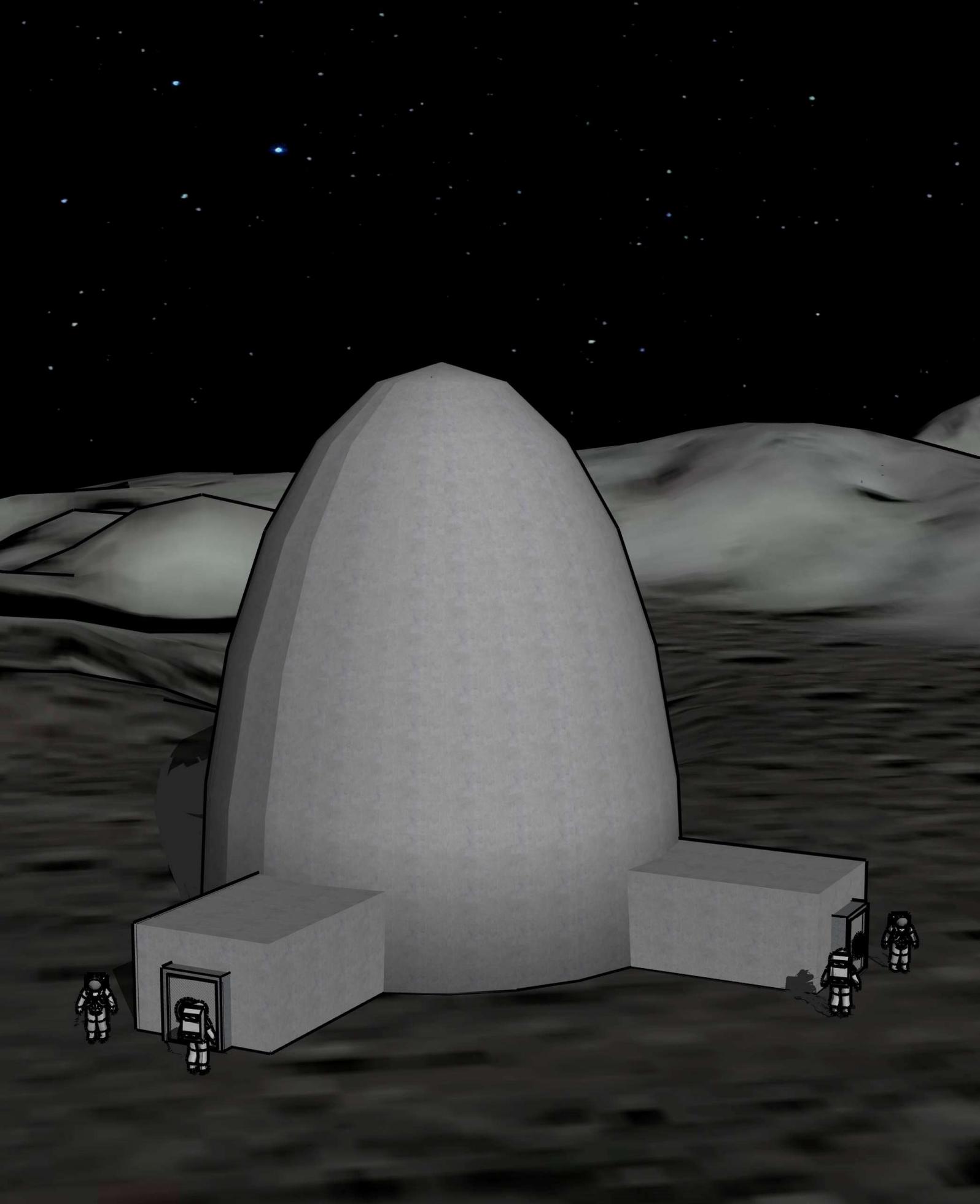


Figura 54_ Rappresentazione grafica concettuale dell'insediamento (C. Arese)

CAPITOLO 7

Conclusioni

Nell'ottica di colonizzare la Luna si presenta l'opportunità di riconsiderare le convenzioni che abitualmente adottiamo da sempre sulla Terra nell'ambito della progettazione degli ambienti interni. Si tratta di un'occasione che può stimolare l'elaborazione di approcci innovativi che eventualmente potrebbero essere allo stesso tempo concepibili come nuove consuetudini applicabili anche sulla Terra.

Nel tentativo di ipotizzare delle convenzioni che potessero adattarsi ad un habitat lunare si è inevitabilmente influenzati in gran parte dalle condizioni che siamo abituati ad adottare da sempre sulla Terra. La sfida principale è stata quindi quella di, dopo aver compreso appieno le varie problematiche che caratterizzano il nostro satellite, provare ad avere un certo distacco dagli ambienti e dagli elementi terrestri, nel tentativo di proporre qualcosa di nuovo che non sia semplicemente un riflesso della vita sulla Terra, ma un modo innovativo di vivere lo spazio, in modo tale da avere nuove risorse da cui accingere sì sulla Luna, ma eventualmente anche sulla Terra.

In secondo luogo, il tentativo di proporre nuovi standard in tema di misure si è rivelato essere una sfida impegnativa, poiché nella definizione di quali siano i criteri precisi da tenere in considerazione e in che misura è materia che presuppone competenze ed una comprensione molto più dettagliate degli argomenti trattati.

Le ipotesi effettuate all'interno di questa ricerca di tesi non sono certamente da intendersi come definitive, bensì vogliono prestarsi a fungere da fondamenta per futuri studi che vorranno maggiormente approfondire la questione, in vista dell'ormai imminente ritorno dell'uomo sulla Luna.

In seguito ad aver analizzato come affrontare le sfide che l'ambiente lunare propone dal punto di vista fisico, è importante anche considerare le implicazioni psicologiche che possono esserci di vivere in un contesto così isolato e ostile, dove lo stile di vita subisce un tale cambiamento radicale che, chissà, un giorno potrebbe essere considerato la normalità.

Ringraziamenti

In chiusura di questo elaborato, un doveroso ringraziamento va al collettivo di tesi, in particolare al mio relatore, il professore Giovanni Durbiano, per avermi dato la possibilità di intraprendere questo percorso di tesi; alla mia correlatrice, la professoressa Valentina Sumini, per avermi fornito le nozioni base utili ad affrontare quello che per me è stato un nuovo tipo di progetto mai affrontato prima; a Federica Joe Gardella e Marta Rossi, per avermi supportata fin dall'inizio di questo percorso di tesi, guidandomi e consigliandomi nei momenti di difficoltà.

Ci tengo inoltre a ringraziare il professore Alessandro Armando per avermi fornito, assieme al prof. Durbiano, tramite il seminario di tesi "Teoria e critica dell'azione progettuale" le basi metodologiche e consigli preziosi per avviare il mio elaborato.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- D.E. Hewes, A.A. Spady Jr., R.L. Harris, *Comparative Measurements of Man's Walking and Running Gaits in Earth and Simulated Lunar Gravity*, NASA TN D-3363, Giugno 1966.
- (a cura di) A. Traballesi, *Il ritorno sulla Luna: problemi e prospettive*, Ricerca B 11/AA, Centro Militare di Studi Strategici, 2007.
- (a cura di) H. Benaroya, *Lunar Settlements*, CRC Press, New York, 2010.
- (a cura di) N. Leach, *Space Architecture: The New Frontier for Design Research*, Architectural Design (rivista), Novembre/Dicembre 2014.
- A. Whitmire, L. Leveton, H. Broushon, M. Basner, A. Keraney, L. Ikuma, M. Morris, *Minimum acceptable Net Habitable Volume for Long-Duration Exploration Missions*, NASA, 2015.
- NASA Spaceflight Human-System Standard Volume 2: *Human Factors, Habitability, and Environmental Health*, NASA-STD-3001, Volume 2, Revision B, 2019.
- S. Zhang et al., *First measurements of the radiation dose on the lunar surface*, in "Science Advance", 25 Settembre 2020
- ESA, ESTEC, *CDF Study Report, Moon Village Conceptual Design of a Lunar Habitat, CDF-202(A) Issue 1.1.*, 2020.
- C. Burke, R.L. Howard Jr., P. Kessler, *Internal Layout of a Lunar Surface Habitat*, NASA, 2022.
- S. Alongi, M. Beccia, M. Ranieri, *Processo progettuale e progettazione di un'infrastruttura turistica in ambiente lunare*, Tesi di Laurea, Politecnico di Torino, 2022.
- M. Mammìno, *In-Between – Bridging Earth to the Moon with the architectural project*, Tesi di Laurea, Politecnico di Torino, 2023.
- E. Nur Yavuz, E. Kirmiziyasil, *Habitation on the Moon – Designing for a New Frontier*, Tesi di Laurea, Politecnico di Torino, 2023.

- *D. Re, La Luna si sta restringendo. Esogeologia. 29 gennaio 2024.*
- *Alla scoperta dei terremoti, INGVterremoti. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, <https://ingvterremoti.com/alla-scoperta-dei-terremoti/>*
- *Legge 24 marzo 1989, n.122, Art. 41 – sexies della Legge 17 agosto 1942, n. 1150.*
- *Biblus. Acca software, Come progettare un bagno. La guida completa.<https://biblus.acca.it/progettare-un-bagno-la-guida-completa/>*
- *Biblus, Acca software, Come progettare le scale: guida alla corretta progettazione architettonica delle scale. <https://biblus.acca.it/come-progettare-le-scale/>*
- *Biblus, Acca software, Progettare un open space: consigli utili ed esempi pratici. <https://biblus.acca.it/progettare-un-open-space/>*
- *Biblus, Acca software, Progetto camera da letto con bagno e cabina armadio. <https://biblus.acca.it/progetto-camera-da-letto-con-bagno-e-cabina-armadio/>*
- *Westwing. Come arredare una camera in stile giapponese. <https://www.westwing.it/inspiration/arredamento/camera-da-letto/camera-da-letto-giapponese/>*
- *Archweb, Soluzioni per una camera da letto aggiuntiva. https://www.archweb.it/dwg/arredi/Camere_da_Letto/camera_letto_aggiuntiva/camera_letto_aggiuntiva_2.html#google_vignette.*
- *Westwing, Come arredare una camera in stile giapponese. <https://www.westwing.it/inspiration/arredamento/camera-da-letto/camera-da-letto-giapponese/>*
- *RGM LIVING OUTDOOR. <https://www.rgmitalia.it/wp-content/uploads/2023/10/outdoor-fitness.jpeg>*
- *S. Ruiu, Il Cielo Delle Baronie, Autocostruzione di un osservatorio astronomico amatoriale. https://www.suchelu.it/aut_osservatorio.html*
- *Close – up Engineering. Daily space magazine. Fosse sulla Luna, la scoperta delle grotte climatizzate. <https://aerospacecue.it/fosse-luna-nuova-scoperta-grotte-climatizzate-nasa/37063/>*

- M. Yashar, *Project Olympus: The Lunar Lantern*, 2022.
<https://www.melodieyashar.com/lunar-lantern>
- ProgettAzione. *Le case ipogee. Progettazione e realizzazione*.
<https://www.progettazione.design.com/le-case-ipogee/>
- *Ipogea. Chiudere il cerchio: fai da tela casa che non consuma acqua ed energia*. <https://ipogea.org/portfolio-posts/chiudere-il-cerchio-fai-da-te-la-casa-che-non-consuma-acqua-ed-energia/>
- The European Space Agency, *Argonaut*. Science & Exploration.
https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/Argonaut
- The European Space Agency, *SOLARIS: Preparing for Space-Based Solar Power*, 2022.
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2022/08/SOLARIS_Preparing_for_Space-Based_Solar_Power
- ThalesAlenia Space, *In the spotlight. Lunar Multi-Purpose Habitat activities officially underway*.
<https://www.thalesaleniaspace.com/en/news/lunar-multi-purpose-habitat-activities-officially-underway>
- S. Piccin, *Ecco le 13 possibili zone di allunaggio per Artemis 3*, in "astro.space.it", 20 Agosto 2022.
<https://www.astro.space.it/2022/08/19/ecco-le-13-possibile-zone-di-allunaggio-per-artemis-3/>
- C. Davis, N. Grumman. *Halo, l'anello di congiunzione tra la Terra e la Luna*. Ares Osservatorio Difesa.
- D. Arcadi, Archilovers, *Appartamento Circolare*.
<https://www.archilovers.com/projects/6674/appartamento-circolare.html>
- Infobuildenergia, *Risparmio idrico negli edifici: ecco come attuare una gestione efficiente*.
<https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/edifici-e-risparmio-idrico-una-gestione-efficiente/>
- Ingenio, *StarCrete: un calcestruzzo fatto di polvere extraterrestre*, 21 Marzo 2023, <https://www.ingenio-web.it/articoli/starcrete-un-calcestruzzo-fatto-di-polvere-extraterrestre/>
- NASA Spaceflight Human-System Standard Volume 2: Human Factors, Habitability, and Environmental Health
<https://standards.nasa.gov/standard/NASA/NASA-STD-3001-VOL-2>

- Romano Impero. *Il riscaldamento dei Romani*.
<https://www.romanoimpero.com/2015/03/il-riscaldamento-dei-romani.html?m=0>
- R. Valli, Ingenio, *In calcestruzzo, Mini appartamenti in tubi in cemento: l'ultima tendenza di HonG Kong per alloggi low-cost*, 03 Aprile 2018
<https://www.ingenio-web.it/articoli/mini-appartamenti-in-tubi-di-cemento-l-ultima-tendenza-di-hong-kong-per-alloggi-low-cost/>
- Esquire, *Ecco la mini-casa a forma di tubo, costa come una moto ed è bellissima*, 11 Settembre 2021
<https://www.esquire.com/it/lifestyle/viaggi/a37491284/mini-casa-tubo/>
- CASAProGET BioEcoEdilizia-Studio Tecnico Immobiliare, *Prendiamoci un minuto di responsabilità. Non possiamo più permetterci di rimandare a domani*.
<https://www.casaproget.it/casa-geodetica/>
- Copertura Easy. *Soluzione completa per coperture fai – da – te. Policarbonato*. <https://www.policarbonato.online/copertura-policarbonato-easy>