

Processo progettuale e progettazione di un' infrastruttura turistica in ambiente lunare

Una nuova era per la progettazione architettonica





**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino
Corso di Laurea in Architettura Costruzione Città
a.a. 2021/2022
Sessione di Laurea Luglio 2022

**Processo progettuale e progettazione di un'infrastruttura
turistica in ambiente lunare**

Una nuova era per la progettazione architettonica

Relatore:

Prof.re Giovanni Durbiano

Co-relatori:

Ing. Maria Antonietta Perino
Dr. Antonino Salmeri
Arch. Ing. Valentina Sumini

Candidato:

Simone Alongi
s285645

Processo progettuale e progettazione di un'infrastruttura turistica in ambiente lunare

Una nuova era per la progettazione architettonica

Relatore:

Prof.re Giovanni Durbiano

Co-relatori:

Ing. Maria Antonietta Perino
Dr. Antonino Salmeri
Arch. Ing. Valentina Sumini

Autori:

Simone Alongi
Massimo Beccia
Marco Ranieri

Vorremmo come prima cosa ringraziare il nostro Relatore, il professor Giovanni Durbiano, per averci supportato e spronato, non solo nello svolgimento della tesi, ma anche durante l'intero percorso formativo della laurea magistrale. I ringraziamenti sono volti anche al resto del team, ovvero i nostri Co-relatori, Ing. Maria Antonietta Perino, Dott. Antonino Salmeri e Arch. Ing. Valentina Sumini, per averci accompagnati durante tutto lo svolgimento di tesi grazie alle loro indiscutibili competenze in materia. Ed infine, ma non per importanza, al professor Alessandro Armando nonché a tutto il team di dottorandi curatori del Seminario di SinTesi che hanno contribuito, durante tutti gli incontri, all'evoluzione della tesi.

Ringraziamenti di Simone Alongi:

Questo spazio lo dedico alle persone che, con il loro supporto, mi hanno aiutato in questo meraviglioso, ma difficoltoso, percorso universitario.

Un grazie speciale alla mia famiglia, a mio padre, a mia madre, a mia sorella che mi hanno sempre sostenuto in questi due lunghi anni, supportandomi in tutti i duri momenti affrontati. Un grazie al mio cane, che ha saputo resistere alle tante sere in cui ho dovuto mettere al primo posto lo studio anziché dedicargli una bella passeggiata. A Giulia, che ha saputo capire le mie esigenze mostrandosi matura e consapevole dell'enorme sacrificio che entrambi stavamo affrontando.

Ai tanti momenti posticipati, alle sere passate sui libri, ai weekend di studio. A chi c'è, e a chi mi sarebbe piaciuto ci fosse stato. Ai nonni.

Un grazie di cuore ai miei colleghi Marco e Massimo, con cui ho condiviso l'intero percorso universitario, nella speranza di riviverne tanti altri futuri. A loro, perché mi

hanno permesso di raggiungere questo momento ed è per questo che un semplice “Grazie” sarebbe insufficiente. Quindi all’amicizia, motore della vita.

Infine, dedico questa tesi a me stesso, ai miei sacrifici e alla mia tenacia che mi hanno permesso di arrivare fin qui. Ai momenti di stanchezza che mi hanno temprato, a quei “No devo farlo!” che mi hanno confermato come gli sforzi, alla fine, ripagano sempre!

Ai tanti altri sacrifici, perché è dai periodi duri che nascono uomini forti..

Ringraziamenti Massimo Beccia:

Sono giunto alla meta del mio percorso formativo, che per me ha rappresentato un importante obiettivo, in quanto viatico per accedere alla professione che da sempre mi ha appassionato, quella dell’Architetto. Volgo quindi ora lo sguardo a questo cammino, rivivendo con emozione gli eventi salienti che lo hanno caratterizzato, in un intercalare di difficoltà e di grandi soddisfazioni. Il primo ringraziamento va alla mia mamma, simbolo dell’amore incondizionato che si manifesta come dono agli altri. Senza il suo supporto non avrei mai potuto coronare questo sogno. Ed al mio papà, la cui tenacia ed umiltà nel raggiungere i suoi obiettivi sono state per me fonte di ispirazione, e le sue qualità personali mi hanno guidato nel mio cammino di crescita. Un ringraziamento speciale al mio fratellone Matteo. È stato, e sempre per me sarà splendido, sapere di averli al mio fianco. Tra noi anche i silenzi contano, grazie alla complicità ed alla intimità del crescere insieme. Senza di te non sarei la persona che sono. Un pensiero di affettuoso va ai miei nonni, che mi hanno trasmesso con il loro esempio valori importanti di impegno e dedizione, spero di averli resi fieri. Ringrazio mia zia Manuela, per la sua capacità di

ascolto e di supporto nei miei momenti più difficili, e lo zio Roberto che con i suoi modi diretti mi ha spronato. Grazie a mio Padrino Gian Paolo e zia Silvia, sempre dalla mia parte, pronti a consigliarmi e supportarmi per raggiungere i miei sogni. Un grazie sentito ad Elena, la mia logopedista che mi ha seguito per tutti gli anni delle medie e delle superiori. Grazie perché con te non sono solo migliorato nella mia dislessia, ma soprattutto ho acquisito fiducia in me stesso. Un ringraziamento lo volgo anche a ME ENGINEERING, ed al suo staff, per avermi accolto nella loro organizzazione e concesso l’opportunità di maturare professionalmente ed umanamente in questi anni di stage formativi e collaborazione. A Marco e Simone miei inseparabili compagni di viaggio, con i quali ho condiviso con gioia il lavoro e le gratificazioni di questo percorso di crescita formativa e personale. Grazie ad Andrea, Federico, Fabio, Luca, Alessio e tutti gli altri miei amici con i quali ho condiviso i bellissimi momenti di spensieratezza, ed ho provato la piacevole sensazione di poter condividere le mie emozioni con la certezza che per loro contassero.

Ringraziamenti Marco Ranieri:

Ora che il mio percorso formativo è giunto al termine ci terrei particolarmente a ringraziare le persone che in tutti questi anni mi sono state accanto supportandomi, credendo nelle mie possibilità.

Innanzitutto, ritengo sia doveroso ringraziare mia mamma e mio papà per il loro continuo sostegno che, da sempre, mi ha accompagnato nella mia formazione. A loro un grazie che non basterà mai a ripagare tutti i sacrifici che, nel corso degli anni, hanno fatto per rendere tutto questo possibile. Un grazie particolare va ai miei nonni con i quali ho passato e passo tutt’ora dei momenti indimenticabili. Inoltre, nel

ringraziare tutta la mia famiglia mi voglio soffermare su mio fratello Andrea, con il quale sono cresciuto passando dei momenti fantastici, e mio cugino Francesco, un fratello per me, con il quale ho un bellissimo rapporto di amicizia. Inoltre, un caloroso ringraziamento va alla mia migliore amica Chiara che mi sopporta ormai da alcuni anni. Un grande grazie va ai miei compagni di percorso e di tesi Simone e Massimo, con i quali ho stretto fin da subito un ottimo rapporto lavorativo ma soprattutto di amicizia, grazie di tutto.

Infine, ma non per importanza, non posso non ringraziare i miei migliori amici, compagni di avventure e divertimento, Oliver, Nicholas, Paolo, Alessandro, Cristian e Alice, comunemente chiamati "i Boss dei Foss". Tra gli amici ci tengo a menzionare e ringraziare Nicola, Davide e Daniele, tre carissimi amici ormai da parecchio tempo.

In conclusione, voglio chiudere i miei ringraziamenti dedicando questa Tesi a Beatrice, una persona speciale con la quale avrei voluto continuare a condividere la mia vita, purtroppo mancata prematuramente.

Indice

	Pag.
Abstract	14
01 Fasi antecedenti	32
02 Condizioni e dati certi	52
03 Mappatura del processo progettuale	96
04 Mappatura documentale	132
05 Dalla superficie al sottosuolo: due differenti soluzioni per l'insediamento lunare	156
06 Verso una progettazione architettonica	172
07 Il masterplan come mezzo legittimante il progetto	200
08 Cooperazione e sostenibilità	222
09 Tecnologie costruttive e di supporto energetico	250
10 Il ruolo dell'architetto dello Spazio	272
11 L'infrastruttura turistica tra tecnica e missione	308
12 Progettazione temporale ed economica dell'infrastruttura a scala urbana	384
13 Permesso di costruire	394
14 Conclusioni	

Abstract Nell'ultimo decennio, la grande ondata di investimenti economici finanziati dalle neonate agenzie spaziali private, assieme al crescente numero di studi riguardanti le possibilità di costituire una vita permanente sulla Luna, hanno proiettato la "corsa allo spazio" in una nuova dimensione mondiale.

L'ipotesi alla base della tesi è dunque quella che le competenze della progettazione architettonica possano contribuire concretamente al dibattito, attualmente prettamente ingegneristico, incentrato intorno allo sviluppo di insediamenti semi-permanenti in ambiente lunare.

La ricerca ha come obiettivo quello di esplorare progettualmente le conoscenze fondamentali per la progettazione architettonica di un insediamento semi-permanente sulla superficie lunare, indagando i vincoli tecnico ambientali, economici e politici necessari. Inoltre, la ricerca si propone di sperimentare la costruzione di scenari dove l'azione progettuale si traduca in strumento di indagine delle condizioni di reale fattibilità.

Il metodo di ricerca adottato si sviluppa attraverso la mappatura delle istanze incidenti sul suolo lunare, quali documenti tecnici/politici e nozioni apprese negli scambi con gli attori coinvolti, e lo sviluppo progettuale degli scenari possibili.

La tesi viene presentata sottoforma di "diario di bordo", all'interno del quale vengono espone, in ordine cronologico l'evoluzione dell'esplorazione progettuale, costituito da deviazioni in corso, irruzioni impreviste, indagini interrotte, errori progettuali e cambi di prospettiva temporale e spaziale. Data la complessità della tematica, dovuta dalle differenti condizioni al contorno che definiscono l'ambiente

lunare, l'indagine coglie all'interno delle istanze raccolte nell'archivio delle ricerche svolte, gli elementi capaci di riconfigurarsi in funzione della produzione di un possibile effetto progettuale.

La prima fase di studio si incentra sull'evoluzione storico politica dell'esplorazione lunare con forte richiamo ai risvolti geopolitici caratterizzanti il passato, il presente e il futuro delle operazioni spaziali. Tali aspetti risultano essere fondamentali per la comprensione delle regolamentazioni giuridiche per le attività extra-atmosferiche.

Il percorso progettuale, inizialmente avviato con la volontà di realizzare una struttura permanente per i primi astronauti, si è modificato nel tempo, arrivando infine a trattare lo studio ipotetico del masterplan relativo ad un possibile insediamento contenente, al suo interno, anche una struttura turistica.

L'architettura spaziale ci può offrire l'opportunità di ripensare in maniera critica le convenzioni progettuali e architettoniche che non ci accorgiamo di adottare sulla Terra. Inoltre, la progettazione extra-atmosferica può essere un ottimo punto di partenza per sperimentare in ambiente terrestre nuove considerazioni riguardanti la sostenibilità.

In conclusione, progettare nello spazio ci può conferire una visione e una guida di come migliorare la progettazione sulla Terra, ottimizzando le risorse che abbiamo a disposizione.

01

Fasi antecedenti

Cenni storici

Era il 20 luglio 1969 quando gli astronauti statunitensi sbarcarono per la prima volta sulla Luna per mezzo della missione spaziale Apollo 11 diventando portavoce di un messaggio che, a carattere mondiale, riconobbe all'intera popolazione umana la capacità di raggiungere corpi celesti al di fuori della superficie terrestre. La grande operazione, inoltre, segnò l'inizio di una nuova era che da lì a poco si sarebbe evoluta con progetti e programmi sempre più ambiziosi. Di fatti, tutto ciò, fu solo l'inizio di quella che già era conosciuta come la famigerata Corsa allo Spazio.

Il 1969 dunque ha rappresentato indubbiamente l'anno zero da cui nuove sfide e scontri internazionali hanno iniziato nuovamente ad alimentarsi, successivamente al primo allunaggio americano.

Oggi, 50 anni dopo, la Luna ha assunto una nuova scena nel palcoscenico internazionale dopo un periodo di timide, o per lo meno poco appariscenti, attività spaziali che hanno di fatto portato molti ad assumere una visione deviata della situazione affermando una lenta progressione del settore.

Le diverse nazioni hanno iniziato a considerare la Luna come un nuovo traguardo e gli investimenti derivanti, lunari e cislunari che siano, come possibilità nell'affrontare nuove innovazioni tecnologiche e industriali nonché come dimostrazione tangibile di una sempre più strutturata presenza nello spazio che ci circonda. Obiettivo primario si conferma inoltre il potenziale scientifico ed economico derivante dall'esplorazione dei corpi celesti e dall'enorme riscontro delle risorse in situ.

Quanto esplicitamente riportato dunque si è tradotto in una fitta serie di attività pianificate per le missioni lunari e cislunari da parte delle differenti Nazioni partecipanti alla

nuova corsa allo Spazio tra cui spiccano stati del calibro degli Stati Uniti, Cina e Russia nonché Agenzie come l'ESA (European Space Agency) che hanno continuato a guidare le esplorazioni internazionali e nazionali al di fuori dello spazio terrestre¹.

Di particolare peso è stata la considerazione che l'allora Presidente Donald Trump, fece nel lontano 2017 proponendo la riorganizzazione del programma spaziale degli USA riconfermando l'obiettivo della permanenza dell'uomo sul suolo lunare e in orbita, da cui scaturirono nuove collaborazioni per rispondere a tali richieste. Se, dunque, per la permanenza in orbita la NASA avviò una partnership internazionale per la realizzazione del Lunar Gateway all'interno del più ampio programma spaziale ARTEMIS, per soddisfare l'ancora più ambiziosa visione della persistenza sul suolo extra-terrestre sono stati interpellati altrettanti partner che hanno condotto alla definizione di un primo progetto denominato Moon Village².

Moon Village

Nel 2015 l'ottimo risultato ottenuto dall'esperienza di cooperazione internazionale della International Space Station (ISS) (Fig. 1) ha spinto il Direttore Generale dell'ESA nel promuovere lo sfidante progetto del primo villaggio lunare basandosi su uno scenario di forte cooperazione tra gli stati con l'obiettivo di prevederne uno sviluppo in cui i differenti partecipanti possano sostenersi a vicenda per la condivisione delle risorse e degli sforzi per un'infrastruttura comune. Alla progettazione della futura base lunare hanno partecipato proattivamente lo studio SOM (Skidmore, Owings & Merrill LLP) e il Massachusetts Institute of Technology (MIT) Department region coadiuvati

1. Redazione, *Fly to the moon. Il dialogo spaziale tra Fracarro, Parmitano e Comparini*, in <<Formiche>>, 2020.

2. G. I. Petrov, et al. *,Moon Village Reference Masterplan and Habitat Design*, in <<International Conference on Environmental Systems (ICES)>>, 49, 2019



Fig.1 The International Space Station. Disponibile a <https://www.embibe.com/exams/6-amazing-facts-about-the-international-space-station-iss/>

e diretti dall'ESA ad ulteriore rappresentazione della solida collaborazione interdisciplinare tra le parti per il raggiungimento della visione comune.

Il progetto del Moon Village si è consolidato nella porzione di superficie lunare esposta a sud, nello specifico nella prima cintura del cratere Shackleton, in quanto bacino di condizioni vitali e climatiche più agevoli per la sopravvivenza dell'uomo e delle missioni nonché fonte di materie prime come acqua e sostanze volatili.

Il progetto si è sviluppato a partire da una considerazione urbana con una suddivisione per settori di sviluppo diversificati e distanziati in Habitation Band³, Infrastructure Band, Activities Band e una fascia di generazione energetica e di trasporto.

La Habitation Band godrebbe di una migliore esposizione alla luce del giorno e di una continuità di vista sulla Terra, elemento non trascurabile per la sanità psicologica degli inquilini, e sarebbe caratterizzata da habitat lunari verticali interconnessi da tunnel e moduli orizzontali secondari. La morfologia dei moduli verticali sarebbe costituita da una struttura primaria rigida interna, indispensabile per assorbire le sollecitazioni dei carichi di trasporto e di viaggio nonché per supporto della membrana gonfiabile (struttura inflatable) che andrebbe a costituire il paramento protettivo all'ambiente esterno lunare. La planimetria configurata garantirebbe la coesistenza di attività scientifiche e abitative distribuite verticalmente per un totale massimo di quattro persone contemporaneamente, tra cui laboratori, dormitori, sistemi di controllo e comando.

La Infrastructure Band invece dovrebbe soddisfare a pieno quelli che sono gli obiettivi scientifici ed esplorativi

della missione. Per tale motivo si è proposta suddivisa in tre diverse zone di cui la prima a servizio delle attività di esplorazione con strutture di stoccaggio e laboratori ISRU (In Situ Resource Utilization), la seconda per analisi delle risorse lunari affinché si possano ricostruire fonti di energia per autosostenere la struttura e infine la terza come area di test e prova di tecnologie e tecniche per lo sviluppo in situ. Infine, la Activities Band ricoprirebbe un ruolo di sperimentazione da parte di tutti i singoli partner del Moon Village delle attività private sulla superficie lunare. (Fig. 2 e Fig. 3)

The Lunar Lantern, sviluppato da ICON in collaborazione con lo studio BIG e SEArch+, evidenzia, inoltre, un altro progetto rappresentante a pieno l'intenzione di sviluppo e costruzione di un contesto abitativo in ambiente lunare.

Il risultato del progetto è stato un avamposto lunare completo in grado di poter essere realizzato sul territorio lunare per mezzo di stampanti 3D robotizzate sfruttando una serie di tecnologie in costante ascesa nel panorama mondiale oltre che all'utilizzo di risorse in situ così da ottenere una minima dipendenza dalla Terra. Interessanti sono stati i differenti modi pensati per affrontare i vari rischi dell'ambiente lunare da cui l'habitat principale impiega tre componenti strutturali per proteggersi: un isolatore di base, cavi di tensione e uno scudo Whipple.

In ordine, gli isolatori svolgerebbero la funzione di smorzatori sismici per assorbire le varie sollecitazioni generate da terremoti, i cavi di tensione esterni comprimerebbero le pareti stampate in 3D mentre lo scudo, costituito da un reticolo interno e pannelli esterni, conferirebbe l'adeguata

The Lunar Lantern

3. G. I. Petrov, et al. ,*Moon Village Reference Masterplan and Habitat Design*, in <<International Conference on Environmental Systems (ICES)>>, 49, 2019.



Fig. 2 Moon Village, SOM, in partnership con ESA e MIT. Disponibile a <https://www.stirworld.com/see-features-architecture-firm-som-designs-moon-village-a-full-time-lunar-habitat>



Fig. 3 Moon Village, SOM, in partnership con ESA e MIT. Disponibile a <https://www.stirworld.com/see-features-architecture-firm-som-designs-moon-village-a-full-time-lunar-habitat>

e ricercata protezione dalle radiazioni esterne. (Fig. 4, Fig. 5 e Fig. 6)

Le sopra citate considerazioni in termini politici e tecnici, come ad esempio i due riferimenti progettuali presi in considerazione, hanno conferito una giusta base di partenza per l'avvio del lavoro di tesi confermandosi come informazioni indispensabili per la comprensione dello stato attuale delle operazioni internazionali spaziali.

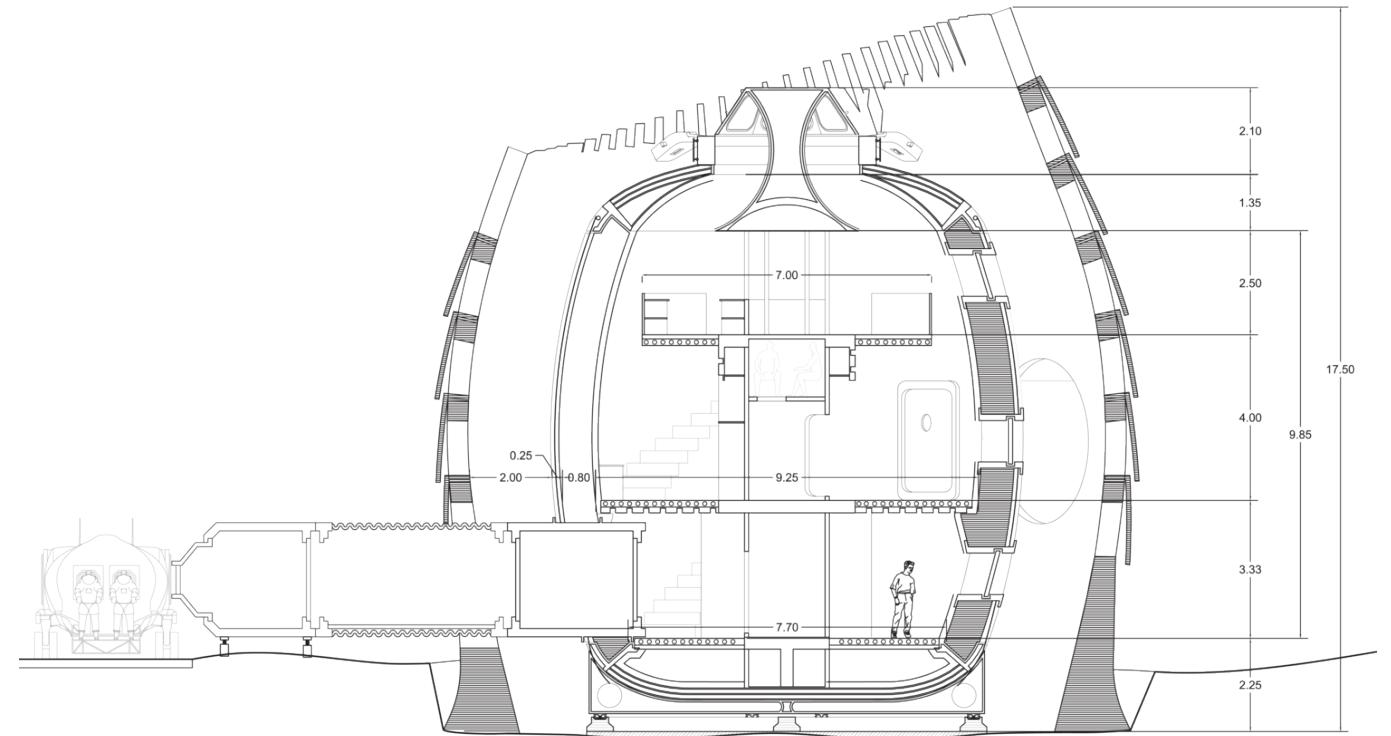


Fig. 4 The Lunar Lantern, ICON in partnership con SEArch+, NASA . Disponibile a <http://www.spacearch.com/lunar-lantern>

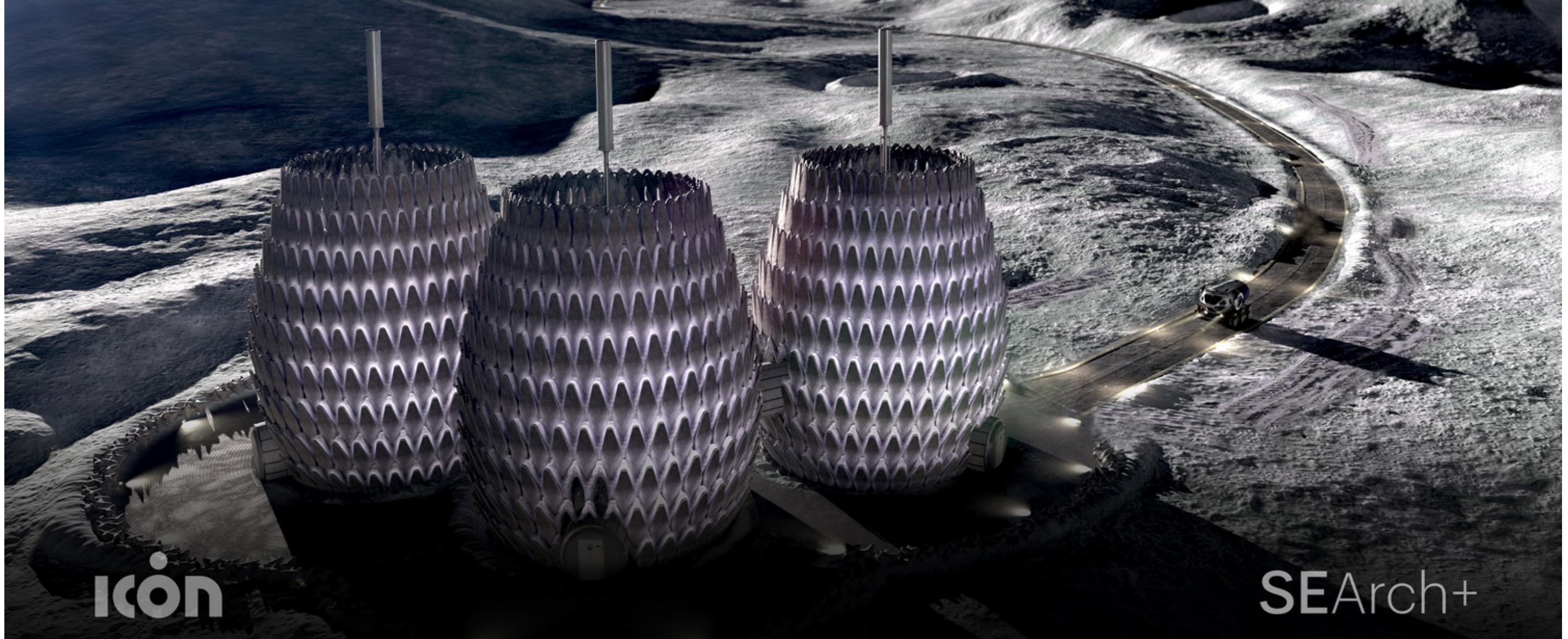


Fig. 5 The Lunar Lantern, ICON in partnership con SEArch+, NASA . Disponibile a <http://www.spacearch.com/lunar-lantern>

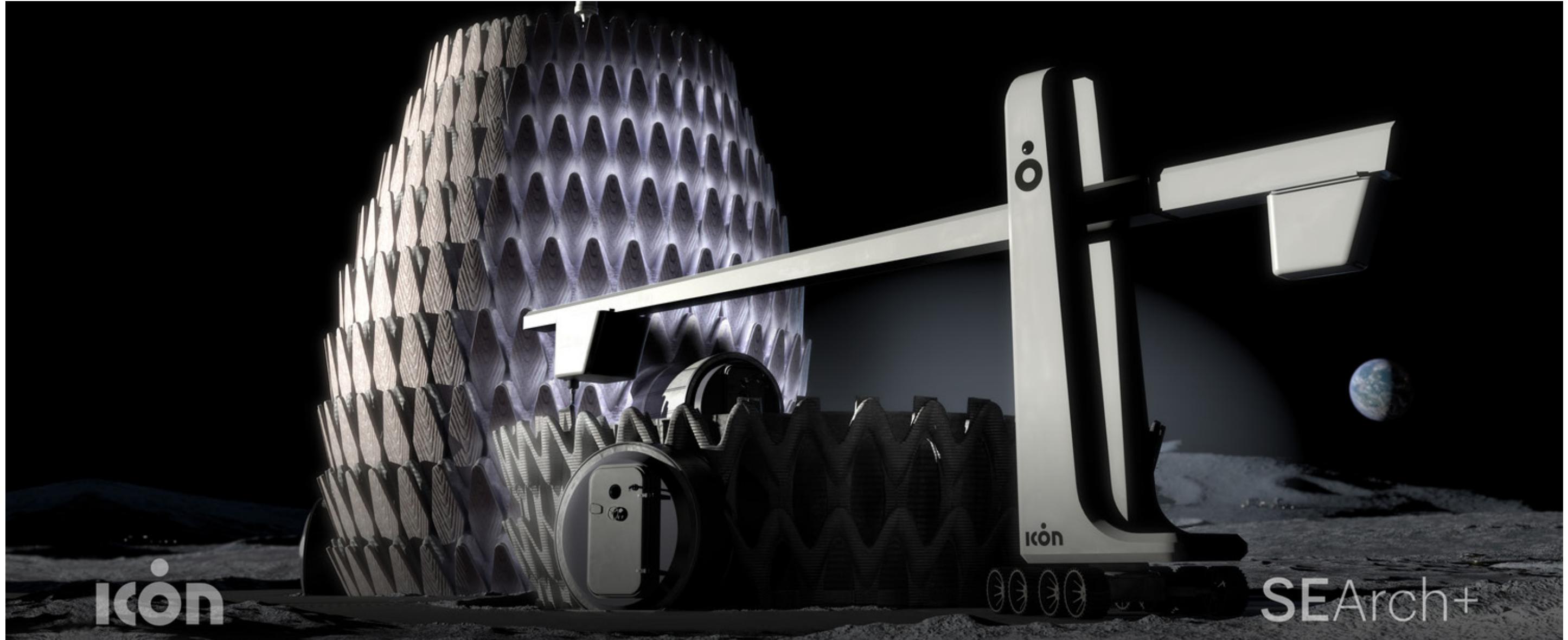


Fig. 6 The Lunar Lantern, ICON in partnership con SEArch+, NASA . Disponibile a <http://www.spacearch.com/lunar-lantern>

02

Condizioni
e dati certi

Condizioni ambientali

Le condizioni che ruotano attorno al satellite terrestre, completamente uniche e differenti da quanto siamo soliti confrontarci sulla Terra, hanno creato presupposti e vincoli cui è necessario relazionarsi affinché lo spazio extraterrestre possa venire compreso nella sua totalità e interezza. La maggior parte delle missioni, già intraprese e quelle future che si intende strutturare, permetterebbero di raggiungere certezze ancora non del tutto associate in merito alle molteplici implicazioni che caratterizzerebbe la Luna con il grandioso obiettivo del ritorno e permanenza dell'uomo in uno spazio al di fuori della competenza terrestre. Le macro-categorie importanti da affrontare specificando al meglio le particolarità, e che secondo un parere oggettivo potrebbero conferire maggiori informazioni allo scopo del progetto, sarebbero principalmente tre e si distinguerebbero in ambientali, economiche e geopolitiche. Indispensabile risulterebbe il continuo paragone con la Terra per una migliore tangibilità e fattibilità delle azioni che si ha intenzione di compiere.

Seppur ad una distanza non per nulla trascurabile, la Luna è fortemente dipendente dalla Terra per mezzo di una continua attrazione gravitazionale che la rende vincolata ad un'orbita ellittica attorno ad essa. Le analogie tra i due corpi non sono parecchie ma ci si può ricondurre ad una sostanziale morfologia che, in entrambi i casi, rispecchia una sfera compressa ai poli. Per altro, la Terra e la Luna differiscono sostanzialmente in termini di temperatura, massa, volume e densità.

Nello specifico, le condizioni del satellite terrestre si assestano su temperature Max di 120°C e min di -247°C

a cui si aggiunge una massa dell' 1,2%, un volume del 2% e una densità del 60% in rapporto a quanto di certo è conosciuto della Terra; ne derivano implicazioni legate alla superficie ospitante sorprendentemente piccola e riconducibile al 7% rispetto a quella terrestre da cui si accerta una particolare attenzione all'occupazione del suolo stesso in ottica della difficile possibilità di rimozione e recupero di quanto effettivamente insediato su di essa. La superficie lunare rispecchia, rapportata alle sue dimensioni, quanto esistente sulla Terra essendo caratterizzata da un paesaggio costituito da rilievi e depressioni di notevole entità ma con formazioni del tutto distinte: quanto presente sul nostro satellite è di fatto riconducibile ad un processo non di tettonica a placche bensì da impatto da cui ne derivano la creazione di crateri invariati, da milioni di anni, nelle loro asperità, causa del quasi nullo tasso di erosione, dipendenza di un'atmosfera lunare rarefatta.

Conseguenza degli impatti da asteroidi e meteoriti per la maggior parte della sua vita, la superficie lunare ha nel tempo variato la sua consistenza fino ad una completa frammentazione degli strati superiori generando così un livello di materiale lunare detto regolite sotto forma di corpuscoli di granulometria inferiore al millimetro, a cui si riconduce tutto ciò presente al di sopra del substrato roccioso in uno stato non consolidato. Per chiarezza, anche sulla Terra ritroviamo regolite a cui però si riporta una composizione varia di terreno tra cui resti di piante organiche, frammenti di roccia, cenere vulcanica ed altro. È dato sempre più certo che il suolo lunare sia costituito principalmente da ossigeno mentre la parte rimanente è composta da silicio, ferro, calcio, alluminio, magnesio e

poco altro. Ma sulla composizione si stanno compiendo studi molto frequenti diventando, quindi, motivo e obiettivo di ciascuna missione.

Dunque, la struttura della Luna può essere assimilata a quella della Terra: al centro un nucleo rivestito da un primo mantello e di seguito una crosta. In realtà, se ciò che si conosce della struttura interna della Luna non è ancora dato certo, soprattutto per la disponibilità di dati risalenti alle prime esplorazioni sul corpo celeste e un relativo processo di analisi datato rispetto a quanto fortemente migliorato negli ultimi decenni. Le soluzioni che ad oggi sembrano essere le più attendibili sono lo studio dei campioni lunari su cui, come affermato poc'anzi, le missioni lunari spesso si concentrano ad integrazione delle attività di telerilevamento in orbita.

Dagli studi condotti si è riscontrato inoltre che la superficie lunare è soggetta, così come la Terra, ad attività sismica dovuta a movimenti profondi, conseguenza del legame gravitazionale tra i corpi, da vibrazioni da impatto di meteorite e da movimenti derivanti da shock termico. Questo fattore assume un indispensabile aspetto da tenere in considerazione per una qualunque permanenza sul suolo lunare dell'uomo e di eventuali strutture.

Una considerazione complessiva delle condizioni geografiche e del luogo lunare portano ad affermare senza dubbio come il tutto sia effettivamente un ambiente alieno in cui i principali fattori, di cui alcuni precedentemente citati, ne influenzano radicalmente il territorio del corpo celeste. Tra questi si evidenziano quindi la temperatura, la pressione atmosferica, la luce solare e la gravità al suolo. A riguardo della temperatura sono state introdotte

informazioni a titolo informativo rispetto a quelle che sono le temperature di massima e di minima percepite e, nello specifico, dal confronto riportato nel libro *Il libro della Luna. Guida all'esplorazione del nostro satellite*¹ si evince chiaramente come la temperatura media della Luna sia nettamente più alta di quella dell'Antartide terrestre ma, allo stesso modo, più bassa della media terrestre con valori rispettivamente pari a -20°C, -50°C e +15°C. In realtà, così come riporta in modo molto dettagliato la scienziata spaziale Maggie Aderin-Pocock nel suo libro² per l'analisi e la comprensione dei dati espressi è necessario valutare nella sua interezza la mappatura delle temperature sulla superficie lunare. È consolidato come le aree non polari, come ad esempio la fascia equatoriale, sia soggetta a variazioni di temperatura drastiche che, dal giorno alla notte, possono raggiungere picchi di 100°C e -150°C; chiaro è che questa condizione non permetterebbe banalmente la sopravvivenza di nessun essere vivente, ma altrettanto importante è come la presenza di un'atmosfera del tutto rarefatta mantenga localizzata la temperatura permettendo quindi una migliore adattabilità alle condizioni ambientali dell'uomo ai poli lunari. In queste regioni la luce solare non giunge mai perpendicolarmente al suolo bensì ad angoli di sfioramento garantendo dunque una minore variazione di temperatura: si parla di fatti in questi casi di massime e minime tra i -50°C e i -200°C. Altro fattore di attenta valutazione è il tema dei cosiddetti "picchi di luce eterna" che creano condizioni, per via della conformazione del terreno e la geometria dell'orbita Luna-Sole, aree di illuminazione costante.

Il campo gravitazionale lunare è invece irregolare ed è

causato da differenti concentrazioni di massa al di sotto della superficie lunare stessa. Questa scoperta è stata di fondamentale importanza per le missioni in quanto una errata considerazione avrebbe potuto, e potrebbe tuttora, deviare il percorso di una qualunque sonda lunare rischiando di farla dirottare al suolo. In poche parole, la Luna, avendo una massa significativamente ridotta rispetto a quella della Terra, ha di conseguenza una minore densità e una derivante ridotta attrazione gravitazionale: ciò a spiegare l'andatura particolare degli astronauti. Servirsi di questa peculiarità permetterebbe la realizzazione di telescopi molto più grandi e con relative strutture di supporto ridotte per via della minore incidenza di ciascuna massa.

L'atmosfera ricopre anch'essa un ruolo fondamentale nella comprensione delle caratteristiche ambientali del satellite ed è talmente rarefatta da considerarsi spesso nulla e assente. Quantificata in numero, in 1 cm³ di atmosfera lunare si riscontrerebbe solo 1 milione di molecole, con una differenza di 13 volte rispetto a quanto presente in quella terrestre. Ne consegue da questa particolare caratteristica, ad esempio, la possibilità di usufruire del silenzio radio che permetterebbe di rilevare frequenze mai rilevate ad oggi. Nonostante queste informazioni, è necessario sottolineare come l'atmosfera sia composta prevalentemente da gas come idrogeno, neon e argon ovvero una miscela che non garantirebbe alcuna sopravvivenza di esseri viventi dipendenti dall'ossigeno. Ma, ad essere più accurati, sembrerebbe che di ossigeno la Luna ne sia ricca seppur non in forma gassosa e recenti studi ne hanno infatti rilevato la presenza all'interno della regolite.

1. M. Aderin-Pocock, *Il libro della Luna – Guida all'esplorazione del nostro satellite*, "s.l.", Il Saggiatore, 2020, (traduzione di) Malafarina G.

2. M. Aderin-Pocock, *Il libro della Luna – Guida all'esplorazione del nostro satellite*, "s.l.", Il Saggiatore, 2020, (traduzione di) Malafarina G.

Questa scoperta ha segnato drasticamente il percorso futuro delle missioni indirizzando verso una nuova valutazione dell'insediamento umano che risulterebbe meno impattante nei confronti dei rifornimenti provenienti dalla Terra.

John Grant, docente di Scienze del suolo presso la Southern Cross University, in un articolo sul *The Conversation*³ afferma come ci sia sufficiente ossigeno intrappolato nella crosta lunare da mantenere in vita esseri umani per un periodo di centinaia di migliaia di anni, senza dubbio più che adeguata per le prossime missioni che si intende intraprendere.

In aggiunta, il Politecnico di Milano e OHB Italia⁴ hanno stretto recentemente una partnership per la produzione di acqua sulla Luna a partire dalla conversione dell'ossigeno intrappolato nella regolite lunare, per mezzo di un processo chimico-fisico dedicato. L'ambizioso programma nell'ambito delle attività ISRU (In-Situ Resource Utilisation) finanziato dall'ESA (Enternational Space Agency) e ASI (Agenzia Spaziale Italiana) risulterebbe essere quindi una pietra miliare per l'intero processo di colonizzazione della Luna in quanto renderebbe del tutto autonoma la produzione di risorse indispensabili per la sopravvivenza umana in un territorio ostile.

notevoli implicazioni e fattori che porterebbero a valutare le leggi attualmente in vigore del diritto spaziale internazionale: d'altronde, se ancora non del tutto certa è la data in cui il primo insediamento avrebbe modo di consolidarsi sul territorio lunare, inevitabile sarebbe una regolamentazione legislativa con cui i futuri insediamenti potrebbero confrontarsi.

Il 27 gennaio 1967 venne siglato il documento considerato come parte fondante del diritto spaziale internazionale riconosciuto nell' *Outer Space Treaty* (di seguito OST). L'OST propone, di fatti, di fornire una regolamentazione a livello internazionale delle attività potenzialmente sviluppabili in un territorio extra-terrestre, come nel caso specifico dell'insediamento permanente su un corpo celeste come la Luna. Suddiviso in più articoli, sottolinea tutti i caratteri legislativi e burocratici per la convivenza e l'utilizzo dello spazio.

L'articolo I è il punto di partenza dell'intero trattato e come afferma Antonino Salmeri, Doctoral researcher in Space Law presso University of Luxembourg, nel documento⁵ a cui si fa particolare riferimento nelle prossime pagine, pone le basi per l'intero e complesso diritto internazionale risultando, inoltre, una tra le disposizioni più complete e lunghe. Nello specifico, l'articolo in questione pone particolare attenzione in quella che è definita come cooperazione internazionale evidenziando l'importanza e la possibilità fondamentale di "exploration" e "use"⁶, tematiche dalle quali si sono sviluppate notevoli interpretazioni in merito al mero significato. Le implicazioni che si vuole enfatizzare riguardano esplicitamente, per lo meno per l'articolo 1 OST, le condizioni in tema di libertà d'uso ed esplorazione

3. J. Grant, *The Moon's top layer alone has enough oxygen to sustain 8 billion people for 100,000 years*, in <<The Conversation>>, 2021.

4. *Politecnico e OHB Italia: Produrre acqua sulla Luna da oggi è realtà*, 2021

5. A. Salmeri, *Developing and managing moon and mars settlements in accordance with international space law*, in <<International Astronautical Congress (IAC)>>, 71, 2020

6. A. Salmeri, Co-relatore collettivo di tesi.

Condizioni geopolitiche

La realizzazione di una base lunare sul corpo celeste in questione si è negli ultimi anni sempre più consolidata creando e generando consequenziali relazioni tra gli Stati e gli stakeholders che vi parteciperebbero, attivamente e non. Dunque, una situazione storica in cui il raggiungimento di tale obiettivo non è mai stata così solida da considerare

dei corpi celesti da cui si evincono particolari limitazioni che è opportuno portare alla luce, così come condotto dal Ricercatore italiano. In ordine di importanza, il Dott. Antonino Salmeri analizza attentamente quanto espresso nel primo articolo OST, ovvero che le attività spaziali <<shall be carried out for the benefit and in the interests of all countries, irrespective of their degree of economic or scientific development, and shall be the province of all mankind>>⁷ e focalizza la tematica della condivisione a seguito degli esperimenti e delle attività condotte sul suolo lunare. Di fatti, nel 1996 l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite ha redatto una dichiarazione (Declaration for guiding the implementation of the principle of benefit sharing) che cerca di regolamentare l'atto di condivisione dei benefici derivanti da attività spaziale esprimendo, di contro, come non vi sia alcun obbligo esplicito ma come in realtà, in ottica dell'interpretazione comune dello spazio extraterrestre come di competenza dell'intera umanità, agli Stati sarà impedito, di fatti, un uso monopolistico dei corpi celesti. In conclusione, quello che si afferma è riconducibile ad un'assenza di qualunque obbligo nei confronti degli Stati nella condivisione dei benefici derivanti da qualsiasi attività spaziale bensì, in conformità della concezione dello spazio come comune e globale, gli stessi non potranno adottare alcuna politica esclusiva sulla Luna stessa.

La seconda e terza limitazione evidenziate trattano il "principio di non discriminazione" e di "uguaglianza", si mostrano allineate al concetto analizzato nella riflessione relativa alla condivisione e cooperazione, evidenziando come le operazioni debbano garantire la mutua partecipazione tra le parti. Le ultime due, invece,

muovono considerazioni in merito alla libertà di accesso ai corpi celesti da cui si evince, dalla lettura dell'OST, come l'utilizzo del territorio possa essere legittimo da parte degli Stati ma pur sempre non limitandone, direttamente o indirettamente, l'accesso a terzi.

In modo analogo vengono presi in considerazione i successivi articoli costituenti l'Outer Space Treaty: l'articolo II regola la potenziale possibilità di appropriazione nazionale dello spazio garantendone la conformità con le prime fasi degli insediamenti extraterrestri di cui si ipotizza una struttura primitiva confermando, dunque, quanto espresso dall'articolo I; l'articolo III vincola e rafforza l'esecuzione delle attività a scopi puramente pacifici e privi di alcuna intenzione che possa minacciarne la sicurezza internazionale; l'articolo IV evidenzia ulteriormente la sola libertà di uno Stato nell'impegnarsi in attività spaziali adottando il mutuo principio del dovuto rispetto, istituendo indubbiamente un vincolo evidente per l'esplorazione e l'uso dello spazio. Risulta chiaro come le future operazioni spaziali faranno emergere quelle che sono le criticità che un trattato come l'OST, siglato di comune accordo alla fine degli anni '60, ha il diritto di evidenziare in quanto non completamente allineato ai nuovi obiettivi intrapresi in ottica spaziale. La soluzione che virtualmente si intraprenderebbe sarà fondata sul principio della cooperazione prevenendone la conseguente discriminazione e favorendone l'uguaglianza. Di contro, come i massimi esperti del diritto internazionale suppongono, la cooperazione internazionale, in quanto non riconosciuta come obbligo legale da alcuno scritto, potrebbe venire a meno tra le parti in gioco complicandone il prosieguo.

7. A. Salmeri, *Developing and managing moon and mars settlements in accordance with international space law*, in <<International Astronautical Congress (IAC)>>, 71, 2020

Altro tema fondamentale per le attività extraterrestri è invece la sostenibilità, su cui sempre più si sta costruendo un fattore chiave per le ormai prossime attività lunari. Nello specifico, si enfatizza quello che, in ottica di una permanenza sul suolo lunare, possa essere lo sviluppo di strutture host per le attività a lungo termine nello spazio extraatmosferico. In tale tema ricopre un ruolo determinante il documento *Guidelines for the Long-Term Sustainability of Outer Space Activities delle Nazioni Unite*⁸ in cui si esprime, nelle specifiche linee guida, esplicitamente la possibilità di condivisione tecnologica e di attrezzature, il caso di una base infrastrutturale, piuttosto che la condivisione di sforzi per il raggiungimento dell'obiettivo con la concreta opportunità di evitare duplici impieghi di organico e materiali; ciò influenzandone le ingenti spese finanziarie, non per nulla trascurabili. Inoltre si consolida la possibilità di una fattibilità più certa e di maggior successo delle operazioni. Rientra inoltre nella questione la necessità di realizzazione di strutture con la massima riutilizzabilità e versatilità possibile.

Trasposizione di quanto riportato finora è il caso della Stazione Spaziale Internazionale, le cui operazioni si consolidano all'interno di un sistema di governance alquanto cooperativo.

Il fatto che una definita governance lunare ancora non sia presente, non è fonte di grandi problemi di mancata comunicazione tra le parti, bensì null'altro che normalità se consideriamo che il vero e proprio dibattito sulla geo-politica extraterrestre sia abbastanza recente. Nonostante ciò, viste anche le notevoli partecipazioni e collaborazioni tra gli Stati, si evincono maggiori fattori di unione piuttosto

che di disaccordo, che sembra essere maggiormente derivante da una ancora incompleta comprensione dei ruoli che ciascun singolo Stato possa ricoprire⁹.

Dunque, si prende in considerazione un momento storico in cui la maggior parte degli attori che hanno, negli anni precedenti, investito per una presenza spaziale e lunare, iniziano concretamente a definire i rispettivi piani in confronto con un sistema di governo per nulla chiaro.

Il discorso fondante, alla base di un principio di cooperazione, ricerca con trasparenza una gestione che possa garantire di fatto la definizione principale dell'OST nel riconoscere e affermare la Luna come territorio dell'intera umanità. Ciò significherebbe valutare il nostro satellite come spazio aperto alle esplorazioni e all'uso anche da parte di tutti gli attori che, fino ad ora, per motivi di interesse non compatibili o economici, non hanno impiegato i propri sforzi nel settore, a differenza dei più storici.

Il documento E.A.G.L.E¹⁰ siglato ed approvato a cura della Space Generation Advisory Council nel maggio 2021 riporta alquanto delucidazioni in materia, e nello specifico si espone notevolmente nella definizione di quelli che potrebbero essere i temi principali di una prossima Carta di governo lunare. Come prima istanza riporta come necessario debba essere il richiamo al documento dell'Outer Space Treaty nei suoi temi istitutori dello sviluppo pacifico e sostenibile della Luna proponendo, più nello specifico, un diretto riferimento agli articoli I, II, III e IV di cui specificatamente fatta introduzione sopra. Si appella, inoltre, a successive pronuncezioni come l'articolo VII, per la responsabilità internazionale degli Stati per danni causati da oggetti spaziali, e l'articolo XI, per una

8. *Guidelines for the Long-Term Sustainability of Outer Space Activities*, in <<U.N. Doc. A/74/20>>, Annex II, 2020

9. Space Generation Advisory Council, *Effective and Adaptive Governance for a Lunar Ecosystem*, Lunar Governance Report, 2020, pp. 50.

10. Space Generation Advisory Council, *Effective and Adaptive Governance for a Lunar Ecosystem*, Lunar Governance Report, 2020.

condivisione volontaria di informazioni ottenute a seguito di attività spaziali. In secondo luogo, viene fatto cenno al tema dell'inclusività per una migliore cooperazione tra gli Stati, con l'obiettivo di condivisione dei benefici valutandone sempre l'esigenza di chi in maggiore sviluppo. Scopo primario risulta essere il garantire l'equa possibilità di ricerca ai diversi attori partecipanti nonché favorire la massima partecipazione, sia privata che di Stati, per una velocizzazione di un ritorno di conoscenze e nuove scoperte di supporto all'umanità. L'interoperabilità è la terza tematica proposta dal Consiglio in quanto ritiene prioritario l'impiego di sistemi e apparecchiatura spaziali, dunque, interoperabili permettendone la riutilizzabilità delle infrastrutture e abbandonando ogni possibile strada di duplicazione che comporterebbe inevitabilmente inutili sforzi.

La seconda parte dei principi proposti si sviluppa in una considerazione protettiva e di tutela che si esplica nella ricerca di una protezione della vita umana. Tra questi il contribuire ad aiuti per chiunque si trovi in difficoltà conferendo importanza alla prevenzione, alla continua e attenta conservazione del patrimonio e alle zone di sicurezza, in cui evitare sostanzialmente interferenze e ripercussioni di operazioni lunari dannose. A tal proposito, è forte il richiamo agli articoli 1, 2 e 4 dell'OST in cui si ribadisce come tali zone debbano essere condivise e non esclusive del solo Stato dichiarante.

Come affermato poc'anzi, si può evincere in modo alquanto facile, che vi sia una sostanziale differenza di intraprendenza dell'esplorazione spaziale tra i diversi Stati anche se, negli ultimi anni, anche rappresentanze meno di

copertina hanno stanziato grossi importi per la definizione di una strada di studio e conoscenza extraterrestre. Di contro, se si pensa al tema in oggetto, è facile associare ad esso attori più celebri che hanno determinato il passato e che ne determineranno sostanzialmente il futuro come le tre grandi nazioni spaziali della Cina, Russia, Stati Uniti e, in aggiunta, due delle principali agenzie spaziali mondiali quali NASA (National Aeronautics and Space Administration) ed ESA (European Space Agency).

Degni di nota sono le recenti azioni che l'agenzia americana ha avviato in ottica della prossima esplorazione imminente, riconducibili al programma Artemis che pone come obiettivo il ritorno sul suolo lunare della prima donna e del prossimo uomo con la ferma idea di insediamento infrastrutturale, per dirigere poi lo sguardo verso il pianeta Marte. Del programma citato non risultano essere di fondamentale importanza le fasi per mezzo delle quali il governo americano intenderebbe completare il proprio obiettivo che, peraltro, per estremo tecnicismo e focalizzazione ingegneristica, divergerebbero dallo scopo della tesi, ma piuttosto di notevole rilevanza si definiscono i rapporti costruiti tra i diversi attori all'interno dello stesso piano di esplorazione.

Siglati nell'ottobre del 2020, gli Artemis Accords, si presentano come un accordo multilaterale tra i diversi partner firmatari e la NASA, depositaria dell'accordo, in ottica di una forte collaborazione tra i partecipanti stessi per il completamento del già avviato programma della Stazione Internazionale Spaziale (ISS), nonché per l'integrazione di nuove solide operazioni di superficie lunare. Concretamente, come afferma Antonino Salmeri,

Doctoral researcher in Space Law, sono la mera proposta di regolamentazione del programma Artemis¹¹, sotto il controllo giuridico del paese americano che lo conduce e, in qualità di progetti multinazionali, definiscono le rispettive competenze, i rispettivi ruoli e i derivanti compiti di ciascuno Stato nell'esecuzione dello stesso.

Indispensabile è riportare che, quanto siglato negli accordi in questione, non abbia la minima capacità giuridica di sostituirsi alla presente regolamentazione di diritto spaziale internazionale vigente, e dunque si mostra come un'elaborazione di alcuni dei capitoli costituenti l'OST adattati a quello che è da considerarsi come il compito dell'intero ambizioso programma.

Strutturalmente si riconoscono quindi alcuni dei principali concetti fondanti del trattato vigente che vengono ricostruiti sotto forma di sezioni, nello specifico 13. Si ritiene, ai fini del lavoro, necessario riportare alcuni di essi a partire dalla sezione 3 riportante testualmente "The Signatories affirm that cooperative activities under these Accords should be exclusively for peaceful purposes and in accordance with relevant international law."¹² ribadendo dunque lo scopo pacifico delle azioni in un'ottica di cooperazione internazionale. A seguire, il tema della trasparenza (sezione 4), riconoscibile nella condivisione e diffusione delle informazioni e dei risultati acquisiti al fine di un raggiungimento condiviso dei traguardi, e dell'interoperabilità (sezione 5), in cui si afferma la necessità di una mutua condivisione delle infrastrutture includendo sistemi di stoccaggio, struttura di lancio e atterraggio e sistemi di comunicazione. Importante è anche la citata deconflittualità che si alimenta di principi del

dovuto rispetto, di comunicazione reciproca di informazioni che possano causare interferenze dannose, di definizione di aree di sicurezza e di libero accesso al corpo celeste lunare. Emergono peraltro anche sezioni con specifiche limitazioni nel rispetto del patrimonio spaziale, del rilascio dei dati scientifici e di risorse spaziali.

Il ritrovamento di materiale fondamentale alla sopravvivenza umana sul corpo celeste lunare ha rappresentato un sostanziale momento di deviazione sul futuro delle missioni lunari, rispetto a quanto poco prima programmato e ipotizzato. La semplice possibilità di avere a disposizione acqua e ossigeno, estraendo il materiale primario direttamente dal suolo lunare, rende la permanenza sulla Luna molto simile a quanto si è abituati ad immaginare sul suolo terrestre, in termini di reperibilità di fonti essenziali andando, inoltre, a impattare notevolmente su quello che sarebbe dovuto essere l'enorme costo logistico per il trasporto della materia prima direttamente dalla Terra per alimentare le strutture installate sul corpo celeste.

Studi specifici¹² affermano come il ritorno dell'uomo nello spazio e, questa volta, la sua permanenza, sia una spesa che si può indicativamente immaginare inferiore ai 10 miliardi di dollari, dimostrandosi drasticamente minore rispetto a quanto ipotizzato qualche anno fa. Le azioni che hanno portato ad una rapida diminuzione della spesa sono da ricondursi alle numerose alleanze stipulate con partner commerciali, vedasi Boeing o Space X, della NASA assieme alle già sopra citate possibilità di estrarre risorse fondamentali dal satellite. Inoltre, anche lo stesso carburante sembrerebbe essere recuperabile a partire dall'idrogeno,

Condizioni economiche

11. S. Piccin, *Cosa sono e perché sono importanti gli Accordi Artemis? Intervista ad Antonino Salmeri*, 2020.

12. NASA, *The Artemis Accords, Principles for cooperation in the civil exploration and use of the Moon, Mars, Comets, and Asteroids for peaceful purposes*, in <<International astronomical congress (IAC)>>, 71, 2020

12. Retemedia, *Quanto costerebbe una casa sulla luna?*, in <<Reccom Magazine>>, 2021.

senza pensare alle notevoli riduzioni di costo per l'ossigeno da respirare. Una grande soluzione che impatterebbe notevolmente sull'economia delle missioni è decisamente legata alla tematica logistica: di fatti, spedire materiale nello spazio, e di conseguenza sulla Luna, implicherebbe un costo notevole che si aggira attorno alla decina di migliaia di dollari per ogni chilogrammo spedito. Una cifra a dir poco esagerata che negli ultimi anni si è cercato di limitare, o per lo meno ammortizzare, con l'impiego di tecniche costruttive per le infrastrutture lunari più leggere possibili come il sistema inflatabile o la stampa 3D con materiale autoctono. Se dunque un modulo gonfiabile permetterebbe di ridurre notevolmente l'incidenza sul trasporto, il sistema della seconda tecnica costruttiva avrebbe la possibilità di interfacciarsi con macchinari che possano in autonomia realizzare l'involucro in-situ, e dunque tralasciare l'enorme quantitativo di materiale da destinarsi per la realizzazione degli habitat lunari.

Seppur da numerosi articoli trapelano informazioni legate alle condizioni economiche delle missioni lunari, non si evincono dati di particolare attendibilità scientifica da poter riportare con certezza. Ciò che però si può affermare è che l'ingente somma che delinerebbe la spesa complessiva delle attività lunari, sarebbe figlia di numerose condizioni e reciproche operosità legate alle differenti condizioni al contorno cui si è soliti interfacciarsi sulla superficie terrestre. Considerando dunque la già nota componente logistica, è importante non trascurare la grossa incidenza dei materiali costruttivi cui corrispondono elevate caratteristiche fisiche e tecnologiche per una migliore rispondenza al clima alieno tali per cui, in proporzione all'ingente spesa di

movimentazione del materiale, si può configurare un costo complessivo di tale impresa nell'ordine dei miliardi di dollari.

03

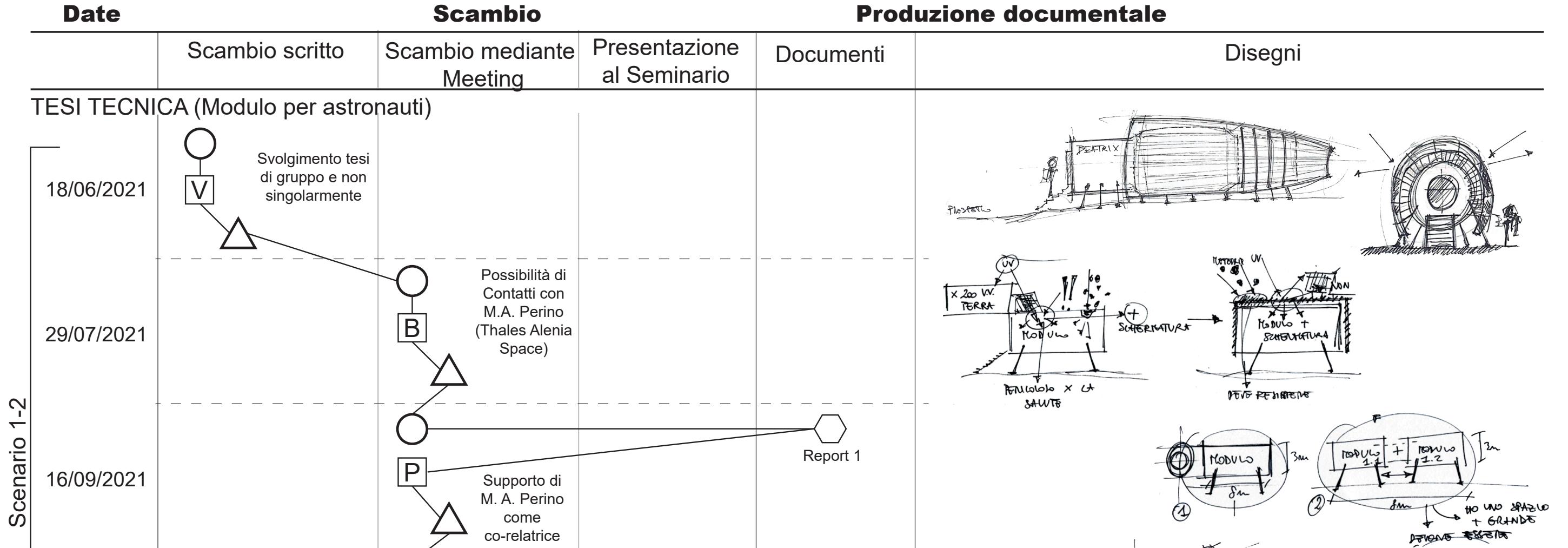
La mappatura del
processo progettuale

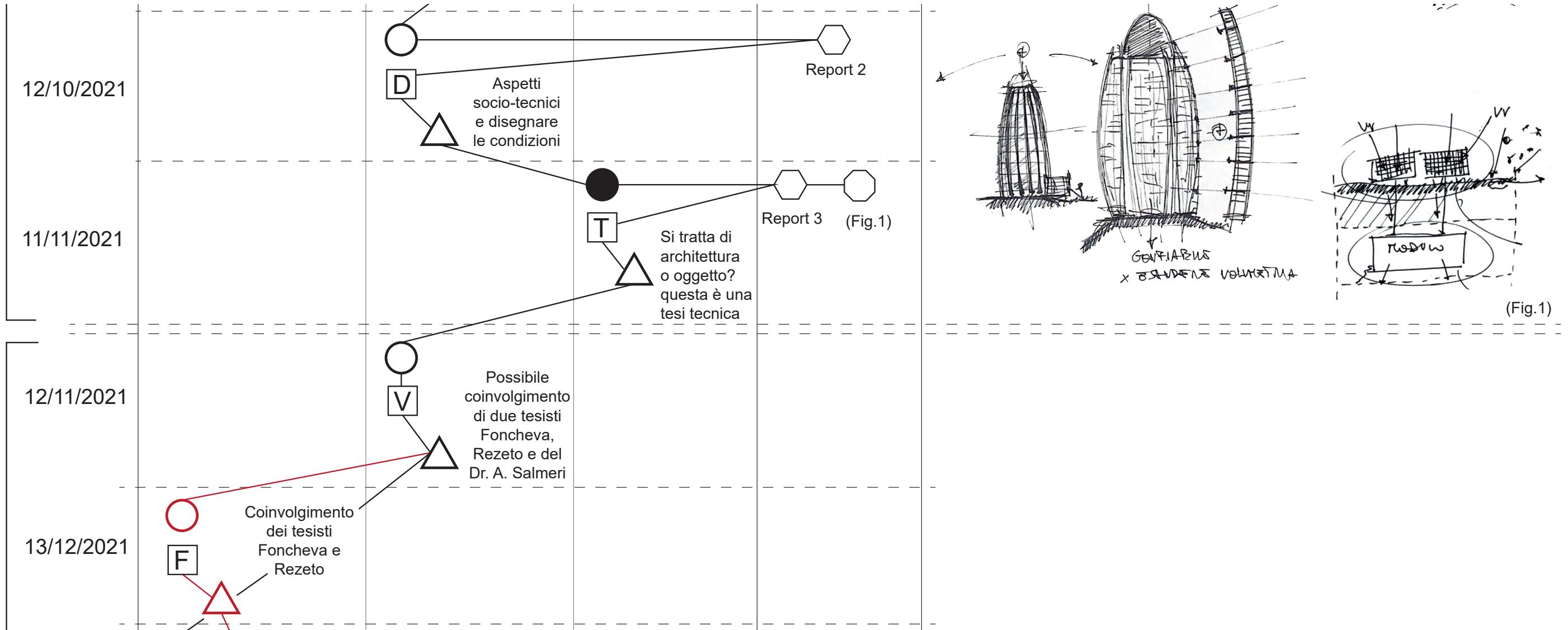
Il processo progettuale

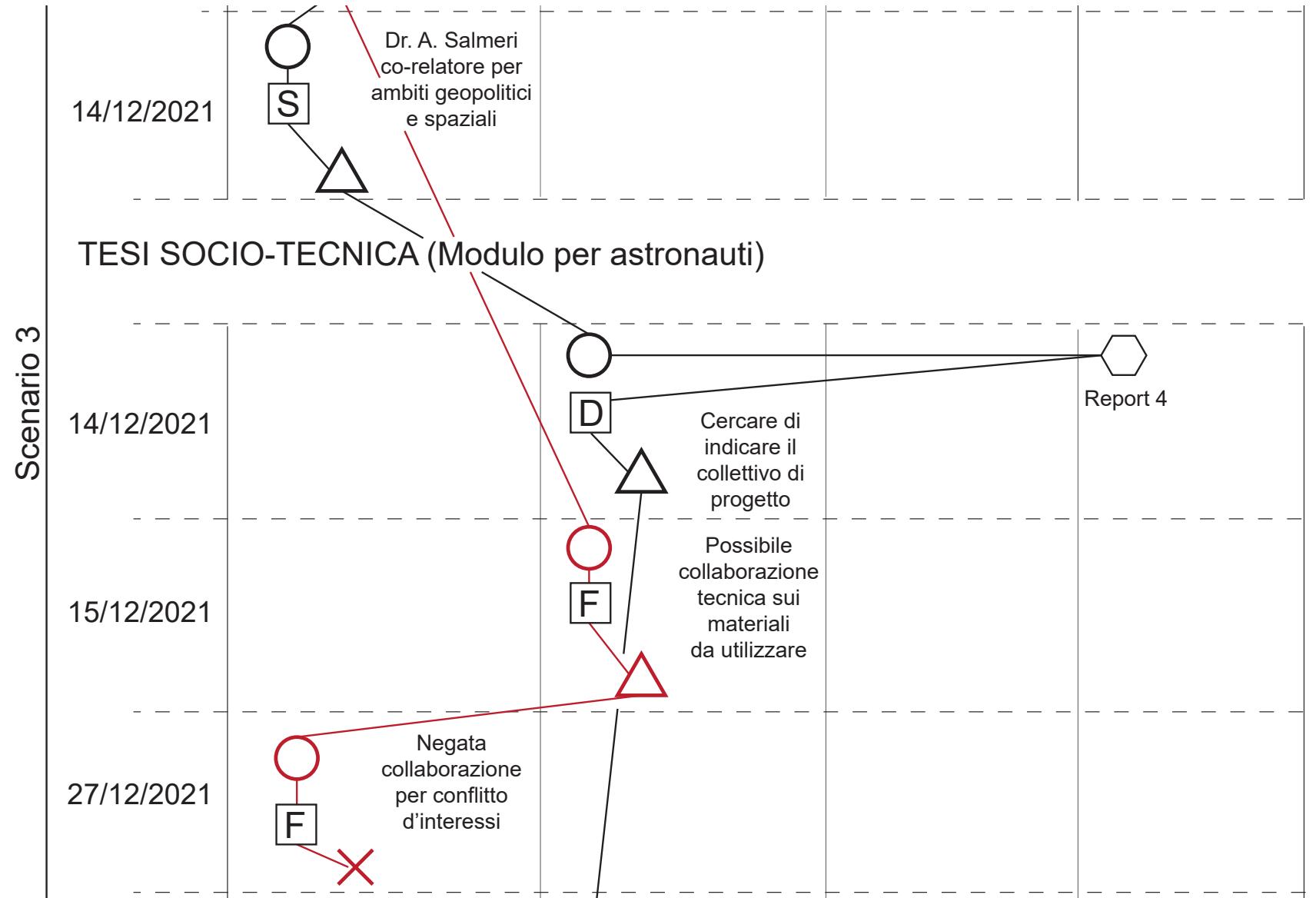
La progettazione architettonica presenta come output rappresentazioni scrittografiche, disegni e documenti, i quali porteranno alla creazione di luoghi e spazi per lo svolgimento di specifiche attività da parte dell'uomo, tutto ciò mediante l'organizzazione di un processo scientifico, logico ed artistico. In senso lato potremmo quindi definire la progettazione come un susseguirsi di fasi di produzione e di scambio, un insieme di azioni che, nella migliore delle ipotesi, portano ad uno stato finale affermato e validato per essere in seguito realizzato. All'interno di questo capitolo vengono illustrate due metodologie per mappare questo susseguirsi di fasi, ovvero il processo progettuale: una rivisitazione del diagramma di Shenzen e del ciclo del collettivo di Latour. I diagrammi portati ad esempio, cercano di rappresentare in maniera diacronica ed oggettiva il processo progettuale della tesi che ha interessato lo sviluppo della progettazione di un modulo abitativo sulla Luna.

La prima metodologia grafica presa in considerazione è una rivisitazione, in alcune sue componenti, del diagramma di Shenzhen¹. (Fig.1)

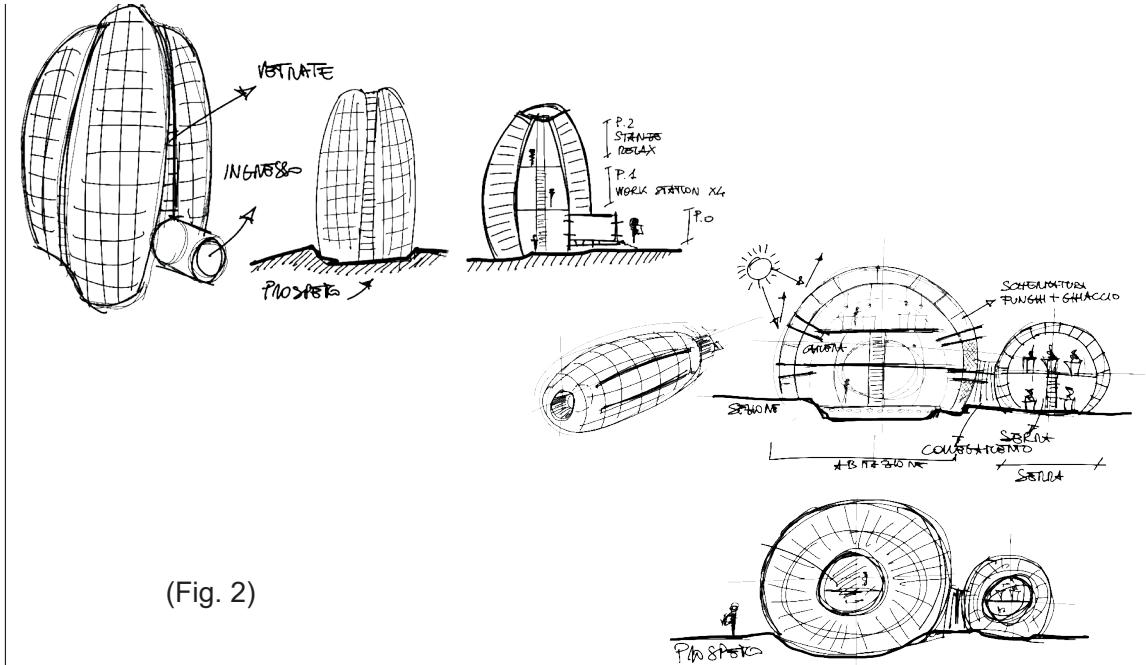
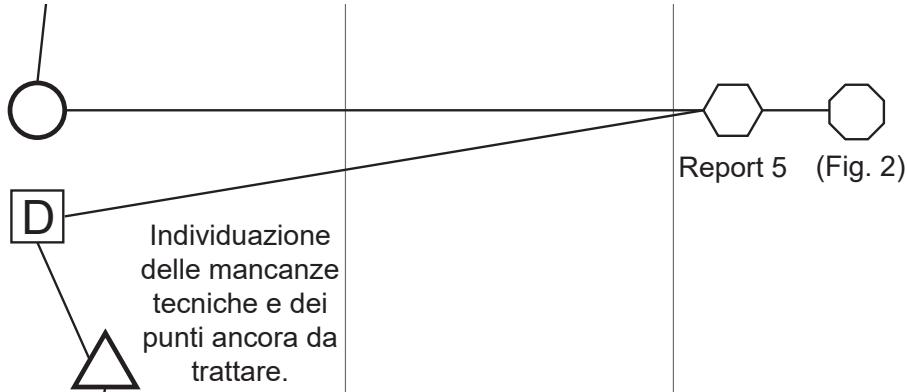
1. A. Armando, A. Bonino, et. al., *A Narrative of Urban Recycle*, Sandy Publishing Co., Guangzhou, 2015.







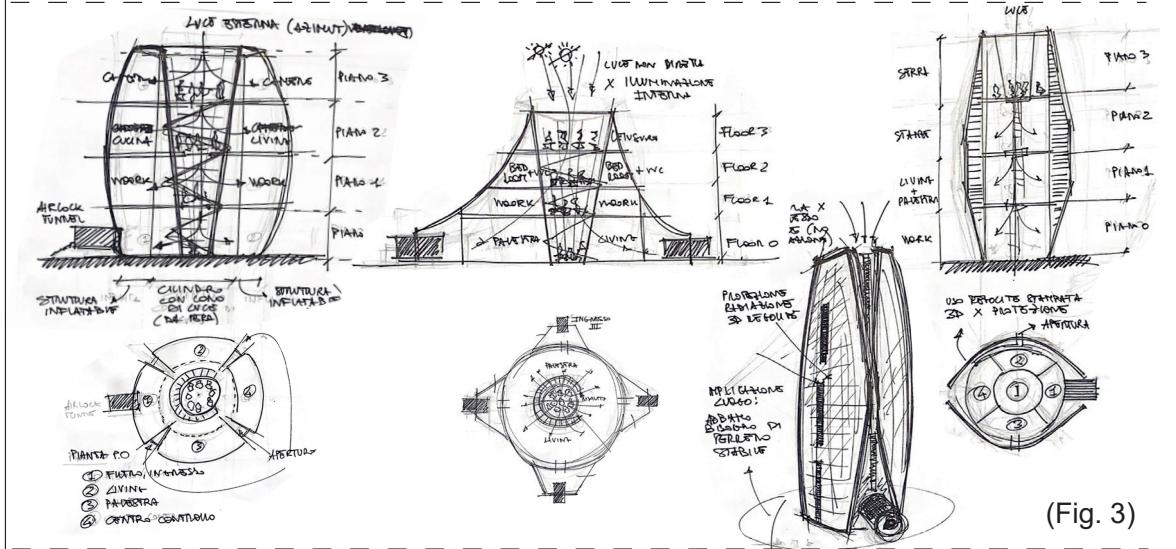
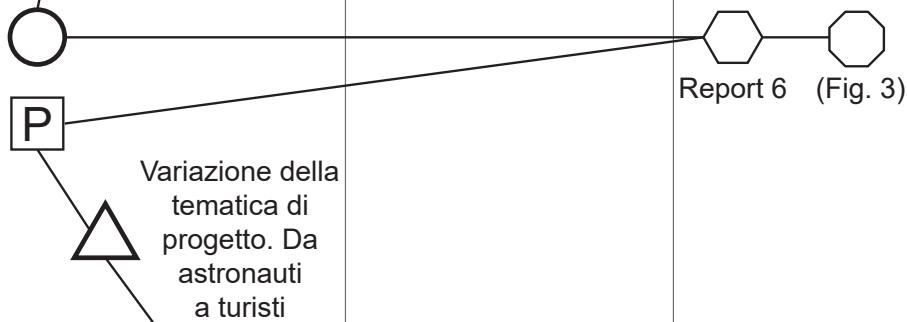
07/01/2022



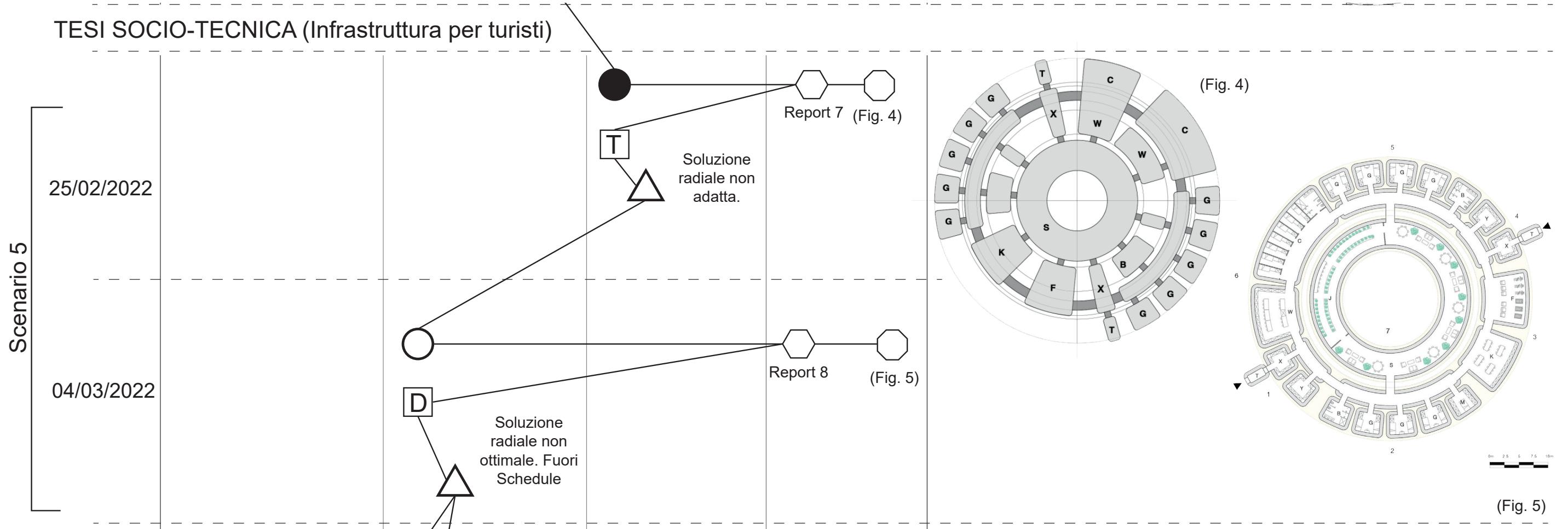
(Fig. 2)

Scenario 4

13/01/2022



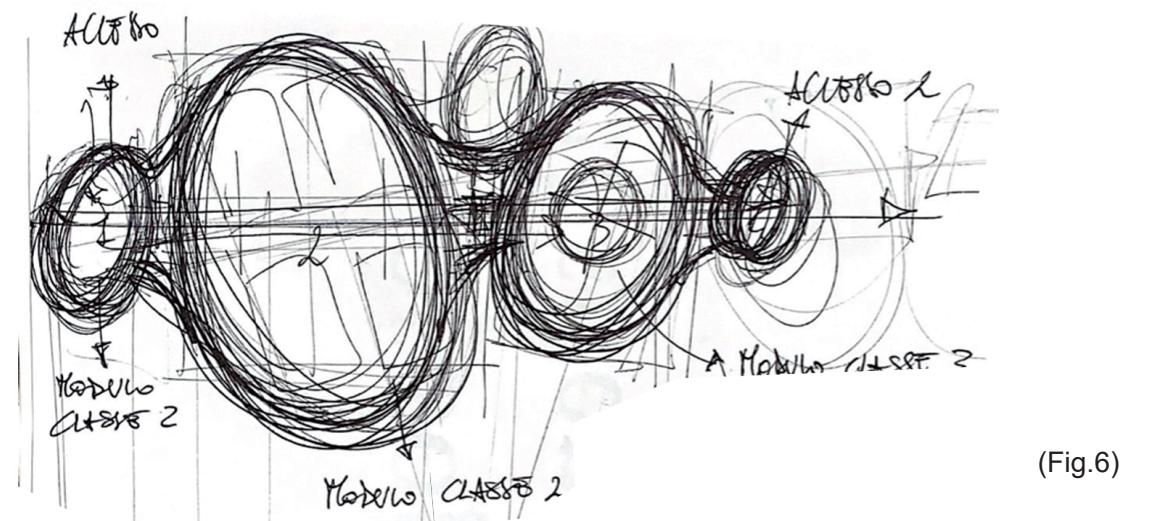
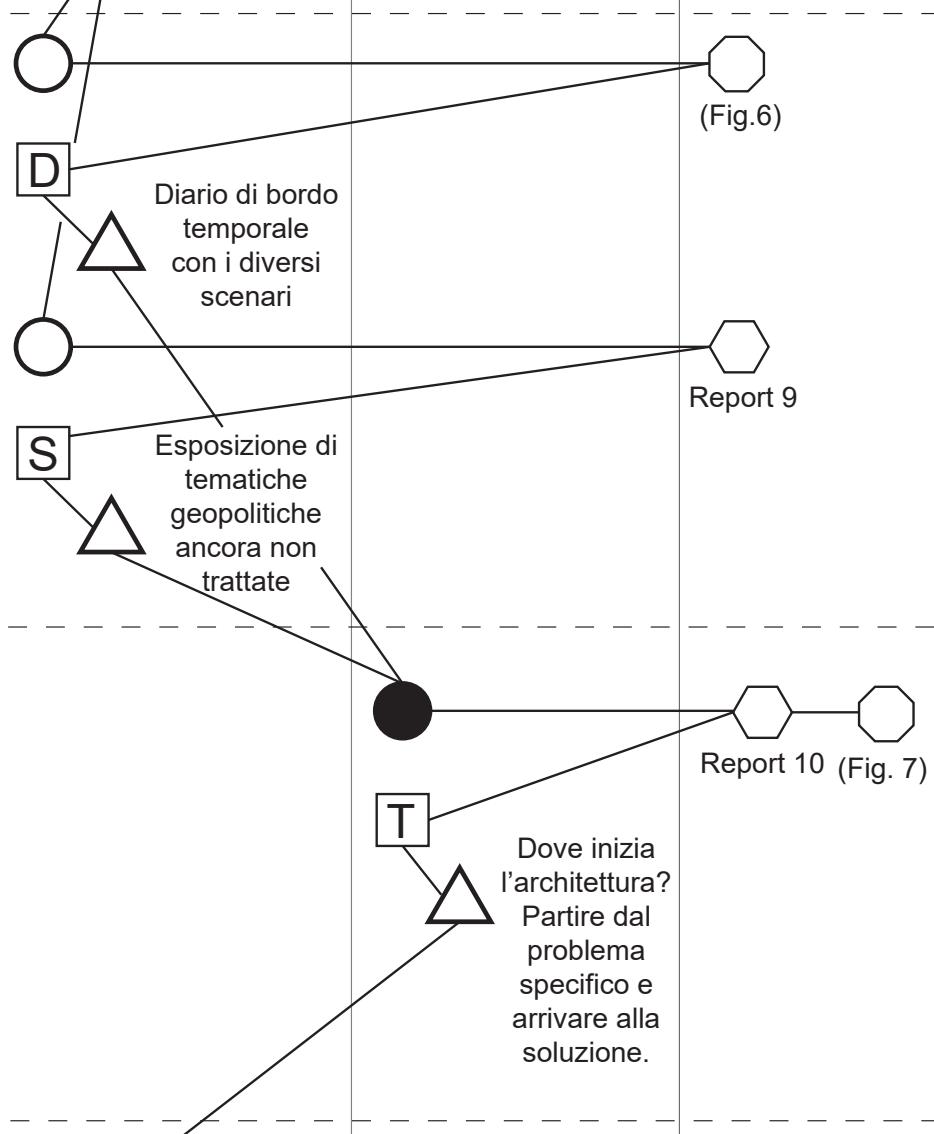
(Fig. 3)



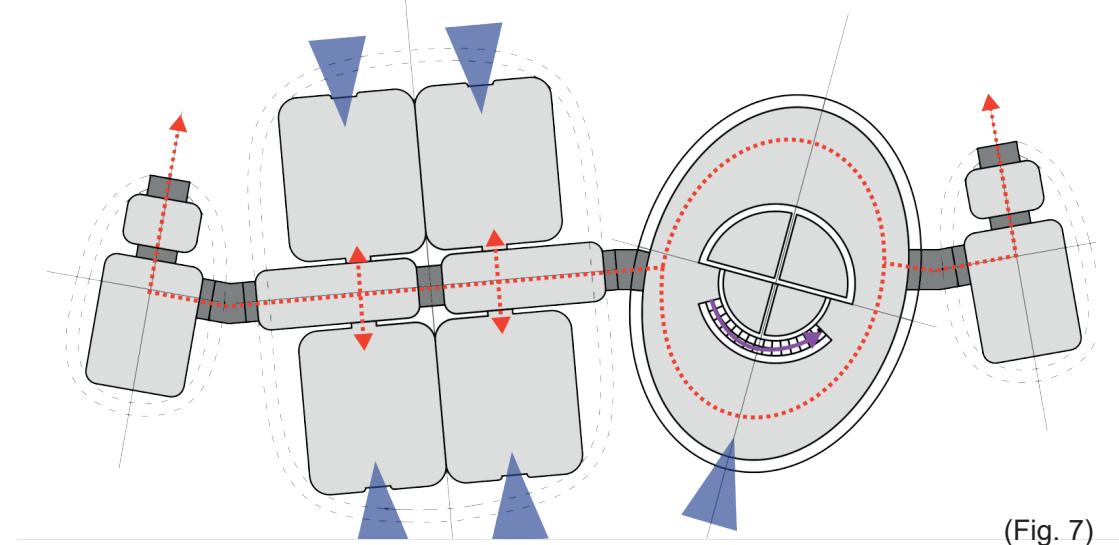
Scenario 6

18/03/2022

08/04/2022



(Fig.6)



(Fig. 7)

Scenario 7

19/04/2022



D
Scommessa sul futuro realtà infrastrutturata. Disegnare le condizioni.

11/05/2022

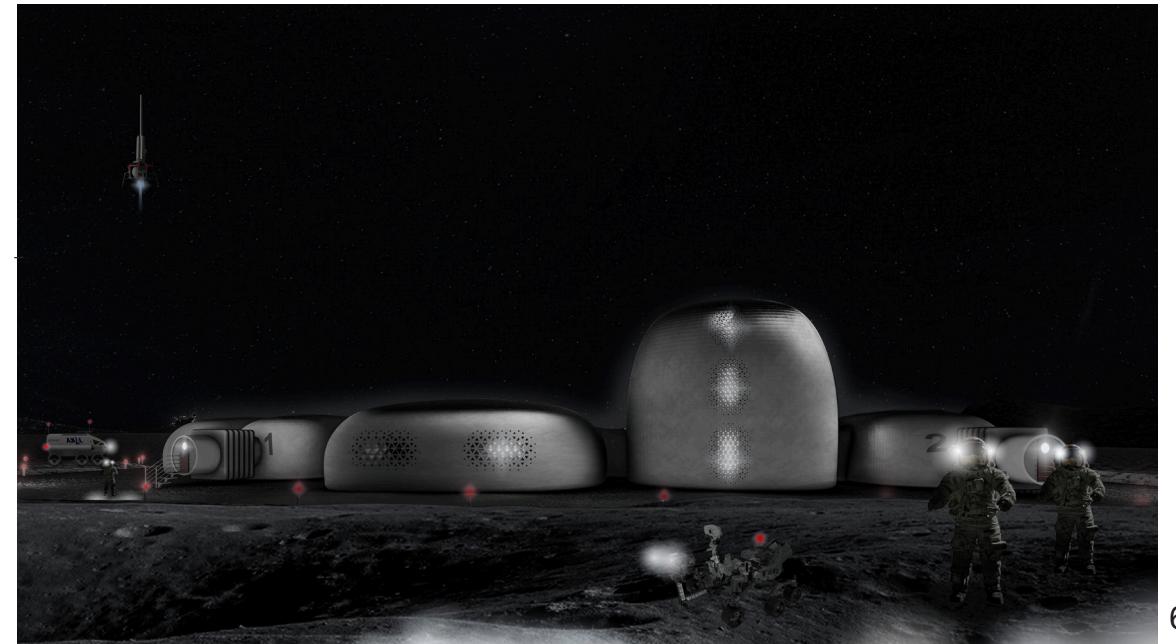
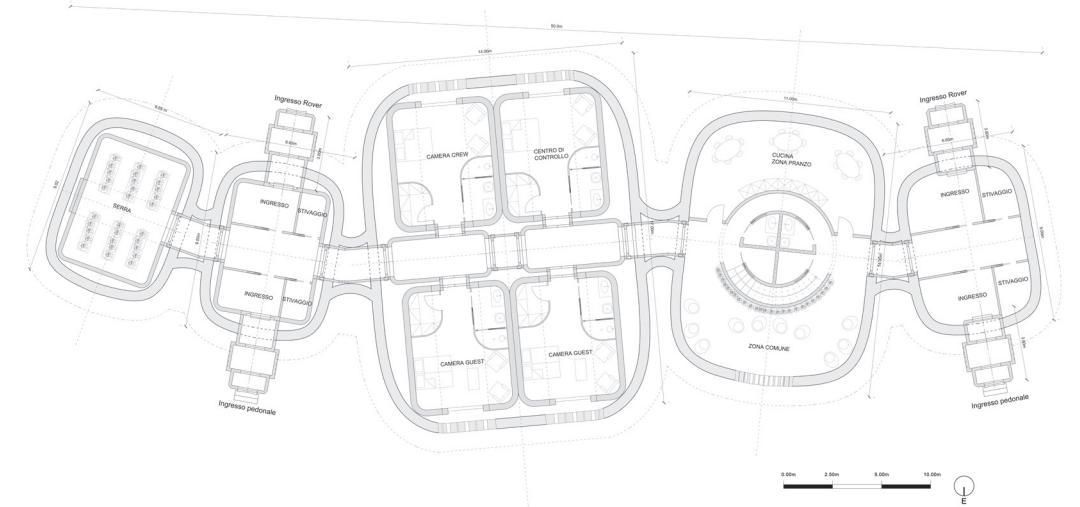


D
Riconsiderare la fascia di tempo. Ok il masterplan generale, disegnare un ipotesi di masterplan a scala di complesso.

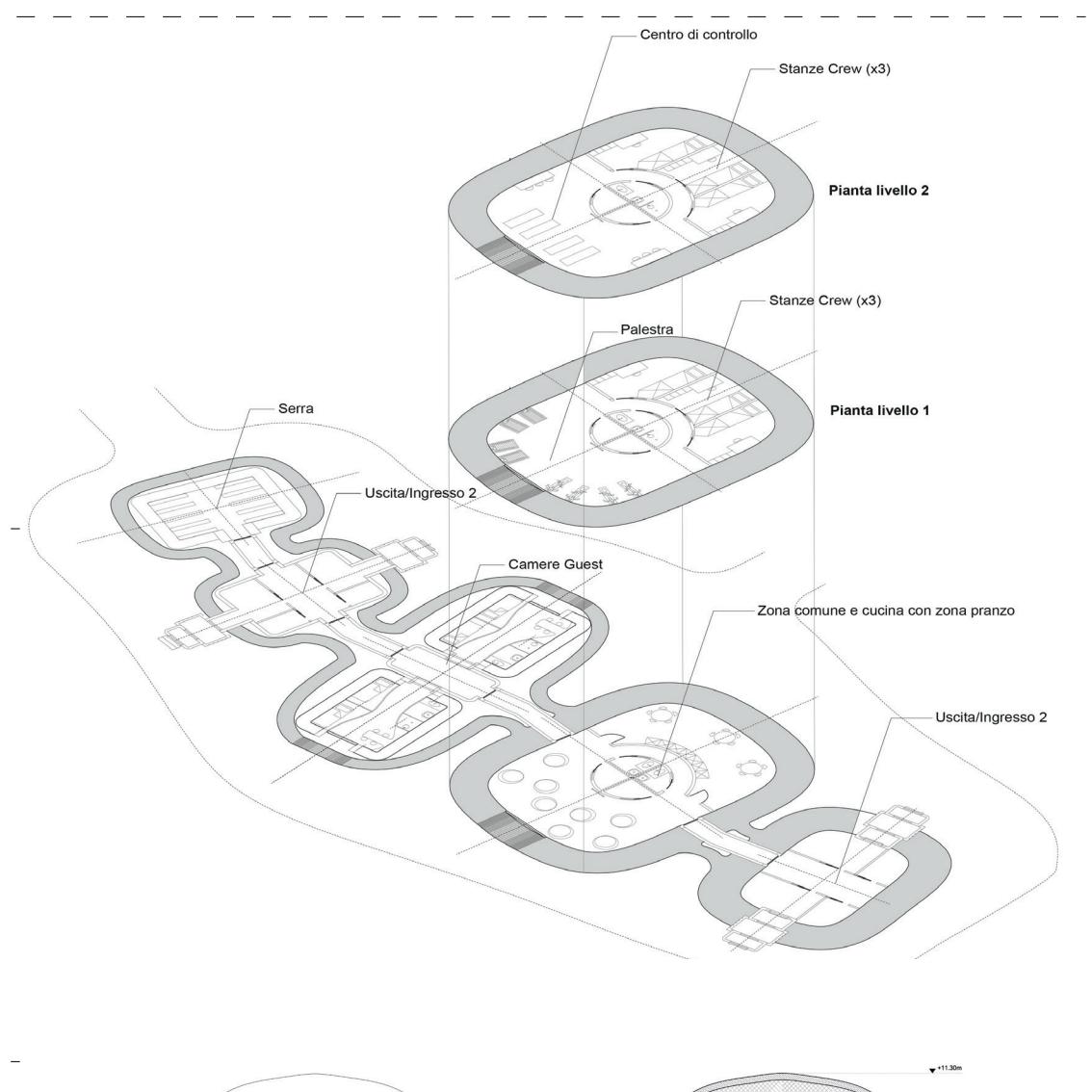
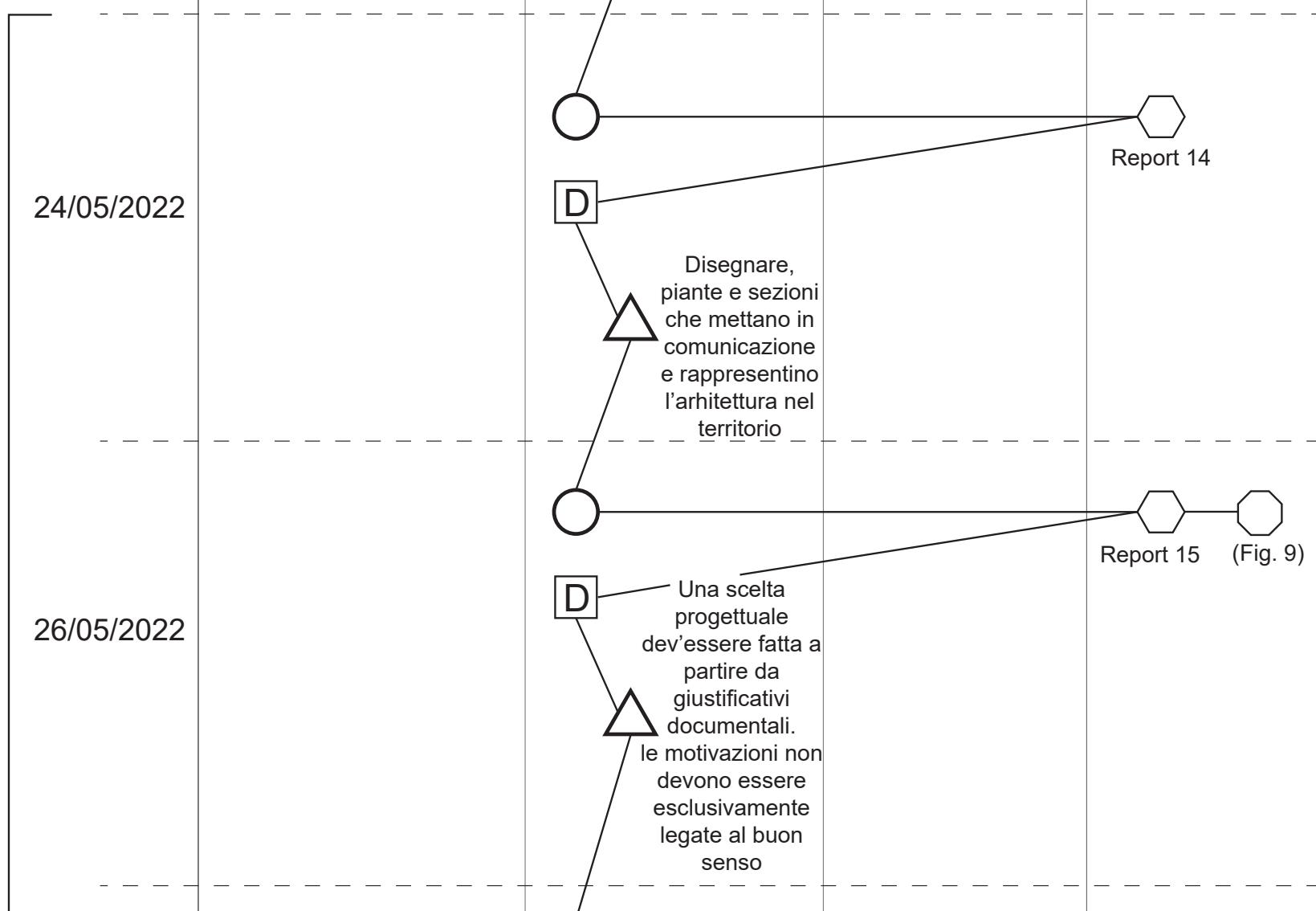
13/05/2022



P
Riconsiderare l'interno e la dimensione della schermatura



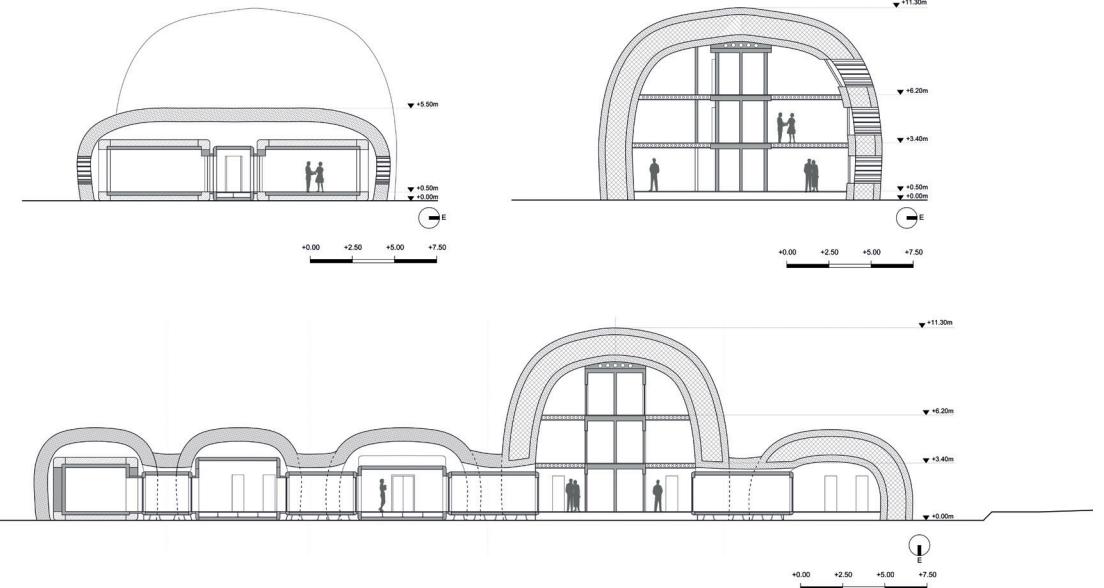
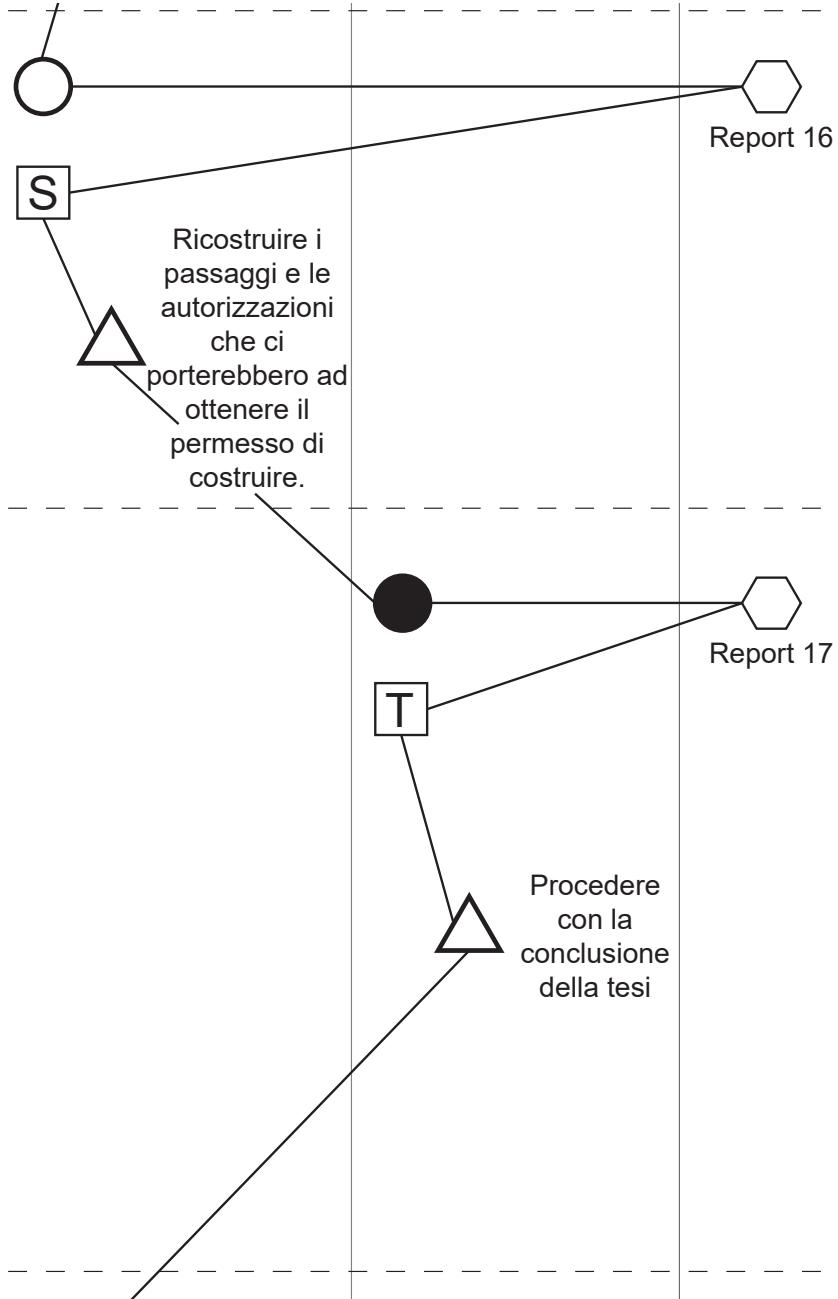
(Fig. 8)



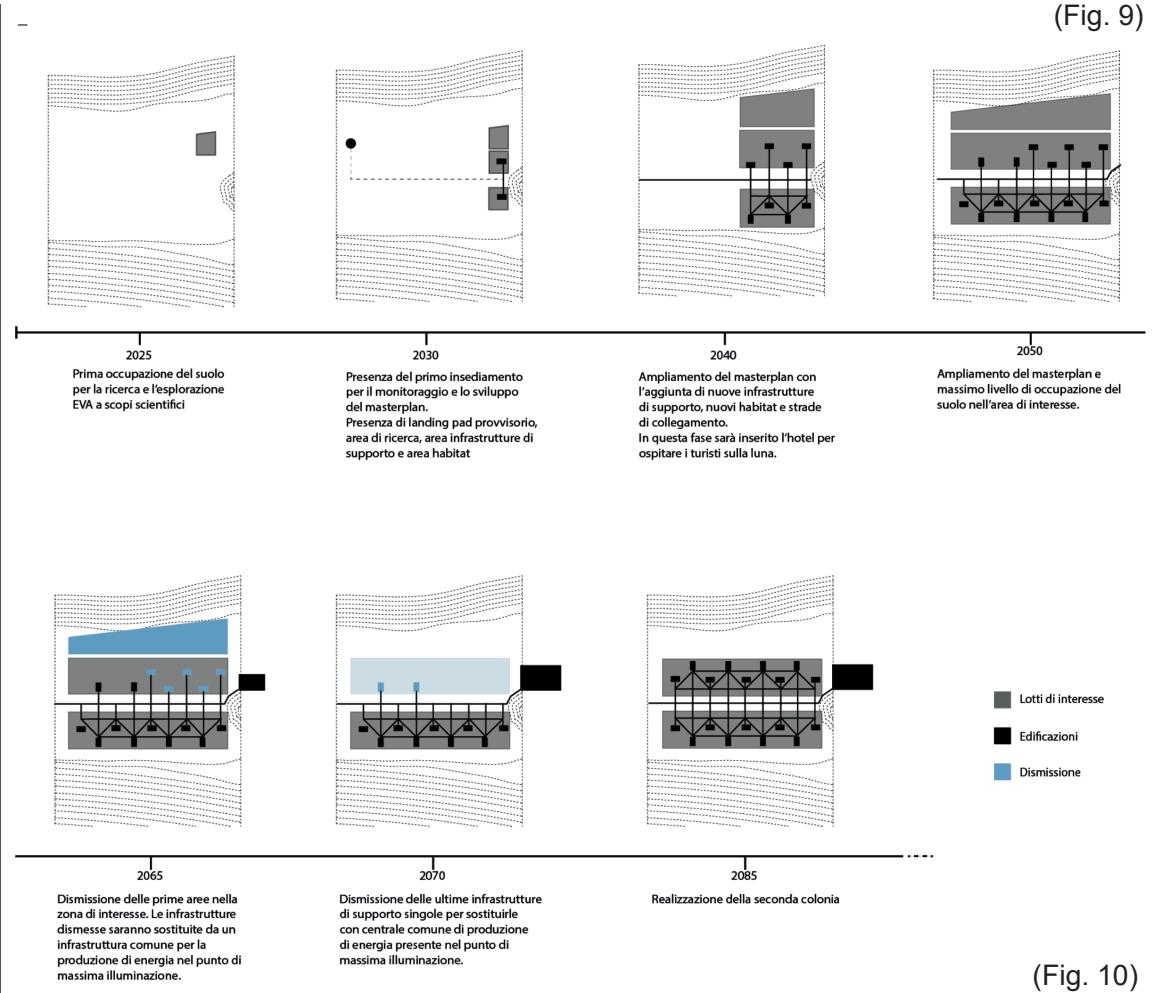
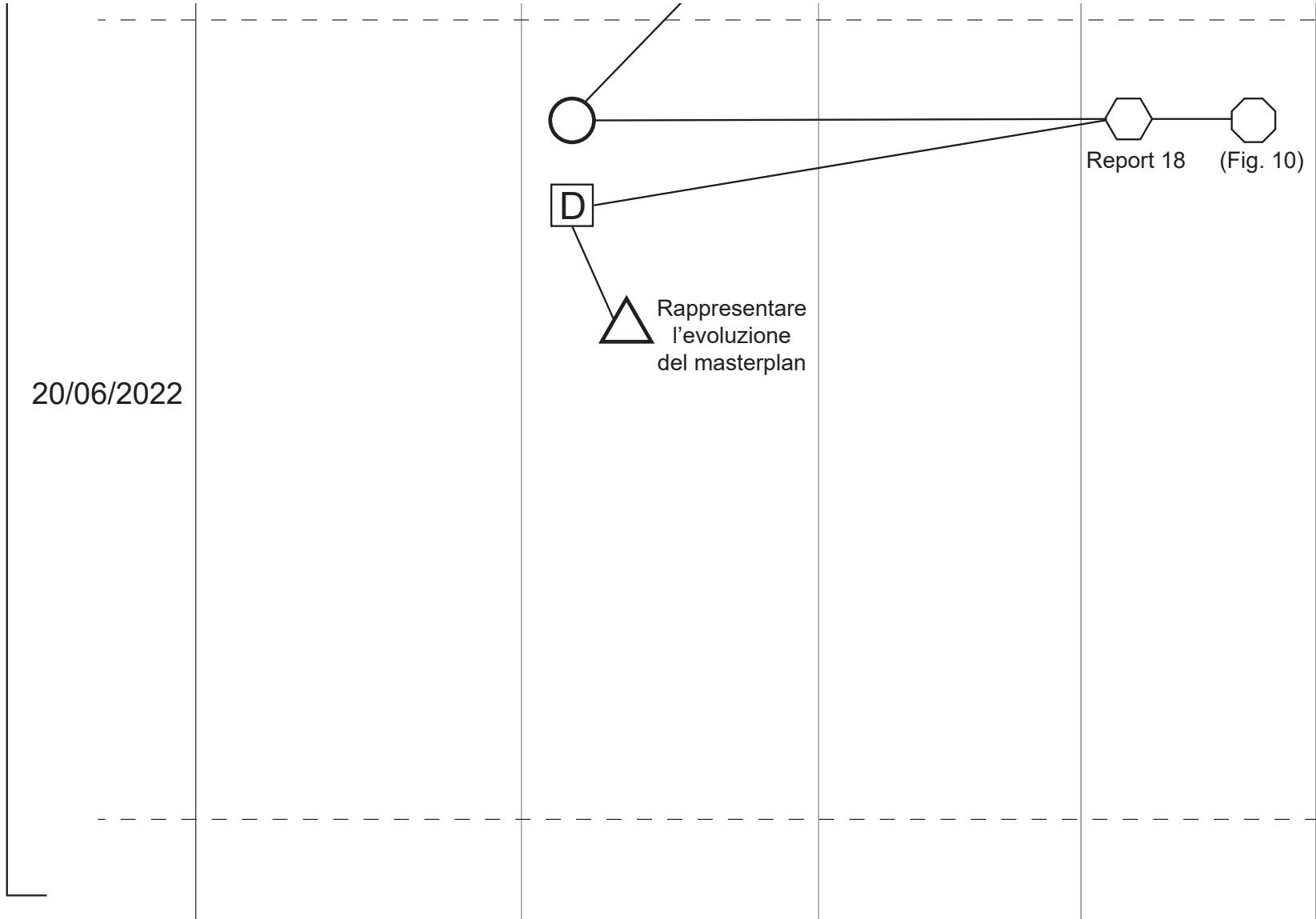
Scenario 8

30/05/2022

17/06/2022



(Fig. 9) 73



Il diagramma sopra rappresentato è stato sviluppato prendendo a riferimento il diagramma di Shenzhen rispetto al quale sono state apportate delle modifiche. Il grafico di Shenzhen nasce per la rappresentazione del processo di trasformazione di alcuni luoghi nel corso di 50 anni. esso è stato esposto per la prima volta in occasione della mostra Bi-City Biennale of Urbanism/Architecture di Shenzhen nel 2013². La struttura del grafico si basa su un piano cartesiano con l'origine situata in alto a sinistra. Sull'asse delle ordinate viene rappresentato il tempo che nella modifica apportata dal presente studio, presenta un ulteriore raggruppamento in scenari progettuali. Sull'asse delle ascisse vengono invece indicate una serie di colonne rappresentanti le fasi del progetto: Scambio (Scambio scritto, Scambio mediante meeting e Presentazione al seminario), Produzione documentale (Documenti e Disegni). La struttura originale del diagramma di Shenzhen presenta inoltre una colonna relativa alle politiche e una relativa agli effetti, che nel caso della mappatura della tesi, vengono eliminate, per due ordini di ragioni: le tempistiche analizzate non consentono di rappresentare un'evoluzione legislativa, mentre, per quanto concerne gli effetti, essi non sono verificabili in quanto manca la parte di realizzazione. All'interno delle colonne raggruppate sotto la denominazione Scambio, vengono inserite le questioni discusse nel corso degli incontri e delle ricerche, e le conseguenti deviazioni del processo, collegate con l'attore responsabile. La colonna successiva di Produzione documentale fa riferimento ai documenti prodotti per ogni specifica data e rappresenta l'avanzamento progettuale e

conoscitivo fino a quel determinato momento. Nell'ultima colonna "Disegni" vengono riportati gli elaborati grafici citati all'interno dello scenario descritto: ciò permette di rappresentare l'evoluzione grafica e formale del progetto. Per rendere maggiormente leggibile e più immediata la rappresentazione grafica è stata redatta una specifica legenda, riportante i simboli rappresentativi delle varie attività. Questa rappresentazione facilita la lettura e la successione degli eventi nel tempo.

Legenda:

-  Scambio scritto / Scambio mediante Meeting
-  Presentazione al seminario
-  Report
-  Disegni
-  Irruzione
-  Interruzione
-  Relatore Giovanni Durbiano
-  Corelatrice Maria Antonietta Perino

2. A. Armando, G. Durbiano, *Teoria del progetto architettonico dai disegni agli effetti*, Roma, Carrocci editore, 2017.

- S Corelatore Antonino Salmeri
- V Corelatrice Valentina Sumini
- B Tesista Massimo Beccia
- T Team Seminario
- F Dott. Foncheva e Rezeto

Nell' analizzare il grafico si può notare come le prime due deviazioni (Fig.2) non siano precedute da alcun documento, in quanto determinate non da aspetti tecnici bensì da aspetti decisionali sugli argomenti, metodologie e attori potenzialmente coinvolgibili nella tesi.

È analoga situazione si ripresenta anche nello scenario tre (Fig.3), al cui interno si può notare la coesistenza, per buona parte del tempo, di due tracciati, i quali sono proseguiti in contemporanea fino a che uno degli stessi percorsi ha avuto termine. Dalla lettura del diagramma emerge che in data 12 novembre 2021 il tracciato rappresentate il processo progettuale si biforca in due linee: una indicata in colore rosso avrebbe portato ad una collaborazione con alcuni tesisti del Politecnico di Milano. Avrebbe potuto contribuire ad assumere un maggior numero di informazioni tecniche, ma non si è realizzata per conflitto di interessi, data la presenza dell'attore Thales Alenia Space. La seconda, in colore nero, rappresenta il coinvolgimento di un esperto degli aspetti geopolitici e di diritto spaziale, Dr. Salmeri. Il

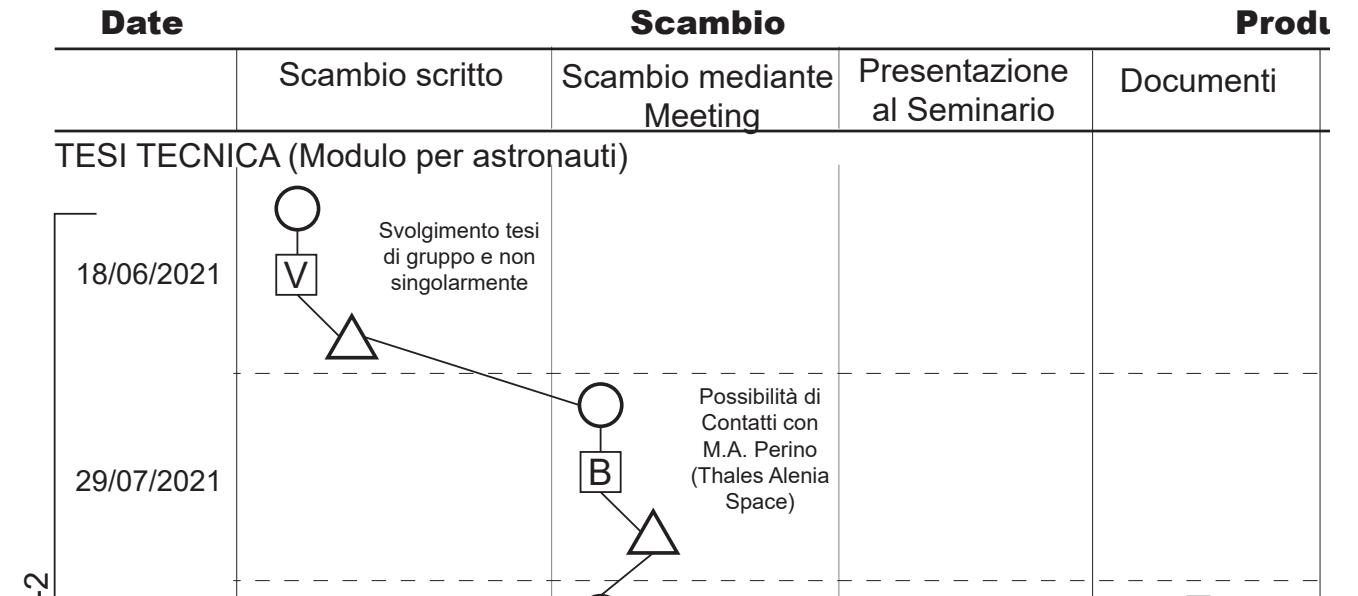


Fig. 2 Prime deviazioni del processo di tesi

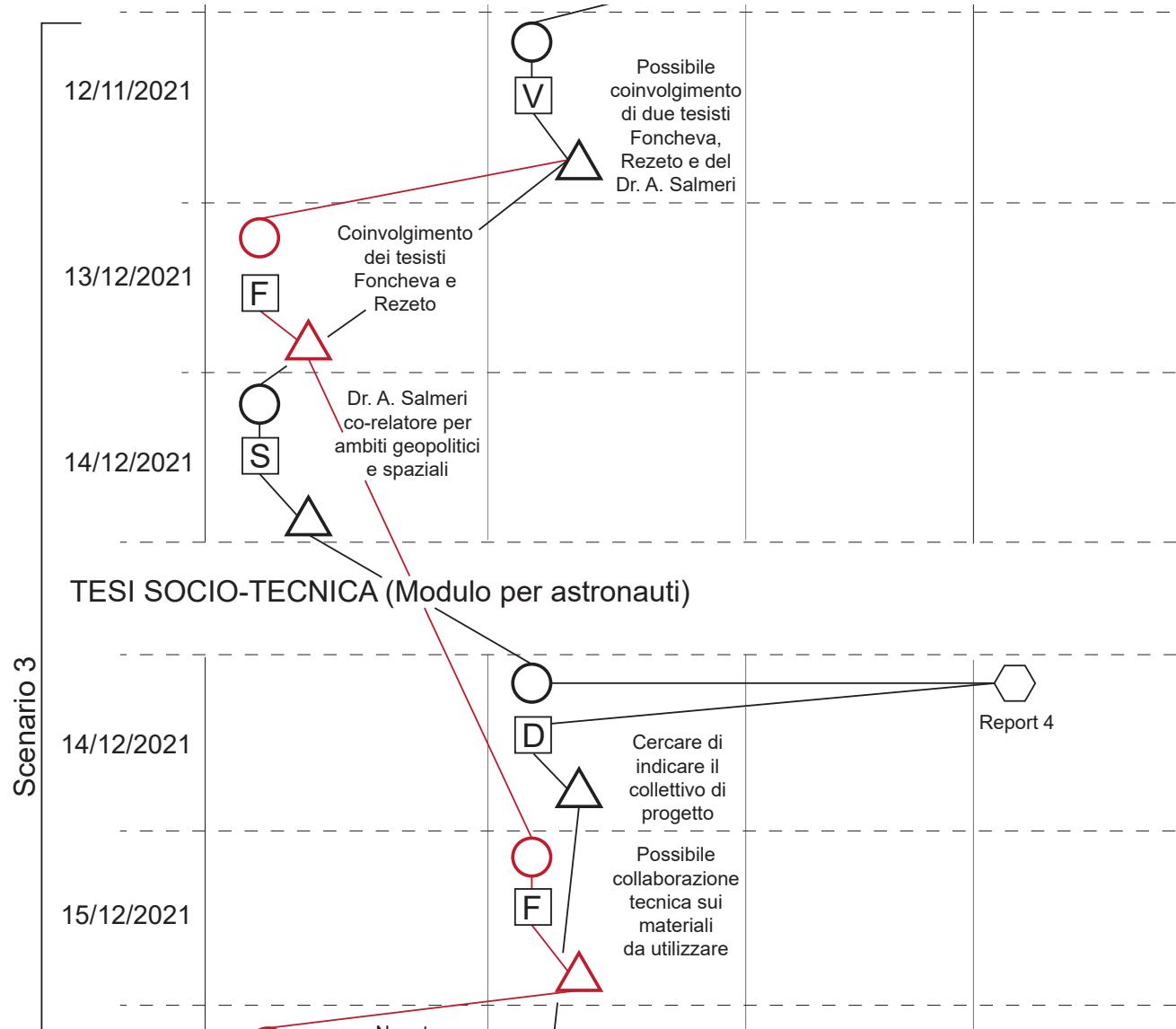


Fig. 3 Coesistenza di due processi

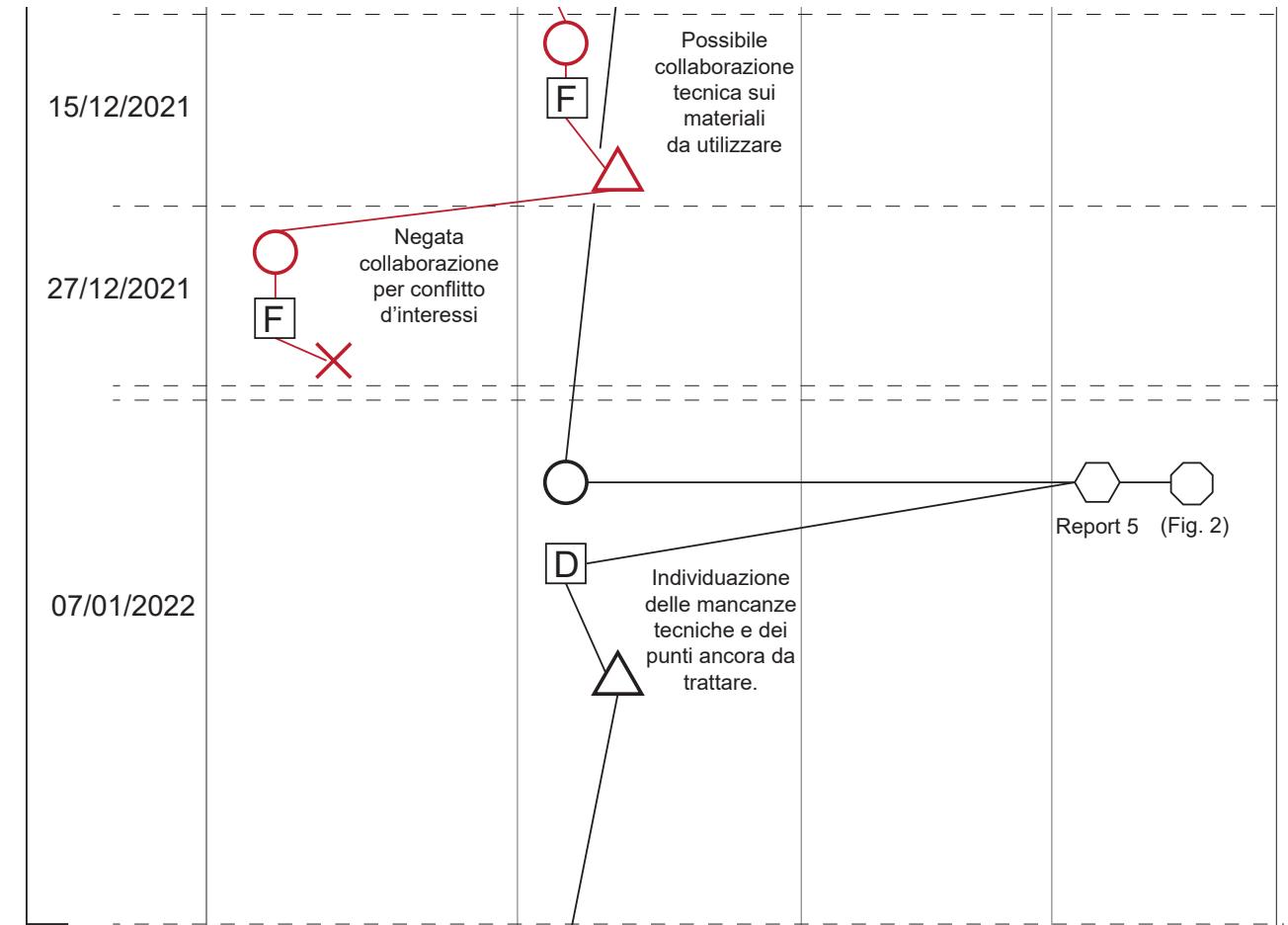


Fig. 3 Coesistenza di due processi

suo apporto ha comportato una variazione notevole che ha permesso al progetto di tramutare da tecnico a sociotecnico. Grazie all'inserimento del Dr. Salmeri nel team di supporto, il processo progettuale ha potuto calarsi maggiormente nelle dinamiche, nelle normative e negli accordi che vincolano e controllano i processi di analisi e sviluppo di progetti in ambiente extra atmosferico. Una grande deviazione, scaturita da un intervento del Dr. Salmeri, è rappresentata dalla variazione dei fruitori del progetto e delle tempistiche. La schedule di progetto vengono spostate più in là nel tempo, ed i fruitori finali non saranno soltanto astronauti ma saranno presenti anche turisti. Questa irruzione porta ad uno stravolgimento importante del processo, in quanto comporta un'introduzione notevole di documenti riguardanti l'ospitare persone non addestrate alla permanenza in quelle condizioni ambientali, e delle relative esigenze in merito a spazi e funzioni. Per quanto concerne il terzo meeting (Fig.4) si possono invece osservare delle deviazioni precedute da report documentali e/o da disegni, che hanno comportato un incremento di informazioni con relativa rappresentazione. Tale fatto ha comportato interventi più specifici su determinati argomenti da parte degli attori partecipanti agli incontri, come nel caso del primo incontro di seminario.

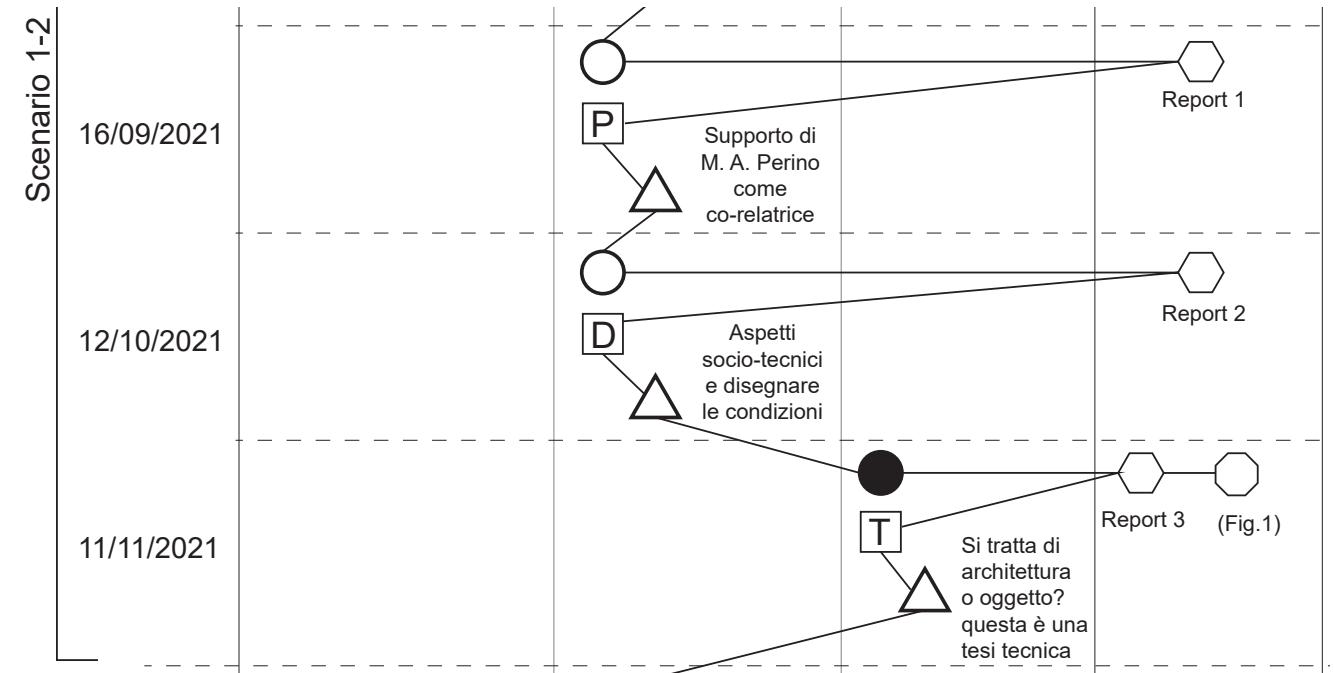


Fig. 4 Deviazioni precedute da report e disegni

Parallelamente alla mappatura dell'intero processo progettuale si è svolta una mappatura più dettagliata dei singoli scenari mediante il così detto modello a ventaglio, il quale rappresenta una rivisitazione del ciclo del collettivo di Latour³. (Fig.5) La sua struttura si compone di due punti fondamentali: apertura e chiusura. Il primo, rappresentato simbolicamente da un angolo ottuso [$<$], generalmente raffigura un'iscrizione che fornisce l'input dal quale lo scenario amplia il suo mondo, nel grafico precedente definite irruzioni, che fanno deviare il processo. Analogamente il secondo, rappresentato simbolicamente da un angolo acuto [$>$], è un'enunciazione in quanto definisce il raggruppamento di tutto ciò che concerne lo scenario in una soluzione scritto-grafica⁴. Latour scompone il mito della caverna di Platone⁵, che presenta una visione verticale suddivisa in fatti e valori, per riformulare le scienze sociali, in modo tale da evidenziare una maggiore distinzione tra le parti. La "nuova" caverna⁶ presenta invece una visione orizzontale, con una scansione in quattro parti: perplessità, consultazione, gerarchia ed istituzione. Generando così un movimento ricorsivo, di apertura e chiusura (reti di cicli), ciò comporta che questo modello possa essere utilizzato anche per descrivere il processo di progettazione. Per Latour ci sono due modi di agire per le controversie: modificarle o descriverle. Modificarle, dalla rottura all'analisi progettuale sul futuro (attività cosmiche come punto di arrivo per i progettisti). Descriverle, indagini su cosmografi a posteriori (cosmografi come punto di arrivo per i sociologi). Le entità cosmiche sono oggetti ordinari che possono contenere un intero cosmo mentre i cosmografi fanno vedere come un

3.L. Bruno, *Politics of Nature*, Harvard University Press, Massachusetts, 2004.

4. A. Armando, G. Durbiano, *Teoria del progetto architettonico dai disegni agli effetti*, Roma, Carrocci editore, 2017.

5. Plato, *La Repubblica*, presentato da Luciano De Crescenzo, nota bibliografica di Enrico V. Maltese, traduzione di Giovanni Caccia, Roma, Newton Compton, 2009

6. L. Bruno, *Politics of Nature*, Harvard University Press, Massachusetts, 2004.

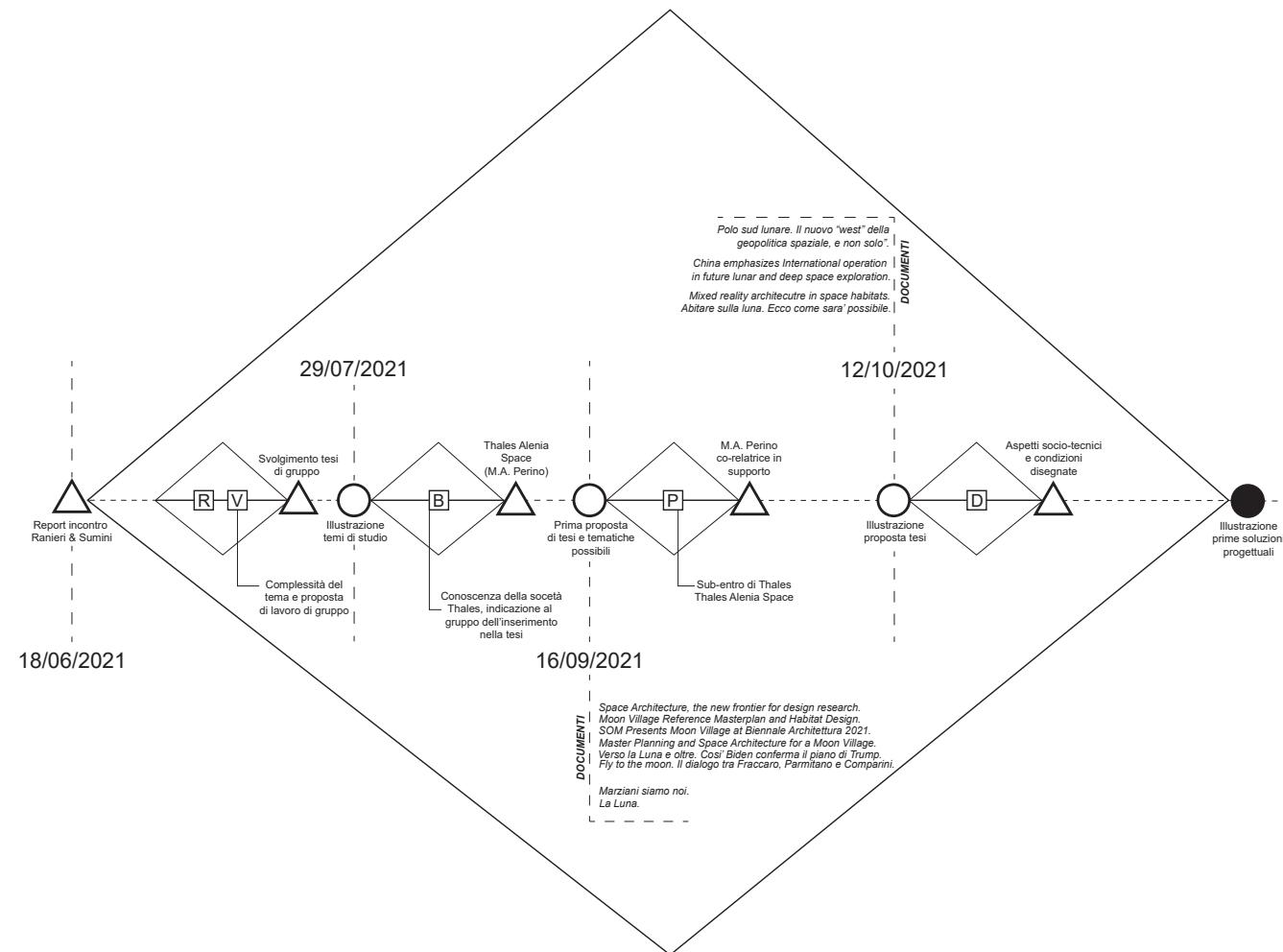


Fig. 5 Ventaglio scenario 1

intero cosmo può essere trattato. Sono momenti di apertura e chiusura, cosmiche e cosmogrammi. Yaneva e Latour ragionano sulla diacronia⁷, il progetto non è un oggetto statico ma si muove, bisogna pensare ad un progetto come un insieme di più progetti fruttuosi e fallimentari. Quindi il ciclo del collettivo si compone di quattro elementi: Irruzione (problema, qualcosa che entra come fatto), consultazione (l'udienza, presentazione), gerarchizzazione (valutazione dei termini del progetto), istituzione (approvazione)⁸. Per facilitarne la lettura come per il grafico di Shenzhen si sono adottati alcuni simboli per identificare gli avvenimenti e gli attori coinvolti mantenendo i medesimi simboli del grafico precedentemente esposto. Ogni ciclo del collettivo presenta la possibilità di essere scomposto in altre sottofasi che presentano anch'esse istituzione, gerarchizzazione, ecc. All'interno del terzo scenario (Fig.6), si può notare come la mappatura presenta due ventagli generati da avvenimenti e relative deviazioni. Come precedentemente citato, all'interno della spiegazione del grafico di Shenzhen, lo scenario tre presenta una prima fase di assestamento dovuta alla biforcazione del processo progettuale, ed al successivo stop subito da una delle due vie percorribili. Alla conclusione di questa fase, con l'arrivo di un nuovo attore e delle deviazioni da lui apportate, la progettazione si è evoluta in modo che tenesse conto dei nuovi aspetti precedentemente non trattati all'interno del processo. All'interno degli scenari successivi si è proceduto con le medesime tipologie di strategia di mappatura. Come start del quinto scenario (Fig.7) si denota l'ultima grande irruzione che ha portato ad un notevole scostamento

7. L. Bruno, Y. Albenà, *Give Me a Gun and I Will Make all Buildings Move: An ANT's View of Architecture*, Ardeh, Torino, 2017.

8. A. Armando, G. Durbiano, *Teoria del progetto architettonico dai disegni agli effetti*, Roma, Carrocci editore, 2017.

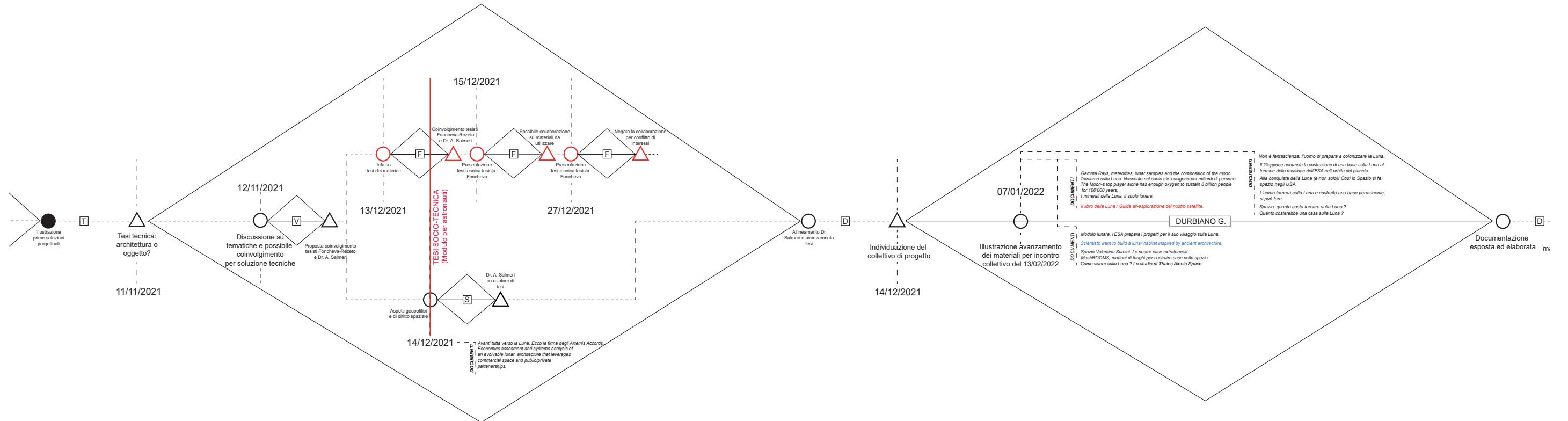
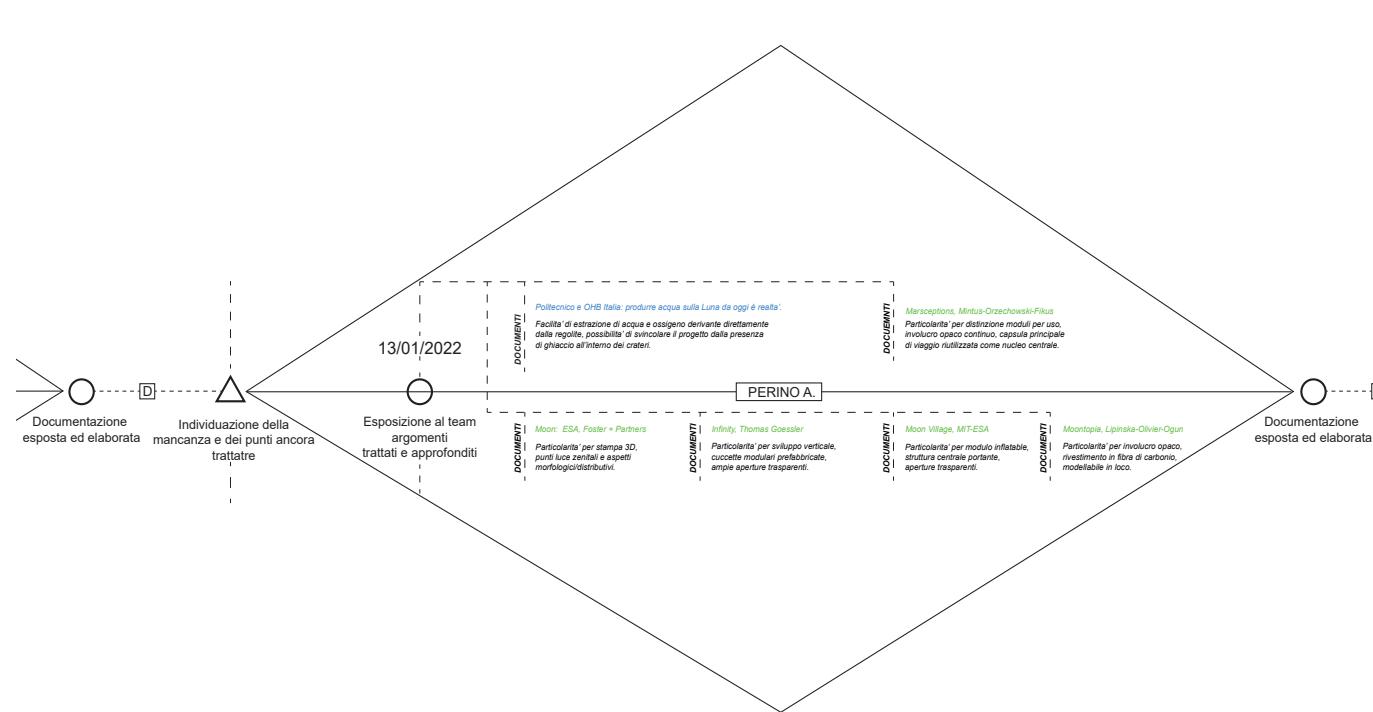


Fig. 6 Ventaglio scenario 3



Ventaglio scenario 4

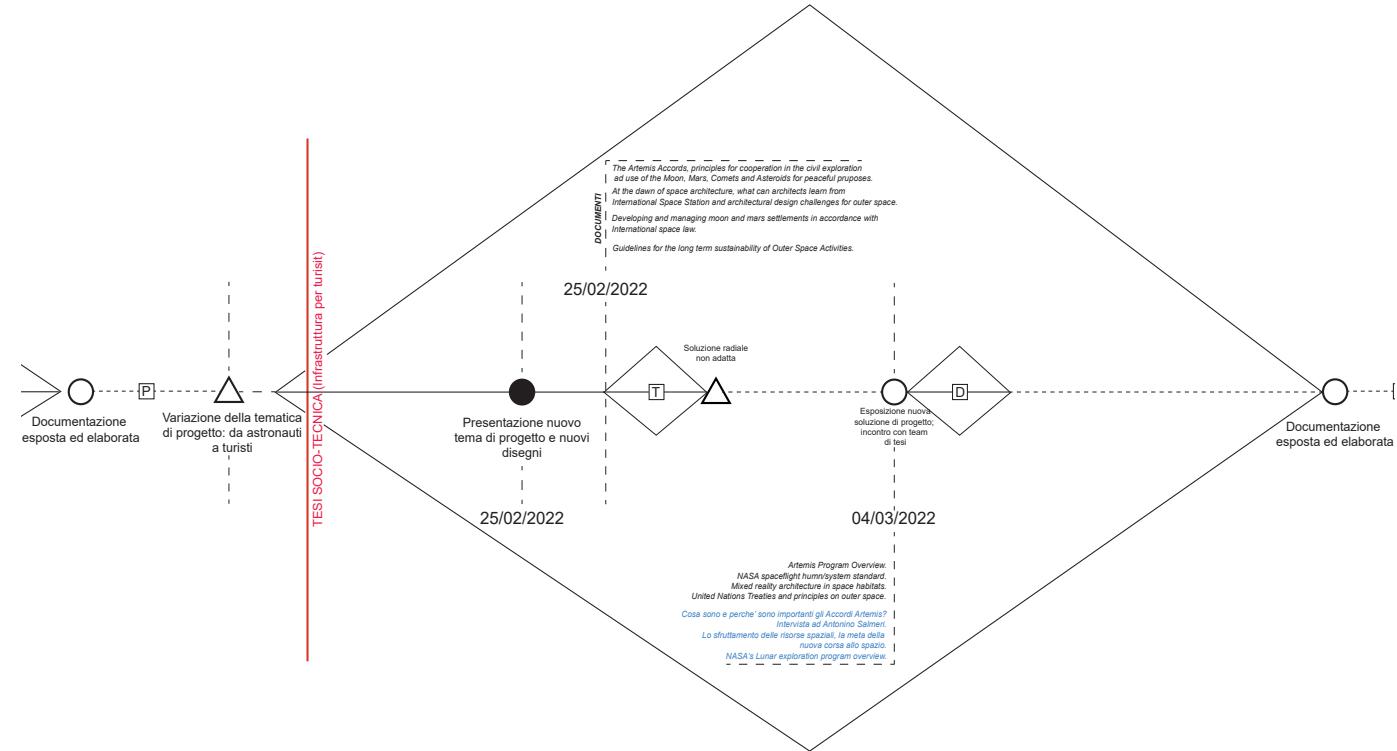
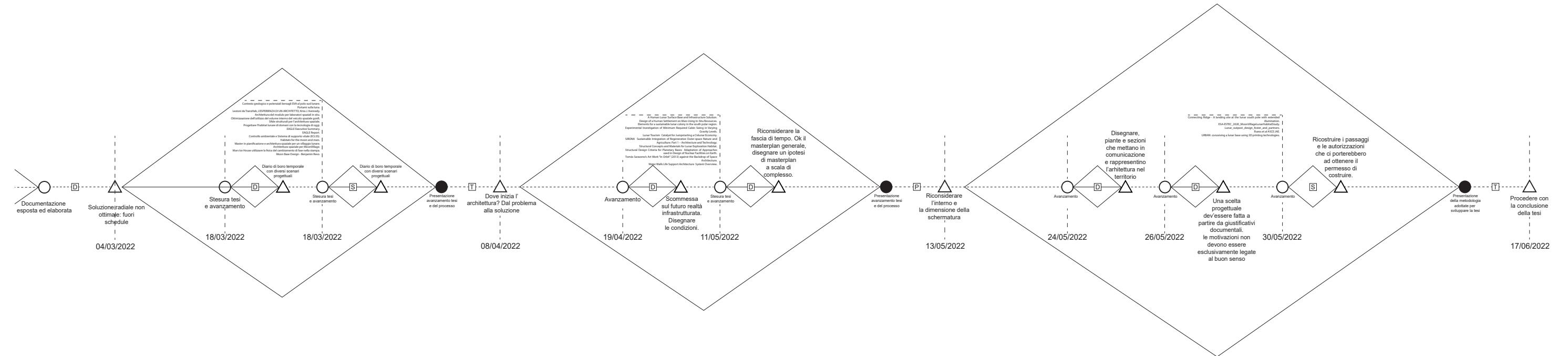


Fig.7 Ventaglio scenario 5



Ventagli degli scenari 6, 7 e 8

rispetto al tema trattato e sviluppato fino a quel momento, in quanto si passa da un'infrastruttura per soli astronauti ad una destinata ad ospitare sia astronauti che turisti. Ciò comporta importanti variazioni del punto di vista della progettazione, in quanto variano le esigenze e le funzioni svolte all'interno dell'infrastruttura.

La rappresentazione dei progetti di architettura mediante diagrammi può risultare ardua in quanto essi non vanno dritti secondo un binario, bensì, essendo soggetti a deviazioni sociotecniche, presentano molteplici cambi di direzione. Di conseguenza, ogni volta che il progetto si modifica, su di esso aumentano le associazioni. Il presente lavoro di ricerca ha provato a mappare in maniera diacronica e oggettiva il processo di svolgimento della tesi mediante due tipologie di diagrammi, generando due risultati differenti. La rappresentazione del processo mediante una rivisitazione del grafico di Shenzhen porta ad una raffigurazione che immediatamente fa notare il suo andamento non lineare, e ne mostra graficamente la sua evoluzione attraverso immagini del progetto. In contrapposizione abbiamo i grafici a ventaglio, i quali in ragione della loro struttura non rendono intuitivo l'andamento non lineare del processo di progettazione, e non offrono l'immediatezza visiva dell'evoluzione del progetto a causa dell'assenza delle rappresentazioni grafiche. In questo caso l'evoluzione del progetto viene fornita dalle indicazioni delle variazioni e dalle note che riportano i documenti consultati per approfondire i temi scaturiti dalle osservazioni. Ne consegue un incremento del numero di documenti, e quindi una variazione della nuvola documentale, la quale si è evoluta ed ampliata durante tutto

il processo progettuale fino alla fase finale.

Ed è proprio quest'ultimo l'aspetto caratterizzante dei diagrammi a ventaglio.

04

La mappatura
documentale

A partire dal testo "Pensare l'efficacia in Cina e in Occidente"¹ si vuole evidenziare quali siano i due differenti modi estremamente opposti che possono essere adottati per impostare un processo strategico. Nello specifico ci si riferisce all'Europa e alla Cina quali espressione di dissimili comportamenti riconducibili ai binomi mezzo-fine e condizione-conseguenza.

Il primo concetto si riferisce alla strategia in guerra adottata nel continente europeo che considera, nella sua interezza, ogni impegno come mezzo di raggiungimento di un fine derivante dunque null'altro che una serie di eventi pianificati che puntualmente evidenzia discostamenti rispetto a quanto effettivamente sarà l'effettiva esecuzione dei fatti intesi come evento reale. D'altro canto, invece, il concetto strategico cinese si insedia in un modo d'agire opposto secondo cui la stessa strategia non sarebbe altro che una ricerca dei fattori favorevoli da cui trarre profitto, un modo di trovare una pendenza sotto di sé che possa indirizzare verso l'obiettivo e con il minimo sforzo, proprio come un ruscello che segue ininterrottamente il proprio corso naturale a seguito di un temporaneo blocco¹.

Così come la guerra anche il progetto architettonico, inteso come insieme delle relazioni e degli attori, può essere ricondotto ad un qualcosa di ideale e reale. La sola immaginazione a tavolino del progetto, così come in battaglia e classica della corrente di considerazione strategica europea, non garantirebbe infatti un allineamento tra quanto programmato e quanto effettivamente successo, a causa della notevole difficoltà di previsione delle future circostanze. Diversa sarebbe invece la strategia cinese

La strategia tra metodologie e tipologie.

1. F. Jullien, *Pensare l'efficacia in Cina e in Occidente*, Editori Laterza, 2008

che, così come espresso nell' "Arte della guerra"¹ concentra il suo focus nell'azione della valutazione della situazione e del relativo potenziale al fine di trarne il massimo beneficio con il minimo sforzo, abbandonando dunque l'impegnativa tecnica di programmazione.

Di conseguenza ne deriva un essere architetto che possa equilibrarsi tra la tecnica condizionante europea e quella attendista cinese che sia in grado di partecipare attivamente alle insidie, cercando anche spesso di condizionarne il manifestarsi, nonché l'esito, ma ugualmente consapevole di poter trarre benefici dalle imprevedibilità delle condizioni che si presentano.

A partire da questa ipotesi, si può dunque affrontare un'ulteriore valutazione che confronti in trasparenza le figure emblematiche del generale europeo e cinese.

Avendo espresso come la cultura strategica europea sia effettivamente rappresentata da un *modus operandi* condizionante e attivo, si può in continuità affermare come tale modalità possa essere condotta imponendo dunque uno stile di leadership completamente autoritario che ne limiti la condivisione delle scelte adottate per il raggiungimento del fine. In tal senso, si riterrebbe però necessario definire un percorso operativo senza però rendere note le condizioni legittimanti il progetto. Di contro, invece, la figura cinese può risultare espressione di un approccio completamente opposto per mezzo della sua differente modalità di considerazione del contorno. Partendo di fatto da una specifica valutazione delle circostanze, il generale cinese si pone in un contesto di completa condivisione

delle condizioni al contorno permettendo una approvata legittimazione delle scelte progettuali intraprese. Un modello, dunque, che non si limita all'imposizione della strada da intraprendere ma che per sua natura garantisce la costruzione di un futuro che abbandona il concetto del potere sovrano.

Nello sviluppo della tesi "Processo progettuale e progettazione di un'infrastruttura turistica in ambiente lunare" si adotta una tecnica occidentale alla quale si ritiene necessario integrare un processo strategico orientale il quale, a partire dalla consultazione e valutazione delle condizioni al contorno, ne contempla le potenzialità conferendo a ciascuna scelta la propria conferma all'interno del processo e consolidandosi alla base di quanto rilevato, in questo caso specifico costituito da documenti.

Secondo la teoria della *documentalità*², per documento si intende l'atto iscritto, inteso come l'insieme di tracce, registrazioni e iscrizioni, ovvero l'oggetto associato all'azione registrata. Inoltre, si conferma il suo modo di manifestarsi che può avvenire per mezzo di diverse modalità di comunicazione. Ciò che è facilmente riconoscibile, secondo questa relazione sopra riportata, è la struttura/supporto del documento, che ne rappresenta l'oggetto fisico, e l'iscrizione, che ne rappresenta invece l'oggetto sociale, l'azione registrata e, a completamento, il segno di autenticità.

Fatte queste considerazioni, se ne può derivare un'evidente e ulteriore specifica in merito alla performance che ciascun documento è solito possedere riconducibile al concetto del

La strategia dei documenti.

1. F. Julien, *Pensare l'efficacia in Cina e in Occidente*, Bari, Editori Laterza, 2008

2. M. Ferraris, *Documentalità: ontologia nel mondo sociale*, "s.l.", Etica & Politica, IX, 2007, pp.240-329

proprio potere.

Da una parte, la performance simbolica fortemente rappresentata da un ruolo prettamente comunicativo il cui procedere è derivante dall'azione umana mentre, dall'altra, quella burocratica caratterizzata da un "effetto documentale" in cui il binomio documento-automa permette il normale prosieguo di quanto innescato una volta ricevuta la spettante autenticazione e assunto il potere deontico.

Searle a proposito afferma che:

"La qualità essenziale dei poteri deontici è quella di regolare le relazioni tra persone. In questa categoria noi imponiamo diritti, responsabilità, obblighi, doveri, privilegi, titoli, penalità, autorizzazioni, permessi, e altri fenomeni deontici del genere. [...] la grande divisione nella categorizzazione della realtà istituzionale è tra ciò che l'agente può e ciò che l'agente deve (e non deve) fare."

(Searle, 2006, pp.116)

Dunque, un documento costituito dalla sua componente fisica e sociale, una volta ricevuta la corrispondente validazione, è in grado di trasformare l'azione dell'"essere" in un obbligo con il "dover essere" incentrando in se l'interezza del potere deontico assoluto nel quale si riconosce il significato di certezza distinguente rispetto all'azione strategica del Generale europeo.

Alla luce di quanto sopra riportato, nelle pagine seguenti è presentata una possibile trasposizione pratica dei concetti teorici, realizzata nel corso del lavoro di tesi. Si riportano

quindi le fasi caratterizzanti l'applicazione di tale teoria.

Pertanto, quanto svolto durante lo sviluppo della tesi è stata una continua fase di assunzione dei documenti analizzati che hanno vincolato e obbligato l'azione successiva per mezzo di un processo di delimitazione di confini entro cui il progetto avrebbe avuto modo di continuare ad esistere.

Per queste ragioni, si ritiene importante riportare di seguito alcune delle fasi salienti del processo di analisi documentale affrontato rendendo più chiaro e leggibile come ciascun documento abbia vincolato le scelte progettuali future indirizzando il progetto allo stato finale conclusivo.

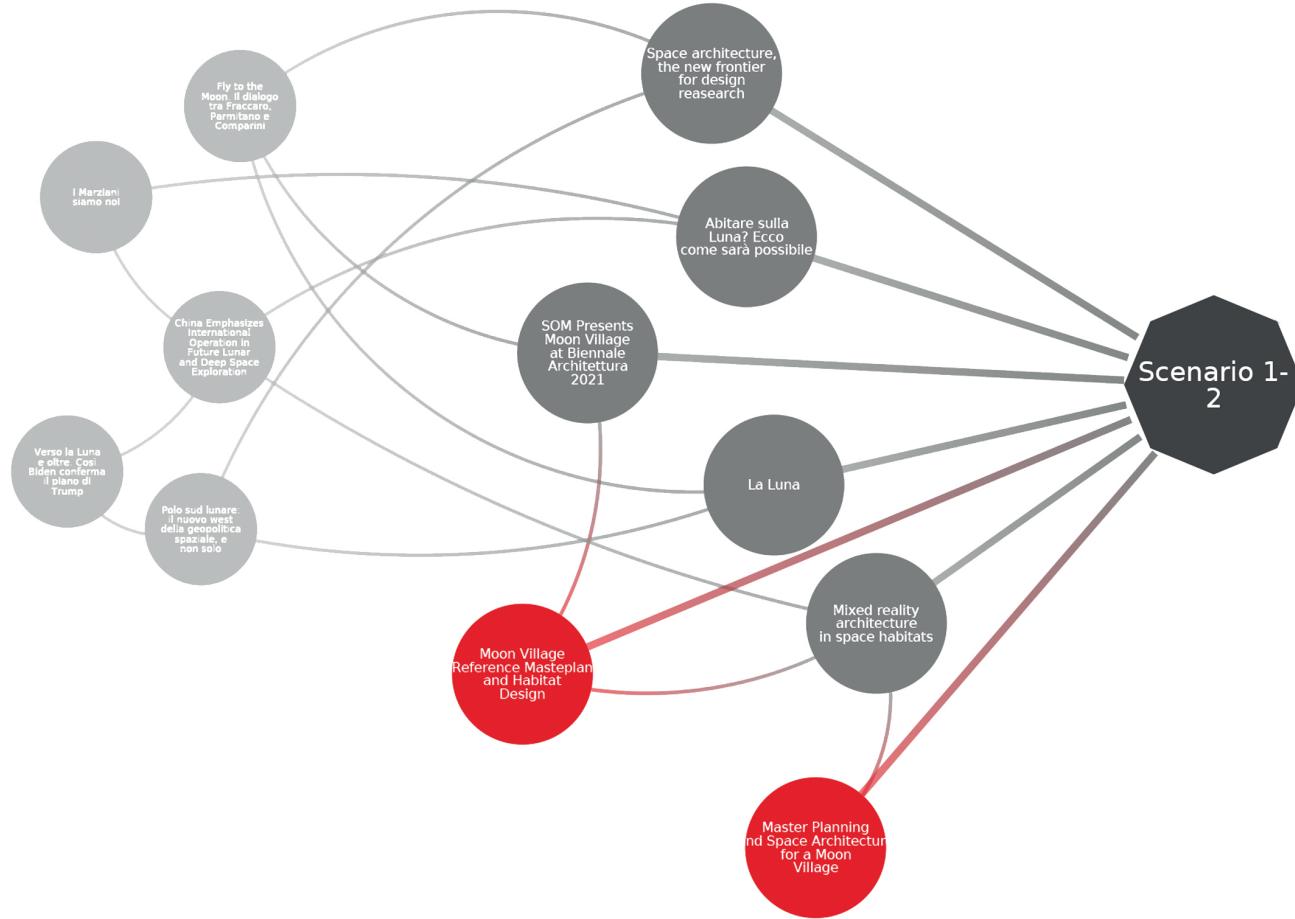


Fig. 1 Mappa documentale degli scenari 1 e 2

Il lungo percorso di tesi è iniziato nel mese di giugno 2021 contestualmente al primo incontro con la professoressa Valentina Sumini, terminato con la segnalazione di inizio lavoro di tesi. La prima fase di sviluppo del lavoro ha prodotto come esiti due scenari progettuali (Scenario 1 e Scenario 2) la cui distinzione temporale e documentale non è così ampiamente definibile tanto da decidere di affrontarla come unicum.

La prima fase di analisi documentale si è caratterizzata di due modalità completamente distinte: da una parte la raccolta documentale fornitaci dalla professoressa Sumini mentre dall'altra quella ricavata da noi studenti per mezzo di ricerche, letture e comprensione critica di articoli e documenti sul web.

I documenti "Moon Village reference masterplan and habitat design"³ e "Master planning and space architecture for a Moon Village"⁴ rappresentano i due articoli che per primi sono stati affrontati e presi in considerazione dal team di progetto portando ad affrontare una ricerca di esempi recentemente sviluppati sull'ostile territorio lunare. Questi primi documenti non sono stati sufficienti a garantire un corretto approccio al mondo progettuale lunare causa soprattutto della non adeguata preparazione preliminare di noi tesisti: si può dunque affermare che l'influenza di questi documenti è stata fin troppo dirompente nel processo di raccolta documentale siccome non permettevano una trasparenza di tutte quelle condizioni al contorno che avrebbero dovuto legittimarne le scelte progettuali nonché mostrarsi valutabili criticamente dal team. Assumendoli quindi come fonti certe ma non ancora comprensibili nella

Scenario 1 e 2.

3. G. I. Petrov, et. al, *Moon Village Reference Masterplan and Habitat Design*, in <<International Conference on Environmental Systems (ICES)>>, 49, 2019

4. G. I. Petrov, et. al, *Master Planning and Space Architecture for a Moon Village*, in <<International Astronautical Congress (IAC)>>, 70, 2019.

loro totalità, ne è seguito, per i motivi sopra citati, una necessità di ampliare la ricerca documentale dirigendosi verso l'approfondimento di temi e principi generali che avrebbero vincolato la progettazione intraprendendo un percorso alternativo di studio e conoscenza introduttiva. I restanti e numerosi documenti che si possono evidenziare nella mappa documentale dei primi due scenari (fig. 1) sono stati importanti per ridurre la marcata non conoscenza del nuovo contesto di progetto e hanno risposto a domande basilari, estrapolate volutamente dai primi due documenti citati, in termini di condizioni del luogo (A), di fattori per la permanenza umana (B) e di programmi spaziali introducendosi nell'ambito politico dipendente (C).

Nel mese di novembre 2021 la prima illustrazione della proposta di tesi ha condotto ad una riconsiderazione delle bozze presentate sulla base di quesiti che ne hanno determinato l'avanzamento tra cui il debuttante argomento *Tesi tecnica: architettura o oggetto?* che racchiude intrinsecamente la postilla di una valutazione delle condizioni socio-tecniche che vi si articolano attorno.

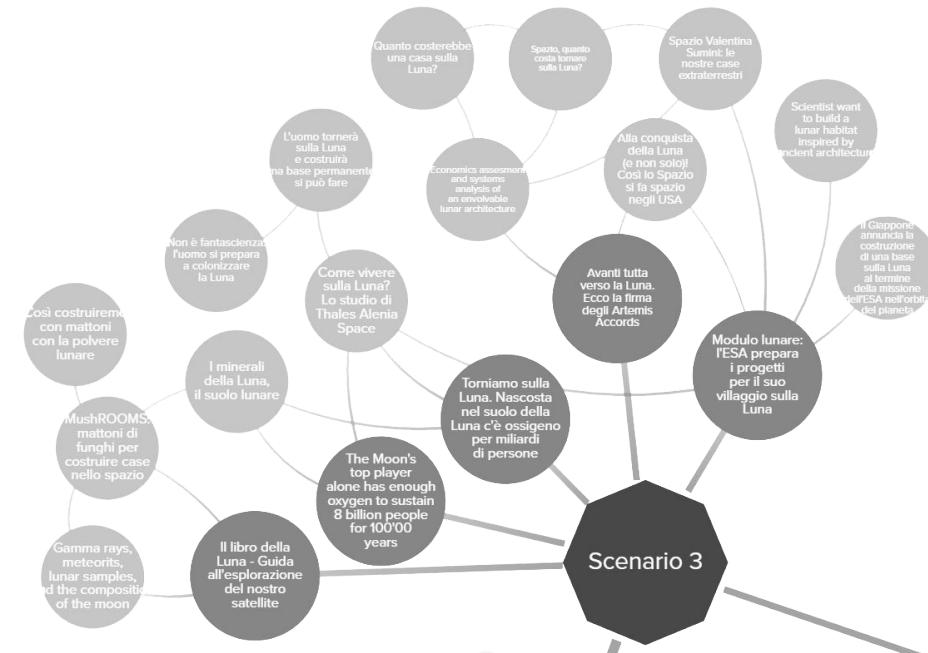


Fig. 2 Mappa documentale dello scenario 3

Scenario 3. Lo scenario 3 è di fatto caratterizzato da una raccolta documentale che ha drasticamente segnato il prosieguo del lavoro di tesi dettato dalla necessità di rispondere alla domanda fondante sopra riportata per la quale si è convenuto specificare con maggiore entità gli aspetti geopolitici e di diritto spaziale in quanto riconosciuti come mezzo unico per la definizione degli aspetti sociali che orbitano attorno al progetto sulla Luna.

L'introduzione di documenti che esprimessero un primo ventaglio di quelli che sono i principali accordi internazionali tra pubblico e privato, tra cui gli Artemis Accords⁵ e partnership commerciali per la realizzazione di un sistema architettonico in ambito lunare, hanno vincolato il progetto di tesi con la definizione di una costruzione di un modulo per astronauti per la medio-lunga permanenza. Nello specifico ritengo importante spendere due parole in merito agli Artemis Accords affermando come si presentano essere un accordo multilaterale tra i diversi partner firmatari e la NASA, depositaria dell'accordo, in ottica di una forte collaborazione tra i partecipanti stessi per il completamento del già avviato programma della Stazione Internazionale Spaziale (ISS) nonché per l'integrazione di nuove solide operazioni di superficie lunare. Concretamente, come afferma in un'intervista Antonino Salmeri⁶, Doctoral researcher in Space Law, sono la mera proposta di regolamentazione del programma Artemis sotto il controllo giuridico del paese americano che lo conduce e, in qualità di progetti multinazionali, definiscono le rispettive competenze, i rispettivi ruoli e i derivanti compiti di ciascuno

5. NASA, *The Artemis Accords, Principles for cooperation in the civil exploration and use of the Moon, Mars, Comets, and Asteroids for peaceful purposes*, in <<International astronomical congress (IAC)>>, 71, 2020

6. S. Piccin, *Cosa sono e perché sono importanti gli Accordi Artemis? Intervista ad Antonino Salmeri*, 2020.

Stato partecipante. Soltanto dopo, con l'integrazione di altri documenti a carattere politico, siamo riusciti a trasformare in aspetto architettonico quanto riportato da ciascun trattato.

Così nel dicembre 2021 lo scopo della tesi si allinea alle principali condizioni al contorno ricercate costituendo il collettivo di progetto.

Ciò nonostante, si è quindi espressa la necessità di ulteriori approfondimenti che potessero permettere l'avanzamento di scelte future.

Assieme ad articoli di giornale, che si è deciso di prendere in considerazione non tanto per la loro scientificità degli argomenti bensì come mezzo utile e necessario per la comprensione migliore del confine, spicca la raccolta documentale inerente alla macro-categoria condizioni del luogo (A).

“Il libro della Luna – Guida all'esplorazione del nostro satellite”⁷ scienziata spaziale britannica ed educatrice scientifica, ha saputo conferire dimestichezza nel riconoscimento delle peculiari influenze ambientali del nostro satellite enunciando in modo chiaro e semplice vincoli, limiti e caratteristiche da considerarsi per la realizzazione di una base lunare. Influenza fondamentale del documento è stata quella di portare il team allo specificare con maggiore precisione possibile, proprio sulla base di quanto appreso, il punto di insediamento previsto per la realizzazione del modulo con relativo rilievo del suolo, il sistema infrastrutturale per sfruttare le fonti energetiche naturali a disposizione e lo studio della più onesta esposizione di quanto verrà costruito per assicurare

7. M. Aderin-Pocock, *Il libro della Luna – Guida all'esplorazione del nostro satellite*, “s.l.”, Il Saggiatore, 2020, (traduzione di) Malafarina G.

un comfort psico-fisico ai fruitori. Ad integrazione, altri documenti sono stati colti a supportare la possibilità di sfruttamento delle risorse in situ tra cui si evince la derivante rispondenza alla tematica di permanenza umana (B) sul suolo ostile lunare: il riconoscimento della presenza di ossigeno all'interno della regolite ha nello specifico definito una conseguenza infrastrutturale prorompente nella progettazione dell'habitat permettendo così la valutazione di un sistema differente atto alla sopravvivenza dell'uomo. I due articoli "Torniamo sulla Luna. Nascosto nel suolo c'è ossigeno per miliardi di persone"⁸ e "The Moon's top layer alone has enough oxygen to sustain 8 billion people for 100'000 years"⁹ hanno aperto le porte a nuove considerazioni nonché posto le basi per una nuova frontiera della progettazione del ritorno umano, e la sua permanenza, sulla Luna ma, allo stesso modo, hanno influenzato la necessità di ricercare documenti che potessero affermare la fattibilità tecnica di tale osservazione.

8. J. Grant, *The Moon's top layer alone has enough oxygen to sustain 8 billion people for 100,000 years*, in <<The Conversation>>, 2021.

9. S. Valesini, *Torniamo sulla Luna. Nascosto nel suolo della Luna c'è ossigeno per miliardi di persone*, in <<Today scienze>>, 2021

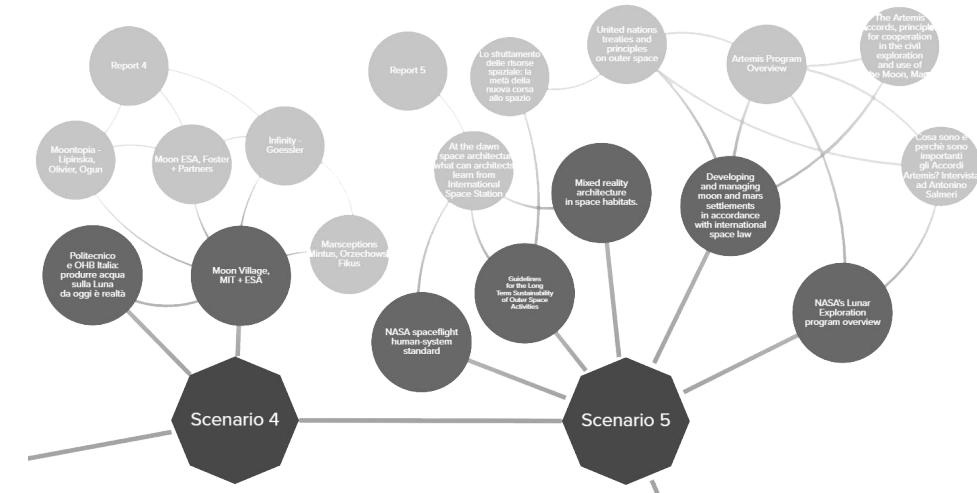


Fig. 3 Mappa documentale degli scenari 4 e 5

Scenario 4. Lo scenario 4 parte, infatti, con questa ricerca la quale si traduce immediatamente nel concreto riscontro rappresentato dal documento che non solo avrebbe permesso una valutazione differente di sito e locazione svincolata dalle zone che precedentemente si pensava fossero caratterizzate da maggior presenza di acqua ma ha anche confermato la fattibilità tecnica di quante espresso a titolo quantitativo sopra. Il Politecnico di Milano con OHB Italia¹⁰ ha trovato il modo di produrre acqua sulla Luna vantandone un sistema dalla facilità di estrazione di acqua e ossigeno derivante direttamente dalla regolite con la possibilità di svincolare il progetto dalla presenza di ghiaccio all'interno dei crateri.

Questa enorme possibilità avrebbe potuto influenzare notevolmente il progetto fino ad ora sviluppato, ad esempio in merito alla localizzazione dell'habitat siccome confermato da altri fattori ambientali che sono stati definiti di importanza estrema per il mantenimento di uno status di vita accettabile. Si conferma dunque, nonostante quanto affermato poc'anzi relativo alla possibilità di variarne la posizione, di mantenere fissa l'area di edificazione al polo sud lunare in quanto caratterizzata da illuminazione e temperature medie annuali più conformi alla sopravvivenza.

A convalidare questa proposta progettuale il rilievo topografico del suolo, estrazione del Regional Planetary Image Facility - LPI Houston, rapportato alla scala delle temperature e dell'illuminazione permettendoci di definire il punto esatto di insediamento.

10. Politecnico e OHB Italia: *Produrre acqua sulla Luna da oggi è realtà, 2021*

Ad integrazione, il periodo temporale in cui si prevede l'insediamento turistico successivo alle precedenti fasi di intervento per scopi scientifici ci ha permesso di consolidare la proposta ipotizzando la presenza, al nostro arrivo, di un'infrastruttura complessa per la fornitura di materie prima come l'acqua. Pertanto, non si esclude a priori la possibilità di non usufruire di tale tecnologia ma si ipotizza più fattibile, per lo meno nel prossimo periodo, lo sfruttamento delle risorse interne al cratere Shackleton.

A gennaio 2022, sempre nello scenario sopra citato, con il gruppo di progetto si è avviata la prima vera trasposizione in ambito architettonico di quanto fino ad ora appreso portandoci a realizzare alcune proposte a seguito di un'attenta valutazione di progetti elaborati precedentemente citando, tra alcuni di questi, il più iconico Moon Village frutto di una collaborazione tra MIT (Massachusetts Institute of Technology) ed ESA (Enternational Space Agency). Da ciascun progetto, analizzato per una necessità calzante di comprendere come la morfologia dell'edificio potesse caratterizzarsi su un territorio extraterrestre, abbiamo tratto punti di evidenza che hanno influenzato criticamente il modo di pensare l'architettura, sia a carattere formale che tecnico. Lo sviluppo verticale, la stampa 3D e la stratigrafia di protezione sono stati i punti cardine a partire dai quali abbiamo provato a sviluppare le soluzioni proposte ma, per errori dovuti ancora ad una mancanza di conoscenza non ancora completa, sono stati abbondantemente scartati.

Problemi di matrice tecnica/formale come la mancanza di originalità ed errori strutturali, problemi di diritto spaziale

per una mancata legalizzazione dell'uso del suolo lunare e problemi temporali-tecnici legati alla realizzazione di strutture host per astronauti hanno vincolato un ulteriore avanzamento della tesi con variazione della tematica di progetto: si è passati dall'ospitare astronauti al concepire una struttura mista per il turismo spaziale.

Scenario 5. Lo scenario 5 ha avuto il grande compito di colmare le lacune che hanno segnato in modo prorompente lo sviluppo del lavoro partendo proprio dalla ricerca di risposte a quanto segnalato nella fase precedente. Nello specifico, si è ritenuto indispensabile trovare risposta alle tematiche di carattere politico in quanto primarie e generatrici delle successive considerazioni a livello formale e temporale. Documenti del calibro di "Developing and managing moon and mars settlements in accordance with space law"¹¹, soggetto integrante del collettivo di progetto, hanno conferito al lavoro risposte di grande valore geopolitico in merito ai differenti programmi attivi, e in fase di attivazione. per l'esplorazione lunare. Più in generale, l'intero pacchetto di documenti dello scenario in analisi ha verso alla legittimazione delle scelte infrastrutturali e urbanistiche del masterplan di progetto permettendo di valutare tutte le differenti condizioni di rispetto che i trattati di diritto internazionale spaziale hanno da anni vincolato. Se ne evincono, ad esempio, dalla lettura del documento sopra citato ma anche rielaborati in "Guidelines for the long term sustainability of Outer Space Activities"¹² specifiche limitazioni in merito all'uso dello spazio lunare quali cooperazione, uguaglianza e principio di non

discriminazione allineandosi sulla riflessione per la quale sia necessario garantire la mutua partecipazione tra le parti e la non esclusività di aree. Di fatto, queste considerazioni hanno influenzato particolarmente la redazione delle aree di masterplan e infrastrutturali affinché ci sia una mutua relazione e disponibilità tra tutti i soggetti impegnati nell'attività.

Si è reso così possibile la realizzazione di un'architettura legale e compatibile internazionalmente ai trattati di diritto spaziale nonché l'occasione di progettare un habitat pensato e concepito per il luogo lunare dal momento in cui si ritiene opportuno interfacciarsi con le iscrizioni geopolitiche mondiali. Inoltre, comprendere le volontà dei diversi paesi ha permesso di valutare aspetti di partnership e autorizzazione come la semplice, ma non banale, definizione della base di lancio. In aggiunta, si sono stabilite le tempistiche temporali di intervento relazionate alla nuova tematica di progetto definendo come periodo utile l'arco 2030-2035 e articolando la costruzione in distinte fasi e moduli di costruzione differenti. Si aggiunge che in questa fase è stata di notevole importanza l'influenza esercitata dal documento "NASA's Lunar exploration program overview"¹³ in quanto ha permesso di valutare tempistiche ragionate rispetto alle condizioni al contorno esercitate dai diversi attori del programma stesso.

A soddisfare le richieste a livello tecnico/formale è intervenuto il documento "NASA spaceflight human system standard"¹⁴ e "Mixed reality architecture in space habitats"¹⁵ che hanno permesso di definire i requisiti minimi per la progettazione di un habitat per la permanenza umana in

13. NASA, *NASA's Lunar exploration program overview*, 2020.

14. NASA, *NASA spaceflight human-system standard, Volume 2: Human factors, habitability, and environmental health*, in <<NASA-STD-3001>>, Volume 2, Revision B, METRIC/SI (ENGLISH), 2019

15. T. Basu, O. Bannova, J.D. Camba, *Mixed reality architecture in space habitats*, in <<Acta Astronautica>>, 178, 2021, pp. 548-555

11. A. Salmeri, *Developing and managing moon and mars settlements in accordance with international space law*, in <<International Astronautical Congress (IAC)>>, 71, 2020

12. *Guidelines for the Long-Term Sustainability of Outer Space Activities*, U.N. Doc. A/74/20, Annex II, 2020

territorio extraterrestre riportando dunque ad una attenta valutazione degli aspetti progettuali interni delle singole realizzazioni. Tra questi tutti gli aspetti legati alla salute psico-fisica degli ospiti e alla loro sicurezza da cui ne deriva l'opportuna presenza di un astronauta per ciascun ospite. Ciò nonostante, anche in questo caso, le soluzioni progettuali non sono state soddisfacenti per le dimensioni su cui si è pensato di agire causate, principalmente, da una morfologia non legata alle condizioni del luogo e un'univoca associazione funzione-elemento che non ha generato altro che impiego di spazio inutile venendo a meno la legittimazione della forma architettonica. Si è cambiato, a questo punto, nel marzo 2022 approccio adottando una drastica trasformazione che ha prodotto un cambio di rotta per la quale la forma fisica sarà definita come importante dal momento in cui riuscirà a mettere in equilibrio più istanze possibili.



Fig. 4 Mappa documentale dello scenario 6

Scenario 6. Lo scenario 6 eredita questa necessità e articola per giunta l'intero suo sviluppo su aspetti tecnici da cui estrapolare le nozioni corrette per la convalida delle scelte progettuali. L'insieme dei documenti analizzati in questa fase riepilogano tutte le svariate e differenti modalità di realizzazione di un'architettura su territorio extraterrestre evidenziando le principali tecniche costruttive. Emergono tra questi le tecniche di stampa 3D, le strutture inflatabili e gli elementi schermanti utilizzabili sul suolo lunare. I documenti della Space Architect Olga Bannova hanno definito diverse informazioni indispensabili per confermare quanto già sviluppato fino ad ora a livello architettonico dando però ulteriore dimostrazione delle molteplici configurazioni adottabili per la realizzazione fisica dei moduli.

"Radiation shielding strategies for lunar minimal functionality habitability element"¹⁶ pone l'accento sulle modalità schermanti della struttura per garantire i requisiti interni minimi agli ospiti ritrovando forte relazione al documento "Why Space Radiations Matters"¹⁷ dove si specificano i motivi per cui è necessario adottare determinate condizioni di protezione. Il documento "Windows: Their Importance and Functions in Confirming Environments"¹⁸ esorta l'utilizzo di aperture visive nella struttura sottolineandone l'importanza per il contatto continuo con l'ambiente circostante.

L'influenza di questi documenti è stata tale da aver improntato la realizzazione della terza proposta architettonica con blocchi di classe 2 e classe 3, a seconda della funzione definita e da quelle che sono le necessità interne dipendenti. La scelta di questo approccio, allineato

all'obiettivo della missione, ha vincolato l'arco temporale di insediamento che si delinea a partire dal 2040 con fasi costruttive ben definite fino al completamento dell'impianto previsto due anni dopo.

Il documento "Lunar real estate development"¹⁹ ha assunto il ruolo cardine per la delineazione del masterplan con la delimitazione di aree per i differenti usi e, analogamente, la valutazione della posizione delle rispettive fonti energetiche e abitative comportando la definizione di elaborati a varie scale di dettaglio. La planimetria di maggior dettaglio enuncia visivamente le differenti 4 aree, con sviluppo a fasce, destinate a funzioni specifiche di edificazione, produzione energia, ricerca scientifica e infrastrutturale frutto delle rispettive valutazioni emerse dai documenti dello scenario in analisi in tema sicurezza e geo-politico.

La collocazione delle infrastrutture di supporto deriva da analisi documentali e osservazioni dei nostri correlatori, riepilogate poi nel documento "Report 6"²⁰ al fine di conferire ad esse carattere istituzionale. La distanza minima del Landing Pad prevista, rispetto alla zona residenziale, è di 1.5 km per evitare che nelle fasi di atterraggio, o decollo, detriti ed eventuali incidenti danneggino le strutture di supporto e le abitazioni. Data la scarsa gravità, la scarsa resistenza dell'aria e dall'assenza di vento questi viaggierebbero ad un'elevata velocità e per una lunga distanza. Il landing pad è inoltre soggetto a vincoli morfologici che ne determinano la sua posizione.

Per le medesime ragioni di sicurezza, anche le distanze delle infrastrutture di produzione energetica dai lotti host sono definite ad almeno 1.5 km e, in aggiunta, devono

16. O. Bannova, L. Bell, *Radiation shielding strategies for lunar minimal functionality habitability element*, in <<Acta Astronautica>>, 67, 2010, pp. 1103-1109

17. NASA, *Why Space Radiations Matters*, 2019

18. R. Haines, *Windows: Their Importance and Functions in Confirming Environments*, From Antarctica to Outer Space, Springer-Verlag New York, 1991

19. D.M. Ladewig, *Lunar Real Estate Development*, in <<Conference Paper (ASCE)>>, 2011

20. Thesis team members, *Report 6*, Script 6 meeting considerations, 2022

essere facilmente accessibili per eventuali manutenzioni comportando la necessità di un percorso più lineare possibile.

I principi geopolitici analizzati, riconducibili al documento di rapporto dello scenario in analisi e consigliati dal dt. Salmeri, sottolineano l'importanza della tutela e conservazione del patrimonio del suolo lunare, da ritenersi non appropriabile ma bene dell'umanità. Nell'Outer Space Treaty ²¹ si ribadisce inoltre come tali aree debbano essere condivise e non esclusive.

Alla luce di queste analisi, si è sviluppata una proposta di masterplan che, a partire dagli aspetti geopolitici internazionali fondanti l'operato in ambito spaziale come la cooperazione, l'impossibilità di appropriazione del suolo e la sostenibilità, avanzasse una trasposizione in ambito architettonico di questi fattori. Ne sono derivati, per l'appunto, aspetti legati al consumo del suolo, alla densità e al riuso dei materiali con annesso studio dettagliato del ciclo di vita di ciascun edificio.

Siamo consapevoli che l'attuazione di un masterplan atto a soddisfare questi parametri, principalmente quelli inerenti ad una controllata occupazione di suolo, comporterebbe sicuramente un costo aggiuntivo, per quanto riguarda la realizzazione delle infrastrutture di collegamento e i trasporti per il raggiungimento dei vari lotti indubbiamente più distanti, ma avrebbe a supporto le normative che conferirebbero ad esso una maggiore probabilità di definizione legale dell'impostazione.

Dunque, l'obiettivo dell'adozione di questa tipologia di insediamento si confermerebbe essere anche il garantire

un sistema urbano che possa imporre una congiunta presenza di un interesse privato senza creare danni alcuni per la collettività permettendo al fruitore di vivere appieno l'esperienza extraterrestre.

Definito pertanto uno sviluppo ipotetico di masterplan che potesse tradurre in ambito architettonico e urbano quelli che sono i principi fondanti le operazioni in contesto spaziale e extraatmosferico, è stato necessario conferire all'intero lavoro di progetto un quanto più possibile concreto riferimento ad un piano di missione che potesse definire al meglio le intenzioni progettuali. Inoltre, l'ancora poco consolidato rapporto reciproco tra l'insediamento e il contesto lunare ha imposto l'esigenza di confermarne appieno le relazioni tra le parti.

Lo scenario 7 si struttura, quindi, a partire da una evidente necessità riconducibile alla programmazione temporale del progetto allineato alle molteplici condizioni influenzanti al contorno.

Il documento "Structural design criteria for a planetary bases_Adaptation of approaches used in Design of nuclear facilities on Earth" ²² ha permesso di integrare alcuni dei fattori emersi nello scenario precedente inerenti principalmente ai parametri compositivi e tecnici indispensabili per la costruzione di un insediamento extraatmosferico. Nello specifico, ha sottolineato alcune previsioni di sviluppo nonché linee guida e indicazioni tecniche risultate utili allo sviluppo temporale dell'habitat consolidando, a sua volta, la volontà di "aggiornamento" delle infrastrutture al termine del rispettivo ciclo di vita.

Scenario 7.

22. A. Andonov, *Structural Design Criteria for Planetary Bases: Adaptation of Approaches used in Design of Nuclear Facilities on Earth*, in <<International Conference on Environmental System (ICES)>>, 46, 2016.

21. *United Nations treaties and principles on outer space*, Text of treaties and principles governing the activities of States in the exploration and use of outer space, adopted by the United Nations General Assembly, New York 2002, United Nations Publication, Sales No. E.02.I.20, ISBN 92-1-1000900-6

Ne è derivata consapevolezza secondo la quale è stato possibile stilare, in modo dettagliato, le fasi di assetto dell'operazione specificando, per ciascuna di essa, le modalità e tecniche impiegate in quattro stadi sequenziali il piano della missione. Quest'ultimo si consoliderebbe in un lasso temporale compreso tra il 2040 e 2042, derivante da una conferma operativa del documento sopra citato, permettendo di valutare, nel migliore modo possibile, le tempistiche inerenti alle differenti tecniche costruttive adottate così da conferire un diagramma temporale conforme. Infine, lo stesso documento ²² ha confermato il bisogno per cui il futuro immobiliare della Luna sarà costituito da sempre più un crescente aumento della percentuale di strutture di classe 3, integrate e sostituite ciclicamente alle esistenti col maturarsi della missione. Ciò consolida la proposta di masterplan secondo la quale, a partire dal 2070, le infrastrutture saranno coinvolte da un'appurata e specifica riconfigurazione spaziale e tecnologica.

D'altra parte, il documento "Design of a human settlement on Mars using In-situ resources" ²³ ha contribuito sostanziosamente alla rivalutazione di alcuni parametri indispensabili alla permanenza umana con la trascrizione a livello architettonico dei punti fondamentali. Se, di fatto, il documento precedente ²² ha conferito informazioni temporali per la realizzazione dell'intero progetto, il documento in analisi ha rievocato alcune considerazioni a conferma delle tecniche adottate per la realizzazione dell'impianto lunare. Ad esempio, dall'analisi documentale si è riconosciuta una nuova area per il posizionamento della serra destinata alla ricerca e produzione alimentare degli occupanti in un

modulo indipendente rispetto a quanto precedentemente valutato: il posizionamento all'ultimo piano dell'edificio avrebbe infatti causato un significativo aumento dei livelli di umidità e di squilibrio di ossigeno nell'habitat con conseguente sensazione di mancato comfort.

Gli apporti documentali sono stati di indispensabile supporto per l'avanzamento e perfezionamento del lavoro di tesi confermando il passaggio allo scenario successivo con l'intento di addentrarsi in una specificità di maggior dettaglio atta a indirizzare verso la conclusione della tesi.

22. A. Andonov, *Structural Design Criteria for Planetary Bases: Adaptation of Approaches used in Design of Nuclear Facilities on Earth*, in <<International Conference on Environmental System (ICES)>>, 46, 2016.

23. M. Arnhof, *Design of Human Settlement on Mars Using In-Situ Resources*, in << International Conference on Environmental System (ICES)>>, 46, 2016.

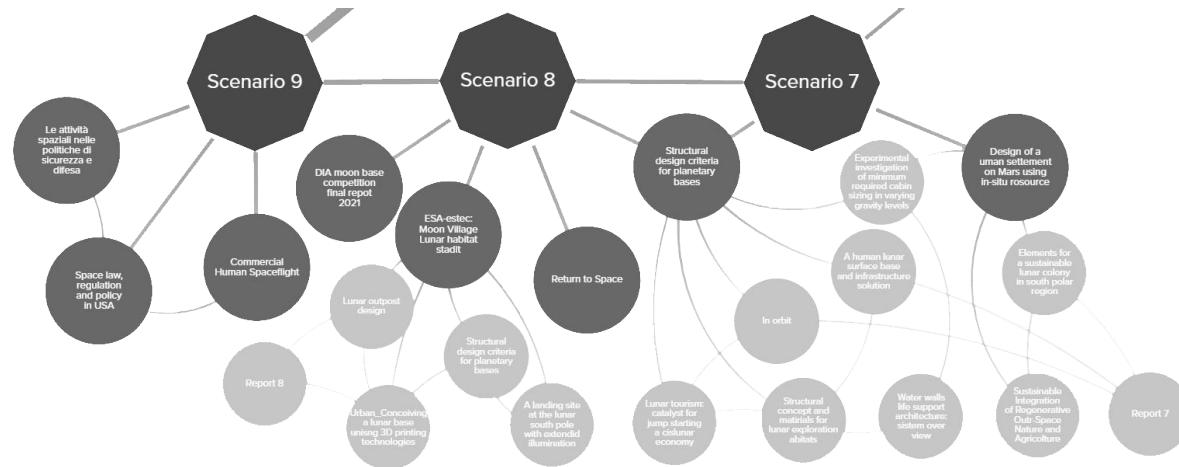


Fig. 5 Mappa documentale degli scenari 7-8-9

La necessità di stilare lo scenario 8 è stata dovuta alla conclusiva richiesta di perfezionare alcune delle ultime lacune emerse in fase di ultimo incontro con il collettivo di tesi riguardanti principalmente questioni di una maggior chiarezza degli elaborati e le condizioni interne ai moduli, siccome non del tutto adeguate ad un uso extraterrestre. Per l'attribuzione di una maggior chiarezza a quanto fino ad ora prodotto, si è pensato di intervenire ulteriormente sull'elaborato di masterplan al fine di esplicitarne la lottizzazione e le relazioni tra gli edifici costituenti permettendo di valutare preventivamente le potenziali interferenze tra gli stessi.

La volontà di realizzazione di un nuovo villaggio lunare permanente sarebbe il primo sforzo dell'umanità al di fuori dello spazio terrestre e, per questo motivo, la definizione di un piano funzionale per definire la realtà fisica dell'insediamento risulterebbe di fondamentale importanza per il ruolo chiave riguardante gli aspetti sociali, di governance e legali dell'habitat. A riguardo, sono state analizzate le possibili soluzioni terrestri utilizzate come configurazioni strategiche per la creazione di un nuovo insediamento come lo sviluppo urbano romano a due vie intersecanti e la configurazione lineare a fasce. Il documento "Moon Village conceptual design of a lunar habitat"²⁴ ha avvalorato la soluzione già adottata negli scenari precedenti rappresentata dalla struttura a fasce che, a differenza dell'altra di origine romana, risulterebbe essere caratterizzata da una maggior adattabilità allo sconnesso suolo lunare permettendo un raggiungimento ottimale degli obiettivi di sicurezza, efficienza e flessibilità

Scenario 8.

24. ESA, *Moon village Conceptual design of a lunar habitat*, CDF Study Report: CDF-202(A) - Issue 1.1, 2020

ed evidenziando, ad ogni modo, il rapporto con un'area con vincoli e restrizioni limitanti l'utilizzo del territorio. A tal proposito, è stato confermato un masterplan suddiviso in tre fasce di pertinenza distinte di cui la prima, quella a ridosso della cresta del cratere Shackleton, rappresentata dai nuovi lotti per l'edificazione degli edifici, la seconda, posizionata ad una distanza di sicurezza di 1.5 km, definisce la fascia all'interno della quale verrebbero inserite le infrastrutture di supporto mentre l'ultima fascia, nella zona più lontana dal cratere, identifica l'area di esplorazione libera per la ricerca dei vari stakeholders.

Per quanto concerne l'aspetto interno dei moduli, invece, il "Report 8"²⁵ ha formalizzato quanto emerso durante l'incontro di revisione esposto dall'Ing. Maria Antonietta Perino riferito alla presenza di strutture interne del tutto inadeguate al contesto di inserimento. Per tale motivo, il report ha affermato concretamente le necessità di un nuovo reindirizzamento verso la riconfigurazione totale dei moduli.

L'influenza è stata tale da aver indotto l'adozione di arredi minimalisti ed essenziali che potessero, di fatto, rispecchiare buona parte della ricercata esperienza da parte del turista di vivere un contesto abitativo ai minimi termini. Le modifiche apportate hanno riguardato l'interno del volume destinato ad ospitare i turisti dimezzando lo spazio pro-capite; così facendo ogni singola stanza ospiterebbe quattro persone anziché due. Come ribadito nel documento "Report 8"²⁵ riepilogante quanto emerso durante gli incontri con il collettivo di tesi nello scenario 8, questa soluzione non influenzerebbe negativamente il

comfort e la privacy degli ospiti vista anche la presenza di una gravità ridotta che permetterebbe il raggiungimento di tutti gli spazi in modo facilitato.

Tutte queste considerazioni non hanno esulato dalla preoccupazione caratterizzante un insediamento lunare quale il costo di trasporto. Infatti, l'adozione di un design minimalista permetterebbe di ottenere un peso complessivo altamente ridotto rivalutando completamente l'alto impatto di trasporto del materiale sul suolo extraterrestre pari a circa 4000 dollari/kg spedito in orbita.

Inoltre, il documento "DIA Moonbase competition final report 2021"²⁶ ha permesso di valutare quantitativamente, a livello grossolano, il restante aspetto altamente impattante l'operazione lunare riconosciuto nel costo per il mantenimento delle infrastrutture per l'intero ciclo di vita: la cifra ipotizzata si aggira attorno ai 200 miliardi di dollari per una vita operativa di 20/30 anni. Questa informazione ha confermato ulteriormente l'adozione progettuale mirata al riutilizzo e riuso degli elementi spediti in orbita che potrebbe risultare di notevole supporto economico per via dell'attuazione di un processo di economia circolare.

Una volta raggiunto un consono livello di dettaglio per gli elaborati proposti e dopo aver quindi specificatamente trattato i ragionamenti riguardanti il masterplan, la morfologia architettonica della struttura turistica e lo studio del piano di missione, il lavoro di tesi è volto al termine indirizzandosi verso l'ultimo, ma non per importanza, aspetto inerente al progetto trattato. Fin dal primo scenario, la tesi è stata svolta con una attenzione e concretezza pratica e operativa che potesse confermarne la possibilità

25. Thesis team members, *Report 8*, Script 8 meeting considerations, 2022

26. A. Muller, *DIA Moonbase competition final report 2021*, Space Generation Advisory Council Team, 2020

di uno sviluppo effettivo, abbandonando dunque il mero esercizio accademico. Pertanto, in conclusione di quanto fin dal principio impostato, si è sentita la necessità di curarne anche il fattore riconducibile al permesso di costruire una simile infrastruttura in territorio lunare veicolante, pertanto, la riuscita della missione proposta.

Scenario 9. La ricerca documentale ha avuto inizio dalla presa di conoscenza di quanto riportato nel documento "Report 9"²⁷ in cui si è riscontrato come, affinché l'operazione spaziale cui fa riferimento l'intera tesi possa risultare attuativa, sia necessario ottenere tre particolari licenze riguardanti rispettivamente il lancio, la costruzione e l'operatività nello spazio, che nel caso in oggetto sarebbe rappresentato dalla superficie lunare.

Il primo documento "Le attività spaziali nelle politiche di sicurezza e difesa"²⁸ ha concesso di comprendere come l'attività di lancio di oggetti spaziali in orbita sia effettivamente un'attività ad elevato grado di pericolosità e complessità da cui poter stilare una serie di ostacoli derivanti. In aggiunta, il documento ha permesso di ricostruire, in ottica degli accordi tra stati e partner per il raggiungimento del suolo lunare, l'aspetto giuridico caratterizzante. In primo luogo, ha evidenziato come il Trattato Internazionale confermi la responsabilità essere interamente dello stato che svolge qualsiasi attività spaziale definendo, quindi, un primo importante tassello per l'intento finale oggetto di ricerca. Ciò, infatti, garantirebbe un continuo monitoraggio delle operazioni riducendone potenziali ed eventuali inconvenienti che possono manifestarsi. Inoltre, il testo

ha evidenziato la forte ascesa della privatizzazione delle attività spaziali per mezzo di partner commerciali.

Alla luce di ciò, ne è derivata la proposta per la quale si è ritenuto importante ipotizzare la formazione di una cooperazione supportata da un consorzio di imprese private, accomunate dal desiderio di istituzione di un nuovo insediamento lunare, regolamentate da accordi reciproci atti a definirne ruoli e responsabilità all'interno del programma in cui i singoli privati sarebbero coinvolti direttamente nel finanziamento dell'operazione. Il "Report 9"²⁷ ha sancito i parametri di valutazione per la definizione della sede della cooperazione e del luogo di lancio improntando la scelta verso gli USA siccome l'Italia è risultata avere un'assente legislazione spaziale nazionale che potesse tutelarne l'attività. Di conseguenza, la sede di lancio è stata riconosciuta nel Kennedy Space Center. Ha avuto seguito, a tal proposito, per la richiesta delle licenze necessarie, dipendenti dagli stati americani identificati, l'identificazione degli enti FAA (Federal Aviation Administration) e FCC (Federal Communications Commission).

Si definisce, inoltre, l'assenza di una licenza relativa all'utilizzo delle risorse spaziali per la quale ci si è ricondotti allo Space Act²⁹ secondo cui si consentirebbe la costruzione, il miglioramento e la gestione di strutture e veicoli spaziali.

Il "Commercial Space Launch Competitiveness Act"³⁰ ha invece confermato la stipula da parte degli USA di accordi per l'organizzazione di esplorazioni commerciali e recupero di risorse facilitandone, dunque, l'esecuzione delle attività preposte all'esplorazione spaziale. Ciò

27. Thesis team members, *Report 9*, Script 9 meeting considerations, 2022

28. R. Rosanelli, *Le attività spaziali nelle politiche di sicurezza e difesa*, Edizioni Nuova Cultura, 2011

27. Thesis team members, *Report 9*, Script 9 meeting considerations, 2022

28. M. Smith, *Space law, regulation and policy in USA*, Sherman & Howard LCC, 2021

30. US, *Commercial Space Launch Competitiveness Act*, Public Law 114-90, 114th Congress, 2015

sostiene ulteriormente la corretta scelta ricaduta sul governo americano per il supporto dell'operazione. Seppur il potenziale possesso delle licenze per il relativo permesso di costruire, il "Report 9" consolida come si debba ritenere necessario soddisfare il requisito di sostenibilità a lungo termine irrobustendo le scelte tutelanti il territorio lunare espresse negli scenari precedenti.

Conclusioni

Il saggio sviluppato ha permesso di ricostruire cronologicamente il processo progettuale impiegato nella tesi. L'intenzionalità è di garantire, assieme alla mappatura processuale sviluppata parallelamente, una migliore comprensione delle fasi che hanno condotto alla definizione della soluzione progettuale con ampio focus sull'aspetto della documentalità che ha vincolato e obbligato alcune azioni sviluppate nel processo. Il paper, nella sua struttura, conferma la teoria della documentalità di Maurizio Ferraris secondo cui il documento, inteso come atto iscritto, raggruppa in sé il potere di influenzarne il progetto in corso, indipendentemente dalla sua natura. Tra questi, il documento di particolare riferimento si è confermato essere l'OST (Outer Space Treaty) in quanto fondamentale per la comprensione delle regolamentazioni giuridiche di attività extra-atmosferiche riportandone principi internazionali quali la cooperazione, la sostenibilità e la deconflittualità.

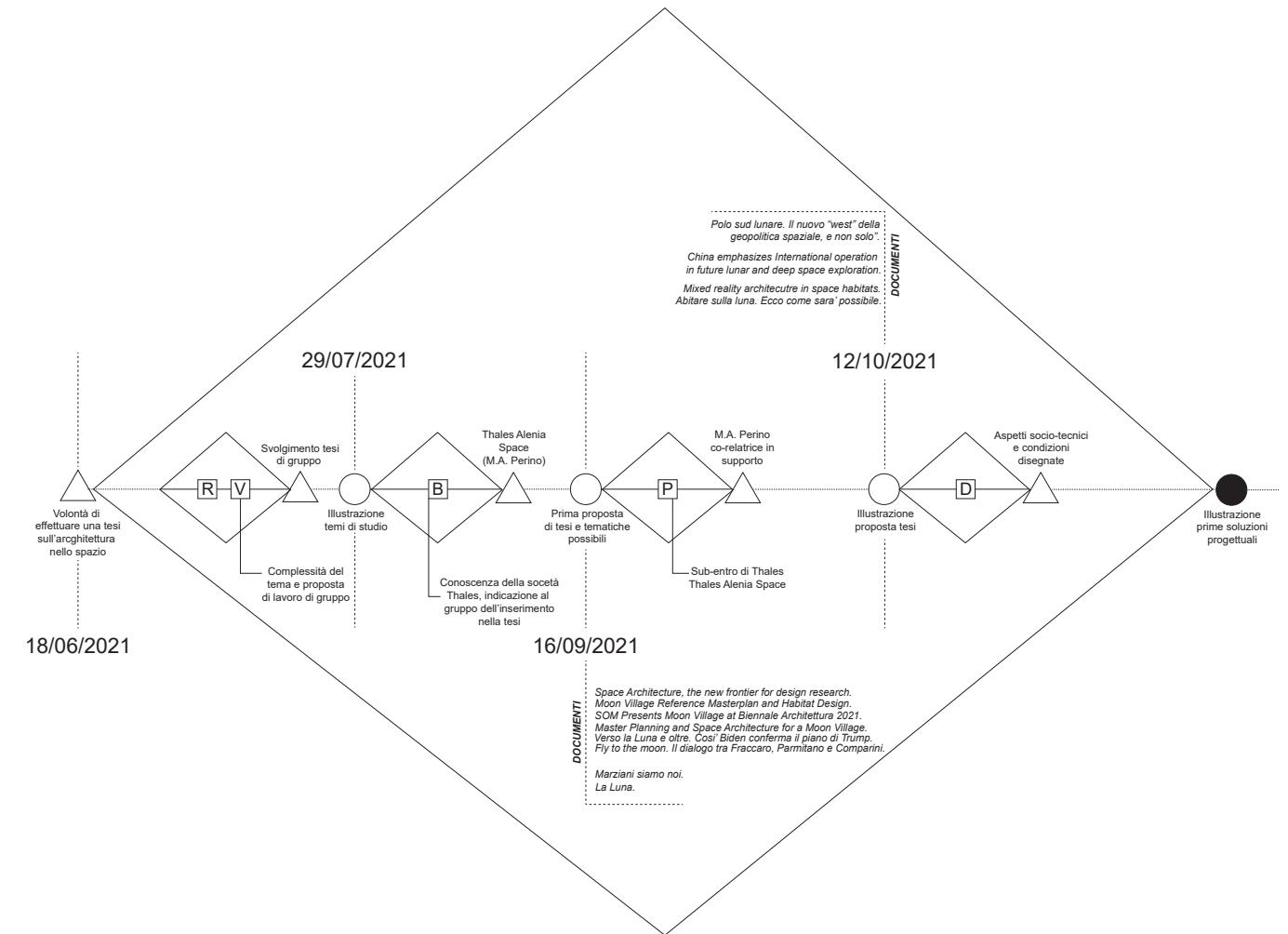
Lo studio di testi storici-politici ha rappresentato uno dei focus di analisi garantendo un forte del progetto ai risvolti geopolitici caratterizzanti il passato, il presente e il futuro; la comprensione degli aspetti ambientali ha

portato all'individuazione del sito plausibile per l'intervento di insediamento mentre la trattazione dei documenti di matrice tecnologica ha indirizzato, invece, verso la soluzione costruttiva che più potesse risultare compatibile alle condizioni ospitanti.

Si evince pertanto come l'intero processo progettuale sia descrivibile e gli scenari progettuali sviluppati siano fortemente ancorati alla rete di documenti che condizionano l'effettiva realizzazione di un insediamento lunare ribadendo, quindi, ciascun documento indispensabile al raggiungimento degli obiettivi prefissati.

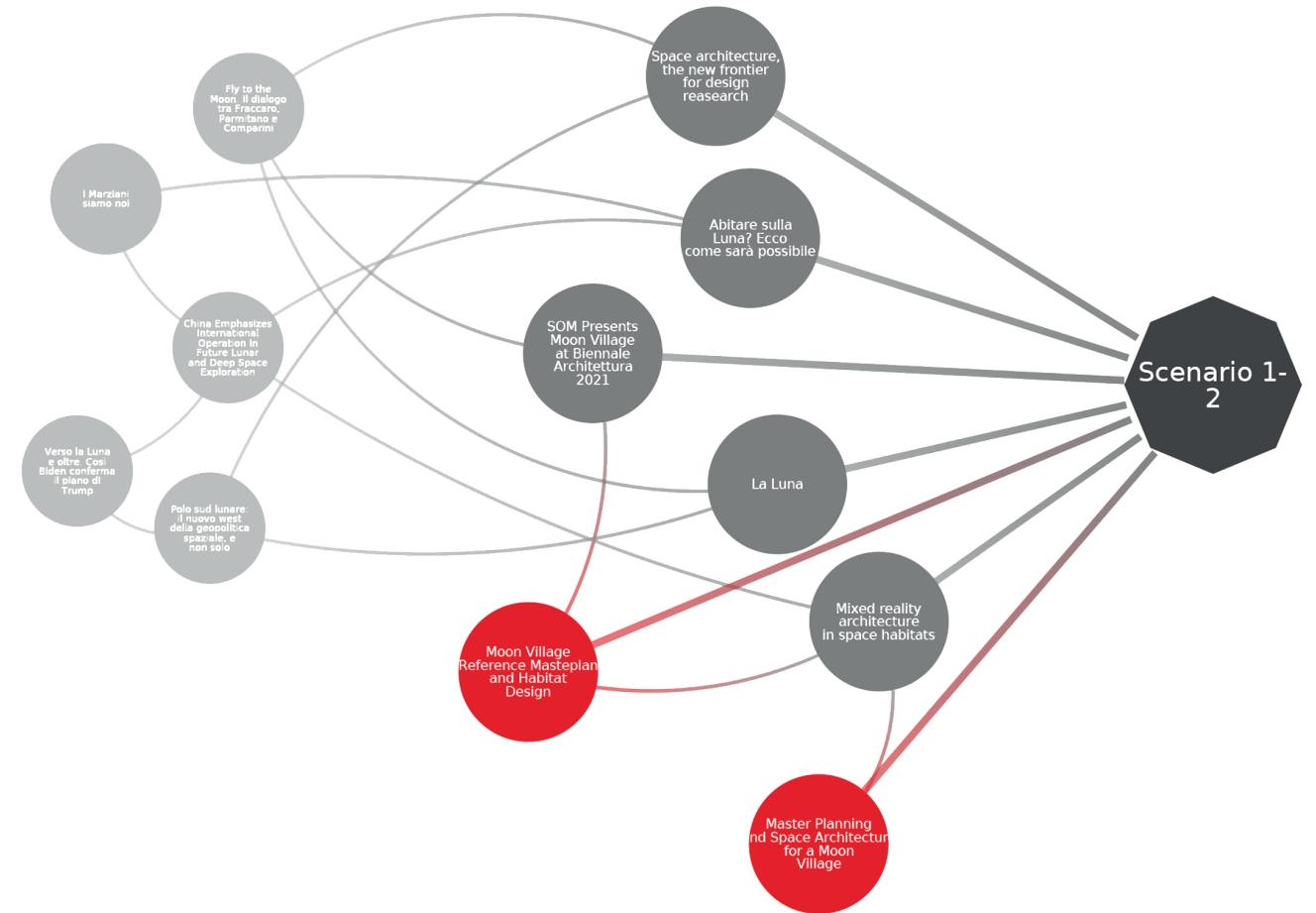
05

Dalla superficie al
sottosuolo:
due differenti
soluzioni per
l'insediamento
lunare



Rappresentazione processo progettuale Scenario 1/2 (Ventaglio ciclo del collettivo di Latour)

Il diagramma rappresentato mostra graficamente il percorso progettuale ricostruito per lo scenario 1 e 2



Rappresentazione diagramma documentale

Il diagramma rappresentato mostra graficamente i documenti utilizzati all'interno dello scenario 1 e 2

Nella prima fase di questo scenario, avviato dopo qualche settimana dal primo allineamento, abbiamo incontrato la docente, architetto ed ingegnere Valentina Sumini, Visiting professor al Politecnico di Milano e ricercatrice affiliata al MIT Media Lab, con la quale abbiamo potuto confrontarci propedeuticamente alla programmazione e allo sviluppo di quello che sarebbe dovuto essere l'argomento principale di tesi. Contestualmente è stato utile delineare il modo, le frequenze e le modalità con cui procedere all'elaborazione del lavoro.

Il 29 luglio, durante uno degli incontri preliminari con la Prof.ssa Arch. Valentina Sumini, è stato proposto il coinvolgimento di Maria Antonietta Perino, Director Space Economy Exploration and International network di Thales Alenia Space Torino, con l'intento di richiedere un supporto e una collaborazione ulteriore, vista e considerata la grande esperienza e competenza nel campo, giungendo successivamente il 29 settembre alla conferma della Sua disponibilità a prendere parte alla tesi come co-relatore. In seguito ad una prima fase di programmazione e formazione del collettivo di supporto, che ci avrebbe accompagnato lungo il prosieguo della tesi, le nostre attenzioni si sono concentrate sulla lettura e prima analisi di articoli utili alla comprensione del campo d'interesse con l'obiettivo di acquisire una migliore e consolidata conoscenza in un ambito del tutto sconosciuto.

I primi articoli presi in considerazione sono riferiti alla "sfera"

Collettivo di tesi

geo-politica e hanno trattato all'unisono aspetti relativi all'ambizioso progetto lunare da parte dei numerosi Stati accomunati dalla volontà di garantire il ritorno dell'uomo sulla Luna nonché una sua media-lunga permanenza. L'ultimo decennio ha vissuto una crescita esponenziale alla definizione di nuovi programmi spaziali tanto da giungere ad una proclamata necessità di definire piani collaborativi tra le diverse figure private e pubbliche. Le più influenti tra queste si possono riepilogare nella stipula degli Accordi Artemis, già citati precedentemente nel capitolo *-Condizioni e dati certi-*, generando, come dichiarato dall'Ing. Giorgio Saccoccia, presidente dell'Agenzia spaziale italiana (ASI), uno scenario quasi impossibile da fermare o rallentare soprattutto per il grande coinvolgimento a livello internazionale volto alla conquista del nostro satellite. Inoltre, la possibilità di avere a disposizione dati fondamentali come l'obiettivo temporale, gli attanti e attori coinvolti, le tempistiche di realizzazione e i budget stabiliti, permetterebbero di comprendere al meglio le previsioni future fornendo un quadro conoscitivo di ampio raggio con cui potersi confrontare¹.

Durante l'incontro del 12 ottobre con il nostro relatore Prof.re Arch. Giovanni Durbiano, relativo all'illustrazione delle tematiche di tesi, ci è stato consigliato di prendere in considerazione anche gli aspetti socio-tecnici implicati nel processo così da ricostruire uno schema partecipativo più completo possibile in merito al collettivo di progetto disegnando le mutue condizioni che si sarebbero generate

relativamente e, colto l'invito e il suggerimento, abbiamo proceduto con lo sviluppare due principali scenari presentati successivamente al seminario di SinTesi del progetto tenuto ordinariamente dal Prof.re Giovanni Durbiano e dal Prof.re Alessandro Armando.

Il primo scenario di progetto proposto è stato incentrato sulla progettazione di un modulo abitativo per lunghe permanenze destinato ad ospitare un numero di quattro astronauti per un lasso temporale di circa 3/4 mesi, come consigliato dalla Prof.ssa Arch. Valentina Sumini a seguito di un incontro. Come spiegato dall' Ing. Valentina Colla, ricercatrice a capo del team del laboratorio di robotica percettiva della scuola superiore Sant'Anna di Pisa, la colonizzazione della Luna è considerata di rilevante interesse da Stati ed enti privati propedeuticamente all'intenzione di compiere esplorazioni ed esperimenti di maggiore consistenza in ambienti più remoti del nostro satellite valorizzando, dunque, il nostro inserimento in un contesto temporale più prossimo rispetto alle prime missioni di ritorno degli astronauti sul suolo lunare².

Individuato quindi l'obiettivo della missione, è sorta la necessità di comprendere l'organizzazione e la struttura di un ambiente di vita extraterrestre così da poter avviare il concept tecnico e tecnologico del nostro progetto. Inizialmente il focus ha trattato le condizioni uniche dell'ambiente lunare come la gravità ridotta, l'estrema temperatura, l'esposizione solare e le radiazioni, micrometeoriti e atmosfera zero, che obbligatoriamente condizionerebbero la progettazione architettonica di una struttura sul suolo extraterrestre analogamente alla

Soluzione superficiale

1. S. Pioppi, *Verso la Luna e oltre. Così Biden conferma il piano di Trump*, in <<Formiche>>, 2021.

2. V. Caldelli, *Abitare sulla Luna? Ecco come sarà possibile*, in <<Quotidiano Nazionale>>, 2013.

localizzazione del sito sul quale si vuole operare ponendo, viste le considerazioni ambientali sopra citate, attenzione ad un cratere sito al Polo Sud denominato Shackleton. Quest'ultimo, come reso evidente dagli articoli consultati, è di fatto considerato tra i luoghi più ambiti per un prossimo insediamento umano date le sue condizioni e la possibile presenza di risorse primarie come l'acqua.

Grazie alle scoperte scientifiche degli ultimi decenni, si è in grado di affermare che le risorse presenti sul suolo lunare non sarebbero uniformemente distribuite bensì, al contrario, localizzate. Il Polo Sud, in particolare il cratere Shackleton, ne sarebbe rappresentazione di ciò, tanto che il 26 ottobre 2020 è stata confermata dalla NASA la presenza di importanti e abbondanti riserve d'acqua sotto forma di ghiaccio. Si è potuto constatare inoltre, oltre al ghiaccio, anche la presenza dell'ossigeno in quanto le temperature nelle basi del cratere sono prossime allo zero assoluto. L'identificazione di queste due risorse, essenziali per la vita, permetterebbero di considerare il cratere Shackleton come luogo prediletto nel quale operare. Allo stesso tempo si prenderebbe atto che la presenza di queste risorse porterebbe con sé una potenziale implicazione di affollamento e interferenza da tenere bene in considerazione nelle successive fasi di progettazione³.

In prima analisi, si è optato per l'utilizzo di un modulo rigido orizzontale da posizionare in prossimità del cratere Shackleton. La scelta è dunque ricaduta sull'impiego di questo tipo di modulo per diversi motivi che prenderebbero in considerazione le tempistiche, il trasporto e i costi. Un modulo classico interamente assemblato sulla Terra si confermerebbe, in questa fase, la strada migliore da

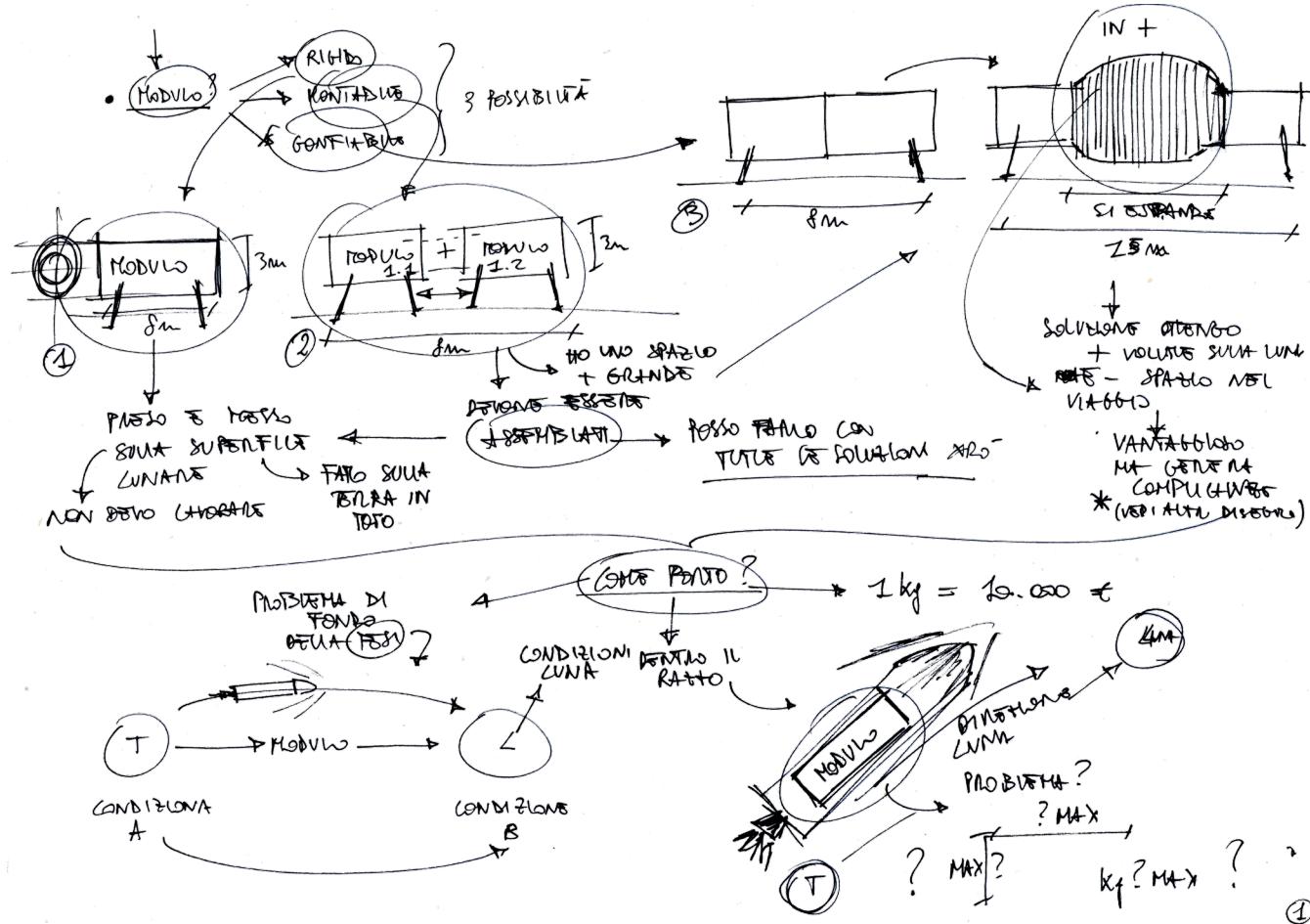
intraprendere, soprattutto per la proiezione temporale della missione. Inoltre, il modulo rigido configurato sulla Terra, una volta posizionato sulla superficie lunare, potrebbe essere di facile assemblaggio nonché fruibile nell'immediato, successivamente alla realizzazione di un'apposita schermatura. Essendo a conoscenza della pericolosità delle radiazioni e dei micrometeoriti, le strutture sul suolo lunare necessiterebbero di una protezione da queste minacce in modo da garantire un ambiente sicuro e salutare. Con questa considerazione, in aggiunta al modulo rigido si è ipotizzata una struttura in casseri e riempita di regolite lunare per la protezione della struttura e dell'equipaggio⁴.

Le funzioni presenti al suo interno sarebbero determinate dal tipo di missione intrapresa, nel nostro caso quella scientifica e di ricerca da parte degli astronauti. Le prime ipotesi di composizione interna vedrebbero funzioni comuni come dormire, mangiare, lavorare e delle funzioni che si ipotizzerebbe essere necessarie per il mantenimento della salute fisica e mentale durante lo sviluppo della missione. È stato notato, inoltre, che tra le condizioni estreme del luogo, in precedenza analizzate, rientrerebbe la problematica della finissima sabbia lunare in grado di provocare diversi danni ad attrezzature, strutture e persone. A tal proposito, durante le fasi di sviluppo della pianta, sarebbe necessario inserire un ingresso dotato di spogliatoi e zona filtro in modo da isolare al meglio l'abitazione da possibili degrading interni. Le altre aree presenti all'interno della struttura sarebbero un magazzino per lo stivaggio, la zona lavoro e centro di controllo, i servizi igienici, la zona cucina e le cucette⁵.

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

4. V. Caldelli, *Abitare sulla Luna? Ecco come sarà possibile*, in <<Quotidiano Nazionale>>, 2013.

5. G. I. Petrov, et. al, *Moon Village Reference Masterplan and Habitat Design*, in <<International Conference on Environmental Systems (ICES)>>, 49, 2019



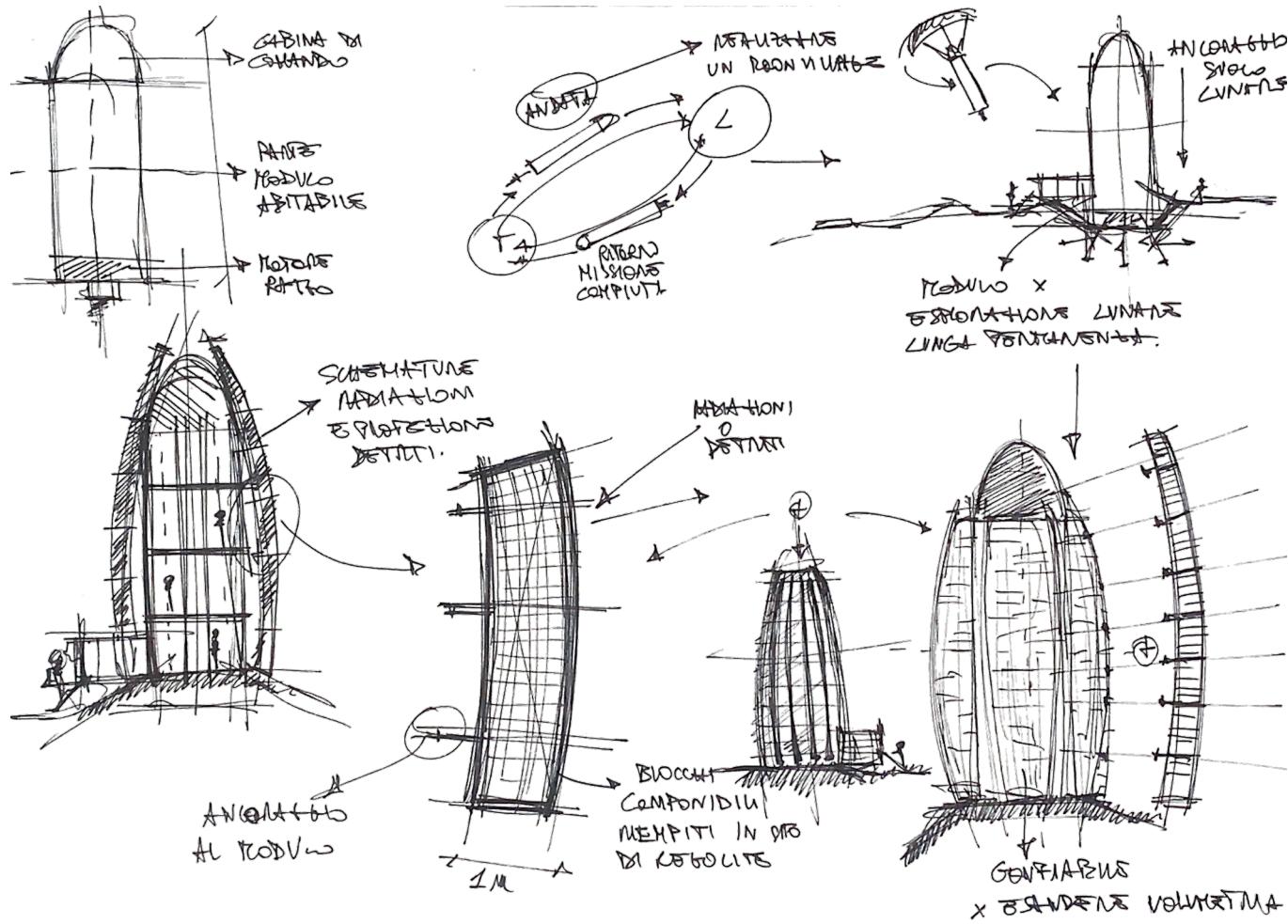
Tipologie di modulo e trasporto

In seconda analisi, abbiamo preso in considerazione l'impiego di un modulo orizzontale inflatabile espandibile, mossi dalla possibilità di poter garantire uno spazio interno al modulo maggiore e più confortevole, di fatto di più ampio respiro e meno angusto, alla pari delle medesime condizioni di trasporto precedenti.

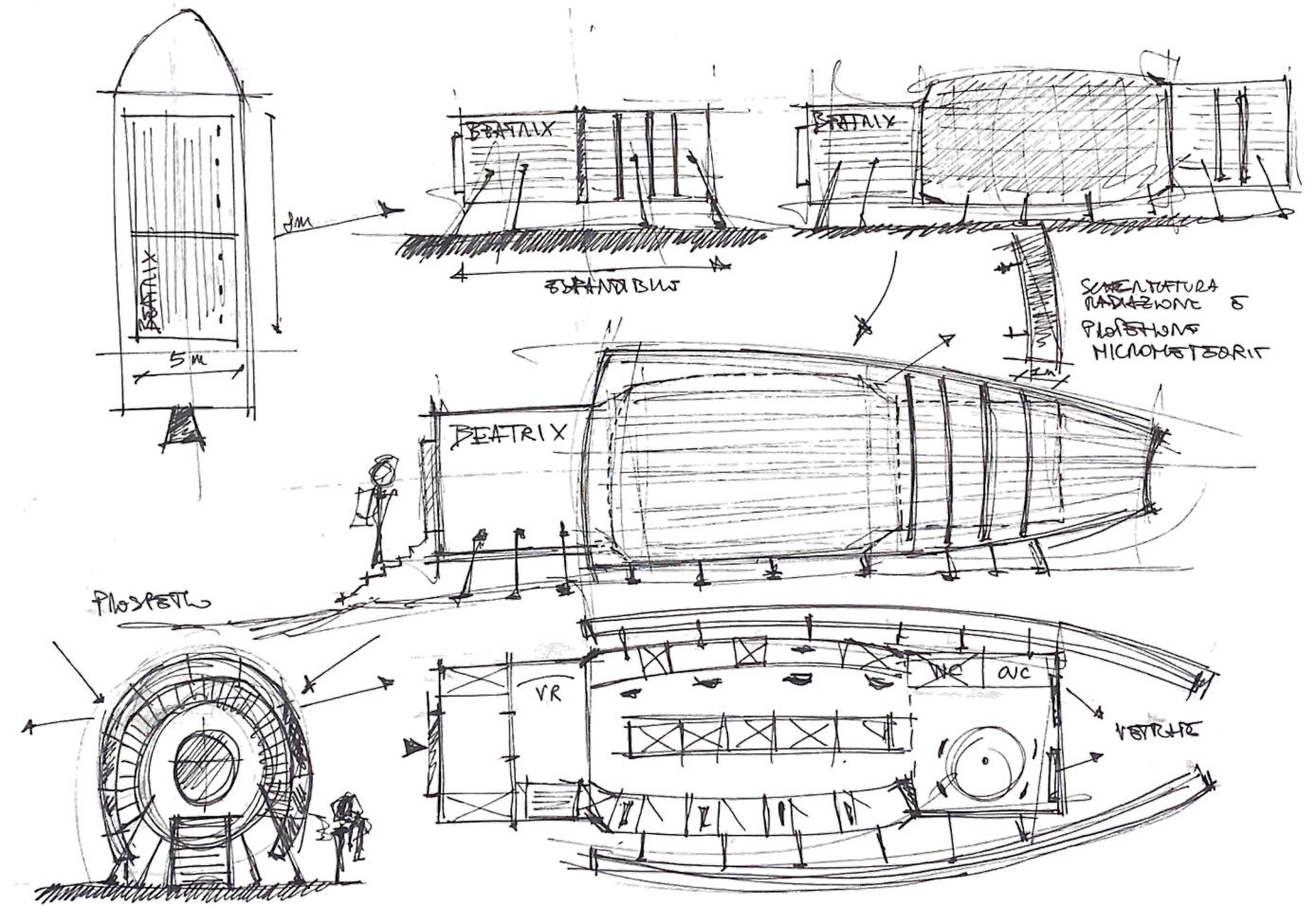
Tale soluzione richiederebbe però un'operazione aggiuntiva in situ e un maggiore dispiego di energia rispetto alla soluzione precedente. La composizione interna e le funzioni non varierebbero, se non per l'inserimento di un'area dedicata alla realtà mista e realtà aumentata, fondamentali per supportare l'equipaggio all'adattamento e alla consapevolezza dei limiti imposti dal contesto lunare. Queste tecnologie si confermerebbero quindi in grado di mitigare l'impatto negativo, lo stress e l'isolamento durante l'intera missione, migliorandola allo stesso tempo.

A tal proposito, la tecnologia della realtà mista potrebbe svolgere un ruolo significativo nell'attenuazione dei problemi psicologici e, dunque, dovrebbe ricoprire un ruolo cruciale per le missioni lunari a lunga permanenza. Nelle successive fasi del processo della nostra tesi è stato dunque fondamentale prendere in considerazione l'impiego di uno spazio esclusivamente adibito alla realtà mista e realtà aumentata⁶.

6. T. Basu, O. Bannova, J.D. Camba, *Mixed reality architecture in space habitats*, Elsevier, in <<Acta Astronautica>>, 178, 2021, pp. 548-555



Modulo verticale



Modulo orizzontale

Deviazioni e irruzioni

Durante l'incontro del seminario di SinTesi tenuto l'11 novembre 2021 presso il Politecnico di Torino, sono state presentate le ipotesi riguardanti la realizzazione di un habitat all'interno dei tunnel di lava presenti sulla Luna.

Le soluzioni proposte nello scenario precedente non hanno rispecchiato le volontà del relatore e del team di progetto che, seppur interessati alla tematica, hanno mostrato titubanza in merito alla possibilità di considerare ciò architettura e non pura ingegneria.

Le domande sorte hanno riguardato la mancata considerazione del luogo e delle sue condizioni che lo legano con il progetto, vincoli e aspetti che, se considerati e dettagliatamente analizzati, permetterebbero di considerare la realizzazione del progetto come architettura piuttosto che un semplice oggetto ingegneristico.

L'idea iniziale di progettare un modulo prefabbricato sulla Terra per poi trasportarlo sulla Luna in un luogo qualsiasi, proposta del primo scenario progettuale, non ha risposto chiaramente alle osservazioni presentate dall'Arch. Prof. re Alessandro Armando, referente del seminario di SinTesi del progetto.

Come prima osservazione è emersa la difficoltà eventuale di trasporto dei casseri di contenimento della regolate necessari alla realizzazione della schermatura definendo quindi questa possibilità poco praticabile per via di un significativo aumento dei già proibitivi costi delle operazioni di trasferimento dettato dall'aumento del peso dei componenti soggetti al trasferimento⁷.

Alla luce delle osservazioni sopra citate, si è presa in considerazione la tecnica della stampa 3D, potenzialmente più fattibile a causa dell'utilizzo di materiali presenti in situ.

7. G. Durbiano, relatore collettivo di tesi.

Ne è derivata, dunque, sempre durante l'incontro di seminario, una seconda osservazione per la quale è stata avanzata la possibilità, già proposta in precedenza dall' Ing. Maria Antonietta Perino di Thales Alenia Space, di utilizzare aree naturali presenti sul suolo lunare quali i tunnel di lava limitando, in questo modo, la trasformazione dell'ambiente ospitante e riducendo drasticamente le azioni tecniche utili alla protezione dalle radiazioni pericolose e dai micrometeoriti, fonte di possibili danneggiamenti.

Non si è fatta attendere però la considerazione per cui l'impiego di una soluzione simile avrebbe comportato uno sviluppo progettuale ancor più di matrice ingegneristica⁸.

Decidendo comunque di approfondire la tematica, si è proceduto nell'analizzare documenti che potessero in qualche modo consolidare o meno questa soluzione a partire dalla NASA che, nell'identificazione di plausibili pozzi generati da tunnel di lava, ha affermato e riconosciuto in essi una potenzialità per le future operazioni di esplorazione destinate alle lunghe permanenze⁹, evidenziandone la protezione naturale dalle radiazioni in superficie.

Dalla ricerca documentale è emerso, inoltre, come lo studio della composizione della struttura interna della Luna non sia ancora del tutto chiaro, così come non sia ancora accertata la possibilità che tutti, o almeno gran parte di questi pozzi, siano effettivamente praticabili e predisposti ad un impiego specifico¹⁰.

Nell'articolo Technologies Enabling Exploration of Skylight, Lava Tubes and Caves (Whittaker W. NIAC, 2012)¹¹ si consolida, di contro, la possibilità di poter usufruire, sicuramente in ottica futura, del sottosuolo lunare ma ciò non prima del chiarimento di sostanziali dubbi ad essi legati

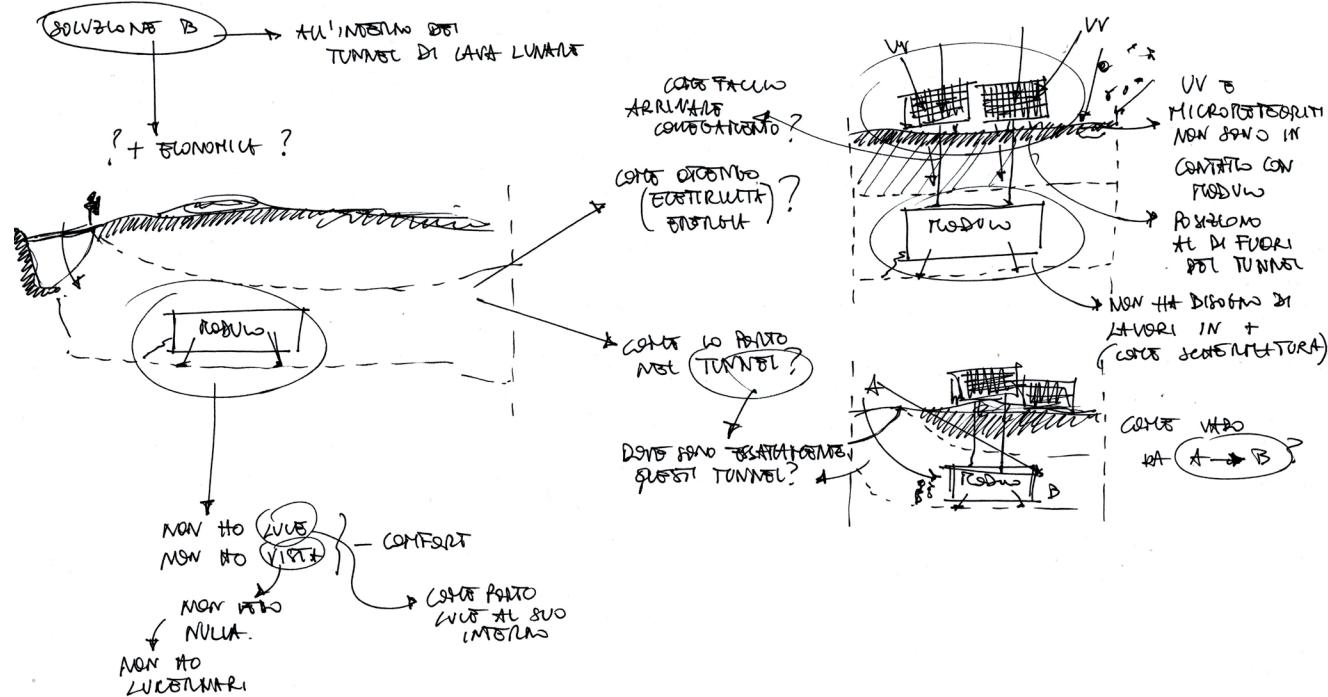
Tunnel di lava

8. A. Armando, collettivo di tesi.

9. J. Green, scienziato NASA.

10. L. David, *Living Underground on the Moon: how Lava Tubes Could Aid Lunar Colonization*, in <<space.com>>, 2019.

11. W. Whittaker, *Technologies Enabling Exploration of Skylight, Lava Tubes and Caves*, NIAC Phase 1, 2012.



Modulo sotterraneo

riguardanti l'accessibilità, la praticabilità e la morfologia interna avviando la sequenziale ricerca documentale che ne potesse raffigurare l'interno così da valutarne l'effettiva potenzialità ospitante.

Junichi Haruyama, ricercatore della JAXA agenzia spaziale giapponese, ha affermato che, qualora si volesse stabilire una base lunare all'interno dei tunnel di lava, sarebbe necessario conoscerne preventivamente le dimensioni mentre, ad integrazione, in una ricerca condotta dai ricercatori della Purdue University, sono state valutate immagini lunari e successivamente ricostruite in un modello tridimensionale. Riscontro di questa ricerca è stata la registrazione da parte dell'orbiter lunare giapponese SELENE¹² nelle vicinanze del lucernario Marius Hill di un tunnel dalle dimensioni considerevoli e paragonabili a quelle di una cittadina terrestre riscontrandone, a seguito di un'accurata analisi, la possibilità di tunnel secondari interconnessi¹³.

Lo scenario progettuale corrente si è dunque sviluppato con la volontà di considerare la realizzazione del modulo all'interno dei tunnel di lava presenti nell'ambiente lunare, ipotizzando l'impiego di un modulo rigido posizionato nel sottosuolo e valutandone comunque l'effettiva possibilità di usufruire di queste aree.

Il modulo pensato per l'utilizzo lavorativo dei primi astronauti sarebbe caratterizzato da una struttura di classe 1, ovvero completamente realizzata sulla Terra e trasportata in situ; così facendo non sarebbero richiesti grandi interventi sulla Luna, limitando conseguenzialmente costi e tempi di esecuzione favoriti dalla mancata necessità di realizzare notevoli protezioni e schermature; inoltre, compenserebbe

12. Selenological and Engineering Explorer, missione spaziale giapponese verso la Luna.

13. L. Geggel, *City-Size Lunar Lava Tubes Could House Future Astronaut Residents*, in <<Live-Science>>, 2017.

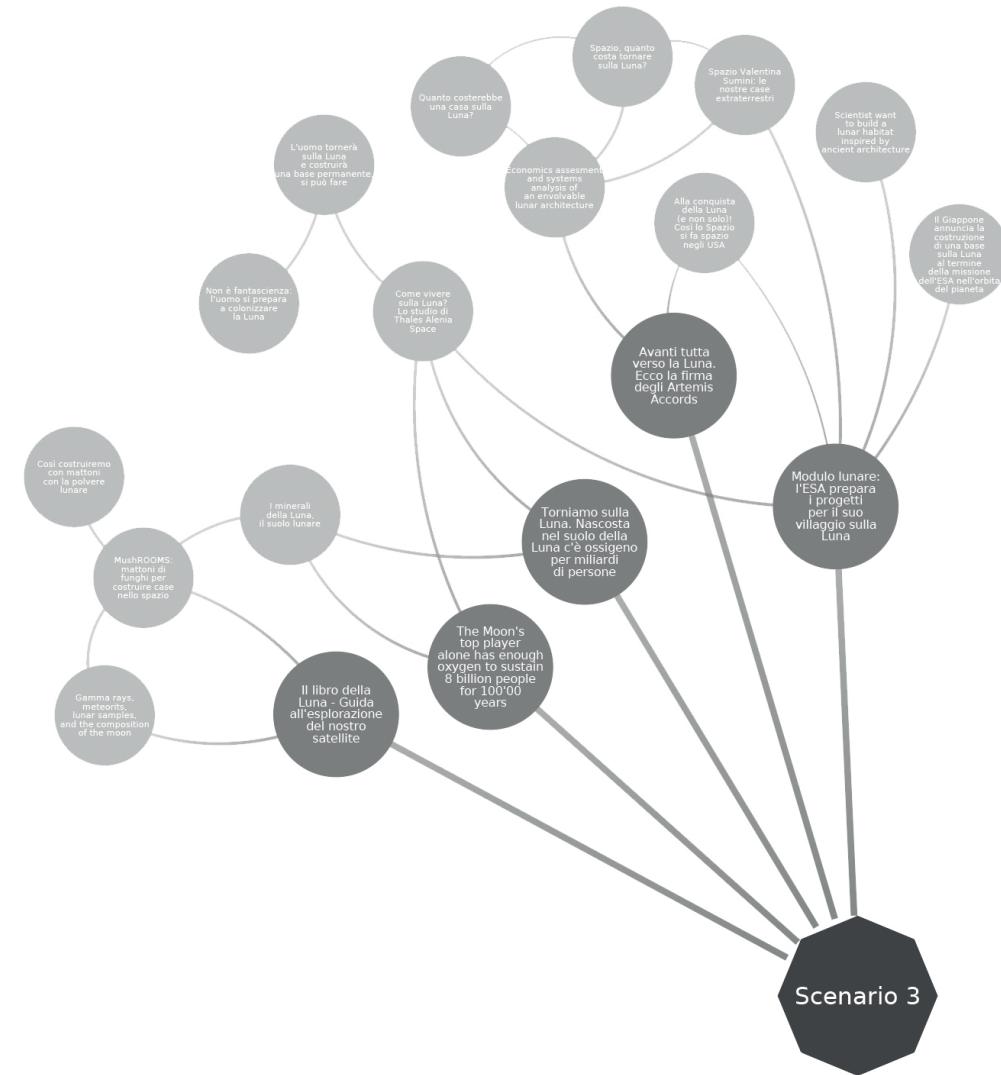
alcune conoscenze tecniche per la realizzazione della relativa struttura in superficie.

Con il posizionamento del modulo nei tunnel di lava si genererebbero però automaticamente problematiche riguardanti l'assenza di illuminazione naturale e la mancanza di confronto visivo con l'ambiente esterno.

Nonostante siano fondamentali questi due fattori sulla Terra, l'ambiente lunare potrebbe di fatto assumere considerazione differente, soprattutto in ottica di missione scientifica e lavorativa, e quindi non necessaria per l'obiettivo della missione.

06

Verso una
progettazione
architettonica



Rappresentazione diagramma documentale

Il diagramma rappresentato mostra graficamente i documenti utilizzati all'interno dello scenario 3

Deviazioni e irruzioni

A seguito del primo incontro del seminario di SinTesi al Politecnico di Torino, le deviazioni che hanno succeduto lo scenario *-Dalla superficie al sottosuolo: due differenti soluzioni per l'insediamento lunare-* hanno riguardato principalmente la questione, portata avanti nello scenario precedente, del possibile utilizzo dei tunnel di lava. L'intenzione di posizionare la struttura al loro interno, considerati comunque ottimali per stabilire una colonia lunare, ha generato una serie di implicazioni alle quali porre particolari attenzioni per il futuro progetto di missione. Queste hanno fatto sorgere dubbiose domande sulla conoscenza effettiva del posizionamento di tali tunnel, sul trasporto eventuale delle strutture al suo interno e su come e quanto possano effettivamente essere praticabili. Non avendo approfondito la questione, ha continuato a presentarsi il dubbio da parte dei componenti del seminario di SinTesi sulla questione architettonica e, nello specifico, riesumando la domanda secondo cui questo intervento sarebbe potuto essere considerato architettura.

Durante l'incontro del 12 novembre 2021 con la correlatrice Space Arch. Prof.ssa V. Sumini, si è discusso della possibile ricerca riguardante tematiche tecniche e dell'eventuale coinvolgimento nel progetto dei Dr. Foncheva e Dr. Rezeto del Politecnico di Milano, suoi tesisti. Infine, ci è stato proposto il possibile coinvolgimento del Dr. A. Salmeri dell'Università del Lussemburgo per una migliore considerazione degli aspetti legali e geopolitici. In seguito all'incontro, abbiamo contattato i Dottori Foncheva e Rezeto in modo da richiedere loro la disponibilità per un coinvolgimento riguardante l'aspetto tecnologico e dei materiali che ha portato alla valutazione di una tesi tecnica-

architettonica e ponendo così in secondo piano l'aspetto sociale. Tutto ciò è stato svolto consapevoli del fatto che una tesi meramente tecnica avrebbe potuto condurre allo svolgimento di una progettazione tecnica ingegneristica.

Il 14 dicembre 2021, dopo diversi contatti avvenuti via mail, è avvenuto il primo incontro con il Dr. A. Salmeri, Policy and Advocacy Coordinator, a seguito del quale ci è stata confermata la sua disponibilità nel seguire il lavoro di ricerca come correlatore per gli ambiti geopolitici e giuridici. L'irruzione data dal ruolo del nuovo correlatore ha provocato una sostanziale deviazione al percorso progettuale variato, pertanto, da una ricerca principalmente tecnica ad una socio-tecnica e indirizzando, quindi, verso una progettazione del modulo per astronauti in ambito architettonico piuttosto che ingegneristico.

A tal proposito, osservando la mappatura progettuale, si può notare meglio il doppio percorso che abbiamo intrapreso con l'obiettivo di giungere ad un progetto più completo possibile sia dal punto di vista architettonico che tecnico-ingegneristico. Con l'incontro avvenuto in data 27 dicembre 2021 è stata rigettata la possibilità di ottenere supporto e materiale tecnico dai colleghi del Politecnico di Milano in quanto si sarebbe potuto riscontrare un conflitto di interesse dovuto alla presenza di Thales Alenia Space. Questa irruzione ha interrotto il secondo percorso all'interno del processo progettuale mediante il quale avremmo potuto usufruire di materiali utili dal punto di vista tecnologico.

In prospettiva dell'incontro con il relatore Prof.re Arch. G. Durbiano, abbiamo sviluppato una nuova possibile tesi per l'habitat lunare abbandonando l'idea di posizionarsi nei tunnel di lava. Questo è scaturito principalmente

dal fatto secondo cui posizionare una struttura al di sotto della superficie avrebbe limitato alcuni aspetti già precedentemente trattati.

Tra questi la questione dell'illuminazione e della vista, soprattutto in ottica di una missione a lunga permanenza. Infatti, l'illuminazione esterna e la possibilità di intravedere al di fuori del modulo, seppur in maniera limitata, sarebbero delle caratteristiche ad alto impatto sul comfort di vita all'interno del modulo.

A tal proposito, per lo sviluppo dello scenario *-Verso una progettazione architettonica-* ci siamo concentrati sull'analisi della migliore tecnologia alla quale affidarsi per la realizzazione dell'infrastruttura in modo da garantire la sicurezza dell'equipaggio per poi proseguire con il disegno di un'ipotesi progettuale fattibile.

La prima tecnologia sulla quale ci siamo soffermati ha riguardato la realizzazione di mattoni schermanti in regolite mediante l'utilizzo di stampe 3D. Si avrebbe la possibilità di predisporre dei piccoli rover in grado di raccogliere la regolite lunare e trasformarla in mattoni, adattandosi in questo modo alle condizioni lunari. Questi dovrebbero essere in grado di costruire le pareti esterne degli edifici intorno a una sorta di tensostruttura data dal modulo rigido trasportato dalla Terra¹.

La struttura a bolle chiuse della schermatura esterna, ideata dallo studio di Foster per ESA, ridurrebbe l'impiego di acqua come legante, data la sua potenziale scarsità sulla Luna.

Nel 2013 è stata commissionata da ESA la ricerca di tecniche di stampa 3D con l'idea di poterle impiegare in

Tecnologie costruttive

1.E. Dini, *Così costruiremo mattoni con la polvere lunare*, in <<La Repubblica>>, 2019.

una struttura in grado di proteggere il modulo lunare. Così facendo si confermerebbe la volontà di utilizzare le risorse presenti In Situ (ISRU) fondamentali per una questione di sostenibilità e di risparmio dei costi di missione².

La seconda tecnologia presa in considerazione ha riguardato un materiale innovativo riconosciuto nei funghi e utilizzabile per realizzare mattoni. Per mezzo dell'aggiunta di acqua, questi attiverrebbero un processo chimico tale da proteggere la struttura dalle radiazioni e dai micrometeoriti. La notizia giunta dall'Ames Research Center (ARC) della NASA ha infatti dichiarato che il micelio fungino rientrerebbe tra i materiali innovativi per la realizzazione di una struttura spaziale. Gli studi mostrano come questo materiale abbia un'ottima resistenza alla compressione e alla flessione mentre la capacità di protezione della struttura dalle radiazioni sarebbe data dalla melanina presente all'interno dei funghi stessi³. Utilizzando questo tipo di tecnologia, detta biologia sintetica, potremmo essere in grado di realizzare una struttura formata da uno strato interno di ghiaccio e da uno esterno di funghi che riceverebbero la luce filtrata dal ghiaccio. In questo modo potrebbero trasformare questa in nutrimento, per i funghi, e ossigeno, per gli esseri umani. Un esempio ci viene fornito dal progetto di Mino Architettura, un habitat realizzato con tre strati composti da ghiaccio, organismi e micelio. Gli organismi otterrebbero la luce filtrata dal primo strato di ghiaccio e la trasformerebbero in anidride carbonica e ossigeno. Il micelio, invece, garantirebbe l'integrità per la struttura e regolerebbe l'umidità ambientale interna⁴.

2. A. Cowley, L. Teeney, *How to 3D-print a habitat on Mars*, in <<Space Journal of Asgardia>>, 2015

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

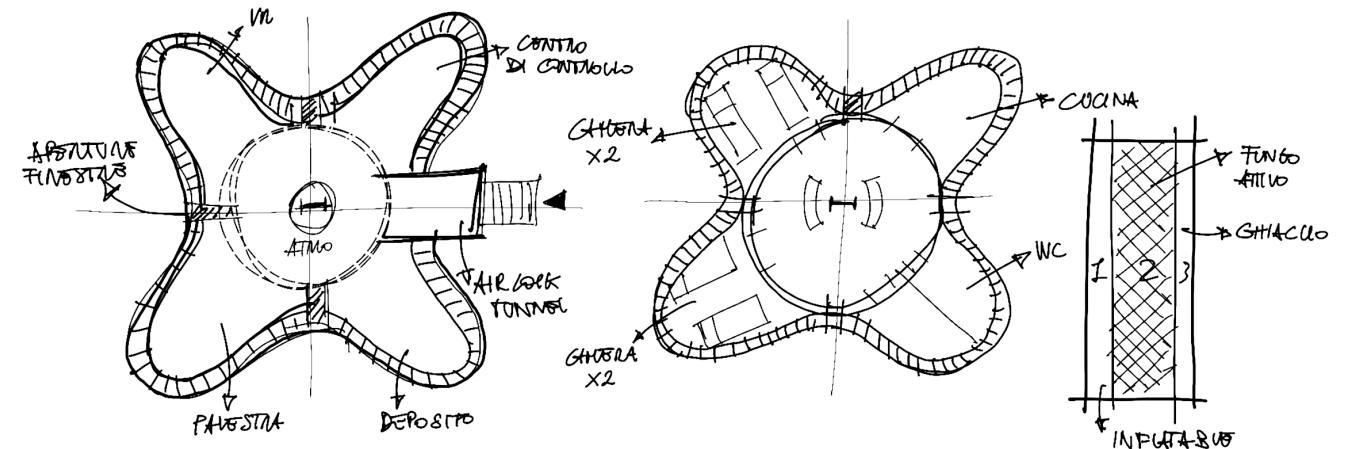
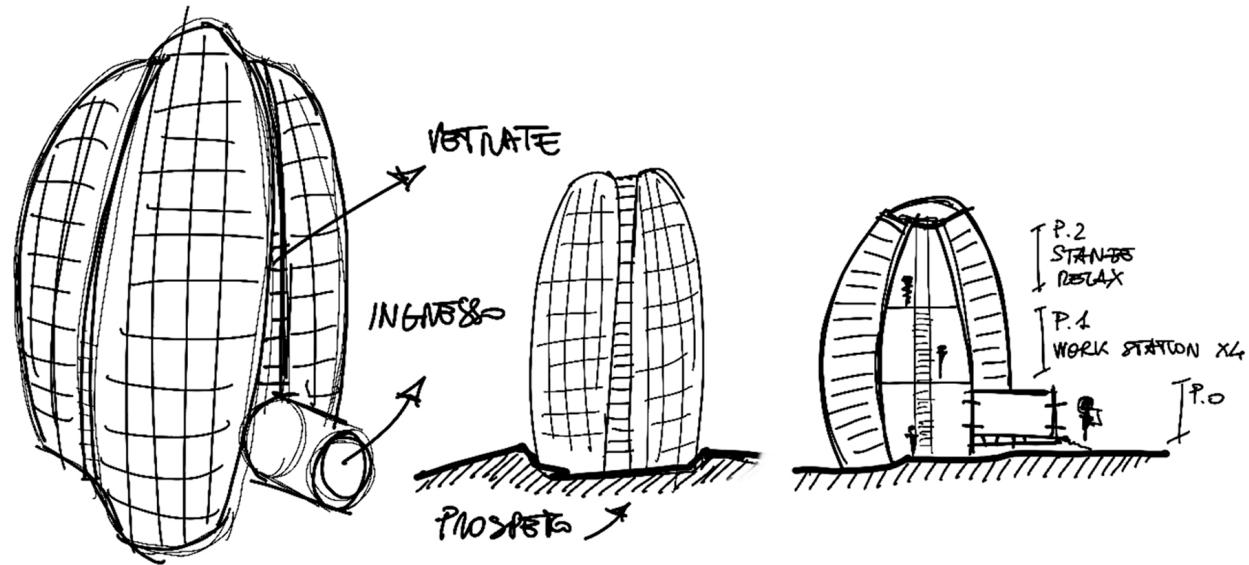
4. L. De Angeli, *MushROOMS: mattoni di funghi per costruire case nello spazio*, *Moonwalkers*, 2020.

All'interno di questo scenario abbiamo proposto due soluzioni a ripresa delle considerazioni scritte in precedenza. La prima soluzione (Fig. 1 e Fig. 2) ha riguardato l'utilizzo di un modulo inflatabile verticale composto da tre livelli con una schermatura realizzata in ghiaccio e funghi attivi. Il modulo sarebbe pensato come base per lunghe permanenze, superiori ai 30 giorni, per i primi astronauti. A tal proposito è stata ipotizzata una struttura di classe 1 in modo da garantire il suo utilizzo nell'immediato siccome si eviterebbero grandi interventi per rendere la struttura operativa. All'interno del modulo, pensato per l'occupazione di quattro astronauti, sarebbero presenti spazi per il lavoro e spazi per il relax in modo da mantenere la salute fisica dell'astronauta al suo stato ottimale. Si presenterebbe un ingresso con filtro e spogliatoio, un magazzino, l'area lavoro e centro di controllo, la cucina, la zona medica, cuccette, zona relax e palestra necessarie per il mantenimento della salute psicologica e fisica dell'equipaggio⁵. L'area medica è stata ipotizzata come necessaria per una missione di lunghe permanenze.

La seconda soluzione (Fig. 3 e Fig. 4) sarebbe composta da un modulo inflatabile orizzontale sviluppato su due livelli. La tecnologia utilizzata per la struttura e la sua schermatura rimarrebbe invariata come la soluzione precedente. Questa però sarebbe quindi implementata con l'utilizzo di un'apertura verso l'esterno, ritenuta necessaria per il mantenimento del comfort all'interno del modulo. Le funzioni contenute riprenderebbero quelle prima trattate e riguarderebbero le aree per il lavoro e il relax degli astronauti.

Soluzioni progettuali

5. Sumini V., co-relatrice collettivo Tesi



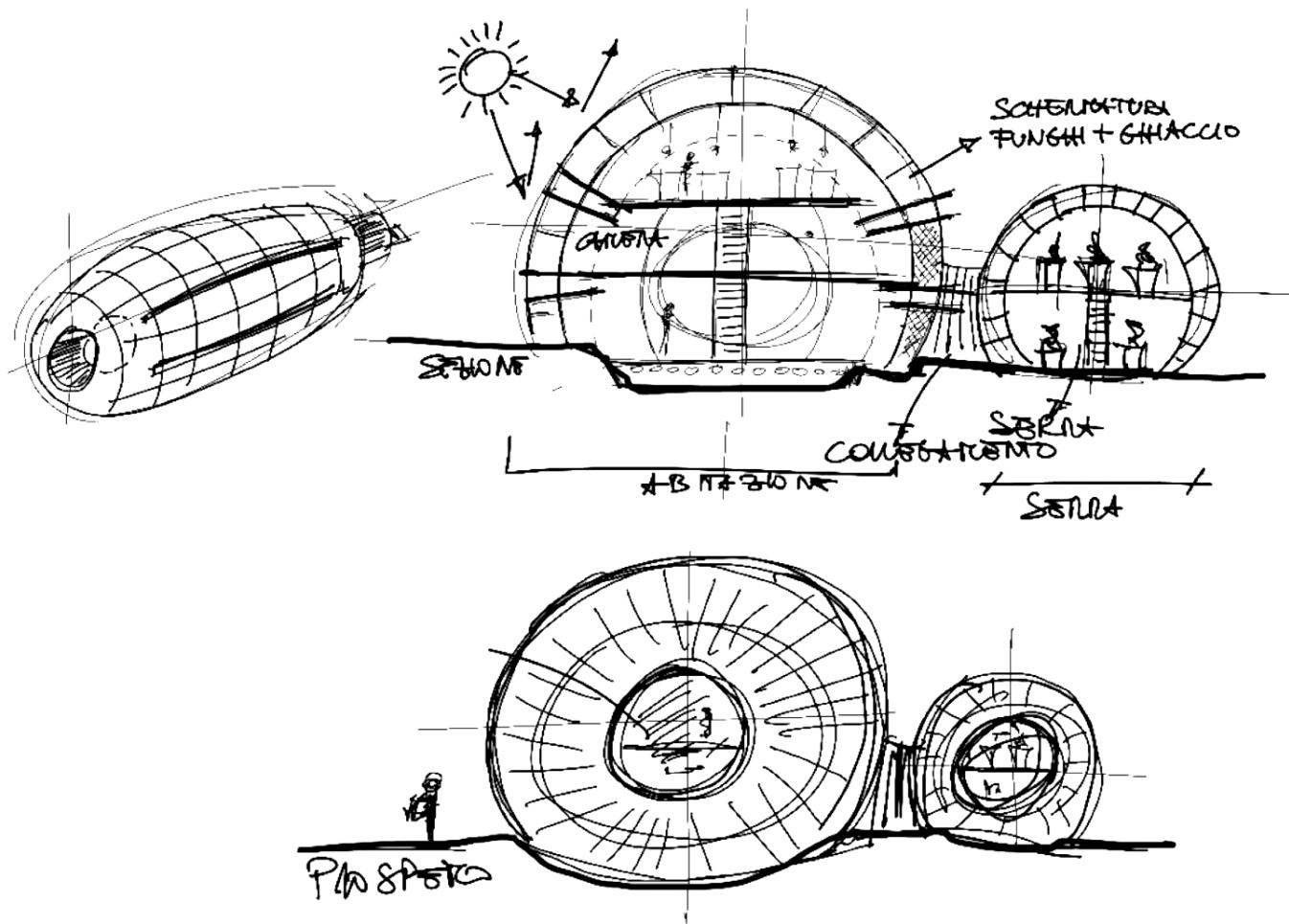


Fig.3 Soluzione progettuale orizzontale

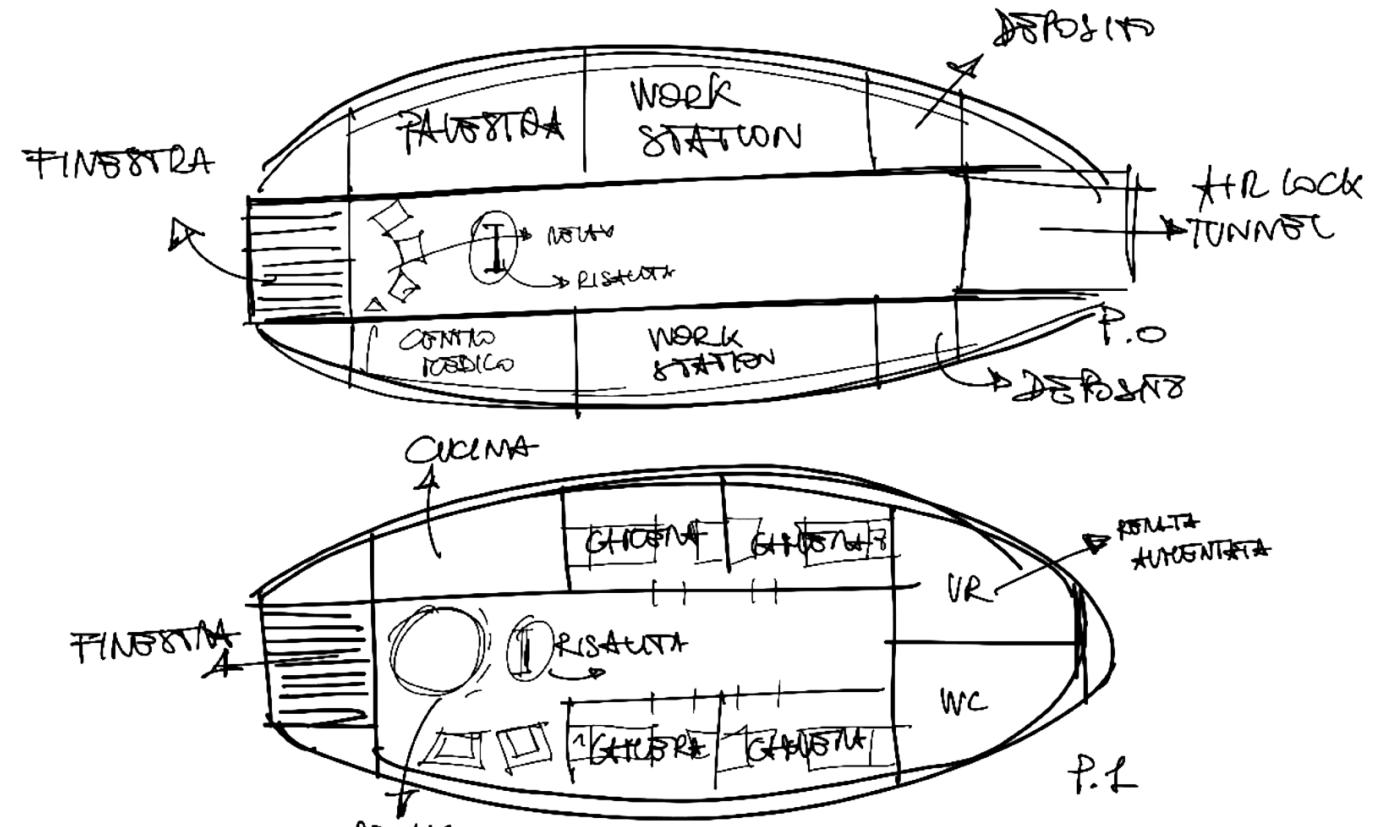
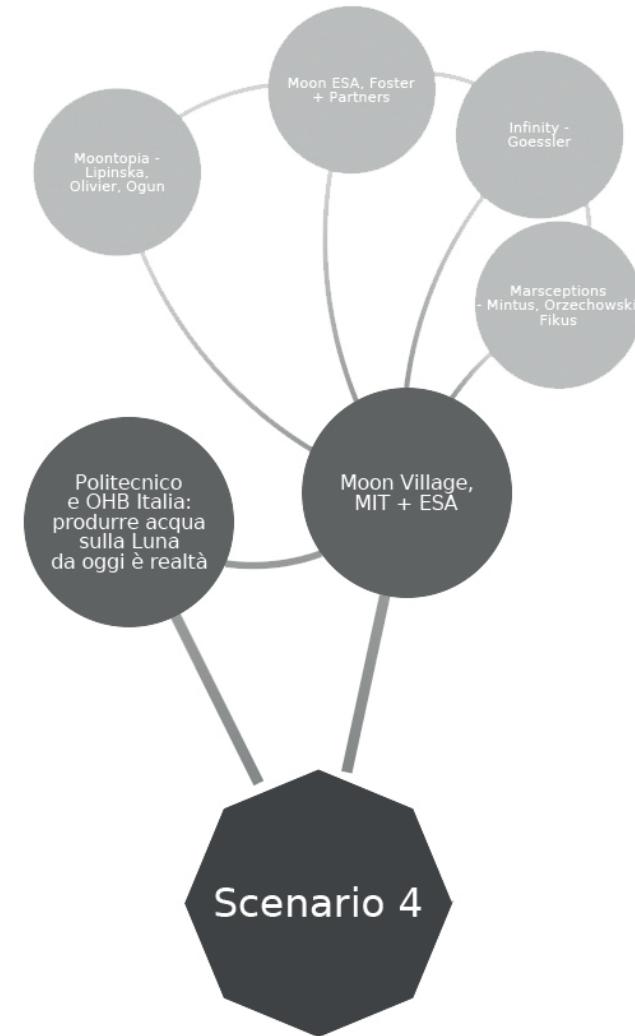


Fig.4 Soluzione progettuale orizzontale

0

7

Il masterplan come
mezzo legittimante il
progetto



Rappresentazione diagramma documentale

Il diagramma rappresentato mostra graficamente i documenti utilizzati all'interno dello scenario 4

In vista dell'incontro con l'intero collettivo di tesi, composto dal relatore e correlatori, si è tenuto un confronto con il relatore Prof.re Arch. G. Durbiano, le cui considerazioni hanno portato allo sviluppo di un nuovo scenario progettuale.

Durante la riunione è stata mostrata l'importanza della realizzazione di un masterplan valutando anche l'inserimento delle infrastrutture di indispensabile supporto ad esso.

L'intento sarebbe quello di non limitare il progetto alla sola forma del singolo modulo bensì ampliare il lavoro di tesi ad un aspetto urbanistico che possa valutarne le rispettive relazioni con l'habitat circostante. Tali possibili deviazioni permetterebbero di influenzare drasticamente la composizione architettonica e urbana della struttura una volta rappresentate tutte le condizioni e le implicazioni in grado di condizionare, direttamente o indirettamente, l'esito progettuale.

Le ipotesi di intervento sviluppate e proposte nello scenario *-I primim passi verso una progettazione architettonica-* sono risultate ancora slegate dal contesto tanto da non permettere di considerare l'intervento come processo architettonico. Il generarsi di ulteriori riflessioni ha evidenziato la stretta vicinanza alla concezione di un elemento di design escludendo tutte le relazioni territoriali e geopolitiche che ne legittimano l'essere architettura.

Come prima cosa, è stato necessario definire il luogo oggetto dell'edificazione per mezzo di documenti da cui studiare a pieno le caratteristiche di ciascuna area potenzialmente individuata per la struttura.

Deviazioni e irruzioni

Scelta del luogo

La scelta è stata determinata in base alle migliori condizioni climatiche, di illuminazione e dalla possibile presenza di ghiaccio riconoscendo, alla luce di tali fattori, la zona limitrofa al cratere Shackleton come area più appetibile. Come affermato anche dagli studi NASA, qui si presenterebbe la possibilità di potenziali giacimenti di ghiaccio, fondamentale per il sostentamento di una base lunare.

Il primo grafico analizzato (Fig.1 e 2) mostra l'illuminazione annuale della cresta polare meridionale nelle vicinanze del cratere Shackleton e, da ciò, si evidenziano i dati rilasciati da LOLA¹ da cui prender in considerazione le aree comprese tra i crateri De Gerlache e Shackleton. Dall'analisi dei dati ne deriva l'individuazione delle differenti aree soggette a differenti gradi di illuminazione permettendoci di individuare zone ad elevata illuminazione, distinguibili per la presenza di luce per la maggior parte della durata dell'anno, e zone in ombra, caratterizzate da condizioni di scarsa illuminazione o da pendii di elevata ripidità².

La seconda mappa topografica (Fig.3 e 4) oggetto di studio ha come parametro di analisi la temperatura media e massima vicino alla superficie del Polo Sud lunare.

La mappa si basa sui dati rilasciati dallo strumento LRO³ e mostra le temperature modellate e sovrapposte su una mappa in rilievo ombreggiato definendo per ciascuna area la rispettiva fascia di temperatura⁴.

Infine, l'ultimo documento (Fig.5) ha mostrato la possibile presenza di ghiaccio nel cratere Shackleton, zona in ombra perenne. Secondo uno studio della NASA è stato scoperto che il cratere potrebbe essere ricoperto dal 22% di ghiaccio il cui mantenimento sarebbe dovuto all'esposizione perenne

1. Lunar Reconnaissance Orbiter Lunar Orbiter Laser Altimeter.

2. J. Stopar, H. Meyer, *Annual illumination and topographical slope of the moon's south polar ridge*, Lunar and Planetary Institute regional planetary imaging facility, Contribute LPI 2179, 2019

3. Diviner Lunar Reconnaissance Orbiter.

4. J. Stopar, *Temperatures near the surface modeled at the south pole of the Moon (85° S to the pole)*, Lunar and Planetary Institute regional planetary imaging facility, Contribute LPI 2216, 2019

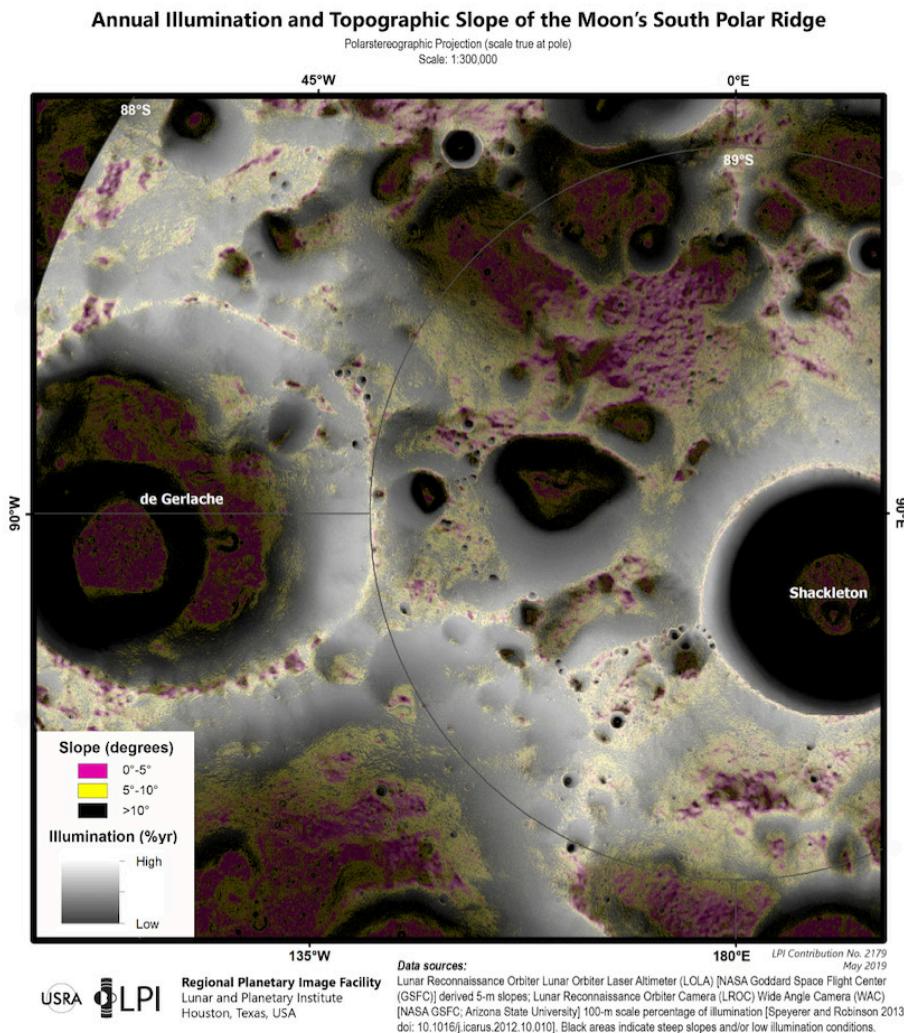


Fig.1 Illuminazione annuale Polo Sud. Disponibile a: www.lpi.usra.edu/lunar/lunar-south-pole-atlas/

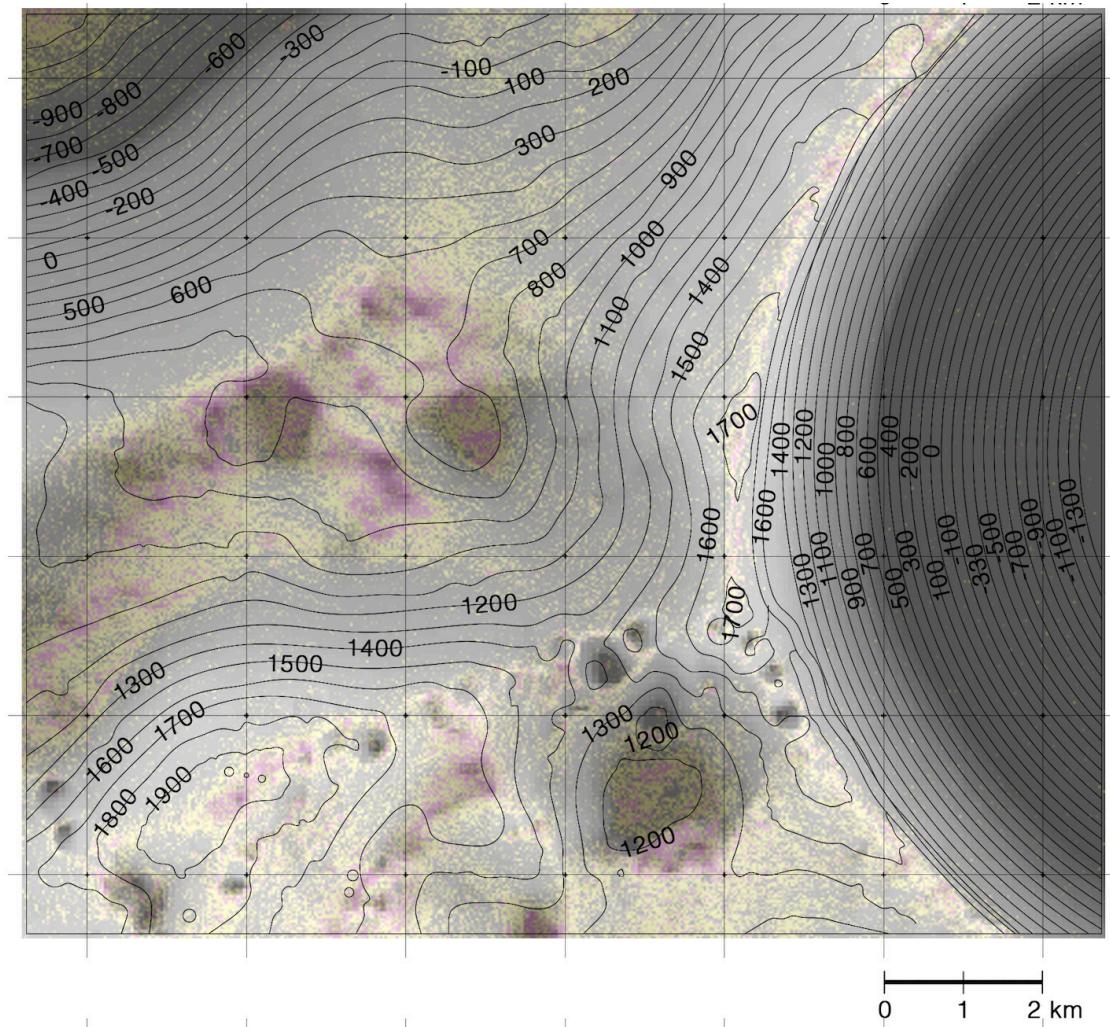


Fig.2 Illuminazione annuale nelle vicinanze del cratere Shackleton.

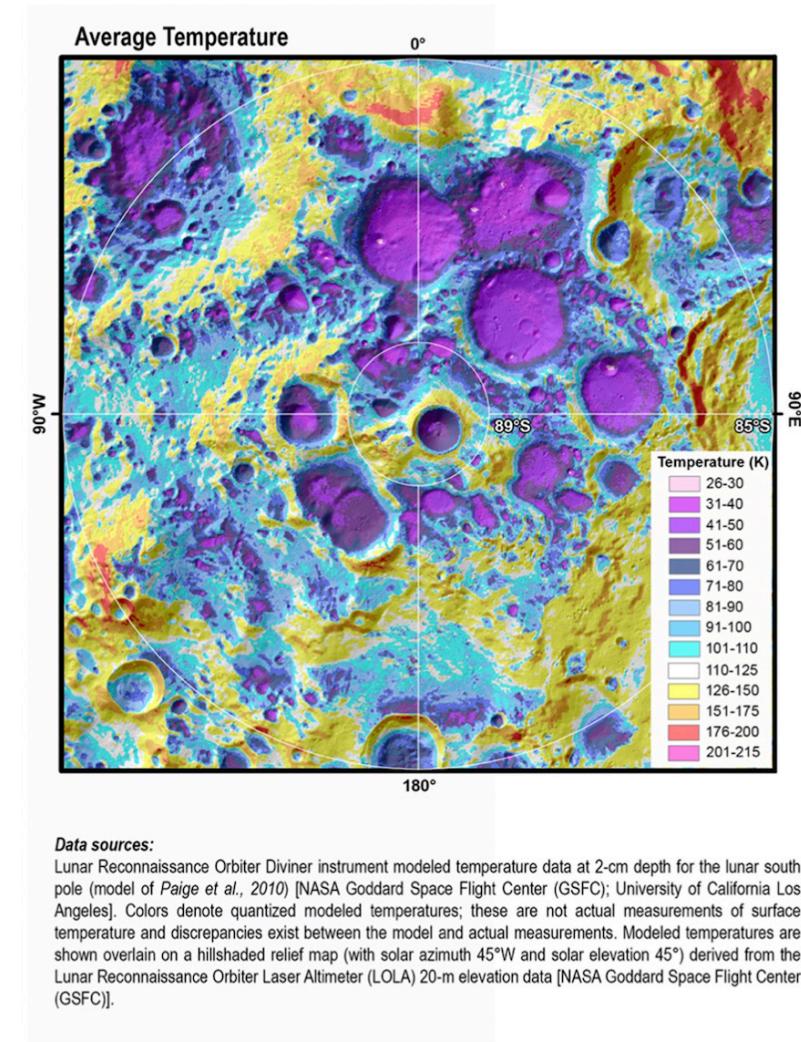


Fig.3 Analisi la temperatura media e massima al Polo Sud. Disponibile a: www.lpi.usra.edu/lunar/lunar-south-pole-atlas/

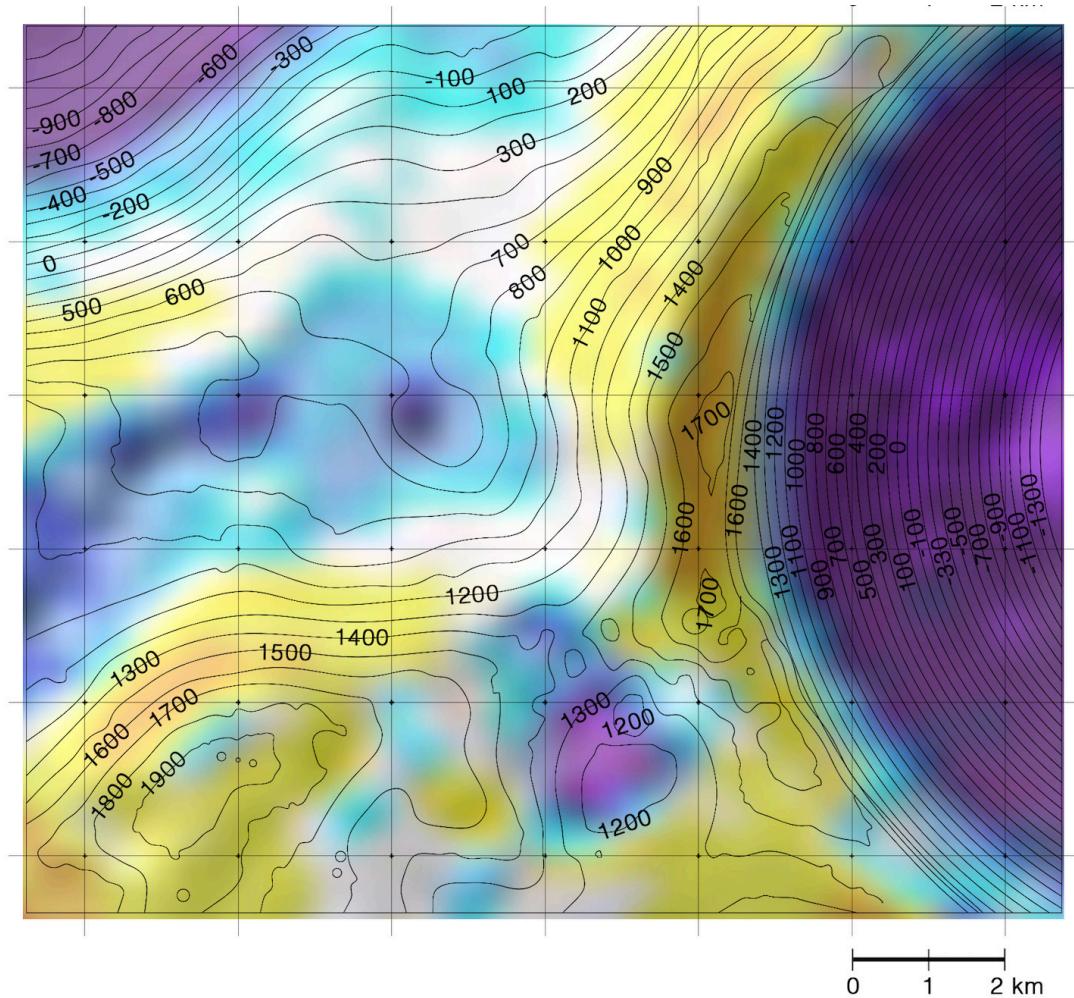


Fig.4 Analisi la temperatura media e massima nelle vicinanze del cratere Shackleton.

in ombra da cui ne derivano le temperature estreme di riferimento.

In aggiunta, con le analisi del cratere è stato osservato come sia il fondo che le pareti siano riflettenti confermando la potenziale presenza di ghiaccio che potrebbe presentarsi. Oltre ad un fattore di necessario sostentamento, la presenza sarebbe fonte di possibili implicazioni per il progetto riconducibili alla realizzazione delle infrastrutture strettamente essenziali per il trasferimento della materia prima in superficie e per la sua trasformazione in acqua e ossigeno⁵.

A tal proposito è stato analizzato un articolo riguardante la produzione di queste ultime a partire dalla regolite lunare permettendo, quindi, di non dipendere dal cratere e dalle infrastrutture per l'estrazione e trasporto di acqua e ossigeno derivate dal ghiaccio.

Il Politecnico di Milano e OHB Italia⁶ stanno conducendo esperimenti al fine di garantire la produzione di acqua sulla superficie lunare attraverso un processo chimico fisico per mezzo del quale, a partire dalla presenza di ossigeno nella regolite, l'impianto sarebbe in grado di produrre acqua dall'estrazione degli ossidi presenti nei minerali che compongono il terreno della luna⁷.

Da questo ne deriverebbe un enorme vantaggio generato dall'abbandono del vincolo di posizionamento nelle strette vicinanze dell'habitat evitando la dipendenza della nostra struttura dalle grandi infrastrutture destinate all'estrazione del ghiaccio dal cratere stesso.

Nonostante le ultime osservazioni, i documenti fino ad ora analizzati non permettono di acquisire ulteriori conoscenze necessarie per la valutazione di un'altra area di edificazione

5.NASA, *Researchers Estimate Ice Content of Crater at Moon's South Pole*, NASA, 2020.

6. Orbitale Hochtechnologie Bremen.

7.Politecnico e OHB Italia: *Produce acqua sulla Luna da oggi è realtà*, 2021.

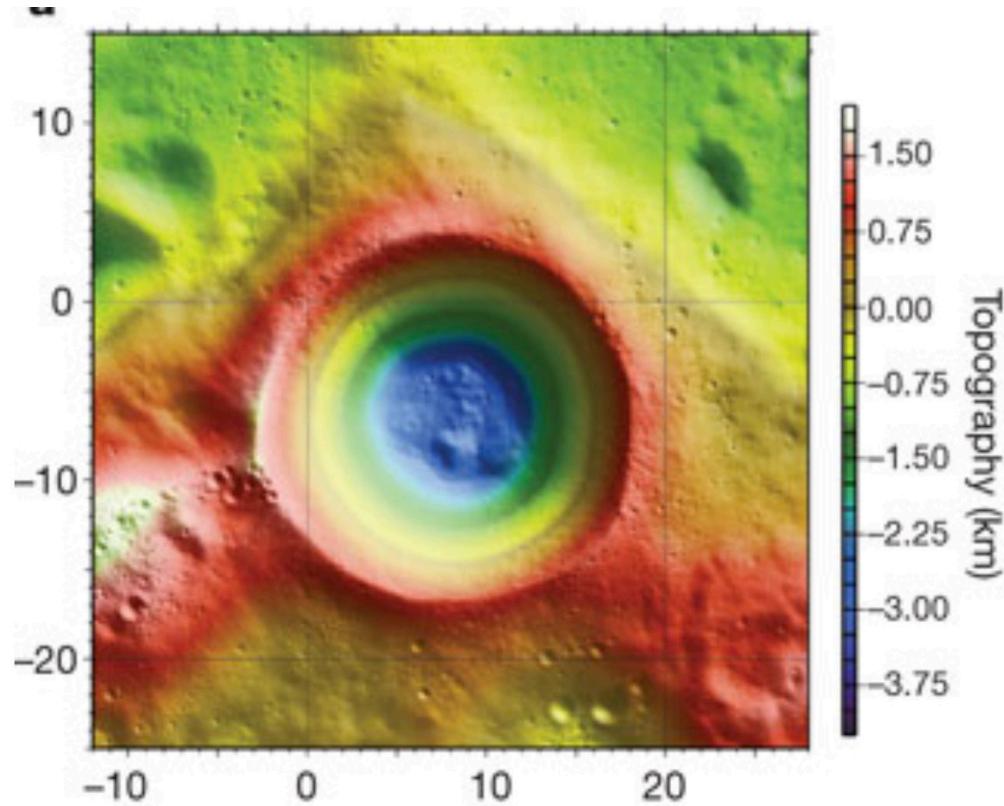


Fig.5 Possibile Presenza di ghiaccio. Disponibile a: www.nature.com/articles/nature11216

rispetto a quelle del Polo Sud che, per altro, convalida a nostro vantaggio la sua importanza: di fatto, numerose ricerche per la realizzazione di una possibile colonia lunare, di riferimento per la nostra ipotesi progettuale, hanno sede nell'area in analisi dettate dalle numerose condizioni favorevoli sopra citate.

L'analisi per la concezione di uno scenario progettuale successivo è proseguita con lo studio dei progetti già proposti atti a riportare l'uomo sulla Luna in maniera permanente. Sono stati analizzati i progetti di Foster + Partners per ESA (Fig. 6), Moontopia di Monika Lipinska, Laura Nadine Olivier, Inci Lize Ogun (Fig. 7 e 8) e Marsception di Agata Mintus, Leszek Orzechowski, Wojciech Fikuse (Fig.9). Lo studio di alcuni "progetti tipo" è risultato utile per comprendere con maggiore consapevolezza la struttura, i materiali, le tecnologie, le funzioni e le distribuzioni all'interno della base.

Nel progetto di Foster per ESA si è compreso l'utilizzo della tecnica mista costruttiva espressa da un edificio di classe 2 composta da un modulo inflatabile e una parete strutturata cellulare in grado di schermare la struttura dalle radiazioni spaziali e dalle micrometeoriti. Ad integrazione, la tecnica di stampa 3D faciliterebbe l'insediamento lunare con una logistica ridotta dalla Terra⁸. Le future abitazioni lunari dovranno per l'appunto seguire la logica simile attuata sulla Terra riguardante la progettazione per climi estremi e sfruttando i vantaggi dell'utilizzo di materiali locali e sostenibili per la sua realizzazione⁹. Inoltre, analizzando il progetto di Foster + Partners si è compresa un'altra particolarità attraverso la quale saremmo in grado

Analisi progetti proposti

8. Hovland S., team del volo spaziale umano dell'ESA.

9. De Kestelier X., Foster & Partners.

di giustificare ulteriormente la realizzazione di un habitat ai poli lunari in quanto essi offrirebbero un intervallo di temperatura più moderato, caratteristica importante per l'utilizzo della stampa 3D.

Dall'analisi dei restanti progetti elencati in precedenza, sono derivate diverse considerazioni in merito all'aspetto morfologico e distributivo esterno, illuminazione dall'esterno e protezione dalle radiazioni, tecnologia inflatabile, tempistiche di stampa 3D, distribuzione interna e destinazione d'uso.



Fig.6 Foster + Partners per ESA. Disponibile a:
www.fosterandpartners.com/projects/lunar-habitation/#gallery



Fig.7 Moontopia. Disponibile a:
www.dezeen.com/2017/01/17/nine-visions-lunar-architecture-moon-moontopia-competition/

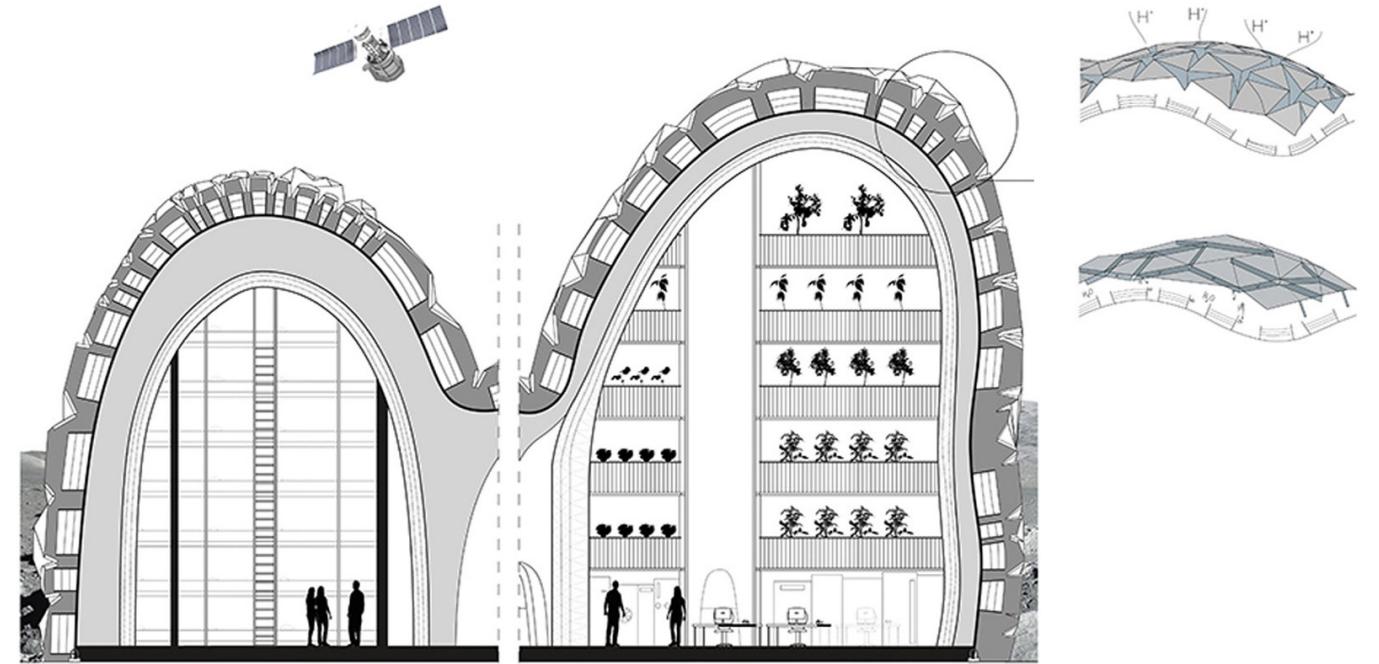


Fig.8 Moontopia. Disponibile a:
www.fosterandpartners.com/projects/lunar-habitation/#gallery



Fig.9 Marsception. Disponibile a:
worldarchitecture.org/article-links/epphn/winners_announced_for_marsception_2018_competition.html

Da ciò ne conseguono tre tipologie di soluzione progettuale che prendono in considerazione i fattori precedentemente elencati con principale focus in tema di illuminazione, radiazioni e piogge di micrometeoriti. La prima proposta progettuale (Fig.10) è caratterizzata da un modulo cilindrico rigido verticale con tecnologia inflatabile al fine di un'espansione del volume una volta posizionato nel sito selezionato. Questo processo classificherebbe la struttura come tipologia di classe 1, ovvero completamente realizzata sulla Terra. Per la protezione dalle radiazioni si è optato per una tecnologia a funghi attivi e ghiaccio mostrata nelle analisi dei materiali utilizzabili nello scenario precedente. Il cilindro rigido dispone al suo interno di un cono attraverso il quale la luce, proveniente dalla fonte zenitale, illumina l'intero modulo internamente garantendo luce diffusa e dunque evitando i raggi diretti e nocivi alla salute dell'equipaggio. L'ipotesi di masterplan mostra uno sviluppo a griglia e una posizione della colonia nelle vicinanze del cratere, per le considerazioni affrontate nell'analisi delle mappe territoriali (temperatura, morfologia e illuminazione). Per quanto riguarda le funzioni presenti al suo interno, sono state valutate le attività principali riguardanti il lavoro e il relax degli astronauti durante una missione di lunga durata superiore ai 30 giorni; tali funzioni sono dettate dalle attività che ipotizziamo possano svolgersi all'interno della base quali dormire, mangiare, lavorare, rilassarsi, attività fisica e ricreativa. La zona relax, la zona ricreativa e la palestra sarebbero infatti funzioni necessarie per le missioni in quanto permetterebbero di mantenere la salute fisica e mentale durante la missione. Inoltre, a tale scopo è da valutare attentamente anche l'aggiunta della

Soluzioni progettuali

realtà aumentata e immersiva¹⁰.

La seconda soluzione (Fig.11) possibile è caratterizzata da un modulo rigido classico verticale con l'implementazione di un guscio di schermatura in regolite realizzato con stampa 3D e abbandonando dunque la tecnologia a funghi attivi, di maggior complessità realizzativa.

Si procederebbe dunque all'adattamento delle tecnologie impiegate nel progetto di Foster + Partners per ESA in quanto in grado di garantire la protezione delle persone e della struttura. Il modulo ipotizzato in questa soluzione sarebbe di classe 2 grazie all'utilizzo delle risorse presenti in situ atte ad una migliore sostenibilità della missione.

Il cilindro garantirebbe, anche in questo caso, un cono di luce in grado di distribuire la luce zenitale in tutti gli ambienti del modulo. Inoltre, si è pensato alla realizzazione di piccole aperture, valutate come necessarie per il mantenimento della salute psicologica e fisica dell'equipaggio, richiamando il riferimento delle soluzioni simili impiegate per il progetto Moon Village di ESA e MIT. La prima e la seconda soluzione potrebbero essere valutate congiuntamente implementando, al modulo rigido della soluzione ultima proposta, l'uso della tecnologia inflatabile della soluzione precedente così da ampliarne il volume interno.

La terza soluzione (Fig.12) si differenzerebbe dalle precedenti in quanto ipotizzata come struttura di classe 3 e quindi realizzata in situ mediante la tecnica costruttiva di stampa 3D e l'impiego di materiale locale quale la regolite. La struttura sarebbe composta da un cono rigido strutturale posizionato al centro con apertura verticale in

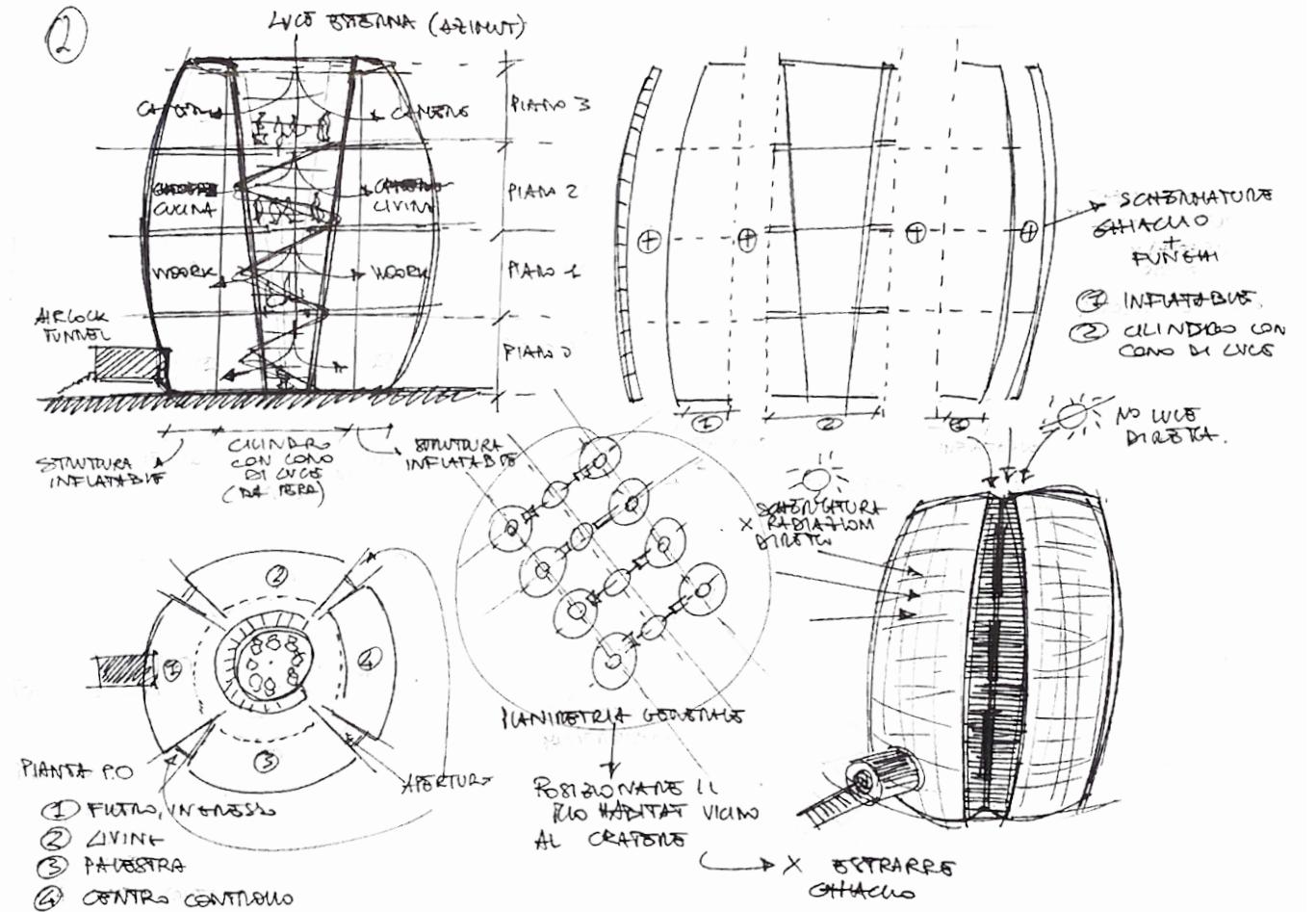


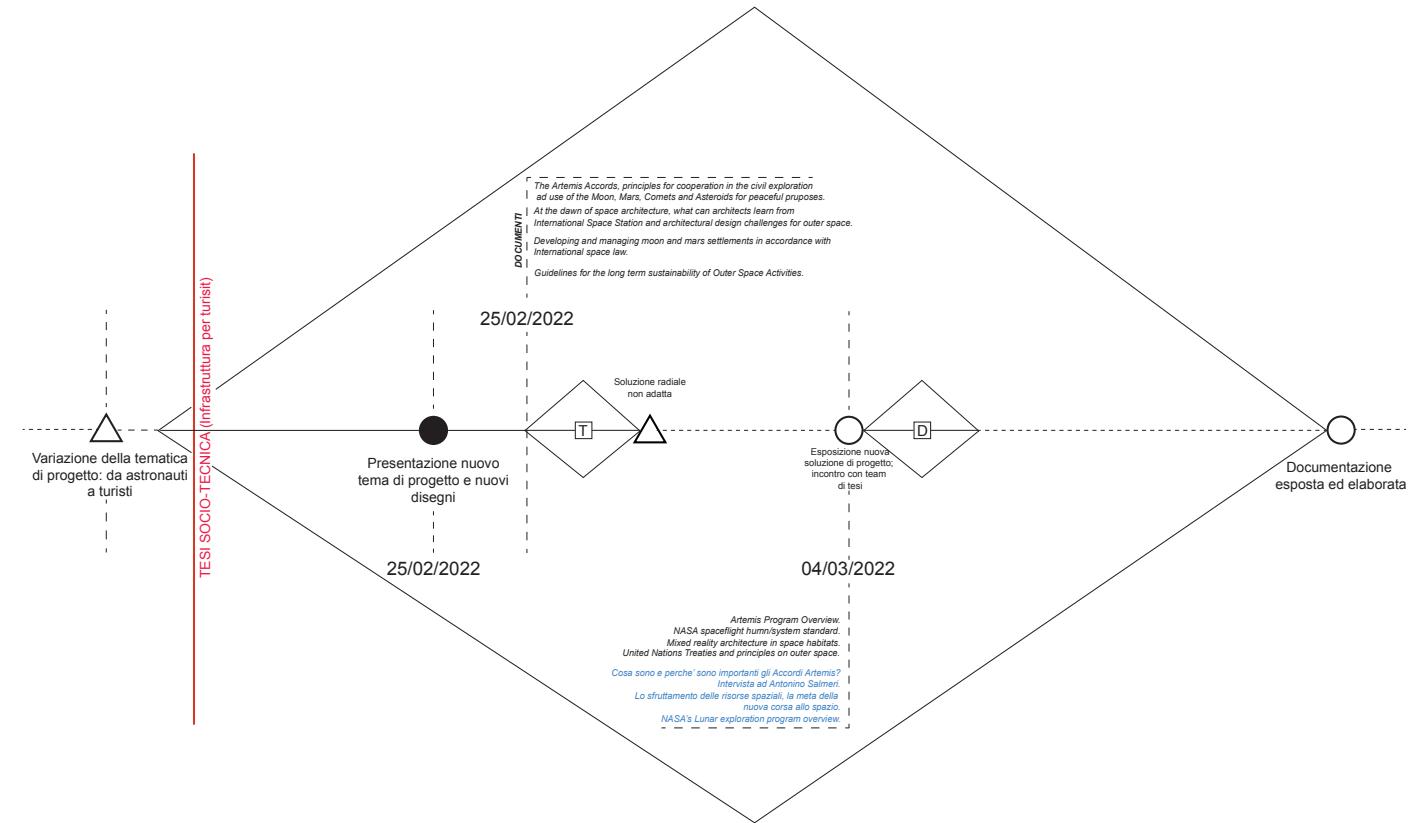
Fig.10 Prima proposta progettuale

10. Sumini V., co-relatrice collettivo tesi

modo da distribuire la luce all'interno dei diversi livelli. La composizione della stessa ne faciliterebbe la distribuzione della luce proveniente dal soffitto in tutta la struttura, caratteristica presente in tutte e tre le soluzioni. Inoltre, la parte centrale del cono sarebbe caratterizzata dallo sviluppo multipiano di una serra per la produzione alimentare e per il miglioramento della vivibilità degli spazi interni, mentre, il modulo a quattro ingressi risponderebbe a eventuali problemi in caso di emergenza o flusso elevato. Anche in questo caso si è valutato uno sviluppo planimetrico del masterplan a griglia così da migliorare gli spostamenti tra i diversi moduli così da facilitare, in ottica di una futura realizzazione, gli spostamenti.

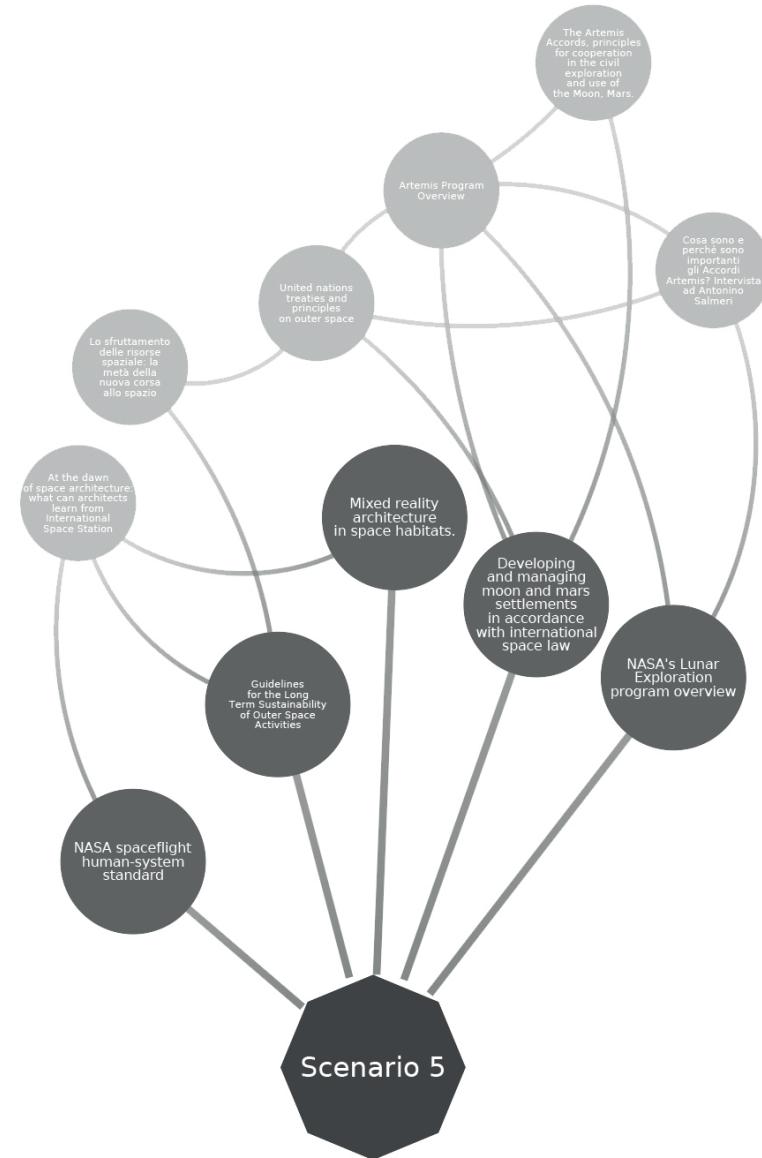
08

Cooperazione e
sostenibilità



Rappresentazione processo progettuale Scenario 5
(Ventaglio ciclo del collettivo di Latour)

Il diagramma rappresentato mostra graficamente il percorso progettuale ricostruito per lo scenario 5



Rappresentazione diagramma documentale

Il diagramma rappresentato mostra graficamente i documenti utilizzati all'interno dello scenario 5

Deviazioni e irruzioni

L'incontro con il collettivo di tesi, avvenuto il 7 Gennaio, ha segnato la deviazione più rilevante all'interno dell'intero processo progettuale. La discussione emersa a seguito della presentazione dello scenario progettuale *Il masterplan come mezzo legittimante il progetto* ha presentato numerose osservazioni e deviazioni sulle idee proposte.

Le prime considerazioni hanno riguardato la poca innovazione architettonica dei moduli progettati con chiara evidenziazione di un forte richiamo a design architettonici già sviluppati per analoghi obiettivi. Si è riscontrata nuovamente una delle problematiche principali esposte già durante il primo incontro di seminario inerente alla considerazione di questo intervento come opera di design a cui si lega una potenziale ripetizione dell'oggetto in un contesto senza un reale collegamento ad esso. Una possibile soluzione per risolvere questa problematica sarebbe la realizzazione di un masterplan dell'area d'interesse, nel nostro caso il polo sud, rappresentando tutte le infrastrutture di supporto inerenti come il landing pad, le strade e le strutture per la produzione energetica giungendo di fatto alla considerazione dell'intervento come una struttura interconnessa ad ogni singolo elemento del masterplan dell'area.

Ulteriore attenzione è stata posta verso il piano della missione e la timeline di azione per il progetto, particolari rilevanti per la definizione di questo tipo di architettura e tematiche non analizzate fino ad ora.

Partendo dal presupposto che un'architettura sulla Luna possa essere concretamente realizzabile nei prossimi anni, bisognerebbe capire la corretta giustificazione e legittimazione della stessa in territorio extra-terrestre in

ambito geo-politico e giuridico¹.

L'irruzione che ha portato ad una delle più rilevanti deviazioni dell'intero processo progettuale ha riguardato la rivalutazione della missione atta all'ospitare i primi astronauti, in quanto è emerso come una simile operazione possa essere più conciliabile con gli obiettivi di agenzie spaziale governative quali NASA o ESA comportando dunque una inevitabile deviazione della tematica progettuale. Condotti dal collettivo di tesi e dalle relative considerazioni sopra citate, abbiamo dunque considerato di maggior realizzazione un progetto di tipo commerciale-turistico².

Un altro aspetto di fondamentale importanza esposto dal Dr. Antonino Salmeri ha riguardato il tema della sostenibilità dell'habitat oggetto di progettazione. Questa riflessione ha portato a riflettere verso una strategia di riuso o smaltimento e dispiego della struttura dipendente da una considerazione giuridica e geopolitica che vieta l'appropriazione stabile di parte del territorio lunare, considerata bene dell'umanità e quindi non appropriabile³.

Durante la discussione è stata valutata inoltre la validità della scelta di locazione della struttura in quanto un atterraggio nelle zone dell'equatore lunare risulterebbe più semplice e offrirebbe la possibilità di usufruire della tecnologia di estrazione di ossigeno e acqua dalla regolite lunare. Ne deriverebbe dunque un'accurata attenzione in ottica di una potenziale variazione del luogo di insediamento selezionato precedentemente⁴.

La nuova soluzione adottata ha imposto una nuova riconsiderazione degli spazi fino ad ora presi in considerazione solo per scopo lavorativo piuttosto che

turistico. All'interno dovranno essere inseriti ambienti più confortevoli e con funzionalità differenti, con una valutazione rispetto alla possibilità di depressurizzare ambienti, come le camere, qualora queste non venissero utilizzate così da ottenere un considerevole risparmio energetico. Le strutture adibite ad ospitare le aree comuni e le aree degli astronauti saranno sempre pressurizzate in quanto viene ipotizzato il rispettivo continuo utilizzo⁵.

Lo sviluppo di un'infrastruttura turistica dovrebbe porre particolarmente attenzione alla questione della cooperazione internazionale, come già riportato nel capitolo iniziale dei *-Condizioni e dati certi-*. La questione di elevata importanza comporterebbe a ri-valutare l'utilizzo di infrastrutture condivise giustificando inoltre la volontà di inserire il nostro progetto in un contesto come il polo sud lunare. Inoltre, la cooperazione vincolerebbe gli stati o i privati ad un'impossibilità di impossessarsi di porzioni di corpi celesti.

Tutto ciò ha portato a ipotizzare una struttura semi-permanente in grado di essere smantellata una volta terminato il ciclo di vita⁶.

Prendendo come assodato l'affermazione di cui al capitolo *-Condizioni e dati certi-*, per la quale l'utilizzo del territorio è legittimo da parte di stati e privati purché esso non sia limitante per accesso di terzi⁷, l'obiettivo dello scenario corrente si consoliderebbe in merito alla realizzazione di sistemi abitativi strettamente vincolati alle condizioni extraterrestri oltre alla valutazione delle sole esigenze degli occupanti.

1.Salmeri A.,
co-relatore collettivo tesi.

2.Salmeri A, Sumini V.,
co-relatori collettivo tesi.

3.Salmeri A.,
co-relatore collettivo tesi.

4.Perino M. A.,
co-relatrice collettivo tesi.

5.Sumini V., co-relatrice collettivo tesi.

6. A. Salmeri, *Developing and managing moon and mars settlements in accordance with international space law*, in <<International Astronautical Congress (IAC)>>, 71, 2020

7.Art.I OST, Outer Space Treaty.

Progetto di missione

8. K. Enc, L. Basarir, *At the dawn of space architecture: what can architects learn from International Space Station and architectural design challenges for outer space*, in <<Smart Buildings, Smart Cities - Architecture, Technology and Innovation 2020 (ATI 2020)>>, 2020.

9. Sherwood, *Space Architecture for MoonVillage*, in <<International Conference on Environmental System (ICES)>>, 46, 2016.

10. Sumini V., co-relatrice collettivo tesi.

11. K. Enc, L. Basarir, *At the dawn of space architecture: what can architects learn from International Space Station and architectural design challenges for outer space*, in <<Smart Buildings, Smart Cities - Architecture, Technology and Innovation 2020 (ATI 2020)>>, 2020.

Progettare la missione in ottica turistica partirebbe dalle analoghe richieste fondanti, già analizzate precedentemente, per la realizzazione di strutture per astronauti, come considerare il sistema di trasporto e le infrastrutture di supporto, per giungere poi ad una variazione delle effettive esigenze relative agli spazi fruibili delle singole abitazioni⁸.

Sono da prendere in particolare attenzione le funzioni primarie svolte all'interno della base come le funzione del sonno, dell'igiene, del mangiare, del relax e tempo libero ponderando le esigenze differenti tra astronauti e turisti. Con l'avvento delle missioni spaziali turistiche, la psicologia del passeggero inizierebbe a mutare e con essa il ruolo dell'architettura spaziale che inizierebbe a confrontarsi con sfide sempre più sofisticate prendendo in seria considerazione la componente psicologica e sociologica⁹. Risulta necessario specificare come, all'interno della base turistica, dovranno essere presenti comunque figure di supporto ai visitatori con un rapporto astronauta-turista di 1 a 1¹⁰.

Per la realizzazione di un'infrastruttura lunare per turisti è necessario analizzare le regole pratiche per la progettazione di habitat spaziali con focus in merito alle funzioni integrabili, al numero di persone ospitate, alla durata, alle tempistiche, alla struttura di realizzazione della base, al controllo impiantistico e alla protezione ambientale da possibili minacce¹¹.

Il documento analizzato *At the dawn of space architecture: what can architects learn from International Space Station and architectural design challenges for outer space* (Enc K., Basarir L., 2020) ha mostrato il volume abitabile netto

minimo da mantenere all'interno delle strutture riconducibile ad un valore pro-capite di 25 m³.

I requisiti architettonici delle missioni e delle sfide sono chiariti negli standard del sistema umano del volo spaziale della NASA in termini di volume, configurazioni, percorsi, porte e portelli, restrizioni, finestre e illuminazione. Viene comunque chiarito che, sebbene siano state considerate in dettaglio le misure e le restrizioni di tutti gli elementi principali per un habitat in ambiente extraterrestre, non sono presenti trasposizioni architettoniche e risultati per la configurazione di un'infrastruttura abitabile¹².

Per la realizzazione di questo scenario progettuale sono stati dunque analizzati i requisiti di progettazione precedentemente accennati al fine di ottenere un risultato ottimale e conforme alle esigenze analizzate.

Con la lettura del *spaceflight human-system standard vol.2* (NASA, 2019)¹³ sono state affrontate questioni non approfondite negli scenari precedenti quali la sistemazione della spazzatura, la presenza di una stanza medica, l'importanza dell'area ricreativa e di relax, l'orientamento, la pulizia e l'illuminazione.

Partendo dalla più banale in ambito terrestre, la tematica dei rifiuti deve essere risolta dalla struttura mediante sistemi di gestione dei rifiuti per accogliere, stivare, neutralizzare e smaltire tutti i rifiuti umidi e asciutti previsti, fornendo il controllo degli odori posizionandolo in un ambiente che limiti le interferenze con altri ambienti¹⁴.

Fondamentale, soprattutto in una struttura turistica, è la presenza di un'area con capacità ricreativa in modo da mantenere la salute comportamentale e psicologia in un ambiente che potrebbe risultare chiuso e isolato. A tal

12. K. Enc, L. Basarir, *At the dawn of space architecture: what can architects learn from International Space Station and architectural design challenges for outer space*, in <<Smart Buildings, Smart Cities - Architecture, Technology and Innovation 2020 (ATI 2020)>>, 2020.

13. NASA, *NASA spaceflight human-system standard, Volume 2: Human factors, habitability, and environmental health*, in <<NASA-STD-3001>>, Volume 2, Revision B, METRIC/SI (ENGLISH), 2019

14. NASA, *NASA spaceflight human-system standard, Volume 2: Human factors, habitability, and environmental health*, in <<NASA-STD-3001>>, Volume 2, Revision B, METRIC/SI (ENGLISH), 2019

proposito, l'illuminazione è di rilevante importanza nella progettazione degli spazi interni della struttura. Il volume 2 definisce anche gamme cromatiche e colorazioni di luce in base agli ambienti e alle funzioni all'interno svolte. I sistemi d'illuminazione, inoltre, devono fornire una luce bianca composta da almeno tre diverse configurazioni di temperatura e intensità del colore: una per l'illuminazione generica, una per il pre-sonno e un'altra per facilitare la viabilità dei percorsi.

Collocazione Prima dello sviluppo architettonico dello scenario abbiamo ragionato sulla possibile collocazione del progetto in base alle molteplici analisi svolte del suolo lunare riguardanti la temperatura media annua, la morfologia del terreno e l'illuminazione media annua. In seguito alle analisi precedentemente elencate sono stati selezionati quattro possibili punti d'interesse (A,B,C,D) (Fig.1) rispondenti alle caratteristiche necessarie per la realizzazione di un habitat lunare. La scelta finale è ricaduta sul punto A siccome caratterizzato da migliori condizioni in tutti e tre gli aspetti analizzati.

Soluzione progettuali Il progetto ipotizzato in questo scenario progettuale è stato pensato in più fasi realizzative per un arco temporale complessivo di 2 anni secondo le quali il complesso, adattabile, si amplierebbe ospitando più moduli fino ad arrivare ad un massimo di 24 persone ospitate. La scelta del concept è ricaduta su una forma circolare al fine di favorire un migliore orientamento interno¹⁵. Realizzando un concept circolare l'intenzione è stata quella di posizionare al centro della struttura la zona ricreativa,

15. NASA, *NASA spaceflight human-system standard, Volume 2: Human factors, habitability, and environmental health*, in <<NASA-STD-3001>>, Volume 2, Revision B, METRIC/ SI (ENGLISH), 2019

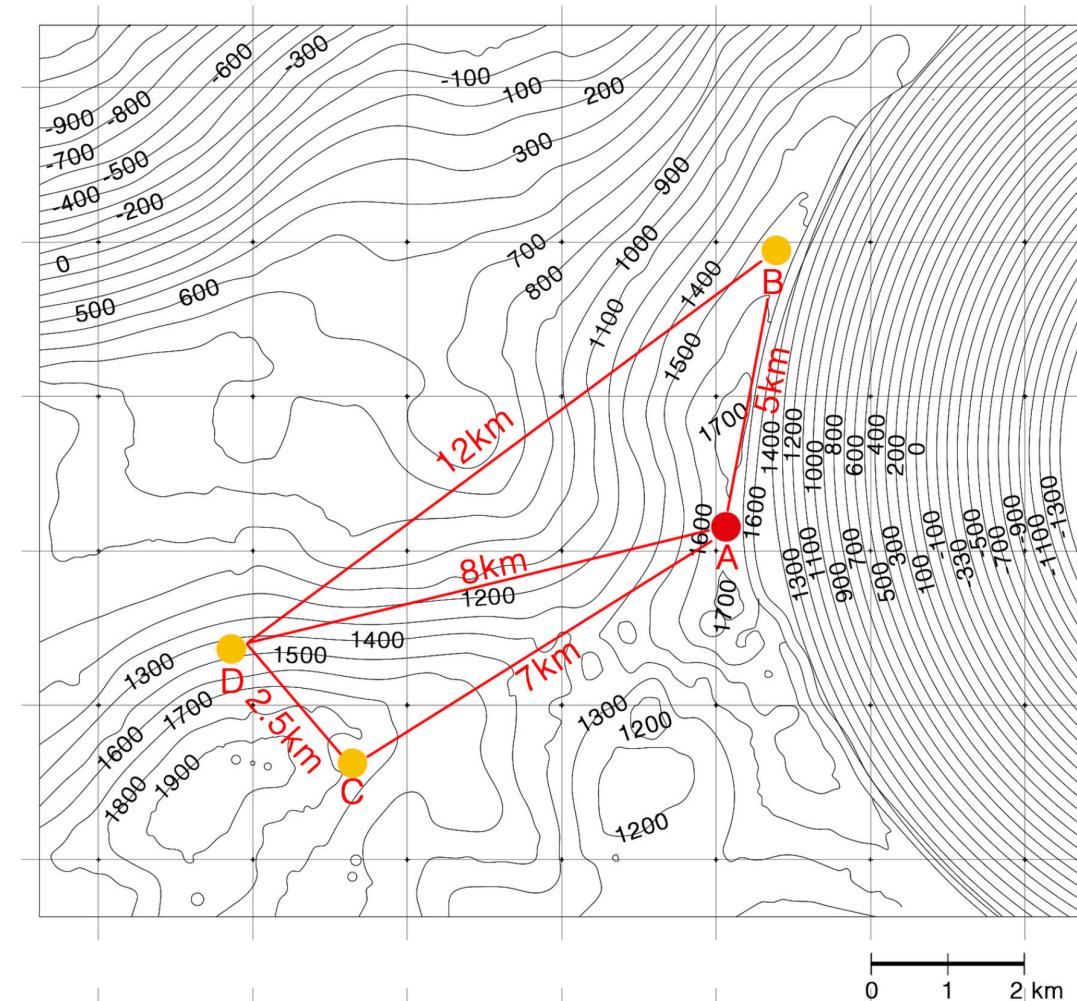


Fig.1 Collocazione struttura

sociale e di relax riconoscendo in esse punto fondamentale per il mantenimento di una sanità mentale nonchè per la sequenziale riuscita della missione.

Posizionare al centro la zona più rilevante permetterebbe inoltre di favorire gli spostamenti dalle stanze alla zona fulcro centrale. La geometria circolare del secondo blocco comprendente i restanti moduli permetterebbe di porre sulla suddetta circonferenza i restanti servizi conferendo a ciascuno importanza analoga.

La prima fase di progetto (Fig. 2) prevederebbe la realizzazione del modulo centrale sociale e ricreativo dal quale poi innestare i diversi moduli contenenti le diverse funzioni. La seconda fase (Fig. 3) prevederebbe invece l'installazione della prima sezione contenente l'ingresso, dotato di Air Lock Tunnel, e i moduli delle stanze ospitanti di turisti e astronauti di supporto. Questa configurazione potrebbe ospitare due turisti e quattro astronauti. La fase tre (Fig. 4) includerebbe l'aggiunta della sezione contenente il modulo della cucina con zona pranzo e la zona palestra. Nella quarta fase (fig. 5) la struttura verrebbe implementata con moduli contenenti il dormitorio per gli astronauti e un modulo lavorativo. Lo stadio finale (Fig. 6), la cui ultimazione si ipotizzerebbe nel 2036, comprenderebbe l'aggiunta di una seconda sezione contenente nuove stanze per turisti e astronauti portando in fine la capienza totale a 24 persone. All'interno dell'infrastruttura, come esplicitato nel volume 2 della NASA, sarebbero presenti locali per lo stivaggio dei rifiuti e una stanza per le cure mediche.

L'ipotesi di realizzare una struttura con più moduli componibili, contenenti le singole funzioni, è stata pensata per avere un adattamento composito e funzionale sfruttando

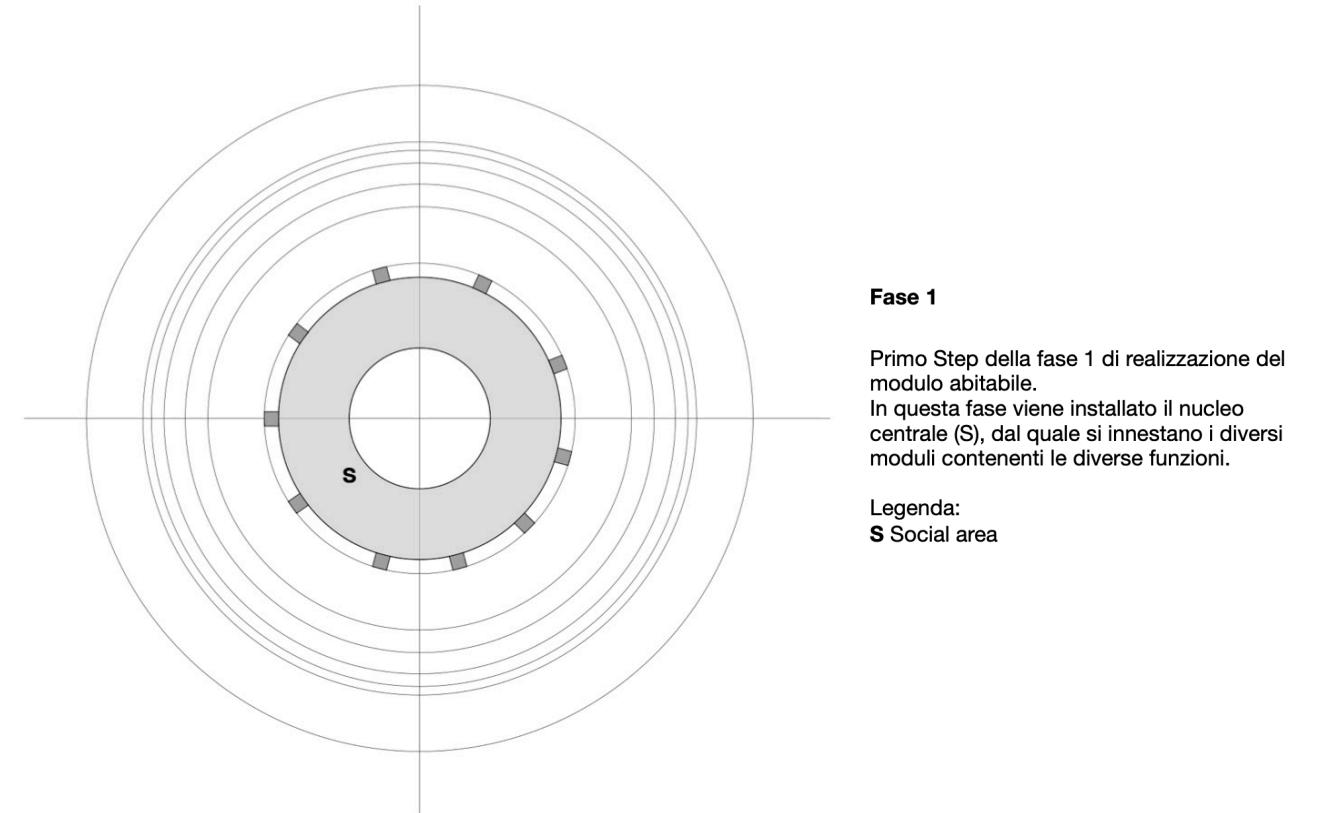
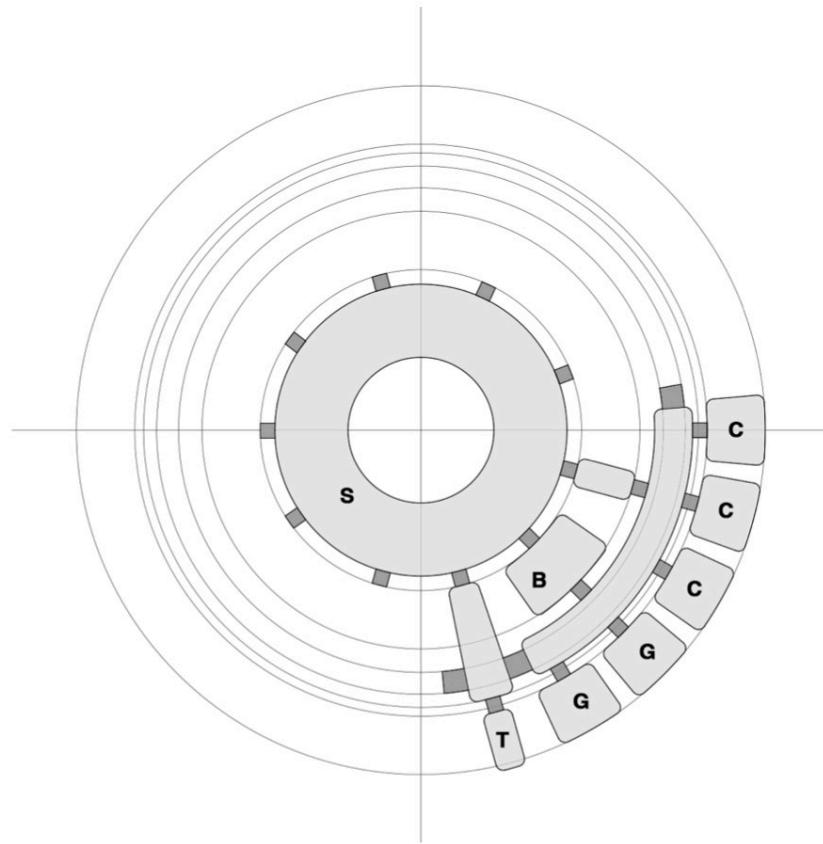


Fig.2 Fase 1



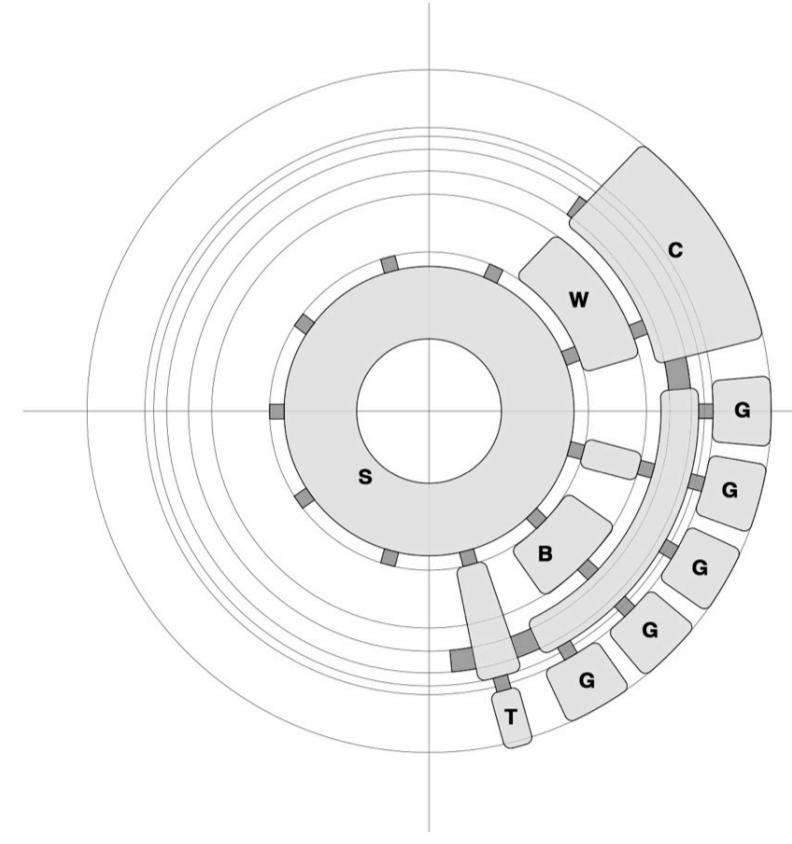
Fase 2

Il secondo Step, fase 2, prevede l'installazione della prima sezione contenente l'ingresso dotato di Air Lock Tunnel (T), i moduli delle stanze (Guest e Crew) e i servizi (B). Tale configurazione può ospitare 4 Guest e 6 Crew.

Legenda:

- | | |
|-------------------|----------------|
| T Air Lock Tunnel | B Servizi |
| S Social area | G Stanze Guest |
| C Stanze Crew | |

Fig.3 Fase 2



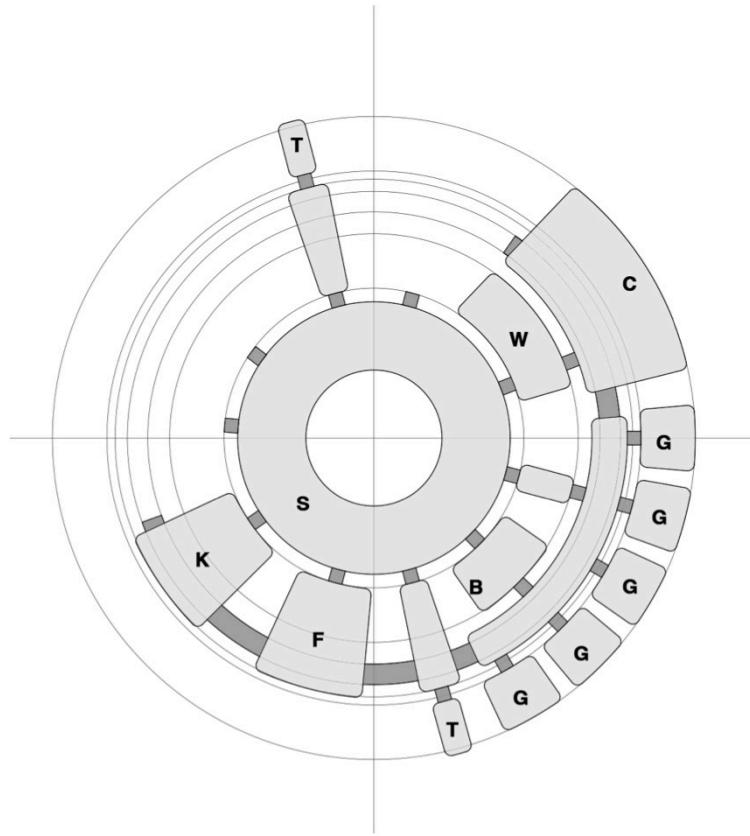
Fase 3

Il terzo Step della prevede l'aggiunta della sezione Q contenente il modulo per le stanze della Crew (10 persone) e il modulo contenente work station.

Legenda:

- | | |
|-------------------|----------------|
| T Air Lock Tunnel | B Servizi |
| S Social area | G Stanze Guest |
| C Stanze Crew | W Work |

Fig.4 Fase 3



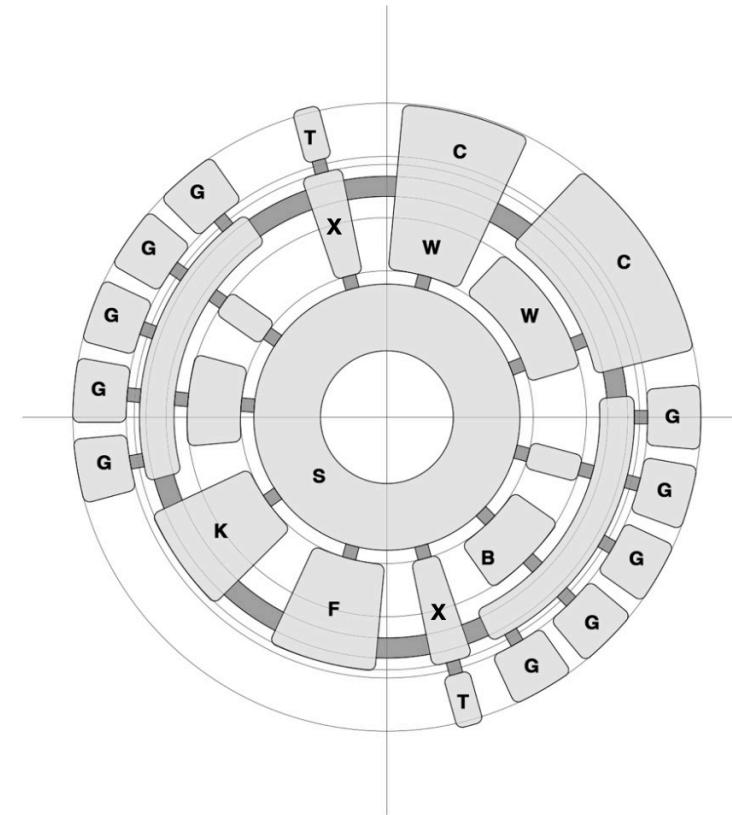
Fase 4

Il quarto step prevede aggiunta della sezione K/F contenente la zona fitness (F) e la cucina con zona pranzo (K). Inoltre viene aggiunto un nuovo ingresso (T).

Legenda:

- | | |
|------------------------|----------------|
| T Air Lock Tunnel | B Servizi |
| S Social area | G Stanze Guest |
| C Stanze Crew | W Work |
| K Cucina e zona pranzo | |
| F Fitness | |

Fig.5 Fase 4



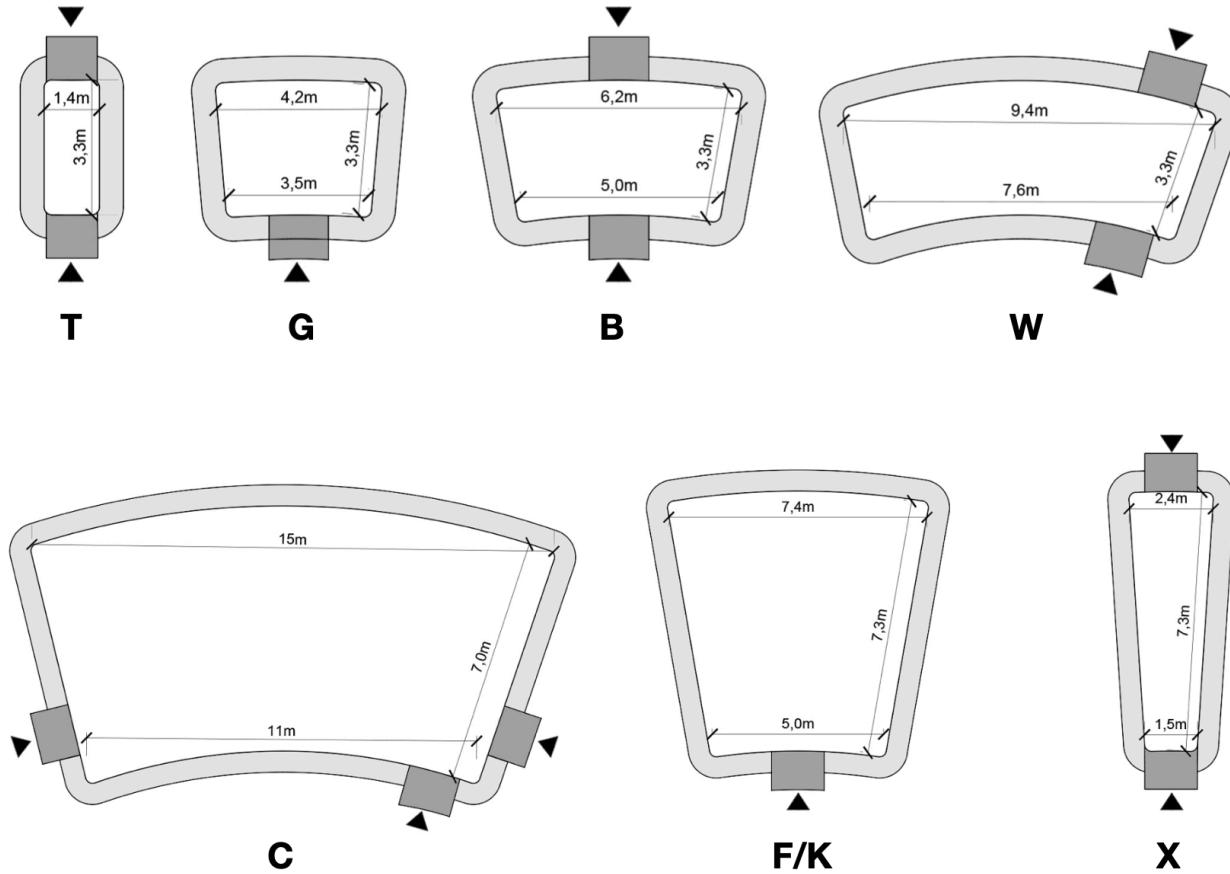
Fase 5

Il quinto step, quello finale, prevede l'aggiunta di una seconda sezione G e C/W contenenti altri 10 posti Guest e 10 posti Crew.

Legenda:

- | | |
|------------------------|----------------|
| T Air Lock Tunnel | B Servizi |
| S Social area | G Stanze Guest |
| C Stanze Crew | W Work |
| K Cucina e zona pranzo | |
| F Fitness | |

Fig.6 Fase 5



Moduli che compongono la struttura

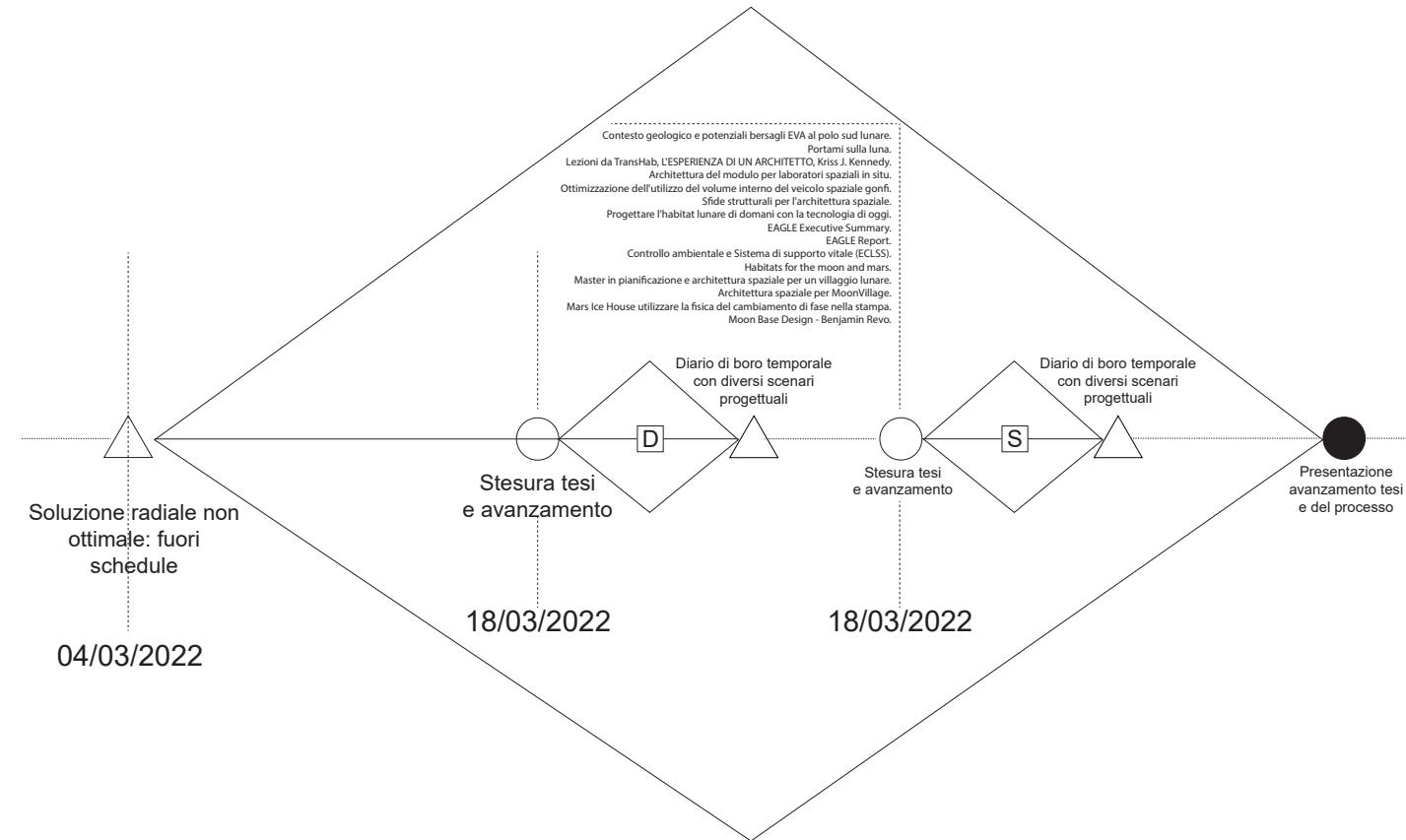
la possibilità di depressurizzare le aree non utilizzate e garantendo così un risparmio di energia.

L'infrastruttura finale sarebbe composta dai singoli moduli realizzati sulla Terra e portati in ambiente lunare che, infine, verranno schermati da regolite impiegate per mezzo di tecniche di stampa 3D.

La durata prevista della struttura turistica si ipotizza di trent'anni a pieno regime, successivamente ne seguirebbe una fase di riuso o smantellamento.

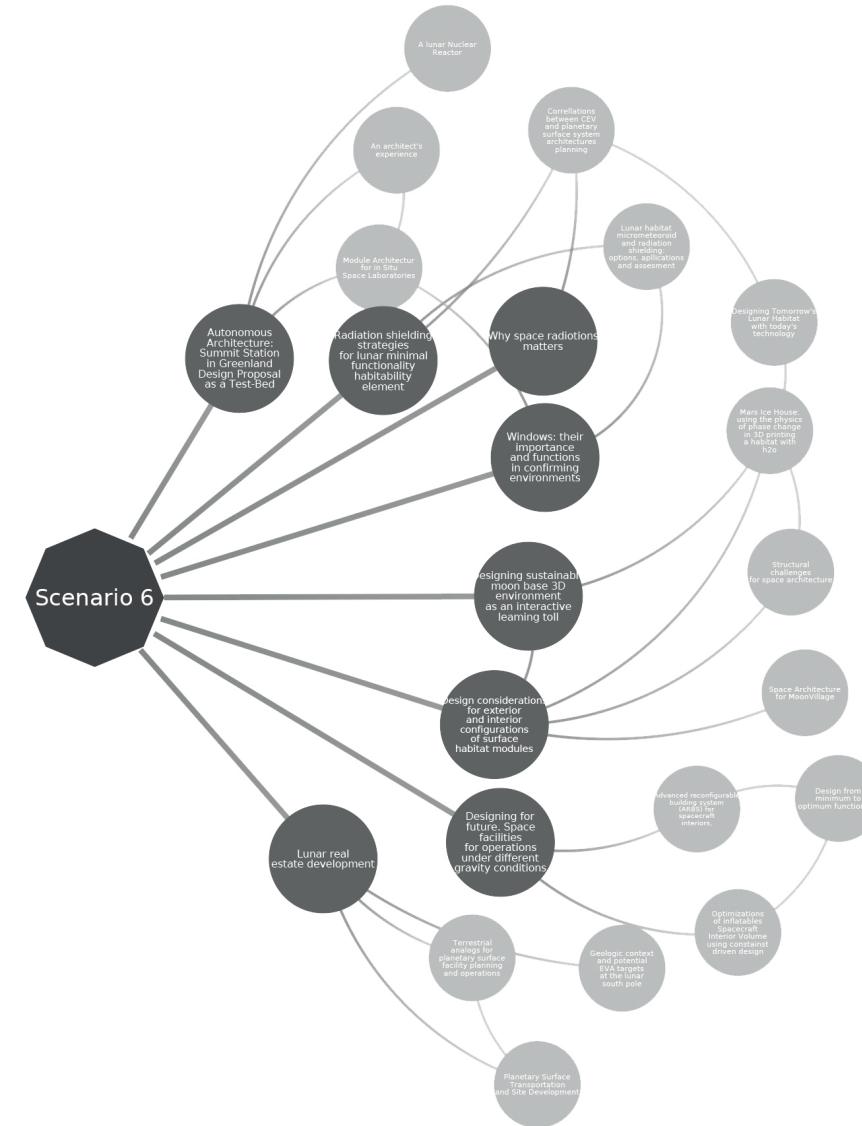
09

Tecnologie costruttive
e di supporto
energetico



Rappresentazione processo progettuale Scenario 6
(Ventaglio ciclo del collettivo di Latour)

Il diagramma rappresentato mostra graficamente il percorso progettuale ricostruito per lo scenario 6



Rappresentazione diagramma documentale

Il diagramma rappresentato mostra graficamente i documenti utilizzati all'interno dello scenario 6

Il terzo incontro del collettivo di tesi ha visto la presentazione all'intero team di studio lo scenario *-Cooperazione e sostenibilità-* dal quale emergono una serie di irruzioni che hanno portato al sostanziale cambiamento dell'infrastruttura.

I problemi principali riscontrati con la soluzione precedente, si sono focalizzati principalmente sull'impossibilità realizzativa nell'arco di tempo prestabilito e l'eccessivo frazionamento della struttura. Risulta fondamentale, per un edificio sulla superficie lunare, definire delle strutture con aree ospitanti più di una sola funzione sconsigliando, di fatto, di optare per una strategia "one to one", come fatto nel caso presentato¹. Viene quindi posta l'attenzione sulla relazione tra le diverse funzioni in quanto potrebbero entrare in contrasto tra loro a discapito del corretto funzionamento della struttura.

La soluzione dello scenario *-Cooperazione e sostenibilità-*, ovvero quella radiale, viene ritenuta una struttura poco valida e costruita su un principio di autorità implicita, una tipologia di struttura poco articolata e valida per ogni parte della luna². Sollecitando anche la riflessione dal punto di vista giuridico e politico con la quale si enfatizza la necessità di contestualizzare il progetto in una dinamica nella quale non si occupi tutto lo spazio potenzialmente occupabile ma ci sia un concreto ragionamento e relative considerazioni derivate da diverse soluzioni progettuali pensate per la zona d'interesse³.

Per quanto concerne l'aspetto riguardante le infrastrutture di supporto, la volontà è quella di improntare l'intero lavoro su un aspetto di cooperazione con la possibilità di un uso multiplo delle strutture presenti in situ, riducendo così i costi

Deviazioni e irruzioni

1.Perino M. A., co-relatrice collettivo tesi.

2.Durbiano G., relatore collettivo tesi.

3.Salmeri A., co-relatore collettivo tesi .

e gli edifici di supporto per il singolo. Valutare l'insediamento nelle vicinanze di strutture che estraggono ghiaccio e lo trasformano in acqua e ossigeno limiterebbe i costi e porterebbe ad una collaborazione tra le infrastrutture.

Dal punto di vista energetico nella soluzione dello scenario *La cooperazione e la sostenibilità, i valori fondanti di un insediamento lunare* si è optato per la produzione di energia tramite una centrale solare con la quale si alimentano tutti i sistemi vitali e di supporto per l'edificio principale.

L'Ing. Maria Antonietta Perino ha fatto notare che, date le dimensioni dell'infrastruttura presentata, il solo utilizzo di una centrale solare non basterebbe per mantenere l'edificio principale. La soluzione suggerita sarebbe dunque quella di utilizzare un reattore nucleare e mettere a sistema, come supporto ed integrazione, una centrale solare.

Partendo dalle considerazioni fatte durante il terzo incontro collettivo, l'obiettivo di questo nuovo scenario è stato quello di realizzare una struttura per l'umanità, aperta all'utilizzo di tutti e con assenza di appropriazione. Una struttura semipermanente con la possibilità di essere smantellata in ottica futura in quanto non è consentita l'appropriazione esclusiva della posizione.

Locazione delle infrastrutture

Le prime considerazioni sono state fatte sulla locazione dell'infrastruttura considerando i vantaggi e gli svantaggi che essa può riscontrare. Non avendo a disposizione dati sufficienti per l'identificazione di tutte le infrastrutture che andranno a stabilirsi nelle vicinanze del cratere Shackleton, abbiamo provato ad ipotizzare la locazione selezionata giustificando, in base alle condizioni del luogo, in precedenza analizzate, ma soprattutto in base alla

possibilità di vista della Terra, requisito di fondamentale importanza per un'infrastruttura turistica, la propria importanza e singolarità. (Fig. 1)

Con l'analisi del documento *Geologic context and potential EVA targets at the lunar south pole* (Gawronska A.J., et al., 2020)⁴ è stata approfondita la composizione del bordo del cratere Shackleton mostrandosi di grande interesse poiché contiene posizioni topograficamente elevate che forniscono un'illuminazione superiore al 50%, requisito favorevole per la produzione di energia solare. Inoltre, il polo sud contiene regioni in ombra permanente (PSR) che possono contenere elementi volatili sotto forma di ghiaccio adatti all'utilizzo delle risorse in situ, caratteristica necessaria se si vuole stabilire un habitat lunare⁵.

Il documento ci fornisce una valutazione geologica iniziale dell'area di nostro interesse per un soggiorno di lunga durata. I poli lunari sono ambienti speciali che possono testimoniare il flusso volatile nell'ultima parte della storia del sistema solare⁶.

Questo concetto è utile ad una maggiore comprensione di come la zona di nostro interesse si mostri come un'area ad elevata attrattività dal punto di vista scientifico e produttivo e allo stesso tempo un'area che dispone delle risorse necessarie per stabilire un programma di esplorazione spaziale sostenibile. Queste caratteristiche possono essere campionate durante spedizioni EVA⁷, un ulteriore ostacolo che vincola la posizione del nostro progetto. Gli EVA non assistiti possono essere limitati ad una zona di esplorazione di 2 km su terreni con pendenza inferiore al 15%. Questo limite potrebbe essere esteso tra i 10 e

Definizione dei punti di interesse

4. A.J. Gawronska, et. al, *Geologic context and potential EVA targets at the lunar south pole*, in <<Acta Astronautica>>, 66, 2020, pp. 1247-1264

5. A.J. Gawronska, et. al, *Geologic context and potential EVA targets at the lunar south pole*, in <<Acta Astronautica>>, 66, 2020, pp. 1247-1264

6. Report National Research Council (NRC), 2007.

7. Extravehicular activity.

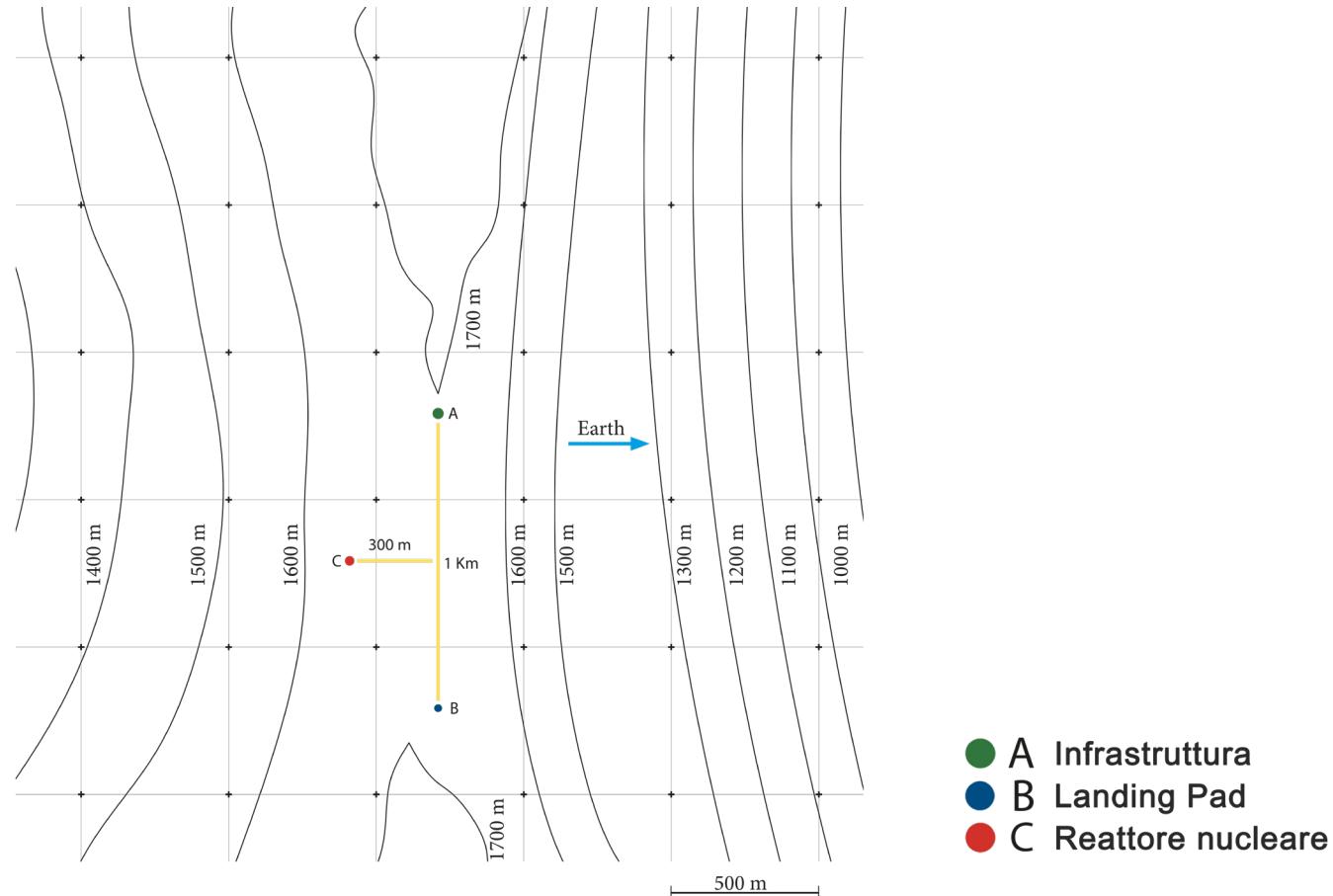


Fig.1 Locazione delle infrastrutture.

25 km qualora si utilizzasse un rover pressurizzato per la spedizione di ricerca. Viene inoltre affermato che la cresta del bordo del cratere Shackleton è un confine da escludere per possibili obiettivi EVA a causa di vincoli di sicurezza⁸. Questo ultimo aspetto è di particolare importanza in quanto identifica un'area possibile per l'edificazione libera dai vincoli precedenti. A tal proposito, abbiamo ricostruito la planimetria dell'area di interesse, presente nel documento analizzato, all'interno della quale sono inserite le zone di esplorazione di 2 e 10 km attorno al polo sud e nei pressi dei due punti di massima illuminazione sul bordo del cratere Shackleton e del cratere Gerlache. (Fig. 2)

Nella realizzazione dell'infrastruttura stiamo inoltre valutando l'aggiunta dell'energia nucleare come infrastruttura di supporto, come riportato nelle considerazioni e deviazioni sullo scenario precedente. Recentemente i ricercatori della NASA e del Dipartimento dell'Energia hanno testato tecnologie chiave per lo sviluppo di un reattore nucleare in grado di alimentare un'infrastruttura sulla Luna. L'energia nucleare, a differenza di quella solare, è in grado di produrre energia costantemente e rispondere alla necessità per i sistemi di supporto vitale⁹.

Ipotizzando di inserire il reattore nucleare come infrastruttura di supporto, implementata con quella solare, saremmo in grado di ragionare su dimensioni maggiori in grado di ospitare un numero più cospicuo di turisti e astronauti. Per l'energia solare si potrebbe pertanto ipotizzare una cooperazione ricavando energia mediante infrastrutture posizionate nei punti di massima illuminazione e illuminazione costante per il 93.7% dell'anno. Questo aspetto sarebbe da valutare per la sua probabilità di ridurre

8. A.J. Gawronska, et. al, *Geologic context and potential EVA targets at the lunar south pole*, in <<Acta Astronautica>>, 66, 2020, pp. 1247-1264

9. Soderman, NLSI Staff, *A lunar Nuclear Reactor*, 2020.

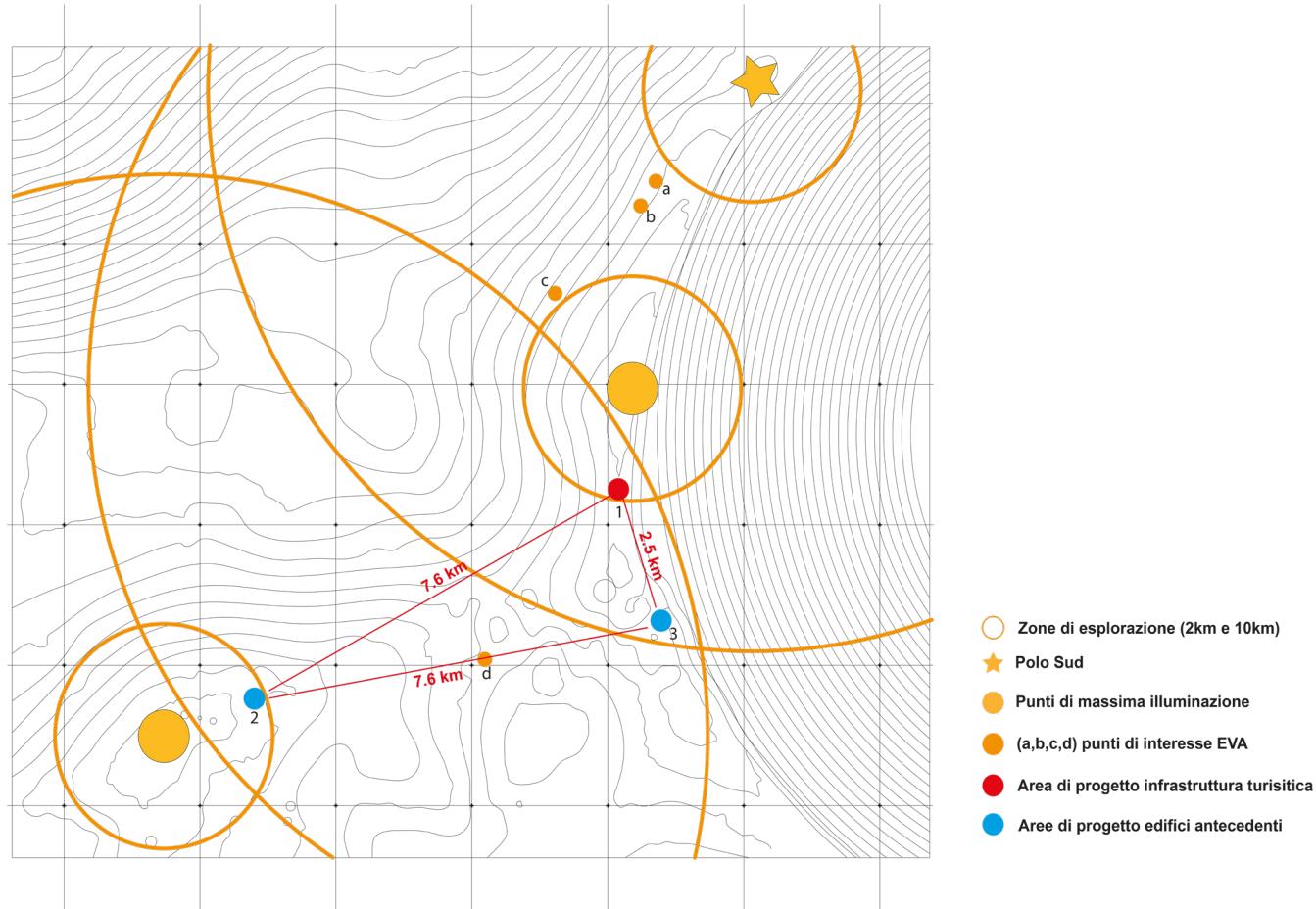


Fig.2 Planimetria dell'area di interesse.

i costi di trasporto e realizzazione che richiederebbe una centrale solare apposita per la nostra infrastruttura. Le ipotesi citate potrebbero essere valide dal momento in cui si valutasse l'operazione in una fascia temporale successiva rispetto a quella prestabilita nello scenario 5 in modo da poter usufruire di infrastrutture di supporto già esistenti e realizzate in fasi precedenti. Il sistema che permetterebbe la realizzazione di un reattore nucleare sulla Luna fa parte di un progetto della NASA chiamato "Fission Surface Power" all'interno del quale vengono esaminati piccoli reattori progettati per l'utilizzo su altri pianeti. Sebbene venga affermato che il reattore è completamente sicuro, l'unica attenzione da apportare risiede nella distanza di sicurezza dall'habitat turistico in modo da garantire la protezione delle persone da eventuali radiazioni prodotte¹⁰.

Lo scenario -*Tecnologie costruttive e di supporto energetico*- è proseguito con l'indagine scientifica per la realizzazione di un habitat turistico. Le attività di sviluppo urbano per un'infrastruttura lunare prevederebbero la pianificazione e costruzione del sito d'interesse con i rispettivi scavi, deposizione e stabilizzazione mentre solo successivamente avverrebbe la fase di costruzione riguardante i metodi di progettazione, fabbricazione, assemblaggio, costruzione, ampliamento, collaudo e verifica. Come ultimo step, una volta giunti alla fine della costruzione, bisognerebbe prendere in considerazione gli aspetti legati all'abitazione e i relativi volumi occupati con la necessità di integrare più funzioni possibili per il motivo sopra citato¹¹. Definite le tre attività di sviluppo (pianificazione sito,

Indagine scientifica

10.Soderman, NLSI Staff, *A Lunar Nuclear Reactor*, 2020

11.B. Sherwood, *Space Architecture for MoonVillage*, in <<International Conference on Environmental System (ICES)>>, 46, 2016.

costruzione dell'edificio e gli aspetti legati all'interno) risulta di fondamentale importanza la definizione dei parametri chiave di un'infrastruttura lunare, nel nostro caso destinata a scopo turistico.

La fase all'interno della quale si valuterebbe l'inserimento del progetto oggetto di analisi della tesi sarebbe quella di una Luna industrializzata in cui gli attori saranno in grado di sviluppare capacità diverse e creare imprese redditizie adattando i principi sviluppati dagli attori delle fasi precedenti di ricerca scientifica. Ciò consentirebbe un aumento dei budget rispetto ai primi stanziati, diretti e sponsorizzati dai governi, con la nascita di nuovi finanziatori a scala industriale nonché la considerazione del turismo lunare come ambiente sempre più accessibile al mercato turistico dalla Terra: la Luna diventerebbe quindi un polo di profitto per le attività spaziali e per le economie terrestri¹². La nuova soluzione, frutto di tutte le considerazioni affrontate con la discussione collettiva e l'analisi di nuovi documenti, consisterebbe in un complesso di edifici di piccole e medie dimensioni appartenenti strutturalmente a edifici di classe 2 e classe 3. La struttura completata ospiterebbe un totale di 14 persone di cui 8 turisti e 6 astronauti di supporto. (Fig. 3 e Fig. 4)

Soluzione progettuale

La prima fase di realizzazione comprenderebbe l'attivazione del blocco contenente l'ingresso e quello contenente quattro strutture inflatabili successivamente schermate con regolite tramite tecnica di stampa 3D. La tecnologia utilizzata per gli ambienti delle stanze sarebbe ibrida composta da un guscio centrale rigido e un guscio esterno gonfiabile, esplicito è il riferimento al Transhab,

progettato per la stazione spaziale internazionale.

L'uso di una tecnologia ibrida permette di ottimizzare le dimensioni con la possibilità di essere "confezionato" in un volume più compatto per il trasporto che, giunto in posizione, acquisirebbe il volume di funzione, di maggiori dimensioni, offrendo grandi opportunità architettoniche¹³. L'ingresso è stato pensato come un modulo rigido classico coperto da una schermatura in regolite all'interno del quale sono presenti i locali filtro d'ingresso, lo stivaggio, lo stoccaggio rifiuti e una sala medica.

Nella prima fase la struttura sarebbe inizialmente composta da un ingresso più quattro inflatabili predisposti in una configurazione temporanea di alcune parti per garantire il funzionamento della stessa prima del completamento della fase successiva. Si conferma la possibilità, in caso di mancato utilizzo, della depressurizzazione di zone per un risparmio energetico. (Fig. 5 e Fig. 6)

La seconda fase comprenderebbe la realizzazione dell'edificio principale di classe 3, ovvero un'infrastruttura che per quasi tutta la sua interezza possa essere realizzata in situ tramite tecnologia di stampa 3D. L'edificio principale, di classe 3, fornirebbe un ambiente abitabile grazie alla creazione di spazi sociali nelle principali aree e di spazi privati ad uso del personale dell'infrastruttura.

La struttura centrale dell'edificio di classe 3 ospiterebbe i servizi e i locali impianti utili per il funzionamento dell'infrastruttura e, in quanto attività continuative, sarebbero sottoposti a pressurizzazione costante.

Una volta ultimato l'elemento, gli inflatabili dell'edificio di classe 2, contenenti le stanze degli astronauti e il centro di controllo, verrebbero riadattati per ospitare altri turisti

12. B. Sherwood, *Space Architecture for MoonVillage*, in <<International Conference on Environmental System (ICES)>>, 46, 2016.

13. K.J. Kennedy, *An Architect's Experience*, in <<Space Architecture Symposium>>, 6105, 2002.

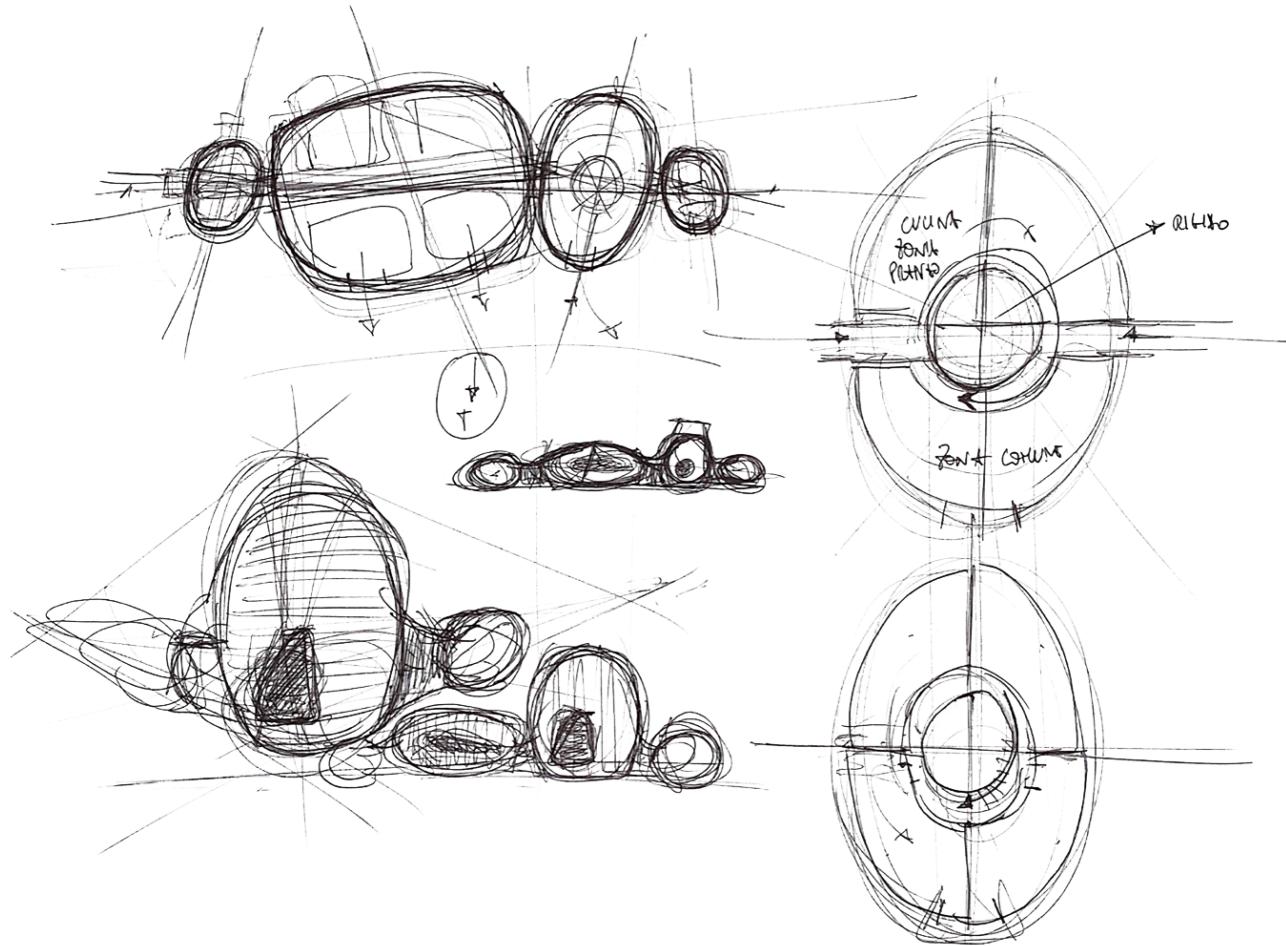


Fig.3 Schizzo ipotesi progettuale

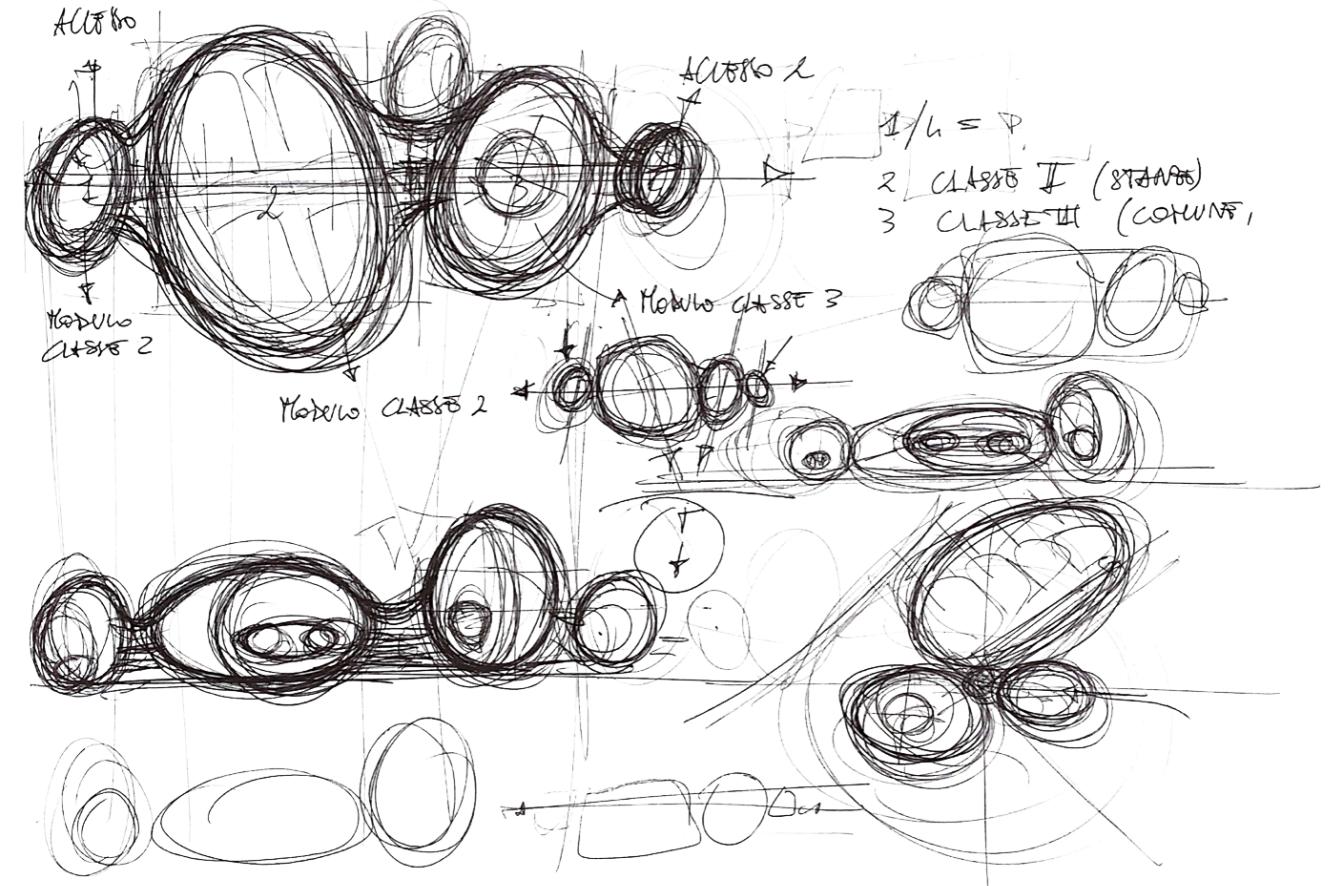


Fig.4 Schizzo ipotesi progettuale

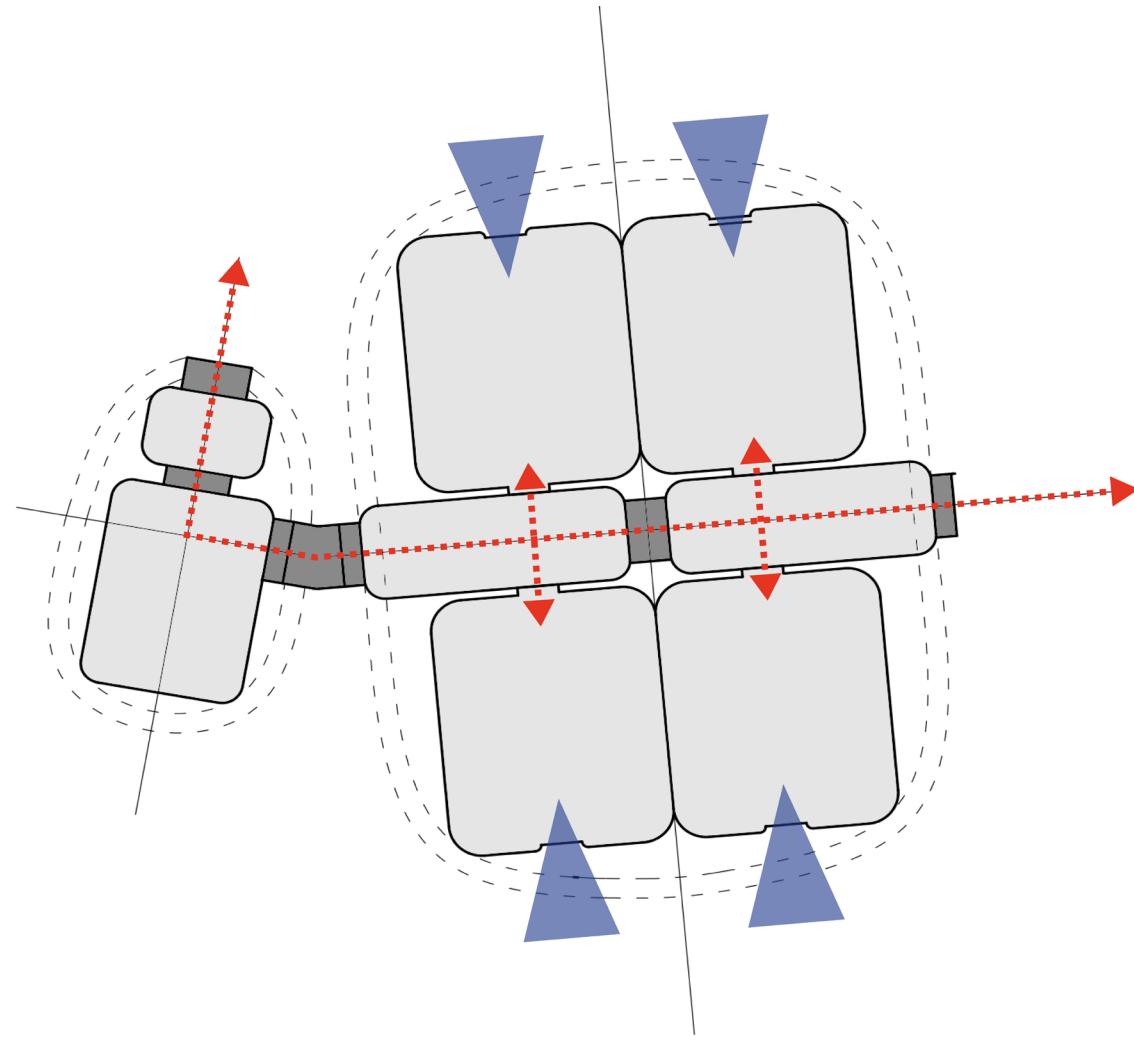


Fig.5 Ipotesi fase I

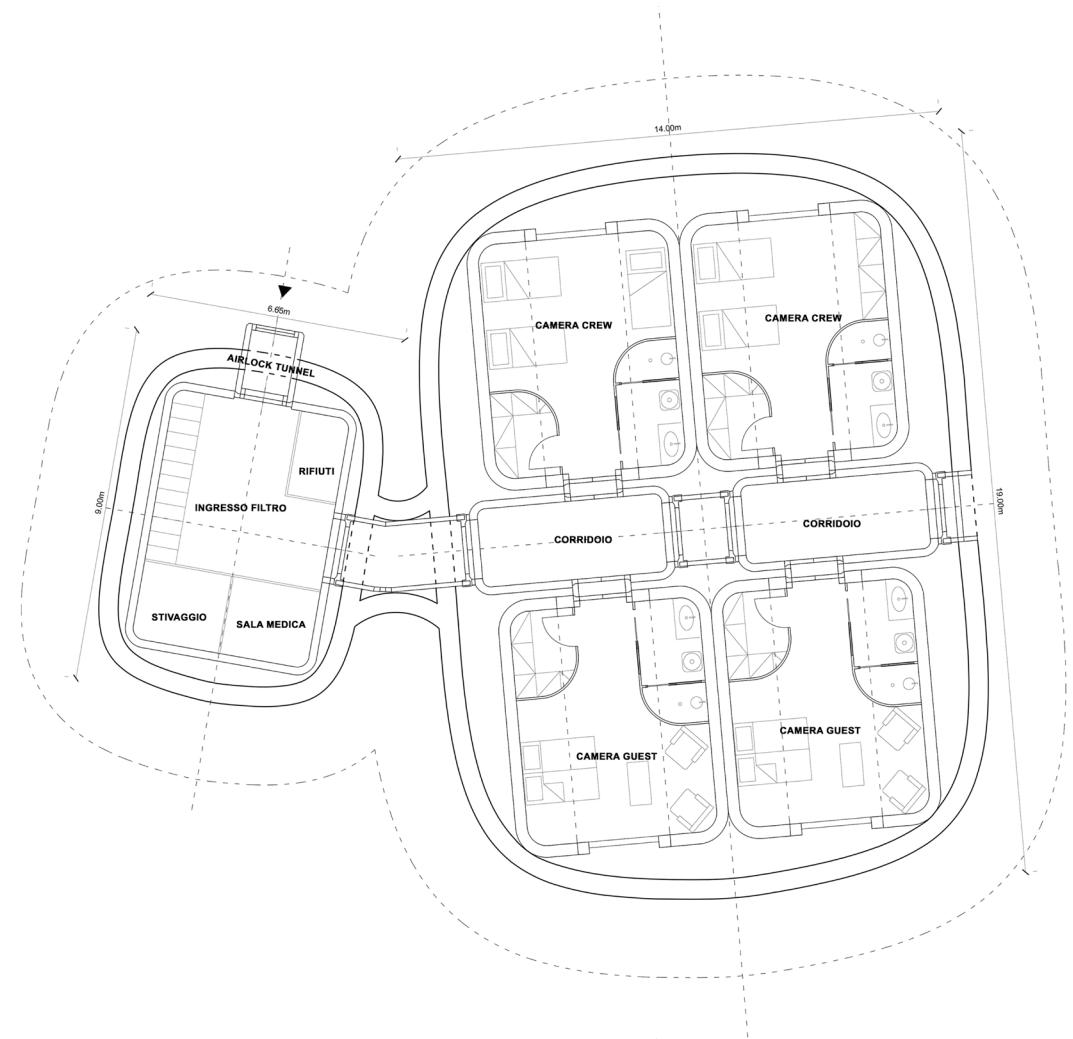


Fig.6 Soluzione progettuale fase I



arrivando, in questo modo, alla capienza massima della struttura. (Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9 e Fig. 10)

La fase finale prevederebbe il completamento del costruito con l'aggiunta di un secondo ingresso per garantire una migliore fruibilità dei percorsi in entrata ed uscita. (Fig. 11 e Fig. 12)

Valutando come requisito essenziale di un'infrastruttura turistica la possibilità di usufruire di una vista verso l'esterno, si è deciso di garantire, seppur in condizioni del tutto anormali, tale plus.

Nonostante le condizioni ambientali della Luna non permettano la realizzazione di grandi aperture, abbiamo optato per la realizzazione di aperture minime in grado di permettere la visuale all'esterno nelle aree selezionate garantendo comunque un minimo di protezione alle radiazioni (camere private, zona relax e palestra).

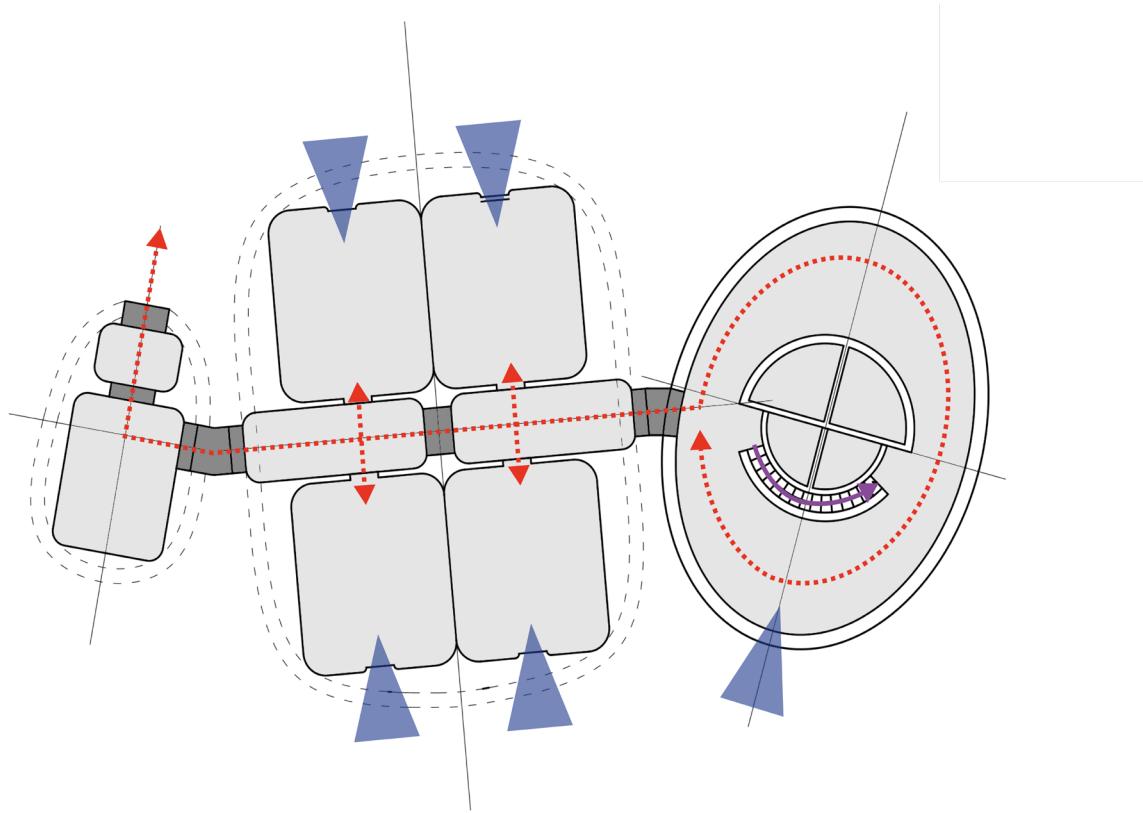


Fig.7 Ipotesi fase II

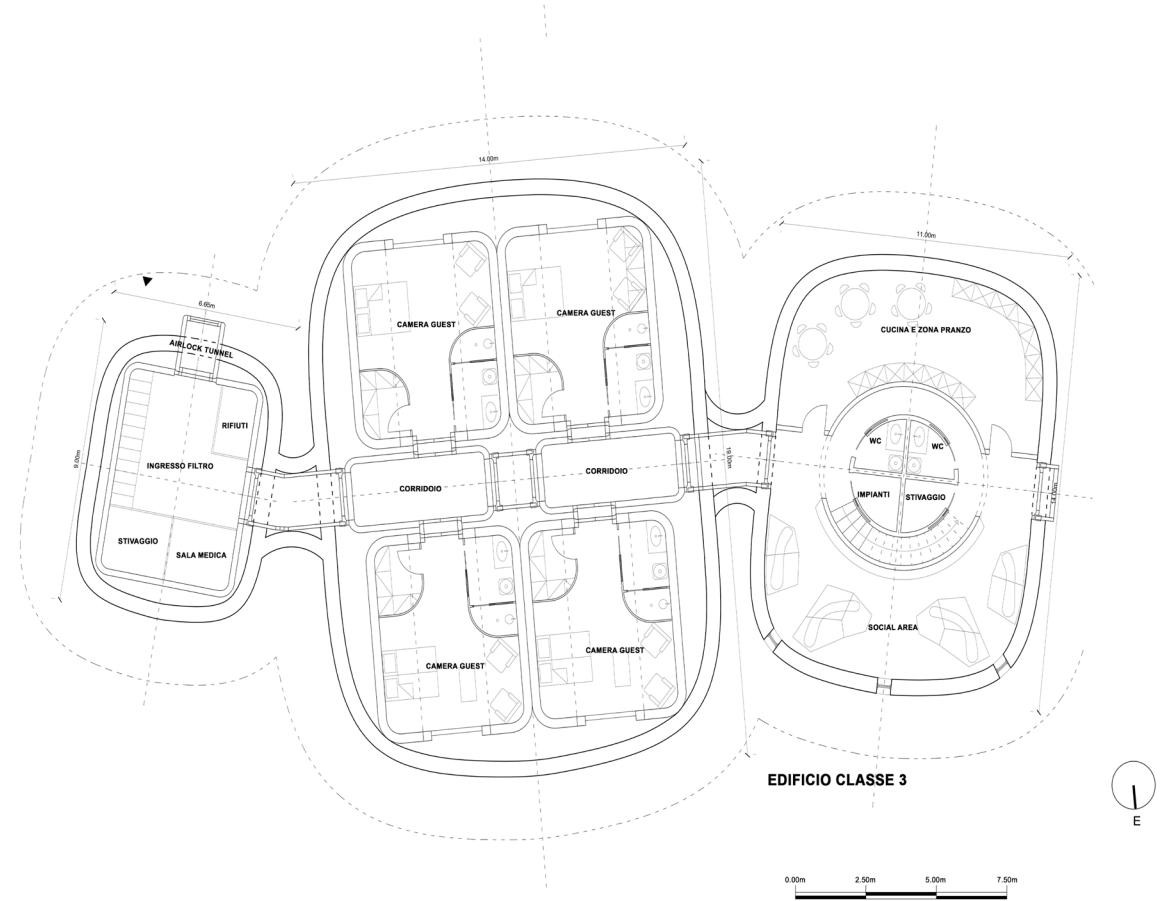


Fig.8 Soluzione progettuale attacco a terra della fase II

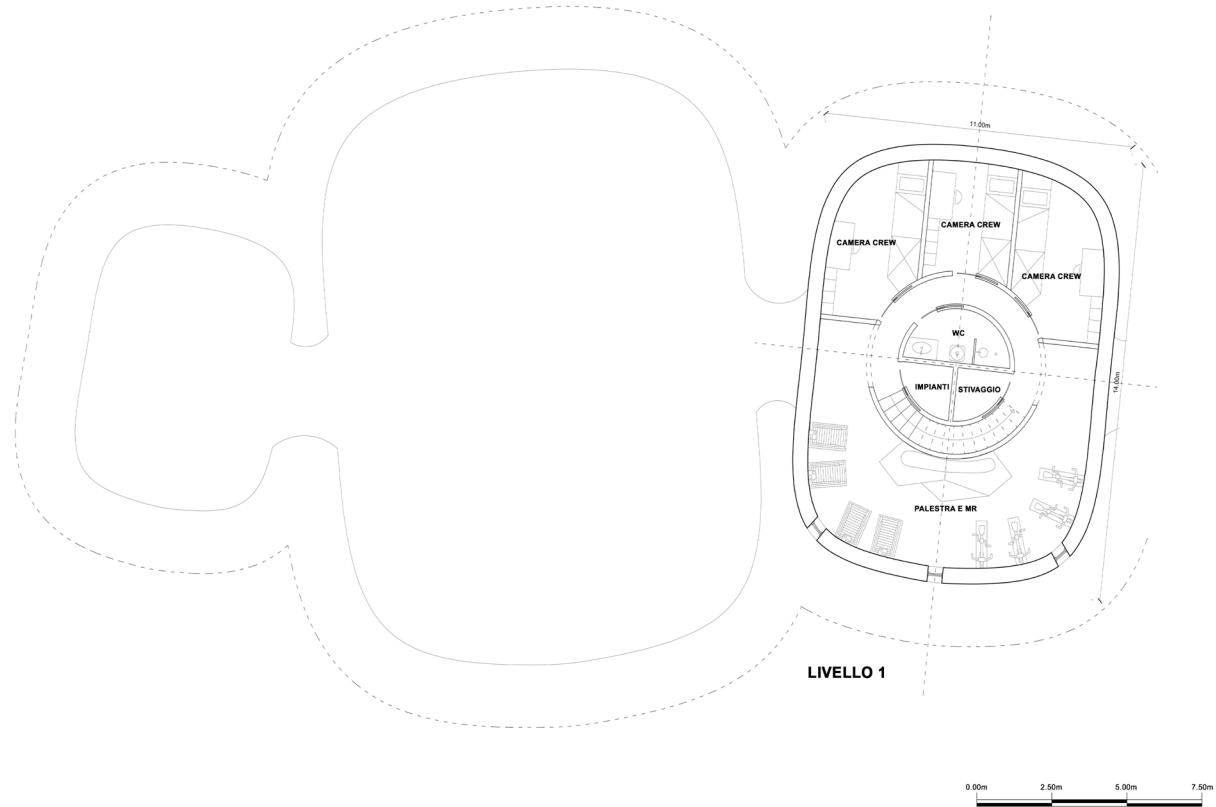


Fig.9 Soluzione progettuale del primo piano della fase II

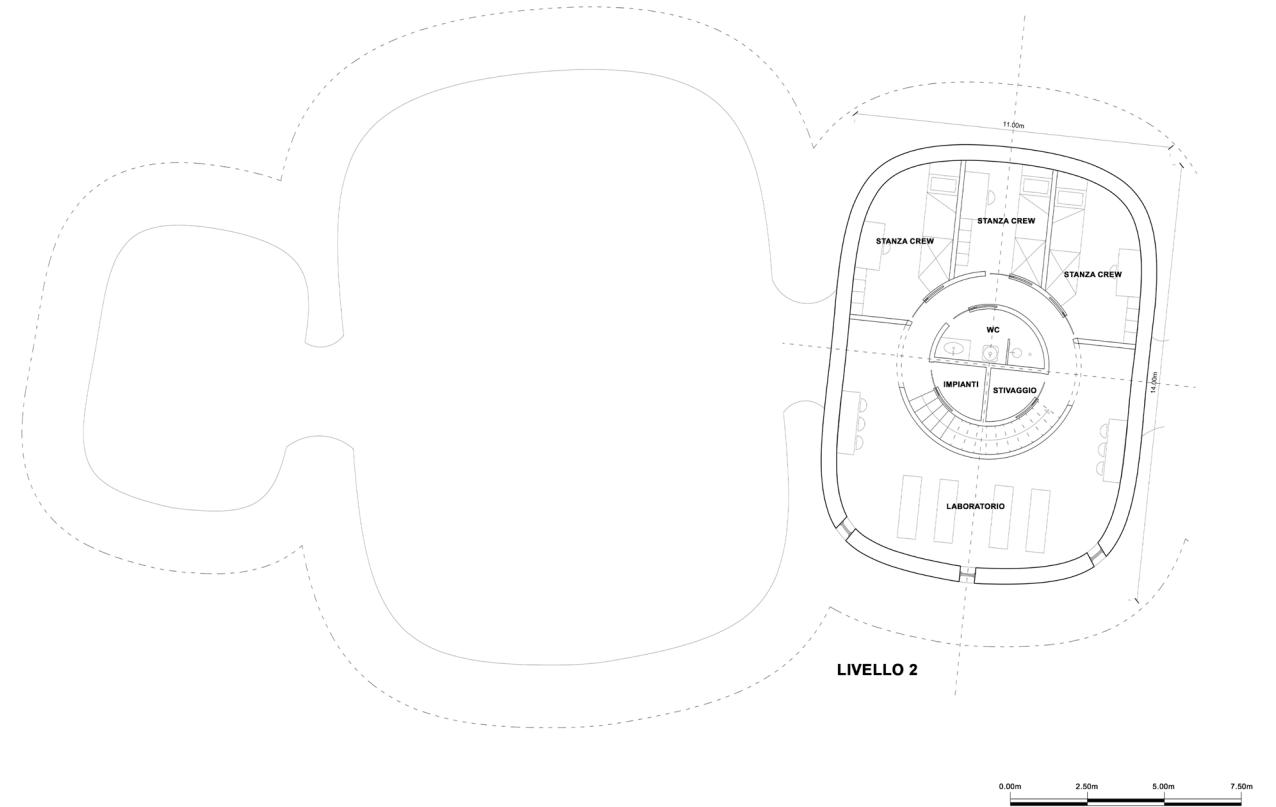


Fig.10 Soluzione progettuale del secondo piano della fase II

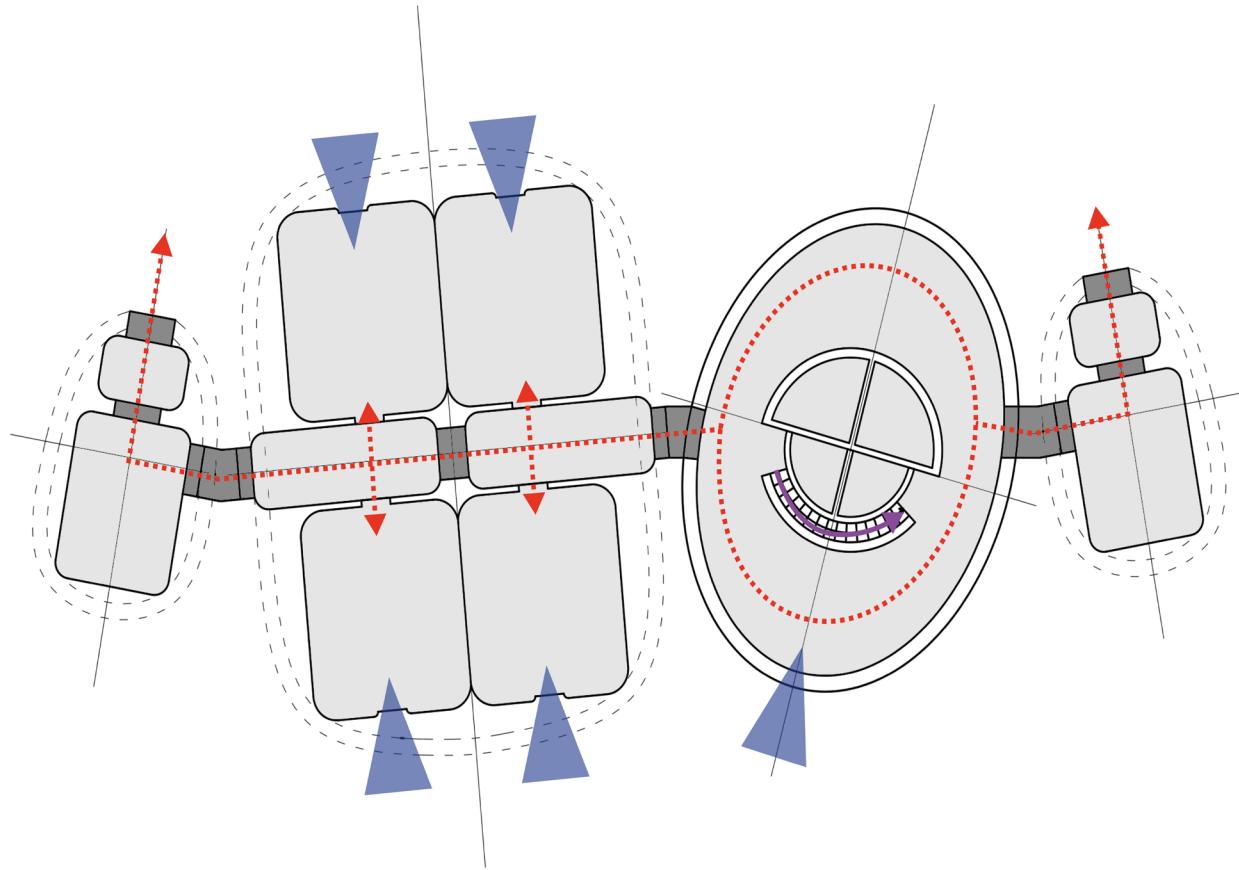


Fig.11 Ipotesi fase III

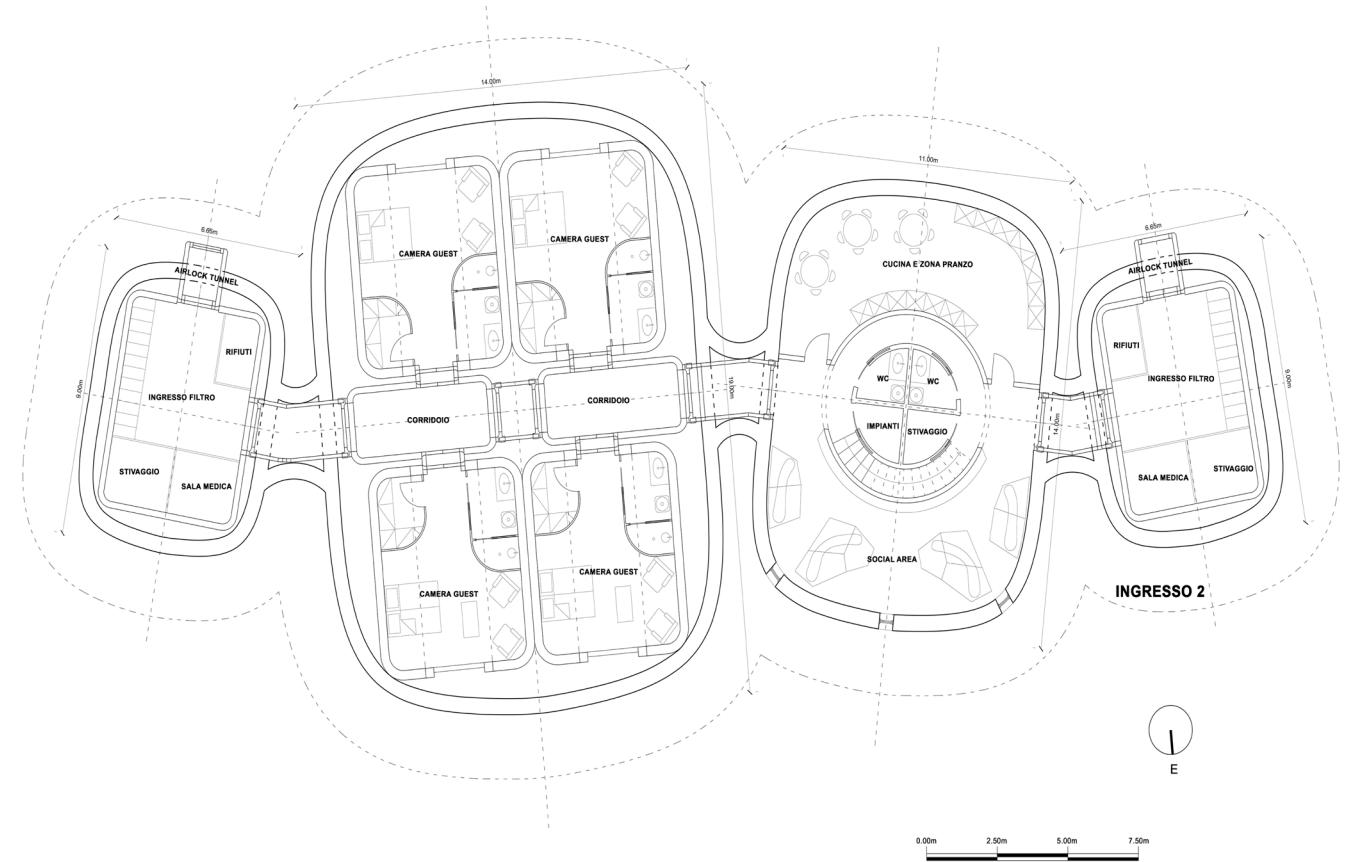


Fig.12 Soluzione progettuale attacco a terra della fase III

10

Il ruolo dell'architetto
dello Spazio

Negli ultimi anni si è spesso sentito parlare di futuri habitat spaziali, prima sulla Luna e poi su Marte. I grandi magnati dell'industria spaziale come Space X, Blue Origin e le grandi agenzie spaziali sono sempre più spinti verso la realizzazione della prima colonia extraterrestre.

Ci troviamo ora sull'orlo di una nuova era per l'architettura, pronta ad affrontare le grandi sfide multidisciplinari verso un'innovazione senza precedenti all'interno di scenari che presentano condizioni estreme.

L'architettura è la pratica con la quale rendere tutto questo possibile e garantire un futuro umano al di fuori della Terra¹.

L'era spaziale fa parte dell'esplorazione moderna. Nei secoli precedenti abbiamo scoperto nuove terre, perlustrato i mari, raggiunto le vette più alte della Terra e realizzato stazioni di ricerca permanente nelle aree più estreme del nostro pianeta. Ora passo dopo passo stiamo cercando di espandere il dominio della presenza umana al di fuori della Terra, alla ricerca di un nuovo habitat inesplorato².

L'utilizzo della Luna sembra essere il prossimo passo logico nell'attuazione della strategia globale per l'esplorazione umana nel sistema solare³. Una base lunare risulta essere una parte essenziale di tutti i programmi di esplorazione spaziale, in quanto rappresenta, per ora, la destinazione più logica al di fuori della Terra. Il suo ambiente estremo porrà nuove sfide alle discipline architettoniche e ingegneristiche, le quali dovranno essere in grado di valutare le strutture e gli insediamenti più ragionevoli dal punto di vista tecnologico e sostenibile, per un progetto complesso in ambiente extra-atmosferico⁴.

Alcune delle sfide, alle quali architetti e ingegneri dovranno rispondere, riguardano principalmente le condizioni di

Una nuova era per l'architettura

1. V. Netti, O. Bannova, *Space Architecture: designing beyond the sky*, USA University of Houston, 2021.

2. B. Sherwood, *Decadal opportunities for space architects*, in <<Acta Astronautica>>,81, 2012, pp. 600-609

3. A. Sgambati, M. Berg, et al., *Urban: conceiving a lunar base using 3D printing technologies*, Germany, International Astronautical Congress (IAC), 2018.

4. F. Ruess, J. Schaenzlin e H. Benaroya, *Structural Design of a Lunar Habitat*, Vienna, Journal of Aerospace Engineering (ASCE), 2006.

vita degli esseri umani, come essi possono adattarsi in ambienti con gravità ridotta per un lungo periodo, come interagiscono con l'ambiente estremo e in che modo effettivamente possono abitare un insediamento su un altro corpo celeste.

All'interno di questo documento verranno affrontate considerazioni utili a definire le differenze sostanziali tra architettura e ingegneria nella progettazione extra-atmosferica. Per fare ciò è utile partire da un tentativo di definizione terminologica dal quale ricavare poi le differenze sostanziali tra architettura e ingegneria. A questo scopo possiamo partire dal lavoro del filosofo Enrico Terrone⁵, che propone una definizione "a grappolo" dell'ingegneria, a partire dalle condizioni che la caratterizzano.

Dunque, come primo passo possiamo provare a cercare di capire quali sono le condizioni, distinguendo tra necessarie e sufficienti, che caratterizzano, comparativamente, l'architettura e l'ingegneria. Queste considerazioni, con le quali siamo in grado di distinguere i due termini, sono valide sulla Terra tanto quanto nello spazio extra-atmosferico.

Architettura e spazio

L'architettura spaziale viene definita come un campo di studio volto alla configurazione di habitat nello spazio e su altri pianeti, con l'obiettivo di progettare sistemi tenendo conto delle differenti esigenze e condizioni derivate dagli occupanti e dalle caratteristiche dell'ambiente estremo.

L'obiettivo di abitare nuovi pianeti in ottica futura ci obbliga a trattare lo spazio extra-atmosferico come un qualsiasi altro ambiente abitativo terrestre, fatta eccezione delle differenti condizioni di vita rispetto a quelle a cui siamo abituati.

5. E. Terrone, *Filosofia dell'ingegneria*, il Mulino, Bologna, 2019, pp. 13-36

A tal proposito, con questa considerazione, siamo in grado di definire una condizione necessaria con la quale determinare un'iniziale distinzione tra le due discipline ed una prima definizione del ruolo dell'architetto spaziale.

Sulla Terra e nel cosmo, quando noi architetti progettiamo una qualsiasi architettura all'interno del processo progettuale, siamo obbligati a prendere in considerazione la condizione spaziale generata dall'architettura che si sta progettando, quindi, come essa si relazionerà allo spazio e come lo modificherà creando un nuovo ambiente.

La considerazione dello spazio è fondamentale per garantire l'univocità del progetto architettonico sulla Terra e nel cosmo, per questo è una condizione necessaria del termine architettura.

L'obiettivo dell'architettura spaziale, oltre a tener conto più attentamente delle condizioni degli occupanti al suo interno, è quello di prendere in seria considerazione le condizioni che caratterizzano l'ambiente extra-atmosferico come quello lunare o marziano.

Quello che l'ingegneria non include sempre al suo interno è la disciplina dell'urbanistica, la quale detiene un ruolo fondamentale nella composizione spaziale, dipendente dalle regole astro-politiche che caratterizzano i corpi celesti come la Luna o Marte.

Le condizioni ambientali e la morfologia della Luna o di Marte non sono declinabili a soli fattori tecnici, come spesso viene fatto, ma contengono al proprio interno questioni astro-politiche che devono essere trattate nel processo di progettazione. Queste condizioni non possono ridursi ad un programma controllato d'interventi lineare e deterministico. Questo comporta che anche il

più accurato dei progetti in ambiente extra-atmosferico, durante il processo progettuale, si trascinerà deviazioni e irruzioni che dipendono dalla dimensione politica dello spazio trasformato, che in questo caso potremmo definire astro-politica. Questa caratteristica rende la progettazione in ambiente extra-atmosferico non solo un problema ingegneristico, ma anche un problema architettonico.

Il filosofo P. Sloterdijk all'interno di *Sfere III, schiume*⁶ espone la questione delle isole relative e assolute.

Il tema delle isole relative ha che fare con il problema dei progetti di architettura, i quali in nessuno modo possono essere isolati in modo assoluto dal mondo o in questo caso dal cosmo.

Da questa considerazione ne deriva che l'architettura, in quanto tale, è in relazione costante con l'ambiente in cui sorge. Eliminare la condizione di relazione con l'ambiente mettendo fuori gioco anche le premesse della stanzialità diventando così un'isola mobile⁷, porterebbe al risultato di un oggetto slegato dalle condizioni d'intorno e quindi non architettura.

In ambiente extra-atmosferico per quanto si cerchi di creare un'isola assoluta il risultato porterà sempre alla realizzazione di un'isola dipendente e condizionata dagli aspetti politici, sociali e legali che costituiscono il corpo celeste preso in esame. Un esempio di approccio ingegneristico nella progettazione spaziale è quello di una struttura di classe 1, volta ad ospitare i primi coloni sulla superficie lunare o marziana. In questo caso parliamo di ingegneria in quanto si tratta di una struttura interamente realizzata sulla Terra all'interno di una fabbrica, successivamente lanciata e posizionata nell'area prevista.

6. P. Sloterdijk, *Sfere III. Schiume*, Milano, Raffaello Cortina, 2015.

7. P. Sloterdijk, *Sfere III. Schiume*, Milano, Raffaello Cortina, 2015, pp.299-318

Questo tipo di struttura non vede ancora la piena presenza dell'architettura, soprattutto se non è prevista un'ipotesi di masterplan di insediamento che determina la forma del progetto a partire dalle condizioni astro-politiche. Di conseguenza, tale struttura può essere concepita come un'isola assoluta, in quanto progettata all'interno di una fabbrica che tenta per quanto possibile di isolare il processo da accidenti e irruzioni esterne.

Quando trasformiamo una porzione di spazio, intrinseco di rapporti di potere, confini, valori, proprietà e diritti, non siamo in grado di procedere con una metodologia efficace se trattiamo il progetto come oggetto isolato. Per procedere efficacemente abbiamo bisogno della progettazione architettonica, con la quale possiamo operare un intervento strettamente dipendente e legato al contorno.

Durante la nostra esperienza di tesi basata sulla progettazione di un habitat lunare, all'inizio della ricerca continuavamo a ripetere l'errore di considerare la struttura come un edificio completamente separato dall'ambiente, senza prenderlo in seria considerazione e valutando la superficie lunare come un'isola assoluta, una tabula rasa.

Questo errore è derivante dal fatto che nel corso della progettazione partivamo dalla concezione del design della struttura spinti dall'entusiasmo di realizzare un edificio di questo genere, ignorando tutte le caratteristiche che costituivano l'ambiente in grado di condizionare fortemente la nostra struttura. L'architettura, in quanto oggetto socio-tecnico, fa parte dell'ambiente, è un'isola relativa, crea un habitat ed è strettamente legata ad esso e al suo sfondo⁸. Con queste considerazioni, per la progettazione di un habitat lunare è fondamentale partire dallo studio delle

8. G. Simondon, *Du mode d'existence des objets techniques*, Paris, Aubier-Montaigne, 1959; trad. it. *Del modo di esistenza degli oggetti tecnici*, Napoli-Salerno, 2021.

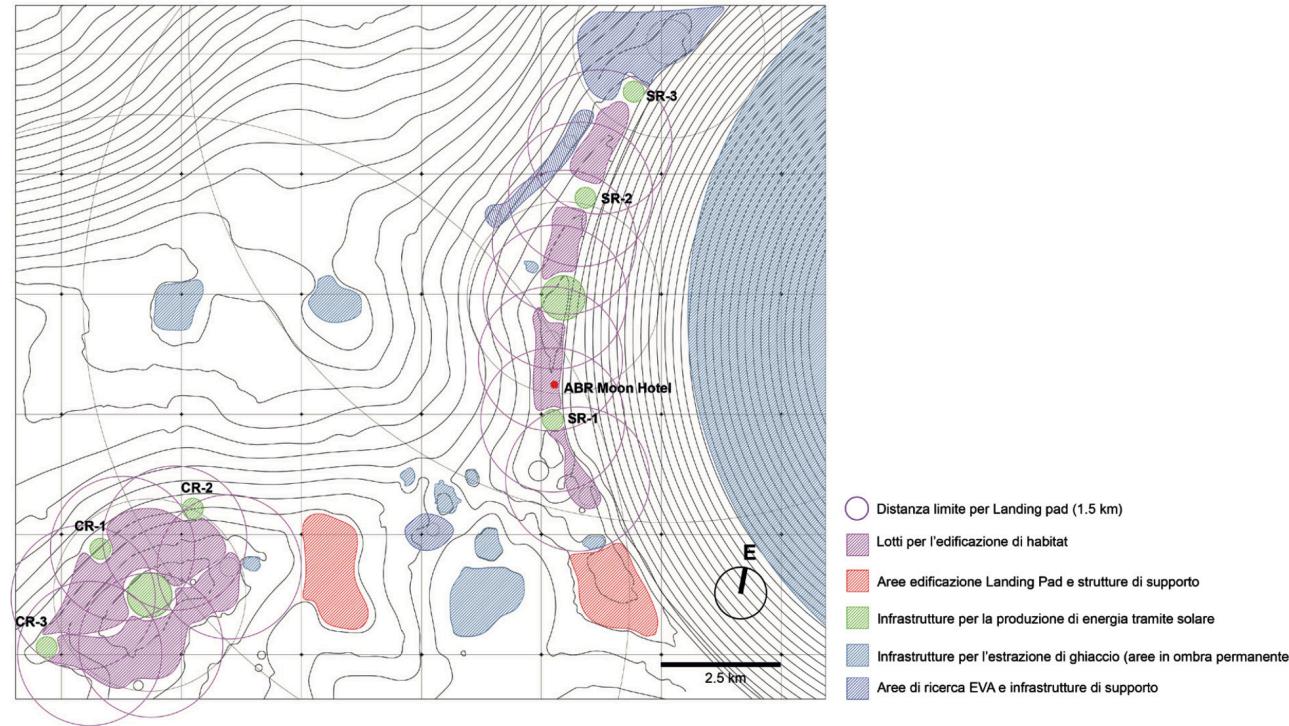
caratteristiche dello spazio d'interesse ipotizzando un masterplan, individuando le aree possibilmente accessibili e quelle non accessibili, le aree di interesse scientifico e le aree per la produzione di energia. Con un approccio solo ingegneristico di concezione della struttura non siamo in grado di realizzare un habitat extra-atmosferico per le lunghe permanenze.

L'architetto entra a far parte della nuova missione spaziale dal momento in cui le intenzioni future sono quelle di realizzare un ambiente lunare o marziano e non più un semplice modulo funzionale e ingegneristico a solo scopo scientifico. Questo possiamo osservarlo nel percorso della nostra esperienza personale per la progettazione di un habitat lunare. In questa ricerca notiamo come la realizzazione di un masterplan, in grado di definire le competenze nelle varie aree identificate, è necessario per la progettazione architettonica di un habitat spaziale.

Con la realizzazione di un masterplan come quello rappresentato nella figura 1, basato sull'analisi di dati ufficiali forniti dalle ricerche avanzate delle agenzie spaziali, siamo in grado di definire dei limiti e dei vincoli a cui la nostra architettura è strettamente soggetta. Lo sviluppo del masterplan di cui sopra riportate specifiche ha evidenziato alcuni fattori importanti per la valutazione e comprensione dell'ambizioso progetto di conquista spaziale. In modo specifico, i principi analizzati si sono mostrati indispensabili per il processo di insediamento su suolo extra-atmosferico, evidenziando l'importanza della tutela e della conservazione del patrimonio del suolo lunare come, ad esempio, l'impossibilità di appropriarsi del territorio in quanto considerato come bene dell'umanità. La

progettazione e la pianificazione architettonica in un altro corpo celeste, mediante la realizzazione di un masterplan di progetto, offre la possibilità di sperimentare nuove condizioni e regole in modo da non ripetere gli errori fatti sulla Terra.

Una volta definito un masterplan e identificate le condizioni ambientali alle quali siamo soggetti, la progettazione architettonica risulta simile a quella a cui siamo abituati sulla terra, fatta eccezione per le considerazioni da affrontare riguardanti le condizioni estreme presenti in questo tipo di ambiente, che a loro volta influenzano la composizione tecnico strutturale dell'edificio. Tramite l'architettura siamo quindi in grado di definire l'ambiente in cui ci troviamo influenzando la società, il suo modo di vivere e la sua cultura.



(Fig. 1) Ipotesi di masterplan nelle vicinanze del cratere Shackleton. La suddivisione delle aree d'interesse deriva dalle analisi documentali affrontate durante la ricerca, quindi, dipendono strettamente dalle condizioni morfologiche, ambientali e astro-politiche. Queste caratteristiche e condizioni determinano la suddivisione nei lotti proposti.

Il ruolo dell'architettura è sempre stato quello di creare spazi in grado di soddisfare al meglio le esigenze e i vincoli definiti dagli attori e attanti del progetto. Nello spazio extra-atmosferico si parla di architettura estremamente funzionale, a differenza della Terra dove una struttura imperfettamente funzionale può essere costruita ed è in grado di sopravvivere. Questo, in ambiente extra-atmosferico, l'architetto non se lo può permettere⁹. Gli architetti spaziali attualmente sono in grado di contribuire alla pianificazione della missione e alla progettazione di habitat all'interno di una squadra multidisciplinare, essenziale per la riuscita del progetto. La figura dell'architetto spaziale deve avere una visione completa dell'intero processo di progettazione e del prodotto finale direttamente collegato alle decisioni chiave prese dall'inizio alla fine. Per fare questo e per ottenere un risultato ottimale l'architetto deve essere ben posizionato nel collettivo di progetto.

La differenza sostanziale tra le due figure è data dai modelli di prevedibilità, differenti per le due discipline. L'ingegnere durante la sua progettazione è in grado di programmare un risultato che sia il più attendibile possibile rispetto a un obiettivo posto all'inizio del progetto. A differenza dell'ingegnere, dunque, l'architetto assume un approccio totalmente differente, azzardando un risultato e il modo di raggiungerlo con la massima efficacia.

L'ingegnere, inoltre, per quanto può, durante il suo programma di progettazione, cerca di escludere la caratteristica geopolitica, mentre l'architetto è in grado di includerla pienamente. Ariguardo, gli ultimi studi si incentrano sull'evoluzione storico politica dell'esplorazione spaziale con forte richiamo ai risvolti astro-politici caratterizzanti il

Il ruolo dell'architetto

9. O. Bannova, L. Bell, *Space architecture education as a part of aerospace engineering curriculum*, in <<Acta Astronautica>>, 69, 2011, pp. 1143-1147

passato, il presente e il futuro delle operazioni spaziali. Tali aspetti risultano essere fondamentali per la comprensione delle regolamentazioni giuridiche per le attività extra-atmosferiche e dunque fondamentali per la pratica dell'architetto¹⁰.

Nella progettazione spaziale tutte le considerazioni architettoniche che sono state affrontate nel corso degli anni vengono messe in discussione. Quello che gli architetti danno per scontato sulla Terra mentre progettano un'abitazione al di fuori del nostro pianeta viene meno, perché cambiano completamente le condizioni. Un esempio può essere dato dall'assenza di gravità o da gravità ridotta, come sulla Luna, la quale comporta un ripensamento degli spazi interni e di come questi possono essere accessibili ed usati. Durante un incontro tenuto con Maria Antonietta Perino¹¹ in merito alla ricerca per la progettazione di un habitat sulla Luna, è emerso un esempio di come le misure di un'alzata del gradino di una scala possono raddoppiarsi/triplicarsi rispetto a quelle cui siamo abituati sulla Terra. Questo perché la gravità ridotta permette alla persona di utilizzare la stessa forza usata sulla terra per superare un'altezza maggiore. In base a queste considerazioni, si evidenzia come l'architetto deve cercare di re-inventare le condizioni di progetto, date per scontato sulla Terra, in un ambiente completamente differente a quello a cui siamo abituati.

Per la progettazione di una struttura extra-atmosferica vengono forniti e chiariti i requisiti delle missioni e delle sfide spaziali negli standard del sistema umano del volo spaziale della NASA Volume 2¹². La particolarità di questo volume è che all'interno di esso non vengono inserite

delucidazioni architettoniche per la configurazione delle strutture. Sta dunque alla figura dell'architetto il ruolo di tradurre queste considerazioni in architettura, con la capacità di fornire il massimo comfort e funzionalità per gli abitanti delle strutture extra-atmosferiche.

Come accade all'interno del processo progettuale sulla Terra, nello spazio la figura dell'architetto è sottoposta, durante tutto il processo, a continue irruzioni generate dalle condizioni astro-politiche. L'architetto risulta essere la figura in grado di portare avanti un progetto soggetto a continue e improvvise variazioni delle condizioni.

A tal proposito, il team di architetti dovrà essere in grado di perfezionare il progetto secondo le esigenze e i vincoli imposti. Questo dovrà comunque essere fatto mantenendo un approccio interdisciplinare con tutte le figure presenti all'interno del processo.

Il processo progettuale attuato per un'architettura spaziale è un interessante esempio di un efficace percorso interdisciplinare, utile al raggiungimento della struttura più performante, dal quale prendere spunto per la progettazione sulla Terra. Osserviamo come all'interno della progettazione spaziale sia fondamentale avere un approccio multidisciplinare dove è dunque essenziale la sovrapposizione dei due ruoli e delle due competenze differenti. La mancata sovrapposizione porterebbe ad un progetto incompleto e fallimentare. Con questa dichiarazione vediamo come i due ruoli sono intrinsecamente dipendenti l'uno dall'altro e sono parti fondamentali nel collettivo di progetto¹³.

All'interno del processo progettuale il livello di coinvolgimento della figura dell'architetto varia a seconda

10. A. Salmeri, *Developing and Managing Moon and Mars Settlements in Accordance with International Space Law*, Luxembourg, University of Luxembourg, 2020.

11. Direttore Esplorazione Economia Spaziale e Rete Internazionale Thales Alenia Space .

12. NASA, *Spaceflight human-system standard, volume 2: Human factors, habitability, and environmental health*, USA, NASA STD, 2019.

13. B. Griffin, *Space Architecture: the role, work and aptitude*, Huntsville, USA, NASA, 2014.

delle fasi di progettazione. Negli anni passati il campo di progettazione spaziale non vedeva al suo interno la figura dell'architetto come attore fondamentale del processo di progettazione, questo perché il processo si basava principalmente sull'ingegneria orientata ai macchinari e la relazione che le persone potevano avere con questi.

Ciò avveniva e avviene in quanto la tecnologia incide in maniera più incisiva rispetto ai progetti terrestri¹⁴. Il compito dell'architetto risulta essere, inoltre, quello di saper implementare l'evoluzione tecnologica all'interno delle strutture spaziali.

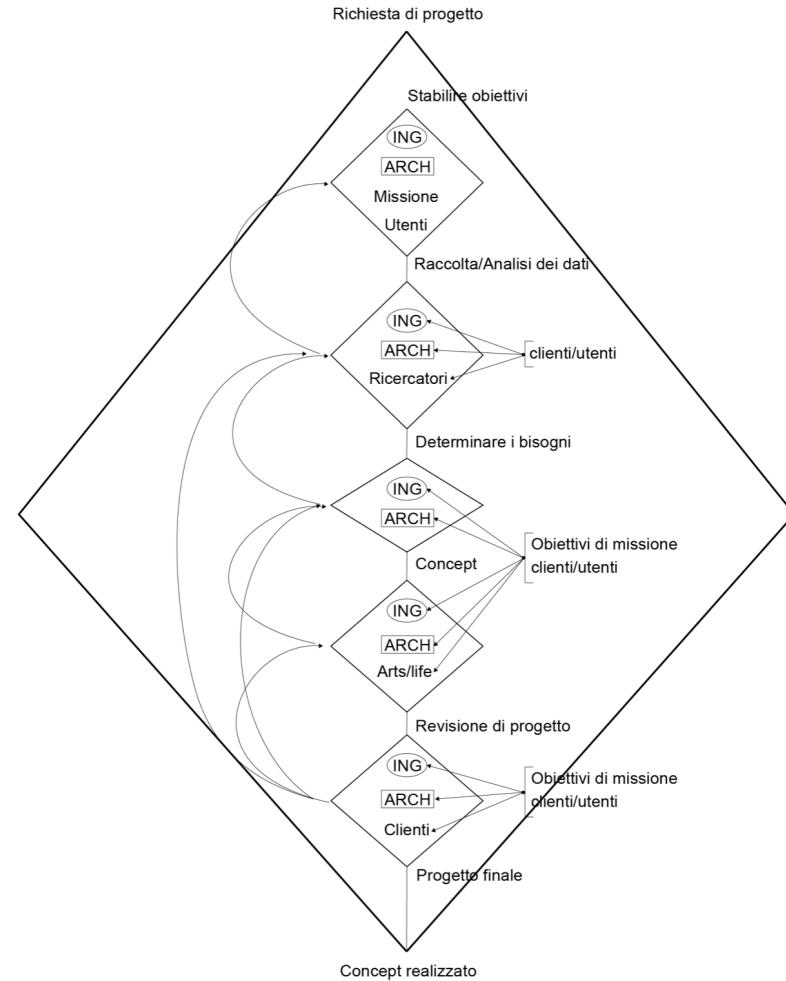
Il processo progettuale per la progettazione in ambiente spaziale è un processo interdisciplinare tra architetti e ingegneri e prende inizio con la definizione degli obiettivi progettuali che devono essere raggiunti da parte di un gruppo comprendente più competenze di ambiti differenti, come rappresentato nella figura 2.

L'architetto, insieme all'ingegnere, all'interno di un team di progettazione spaziale, durante il processo progettuale può prendere il ruolo di equilibratore in grado di impedire che un dato aspetto eserciti un'influenza negativa sul risultato finale.

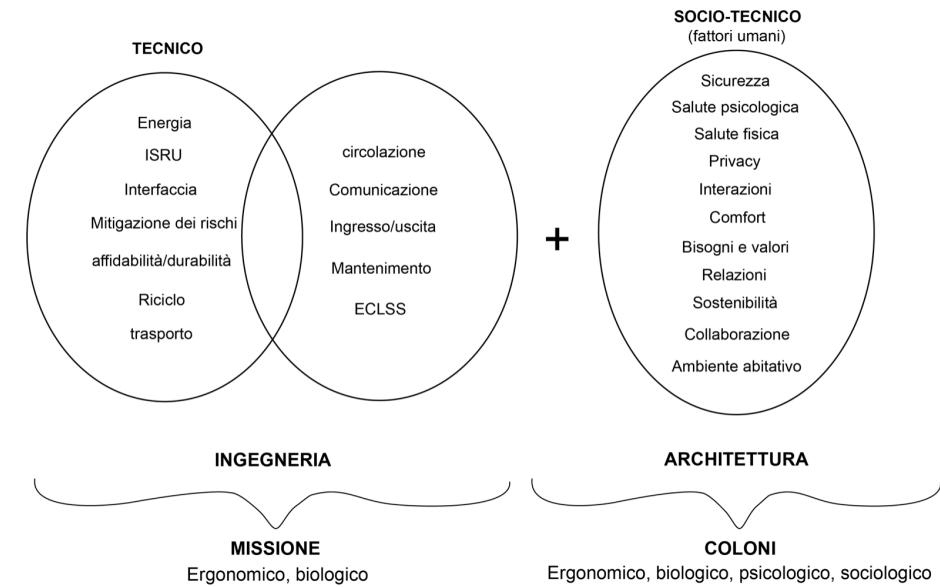
Con il passare degli anni il mercato in continua evoluzione si rivolgerà all'architettura spaziale per risolvere le sfide sempre più sofisticate delle diverse missioni affrontabili. Come possiamo osservare nel terzo grafico (Fig. 3) vediamo l'evoluzione dell'esigenze progettuali nel corso degli anni. Partendo dai semplici bisogni richiesti dalle missioni con equipaggio di professionisti si sta arrivando alle missioni con i primi passeggeri in orbita lunare, per terminare con l'arrivo dei primi abitanti su altri pianeti.

Dal secondo step possiamo osservare come la figura dell'architetto, negli ultimi sviluppi, inizia a prendere sempre più rilevanza all'interno del processo di missione. Questo avviene perché si iniziano a considerare esigenze differenti e non considerate precedentemente, in quanto assistiamo ad un cambiamento di fruitori e missioni. Entro il 2030 si presume che la psicologia del passeggero inizierà a cambiare, in quanto il progettista dovrà relazionarsi con figure non professioniste come i turisti spaziali. In questo caso la figura dell'architetto sarà uno degli attori principali nel cambiamento funzionale dello spazio.

14. O. Bannova, L. Bell, *Space architecture education as a part of aerospace engineering curriculum*, in <<Acta Astronautica>>, 69, 2011, pp. 1143-1147



(Fig.2) All'interno di questo ventaglio viene mostrato il processo interdisciplinare di progetto in ambito spaziale. Notiamo come all'interno di ogni ventaglio, costituente le differenti fasi, sono presenti entrambi le figure di architetto e ingegnere. Tale grafico mostra, dunque, come entrambe le figure, seppur distinte, sono strettamente collegate per l'intero processo progettuale.



(Fig.3) Il grafico sopra raffigurato mostra l'evoluzione dell'esigenze progettuali nel corso degli anni. Possiamo notare come inizialmente la pratica spaziale si basava su un apporto prettamente ingegneristico. Con l'avvento della nuova era spaziale le condizioni al contorno cambiano e, dunque, cambiano anche le esigenze di progettazione. Passando così da un progetto tecnico ad un progetto socio-tecnico.

All'interno del documento viene esaminato cosa la disciplina architettonica, in ambito spaziale, è in grado di offrire in più rispetto alla pratica dell'ingegnere. Si è evidenziato, inoltre, come le due discipline, seppur differenti tra loro, costituiscono un gruppo interdisciplinare di lavoro indispensabile per la riuscita dei progetti spaziali.

Nella ricerca osserviamo che l'architettura spaziale offre l'opportunità di ripensare in maniera critica le convenzioni progettuali e architettoniche che non ci accorgiamo di adottare in ambito terrestre. La progettazione extra-atmosferica, dettata dalle condizioni estreme che la caratterizzano, risulta essere un ottimo punto di partenza per sperimentare, in ambiente terrestre, nuove considerazioni riguardanti la sostenibilità. Progettare nello spazio ci può conferire una visione e una guida di come migliorare la progettazione sulla Terra, ottimizzando le risorse che abbiamo a disposizione.

All'interno del lavoro di tesi, prima citato, viene mostrato come, a seconda delle condizioni extra-atmosferiche in cui ci troviamo, i vincoli progettuali variano in maniera significativa. A tal proposito, pianificare e re-inventare le condizioni di progetto, mettendo in discussione le convenzioni progettuali terrestri considerate "ordinarie", porta l'architetto ad una maggiore attenzione verso le possibilità presenti nella progettazione spaziale e terrestre. Un esempio sono le considerazioni riguardanti le componenti fondamentali sulla Terra come l'illuminazione, la presenza di finestre, la consistenza di un muro, le componenti strutturali e la relazione tra interno ed esterno. Nello studio osserviamo come tutto quello che nella progettazione terrestre diamo per assodato e scontato,

viene posto in discussione nel momento in cui la progettazione architettonica si spinge oltre i confini terrestri. Possiamo osservare come in un banale esempio di cantiere terrestre si è in grado, grazie all'esperienza e alle conoscenze passate, di presupporre che ci sia un ambiente di supporto dato come assodato. Se confrontiamo i cantieri terrestri con quelli extra-atmosferici, notiamo come questo "comfort" ontologico viene a mancare¹⁵, portando in questo modo il progettista a supporre e re-inventare le condizioni tali per rendere il progetto possibile. Spesso nella progettazione terrestre alcuni aspetti della disciplina vengono professati come verità assoluta e immutabile, senza che effettivamente ci sia un ragionamento concreto basato sulla possibile variazione delle condizioni presenti. Dunque, in ambito terrestre certe condizioni vengono adottate in maniera non mediata e non filtrata.

L'architetto nella progettazione extra-atmosferica lavora per costruire un'isola, basandosi sulle condizioni al contorno, dove non si tratta più di collocare un edificio in un ambiente progettato, come accade sulla Terra, ma d'installare un ambiente nell'edificio¹⁶.

In ambito spaziale i concetti che sono fondamentali sulla Terra per organizzare i paradigmi della progettazione architettonica sono completamente differenti. Progettare al di fuori della Terra, seppur non ancora con esperienze all'attivo, risulta essere di particolare interesse in quanto pone in estrema crisi e in seria discussione gli aspetti progettuali che conosciamo.

A tal proposito, questa situazione si mostrerebbe del tutto favorevole a noi essere umani in ottica di una nuova conquista per un insediamento extra-atmosferico,

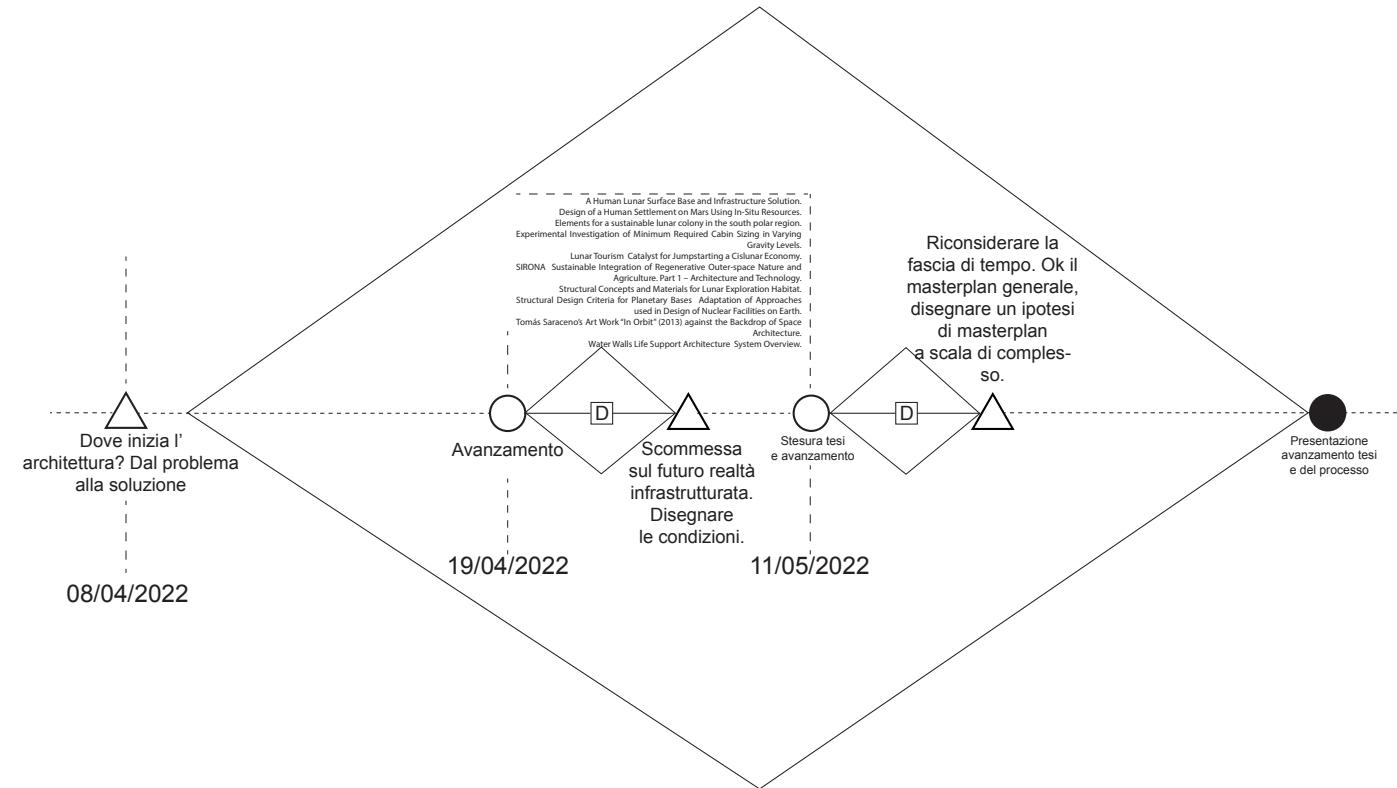
15. P. Sloterdijk, *Sfere III. Schiume*, Milano, Raffaello Cortina, 2015, pp.299-318

16. P. Sloterdijk, *Sfere III. Schiume*, Milano, Raffaello Cortina, 2015, pp.299-318

fornendoci quindi la possibilità di rivalutare da zero un ambiente naturale e privo di alcuna modifica antropica. In conclusione, la progettazione extra-atmosferica risulta essere un nuovo orizzonte per gli architetti, in grado di offrire l'opportunità di mettere in gioco le proprie conoscenze di progettazione per la configurazione e lo sviluppo di nuovi insediamenti.

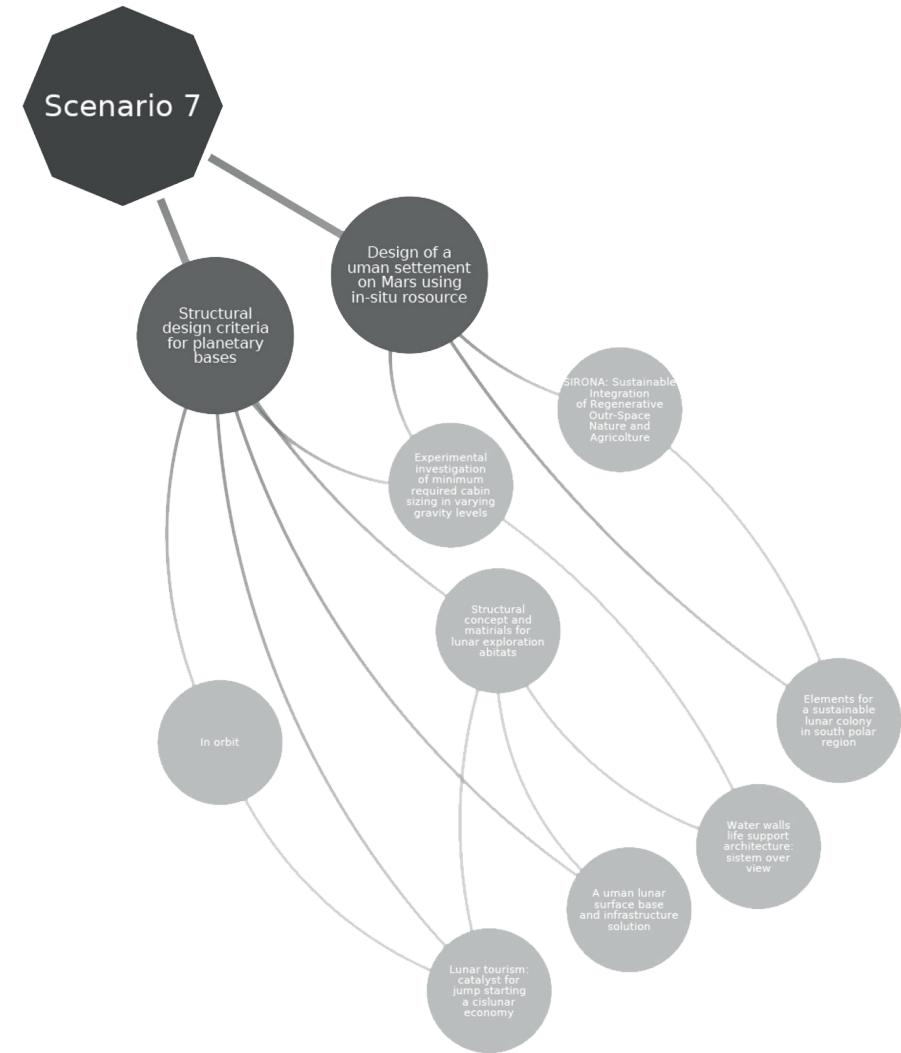


L'infrastruttura
turistica tra tecnica e
missione



Rappresentazione processo progettuale Scenario 7
(Ventaglio ciclo del collettivo di Latour)

Il diagramma rappresentato mostra graficamente il percorso progettuale ricostruito per lo scenario 7



Rappresentazione diagramma documentale

Il diagramma rappresentato mostra graficamente i documenti utilizzati all'interno dello scenario 7

In seguito alla presentazione dello scenario *-Tecnologie costruttive e di supporto energetico-* avvenuta al terzo incontro del Seminario di SinTesi del progetto, è emersa l'importanza di definire al meglio il piano della missione che porterà alla realizzazione delle diverse fasi di progetto secondo le tempistiche necessarie.

E' stata fatta inoltre notare la mancanza di un adeguato studio del masterplan che prenda in considerazione l'area di progetto e la relazione che essa ha con le sue infrastrutture di supporto, utili per il sostentamento dell'infrastruttura turistica. Questa mancanza inficerebbe completamente la relazione tra l'infrastruttura e il luogo di insediamento portando ad una consequenziale considerazione dell'intervento come isola assoluta, slegata quindi dal contesto, modificando dunque l'idea iniziale di realizzare un'architettura su territorio extraterrestre.

In tal caso si presenterebbe nuovamente una delle difficoltà più complicate da risolvere all'interno della nostra tesi. Prendendo in considerazione le irruzioni dovute all'incontro del seminario di SinTesi, nello sviluppo dello scenario in oggetto è stata nostra premura analizzare ulteriormente la fase di masterplan in modo da colmare le lacune delle parti in questione.

A seguito di queste indicazioni sono state approfondite le tematiche riguardanti i criteri di progettazione di supporto per le infrastrutture lunari, analizzando i documenti necessari al fine di arrivare ad uno studio appropriato del masterplan.

Sostenere la permanenza e l'esistenza di un insediamento umano turistico in ambiente extraterrestre richiederebbe lo

Deviazioni e irruzioni

Criteri di progettazione

sviluppo di un'infrastruttura con un alto livello di resilienza; una base permanente autosufficiente necessiterebbe di un sistema infrastrutturale per la generazione di energia, il controllo ambientale e la produzione alimentare indispensabili in quanto funzioni fondamentali di sopravvivenza. Le strutture di supporto come l'unità di produzione di acqua e ossigeno (Sabatier), le celle fotovoltaiche per la produzione di energia elettrica e la centrale nucleare è importante che si trovino a breve distanza dall'habitat in modo da facilitarne la manutenzione e lo scambio di energia.

Per quanto riguarda il Landing Pad sarebbe invece auspicabile posizionarlo ad una distanza di sicurezza non inferiore ad 1.5 km per evitare che, nelle fasi di atterraggio e decollo, i detriti possano mostrarsi causa di danneggiamento al circondario per la forte energia sprigionata dalla propulsione¹.

Ipotesi di Masterplan

L'ipotesi di Masterplan, il cui insediamento sarebbe da considerarsi nelle vicinanze del cratere Shackleton, si è basato sulle analisi dei dati rinvenuti nei diversi documenti analizzati nel corso della nostra ricerca prendendo in considerazione aspetti principali, tra cui analisi termiche, morfologiche, illuminotecniche, zone d'ombra perenne e aree di interesse EVA. L'intento è stato quello di produrre un'ipotesi di masterplan infrastrutturale in modo da evidenziare, in fasce d'ambito e di pertinenza, le aree destinate a determinate funzioni; se ne è sottolineato lo sviluppo ipotetico in quanto il progetto di tesi dovrà confrontarsi con preesistenze nella zona d'interesse a causa del nostro inserimento temporale posticipato per

motivi di cui già discusso in precedenza.

Non avendo informazioni necessarie utili a definire gli impianti presenti prima e dopo la realizzazione della nostra proposta, abbiamo provveduto a basarci sull'identificazione delle aree che andranno a ospitare specifiche funzioni in base ai dati raccolti e analizzati (Fig. 1)

La planimetria mostra le diverse aree d'interesse e le possibili funzioni ad esse associate tra cui si evidenzia quella destinata ai lotti per l'edificazione di habitat lunari per astronauti e turisti strettamente correlate ai fattori di massima illuminazione e di maggiore esposizione alla luce solare (ad es. aree con illuminazione pari a 93,7 % dell'anno).

In questi punti si è ipotizzato l'insediamento di impianti per la produzione di energia utili per il sostentamento degli habitat presenti. Un limite di sicurezza di 1,5 km e la caratteristica morfologica del terreno non adeguato hanno determinato la locazione dei siti di atterraggio (Landing pad) utili anche per le successive operazioni previste sul territorio lunare comportando, indubbiamente, l'utilizzo di un'area in condivisione con gli altri attori già operativi prima dell'insediamento del nostro progetto.

Le aree perennemente in ombra sono risultate, invece, di grande interesse per la possibile presenza di ghiaccio comportando uno sviluppo insediativo di quanto necessario per l'estrazione delle materie prime e la loro lavorazione.

La planimetria (Fig.2) mostra la zona d'interesse per la realizzazione dell'infrastruttura turistica ABR Moon Hotel ipotizzando, anche in questa circostanza, la suddivisione in fasce dell'area precedentemente identificata come "lotti per edificazione di habitat" considerando le giuste osservazioni

1. A. Andonov, *Structural Design Criteria for Planetary Bases: Adaptation of Approaches used in Design of Nuclear Facilities on Earth*, in <<International Conference on Environmental System (ICES)>>, 46, 2016.

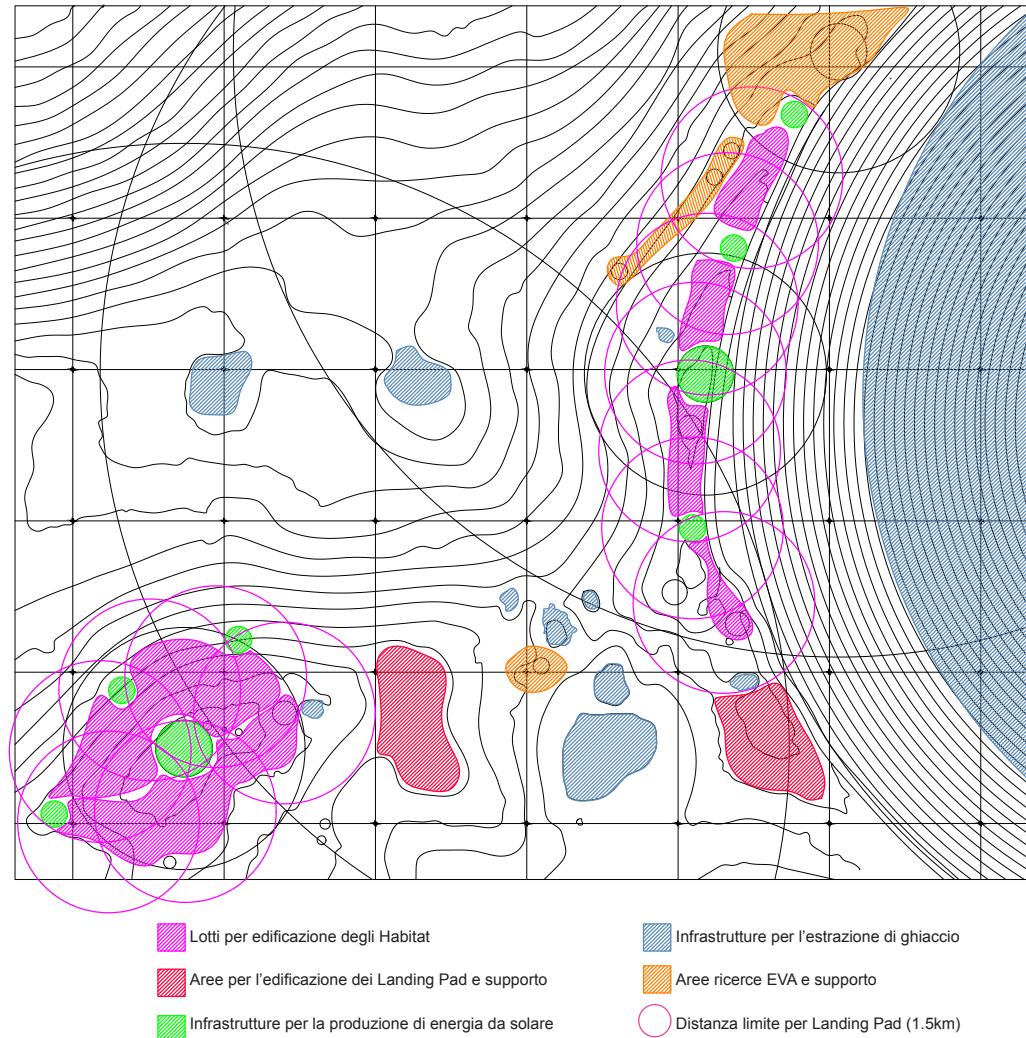
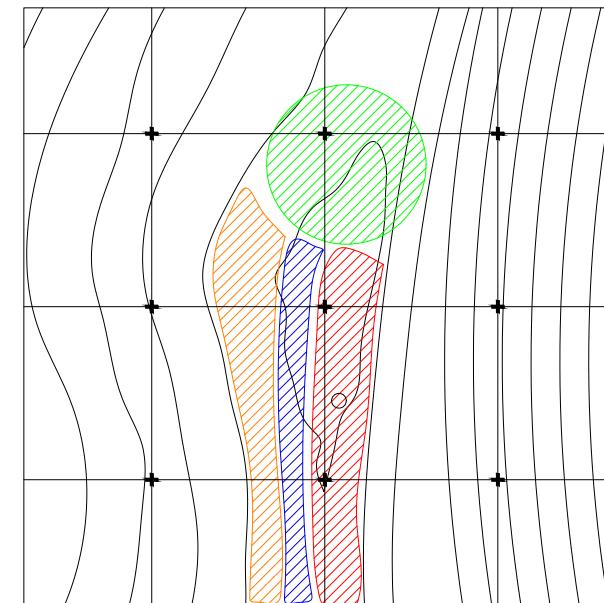


Fig.1 Masterplan generale

che ne possano garantire il corretto sostentamento, come prima citato. La prima fascia, sul bordo del cratere Schakleton, è stata ipotizzata come destinazione di habitat principali per le lunghe permanenze; la seconda fascia, più vicina agli habitat, contiene i lotti per le infrastrutture di supporto come la centrale solare e la centrale nucleare. Infine, la terza fascia è quella dedicata alla ricerca scientifica e alle attività dei vari stakeholders.



- Lotti per edificazione strutture abitative
- Lotti per infrastrutture di supporto
- Lotti per la ricerca scientifica
- Lotti per produzione di energia

Fig.2 Zoom del masterplan

Considerazioni progettuali

A conferma di quanto già enunciato nello scenario precedente, si può dunque affermare che una base turistica permanente sul suolo lunare, oltre ad avere le strutture di supporto precedentemente elencate, debba essere composta da più strutture di differente classificazione (classe 1, classe 2, classe 3) con l'obiettivo di massimizzazione delle strutture di terzo livello con il prosieguo delle missioni nelle diverse fasi di esplorazione, insediamento e colonizzazione.

Analizzando i nuovi documenti si è riscontrata l'importanza di proporre una soluzione che miri ad aumentare la sostenibilità e l'autosufficienza dell'intera infrastruttura riducendo al minimo i lanci e le forniture dalla Terra e incentivando l'uso di risorse in situ; in questo modo si favorirebbe un progetto di habitat flessibile atto a garantire un'ottima condizione di vita e di lavoro e a consentire una continua evoluzione della stessa.

Il maggiore riguardo verso la produzione alimentare ha portato a variare la composizione planivolumetrica dell'infrastruttura aggiungendo un nuovo edificio all'interno del quale verrebbe ospitata una serra. Quest'ultima sarebbe di rilevante importanza per l'autosufficienza di un'infrastruttura turistica oltre che apportare un prezioso beneficio psicologico. In realtà già nello scenario progettuale precedente è stato previsto l'inserimento di una serra per la ricerca e la produzione alimentare da posizionarsi all'ultimo piano dell'edificio di classe 3 ma, a seguito di un'attenta analisi documentale, abbiamo riconosciuto essere preferibile posizionare la serra in uno spazio apposito separandola dal resto. Questo viene fatto in modo da evitare un aumento dei livelli di umidità e lo

squilibrio dei livelli di ossigeno nell'habitat. Il nuovo edificio di classe 2, seppur separato, resterebbe comunque ben ancorato all'infrastruttura in modo da non variare la sua conformazione. L'ambiente sarebbe composto da un modulo rigido proveniente dalla Terra e schermato da un guscio protettivo in regolite. L'interno di esso, quindi, sarebbe totalmente illuminato con luce artificiale per garantire una corretta crescita del sistema².

In questa fase di scenario si è sviluppato inoltre con maggiore attenzione la progettazione della missione, tematica comunque già emersa negli scenari precedenti ma che non è mai stata accuratamente analizzata.

Il piano della missione sarebbe di fondamentale importanza per comprendere al meglio il processo delle fasi di realizzazione dell'intera infrastruttura (Fig.3).

Dopo una prima analisi territoriale nella zona di interesse scelta per la realizzazione dell'infrastruttura, abbiamo proseguito definendo le diverse fasi progettuali del processo realizzativo. Tutte le fasi di realizzazione hanno preso in considerazione le tempistiche di trasporto Terra-Luna, Landing Pad-Lotto e le tempistiche di realizzazione. Ne deriverebbero quattro fasi consequenziali propedeutiche al completamento della struttura e alle fasi di prospettiva futura, il tutto in un lasso di tempo compreso tra il 2040 e il 2042 frutto delle ricerche affrontate che permettono di definire un range temporale adeguato alla realizzazione di questo tipo di costruzioni.

Il primo periodo sarebbe determinato da una fase di supporto, indicativamente da gennaio 2040 fino a maggio 2040, la quale consisterebbe nella spedizione dei rover e

Definizione della missione

2. M. Arnhof, *Design of Human Settlement on Mars Using In-Situ Resources*, in << International Conference on Environmental System (ICES)>>, 46, 2016.

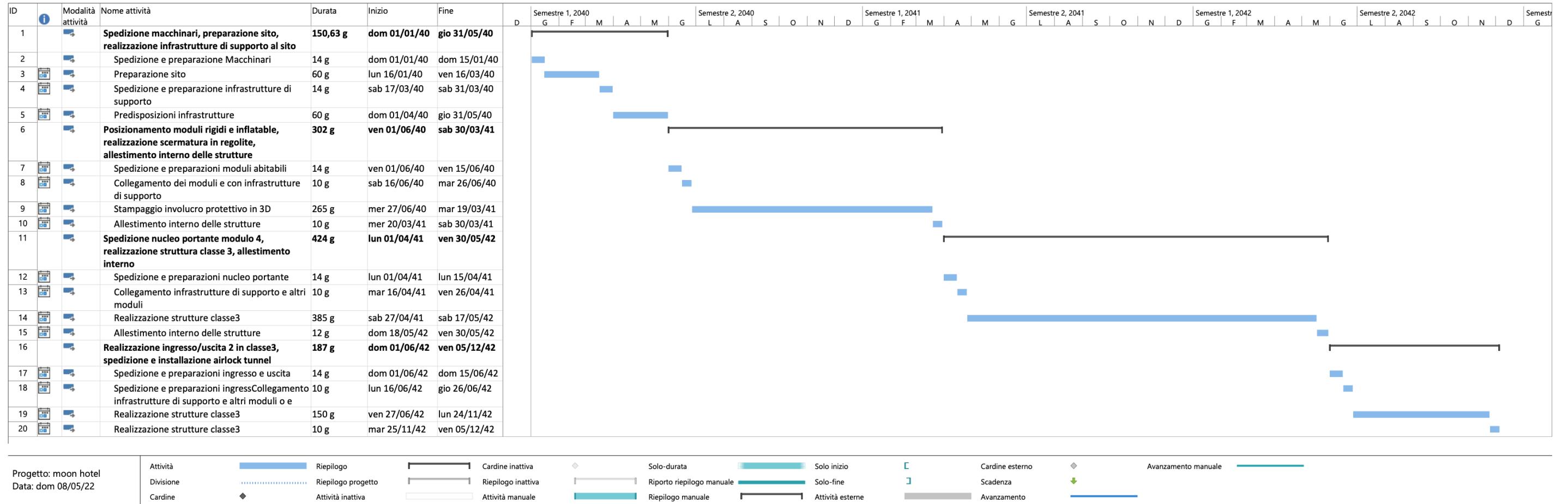


Fig.3 Piano della missione

dei macchinari utili per la preparazione del sito d'intervento con le rispettive strade e lotti.

Successivamente si procederebbe alla preparazione delle strutture di supporto prima ancora della realizzazione dell'edificio principale in modo da permettere, una volta ultimata la struttura principale, il pieno funzionamento dal punto di vista impiantistico ed energetico.

Progetto della missione

Nella successiva fascia temporale, da giugno 2040 e marzo 2041, avverrebbe lo sviluppo della seconda fase di progetto. In questa fase si compierebbe la realizzazione dei primi blocchi abitabili dell'infrastruttura (Fig.4), di classe 2, per astronauti e turisti. Dopo il trasporto dalla Terra, 3 giorni, e il trasporto con successivo posizionamento dei moduli, 2 giorni, l'ultima sottofase prevederebbe la realizzazione dei gusci protettivi schermanti di regolite tramite stampaggio 3D. Come visto nelle analisi avvenute negli scenari precedenti, tali gusci risulterebbero essenziali per la protezione delle strutture e per la salute delle persone che usufruirebbero di questi spazi. Questa operazione richiederebbe un lasso temporale indicativo compreso tra i 6 e i 9 mesi. Al termine della seconda fase, marzo 2041, a 15 mesi dall'inizio della missione potrebbe stabilirsi all'interno della struttura principale la prima squadra di persone formata da quattro astronauti e quattro turisti. Nella prima fase si valuterebbe la realizzazione del blocco contenente la serra.

Tale scelta deriverebbe dalla volontà per la quale, a fasi terminate e struttura completata, l'infrastruttura sarebbe in grado di produrre almeno il 50% del fabbisogno alimentare, diminuendo così i trasporti dalla Terra.

La fase successiva (Fig.5 e 6), aprile 2041-maggio 2042,

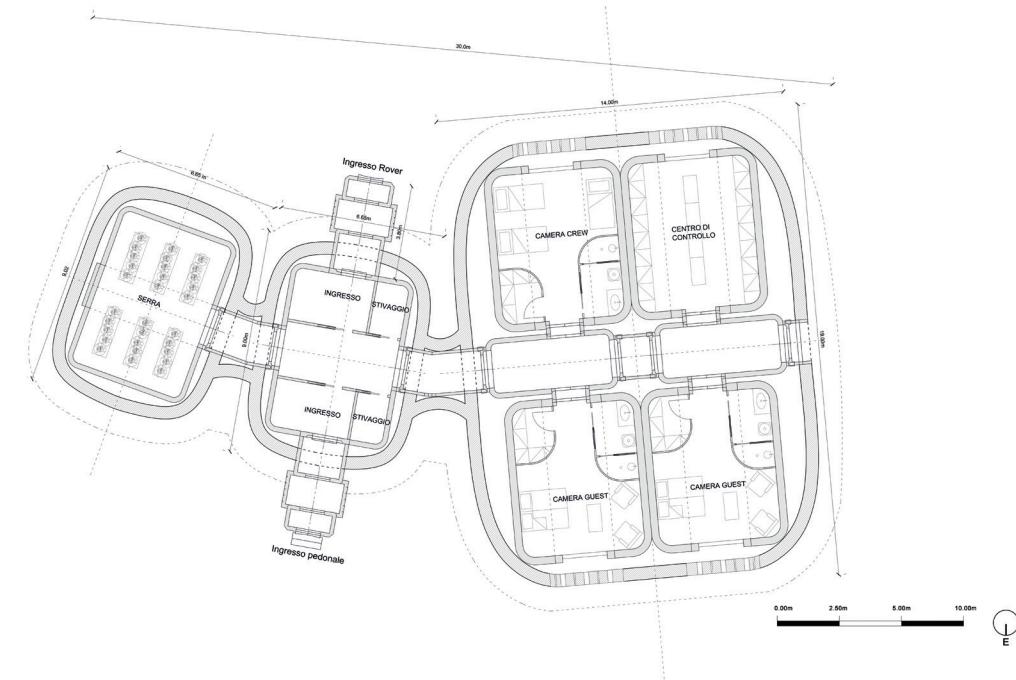


Fig.4 Primi blocchi abitabili

consisterebbe nella realizzazione del blocco principale dell'infrastruttura contenente le funzioni comuni e cardinali come la zona ricreativa, la cucina con zona mensa, la palestra, il centro di controllo, locali impianti e le stanze che ospiteranno gli astronauti. Si ipotizza che una base lunare permanente sarà composta da più tipologie di classe strutturale, con graduale aumento della percentuale di strutture di classe 3 col maturarsi della missione³.

La struttura essendo di classe 3 sarebbe realizzata, per la sua quasi interezza, in situ mediante la tecnologia di stampa 3D con l'utilizzo di risorse locali.

Inoltre, si assumerebbe una pressurizzazione costante del modulo in questione, vista la presenza di funzioni fondamentali al suo interno, a differenza delle stanze dei Guest che, se non utilizzate, potrebbero essere disattivate e depressurizzate, al fine di ottenere un risparmio di energia. La quarta e ultima fase porterebbe al compimento dell'infrastruttura turistica a 2 anni dall'inizio della missione. Il blocco inserito per completare la struttura di classe 3 prevederebbe la realizzazione di un secondo ingresso (Fig.7) in modo da garantire la piena sicurezza in caso di evacuazione d'emergenza, dividendo il flusso in uscita e, allo stesso tempo, favorire un ottimo flusso di entrata-uscita dall'habitat rispondendo al requisito fondamentale di orientamento. Al termine dell'arco temporale in cui si ipotizza la piena funzionalità della struttura riconosciuto pari a 20/30 anni, sarebbe fondamentale riconfigurare i moduli caratterizzati da una classe costruttiva di tipo 2 (ingressi, serra e stanze) in strutture con una tecnologia avanzata.

3. A. Andonov, *Structural Design Criteria for Planetary Bases: Adaptation of Approaches used in Design of Nuclear Facilities on Earth*, in <<International Conference on Environmental System (ICES)>>, 46, 2016.

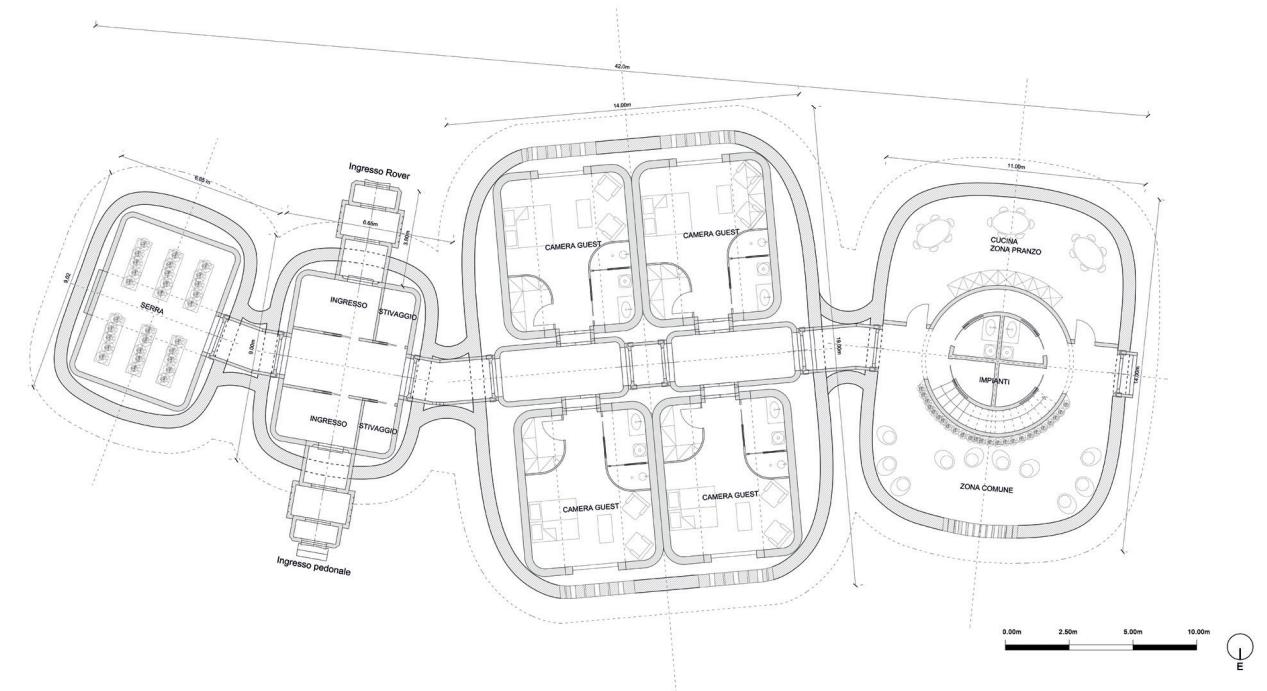


Fig.5 Realizzazione del blocco principale

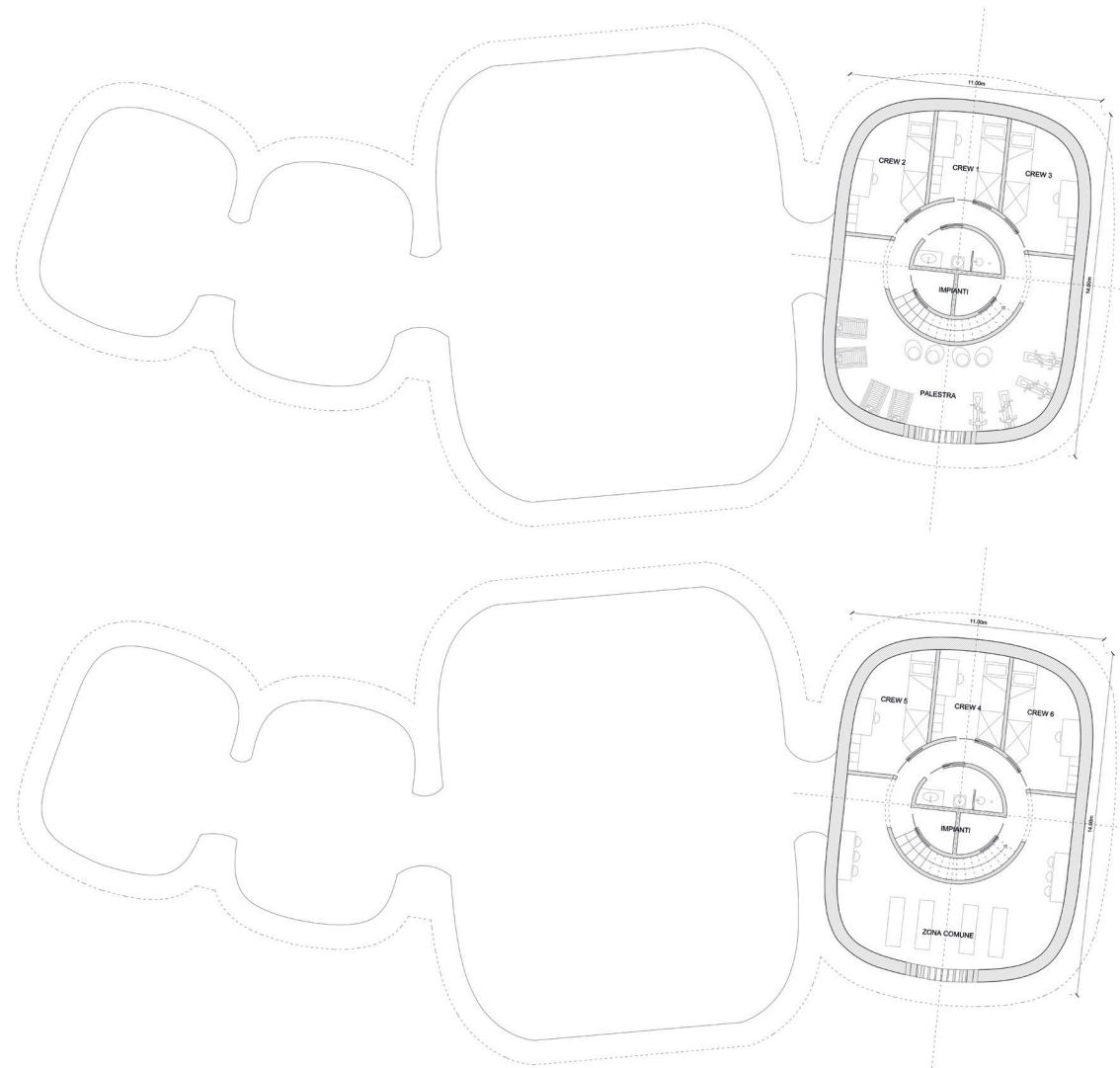


Fig.6 Realizzazione del blocco principale

Livello 1

Livello 2

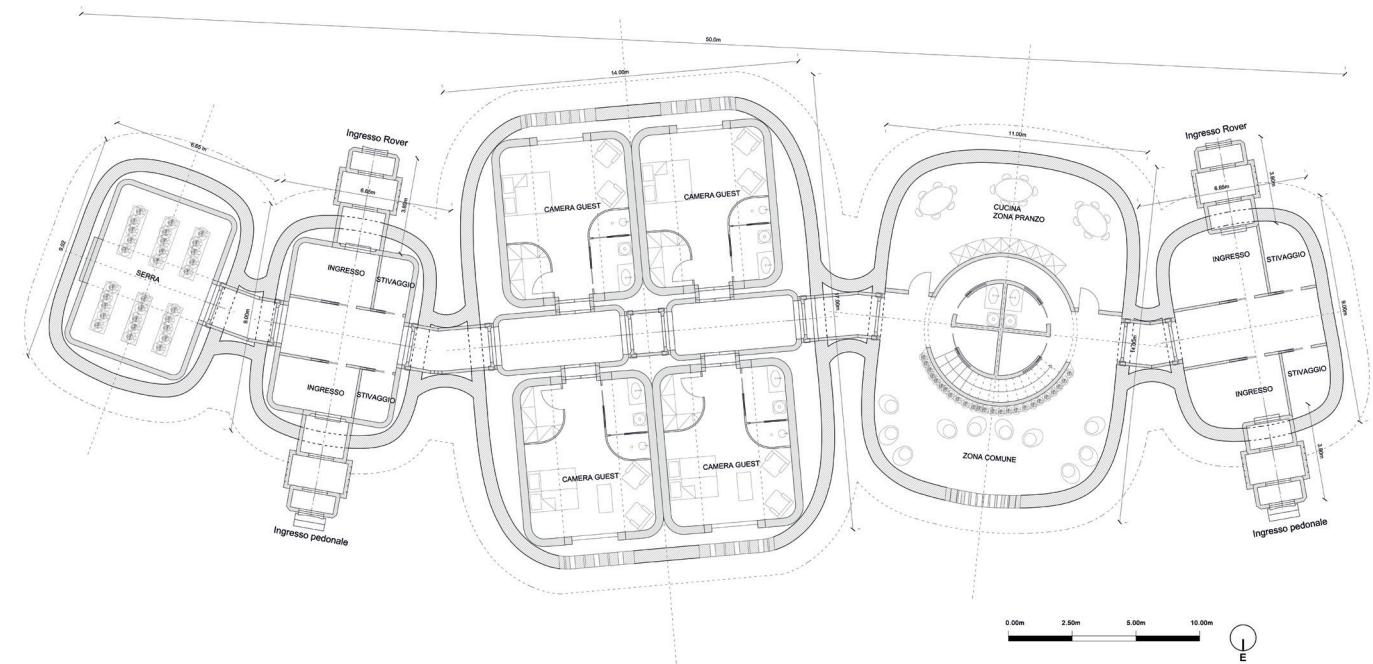
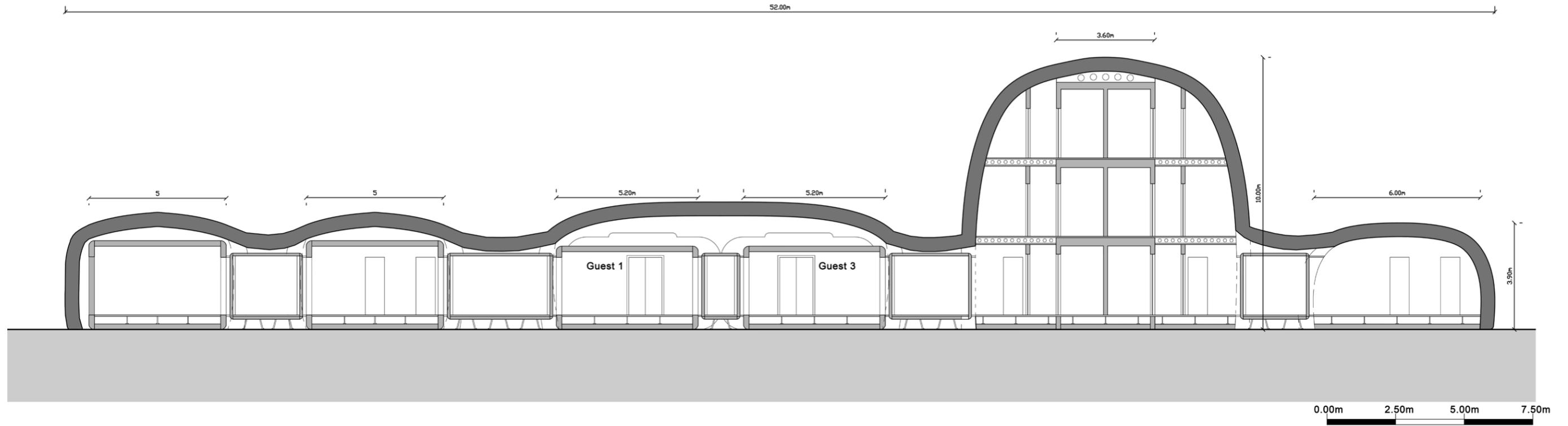
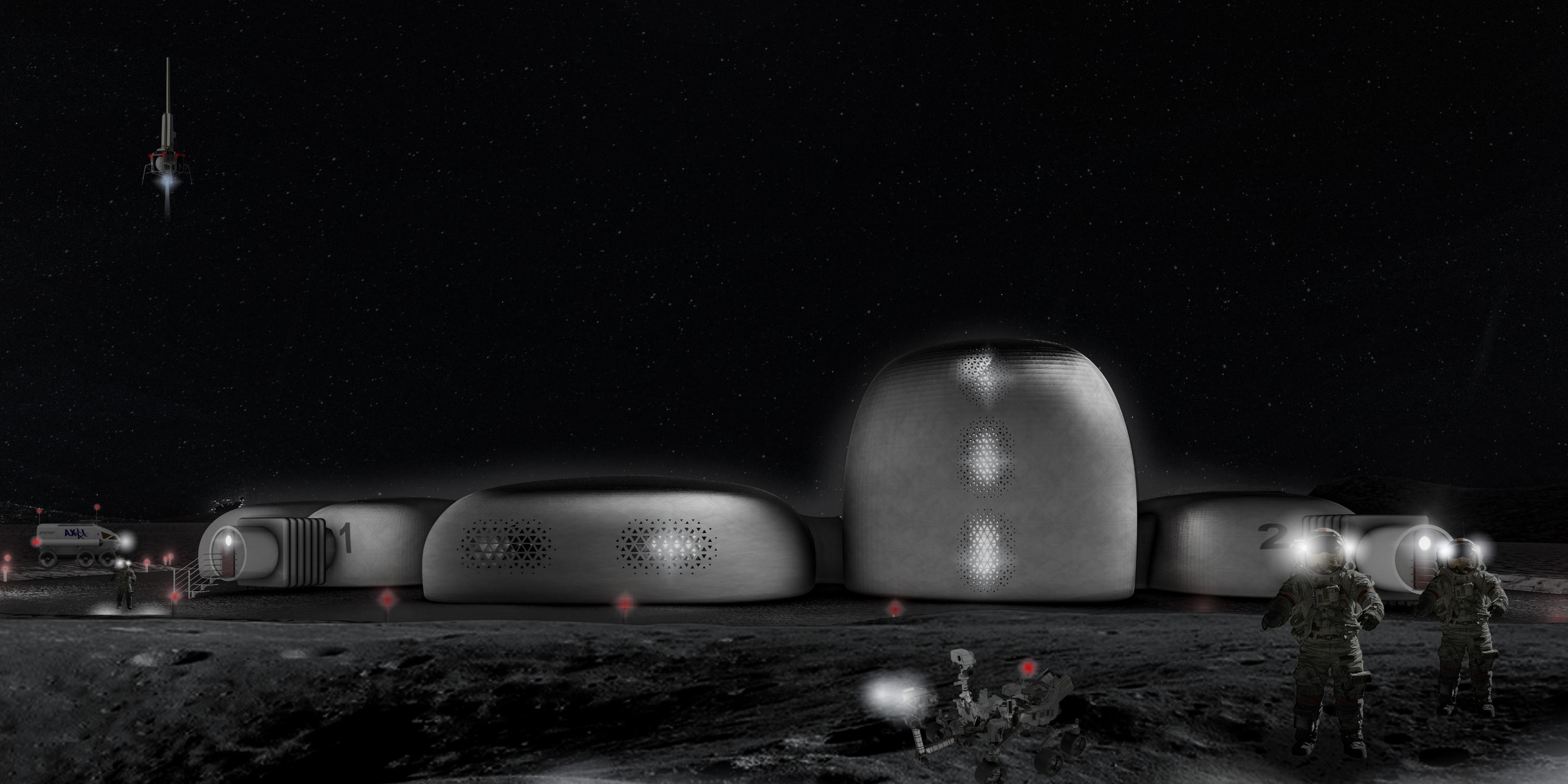


Fig.7 Completamento struttura



Sezione longitudinale





A.B.R
Moon hotel

TOYOTA

TOYOTA







Fasi future La fase 5, di scommessa futura, consisterebbe quindi nella sostituzione dell'edificio "obsoleto" con strutture di classe 3, o successive, nel periodo compreso tra il 2060 e il 2070. Ipotizzando la possibilità di affrontare questo tipo di operazione per rimodernare la struttura, i blocchi di edificio coinvolti sono mostrati nella figura (Fig. 8) Si evidenzerebbe dunque la volontà di sostituire gradualmente, al termine del loro ciclo di vita ipotizzato, i blocchi della struttura definiti in mappa (1,2,3) con nuove tecniche costruttive allineate al continuo sviluppo tecnologico futuro: così facendo la struttura sarebbe in grado di allungare il rispettivo tempo nominale di vita continuando ad ospitare turisti e astronauti dalla Terra.

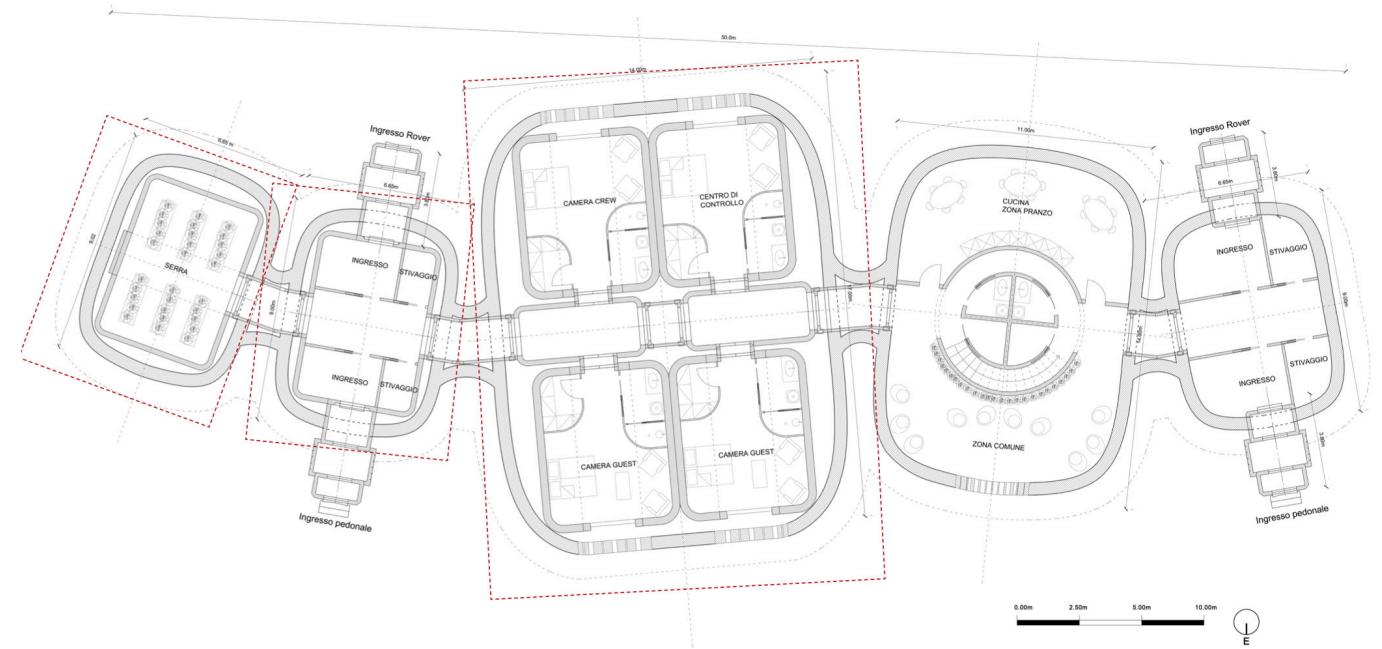
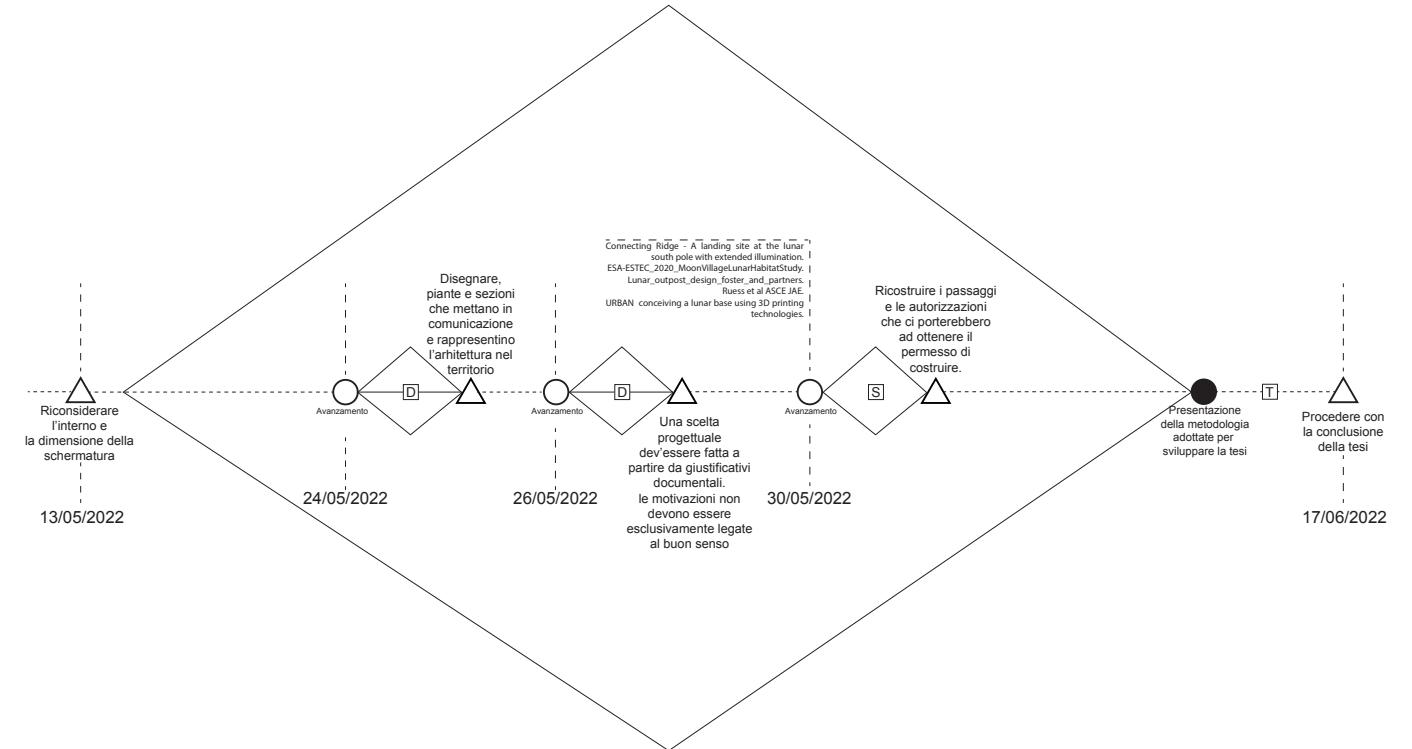


Fig.8 Edifici di classe 2 coinvolti nella riconfigurazione di classe

1

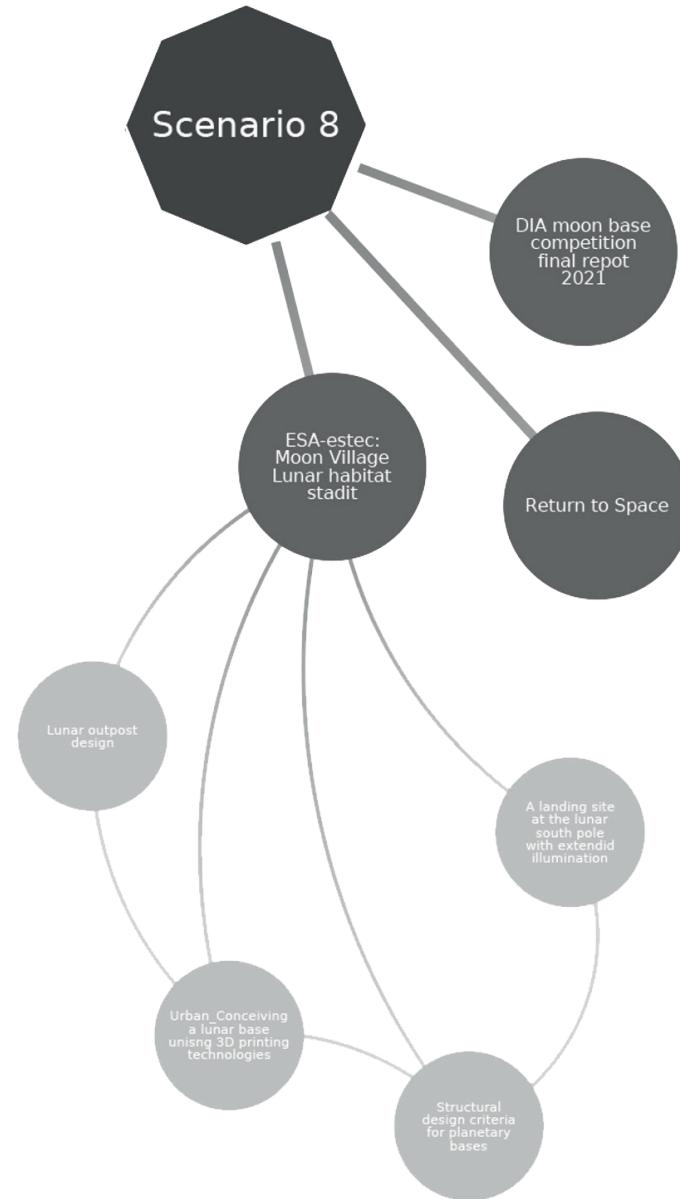
2

Pianificazione
temporale ed
economica
dell'infrastruttura
a scala urbana



Rappresentazione processo progettuale Scenario 8 (Ventaglio ciclo del collettivo di Latour)

Il diagramma rappresentato mostra graficamente il percorso progettuale ricostruito per lo scenario 8



Rappresentazione diagramma documentale

Il diagramma rappresentato mostra graficamente i documenti utilizzati all'interno dello scenario 8

Il generarsi delle nuove deviazioni all'interno del processo progettuale è stato provocato dalle riflessioni avanzate durante l'ultimo incontro del collettivo di tesi avvenuto il 13 maggio 2022, generando nuove considerazioni da affrontare e dando così inizio ad un nuovo scenario progettuale.

Da parte del relatore prof.re Arch. G. Durbiano e prof.ssa Arch. V. Sumini viene mostrata la necessità di realizzare un masterplan ipotetico a scala maggiore di dettaglio rispetto a quello analizzato fino ad ora in modo da uniformare la rappresentazione e rendere più omogenea l'interpretazione dei disegni.

Disegnare un'ipotesi di masterplan più ravvicinato è stato utile per comprendere le possibili soluzioni ipotetiche che si possono adottare per la realizzazione di un habitat lunare¹. Dall'ing. M. A. Perino, invece, viene evidenziata la necessità di ripensare gli spazi interni sia dal punto di vista strutturale, per una questione di gravità differente, che dal punto di vista dell'allestimento, considerato troppo sofisticato, ingombrante e non adatto ad una struttura lunare.

A tal proposito vengono mostrati dalla prof.ssa V. Sumini degli esempi riguardanti possibili conformazioni interne, caratterizzate da design minimale e comfort garantito, dai quali prendere spunto per un design più ricercato.

L'ipotizzare un Masterplan della zona d'interesse ci ha permesso di comprendere al meglio la relazione della nostra struttura con lo spazio circostante e in aggiunta ha permesso di confermare la prospettiva di missione ipotizzata definita in un lasso temporale successivo ai primi arrivi sulla superficie lunare.

Identificare un Masterplan lottizzato ha conferito la

Deviazioni e irruzioni

1. Durbiano G., relatore collettivo di tesi

possibilità di definire un piano guida da seguire per la realizzazione dell'insediamento lunare evidenziando al meglio le ripercussioni che un'edificazione di tale entità genererebbe nei confronti dell'habitat lunare e, viceversa, le influenze delle infrastrutture future presenti nei confronti del progetto proposto, cercando di evitare le potenziali interferenze².

Studio del Masterplan

A tal proposito è stata concepita un'ipotesi plausibile di masterplan della zona d'interesse basandosi sulle esperienze terrestri, in quanto identificate come buono punto di partenza per possibili configurazioni ottimali sul suolo lunare³.

La volontà di realizzazione di un nuovo villaggio lunare permanente sarebbe il primo sforzo dell'umanità al di fuori dello spazio terrestre e, per questo motivo, la definizione di un piano funzionale in modo da definire la realtà fisica dell'insediamento risulterebbe di fondamentale importanza per il ruolo chiave riguardante gli aspetti sociali, di governance e legali dell'habitat⁴. A riguardo, sono state analizzate le possibili soluzioni terrestri utilizzate come configurazioni strategiche per la creazione di un nuovo insediamento. Il primo esempio deriva dai romani, più precisamente dagli accampamenti militari, disposti su una griglia rettangolare organizzata attorno a due vie intersecanti (cardo e decumano) (Fig.1).

Tuttavia, questo esempio non risulterebbe vantaggioso sulla Luna in quanto da considerarsi non adattabile al meglio ad un terreno sconnesso dato dalla differente topografia della superficie⁵.

Una configurazione plausibile potrebbe essere quella delle

città lineari (Fig.2).

L'adozione di questo tipo di configurazione lineare in fasce, oltre che adattarsi meglio ad un terreno sconnesso, permetterebbe il raggiungimento ottimale degli obiettivi di sicurezza, efficienza e flessibilità⁶ tenendo sempre valida la considerazione secondo cui la superficie oggetto di insediamento non sia da considerarsi come area priva di vincoli e restrizioni che, fortunatamente, ne limitano e regolano l'utilizzo e ne dettano linee guida per la realizzazione di un futuro insediamento.

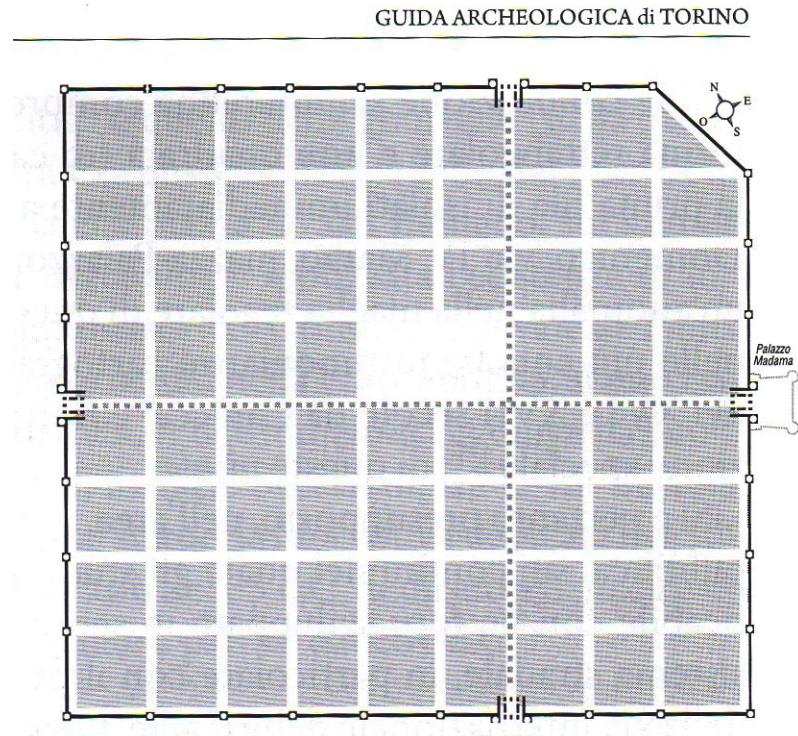
2. A. Salmeri, co-relatore collettivo di tesi

3. V. Sumini, co-relatrice collettivo di tesi

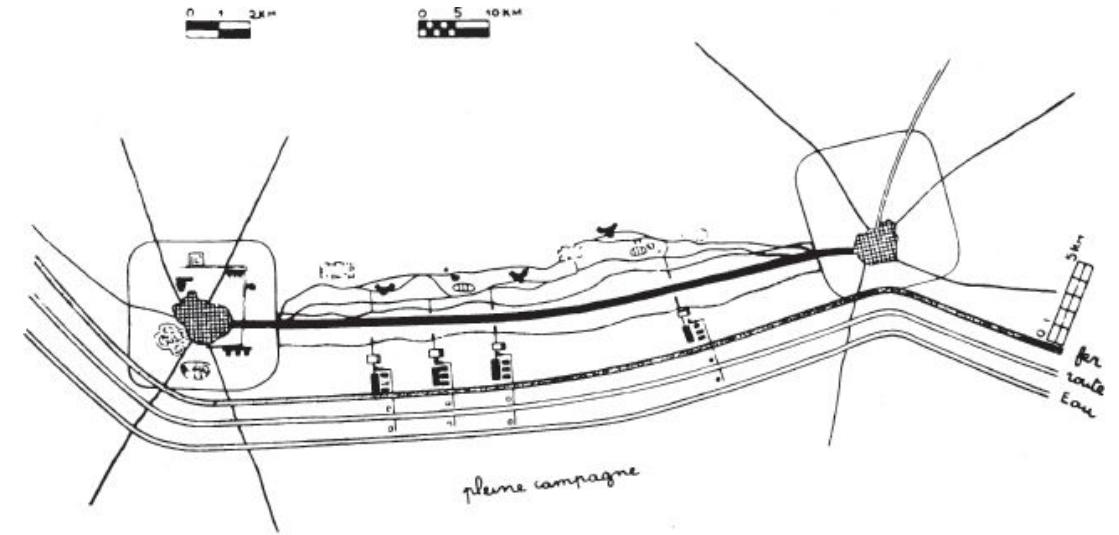
4. G. Durbiano, Slameri A., collettivo di tesi

5. G. Petrov, D. Inocente, et al., *Moon Village Reference Masterplan and Habitat Design*, in <<International Conference on Environmental Systems (ICES)>>, 49, 2019

6. G. Petrov, D. Inocente, et al., *Moon Village Reference Masterplan and Habitat Design*, in <<International Conference on Environmental Systems (ICES)>>, 49, 2019



(Fig.1) Pianta schematica della Città romana di Torino. Disponibile a: archeocarta.org/wp-content/uploads/2014/10/Torino-fororomano-guida-GAT.jpg



(Fig.2) Pl. 1 Le Corbusier, Città lineare industriale, 1942. Disponibile a: LeCorbusier.com, Oeuvres complètes, Vol. IV, 1938-1946, pp.75

Ipotesi di Masterplan A tal proposito, è stato configurato un masterplan suddiviso in tre fasce di pertinenza distinte. La prima, quella a ridosso della cresta del cratere Shackleton, è rappresentata dai nuovi lotti per l'edificazione degli edifici. La seconda, posizionata ad una distanza di sicurezza di 1 km, definisce la fascia all'interno della quale verrebbero inserite le infrastrutture di supporto agli edifici. L'ultima fascia, nella zona più lontana dal cratere, identifica l'area di esplorazione libera per la ricerca dei vari stakeholders. La distanza minima del Landing Pad prevista è di 1 km per evitare che nelle fasi di atterraggio, o decollo, detriti ed eventuali incidenti possano danneggiare le strutture di supporto e le abitazioni. Data la scarsa gravità, la scarsa resistenza dell'aria e dall'assenza di vento questi viaggerebbero ad un'elevata velocità e per una lunga distanza. Il landing pad è inoltre soggetto a vincoli morfologici che ne determinano la sua posizione. Per le medesime ragioni di sicurezza, anche le distanze per le infrastrutture di produzione energetica sono state definite ad almeno 1 km e, in aggiunta, ci si è posti l'obiettivo di garantire ai collegamenti un percorso il più lineare possibile per soddisfare le notevoli richieste di manutenzioni e la derivante accessibilità. I principi geopolitici analizzati, consigliati dal dt. Salmeri, hanno sottolineato l'importanza della tutela e conservazione del patrimonio del suolo lunare, da ritenersi non appropriabile, ma bene dell'umanità. La sostenibilità è quindi al centro dell'analisi progettuale e lo sviluppo di un'ipotesi di masterplan a partire dalle regole fino ad ora approfondite. Questa considerazione ha portato a definire un ambiente con una densità minima affinché si

possano evitare interferenze tra le infrastrutture e pertanto garantire una visione di habitat lunare. All'interno del documento OST⁷ si ribadisce, inoltre, come tali aree debbano essere condivise e non esclusive. Il masterplan è stato analizzato in diverse fasi temporali fino al raggiungimento dell'estensione massima con l'obiettivo di rielaborare in ambito architettonico e urbanistico le considerazioni giuridiche e geopolitiche per la realizzazione di futuri ambienti extraterrestri. Siamo consapevoli che l'attuazione di un masterplan di questo genere comporterebbe sicuramente un costo aggiuntivo per quanto riguarda la realizzazione delle infrastrutture di collegamento e i trasporti per il raggiungimento dei vari lotti, ma avrebbe a supporto le normative che conferirebbero ad esso una maggiore probabilità di definizione legale dell'impostazione.

Definire un'analisi diacronica realizzando una timeline di masterplan ipotetico evoluta nel tempo ci aiuterebbe a comprendere meglio le relazioni che la nostra struttura avrebbe con l'ambiente e le altre strutture presenti durante il suo intero ciclo di vita (Fig.3). Per lo sviluppo della timeline progettuale siamo partiti dalla fase zero nel 2025 per la ricerca ed esplorazione dell'area d'interesse. In seguito nella fase successiva, compresa tra il 2025 e il 2030, verrebbe strutturato un primo insediamento per il monitoraggio dello sviluppo del masterplan con la realizzazione di landing pad provvisorio, area di ricerca, area di infrastruttura di supporto e area habitat (Fig.4).

Analisi diacronica

7. Outer Space Treaty

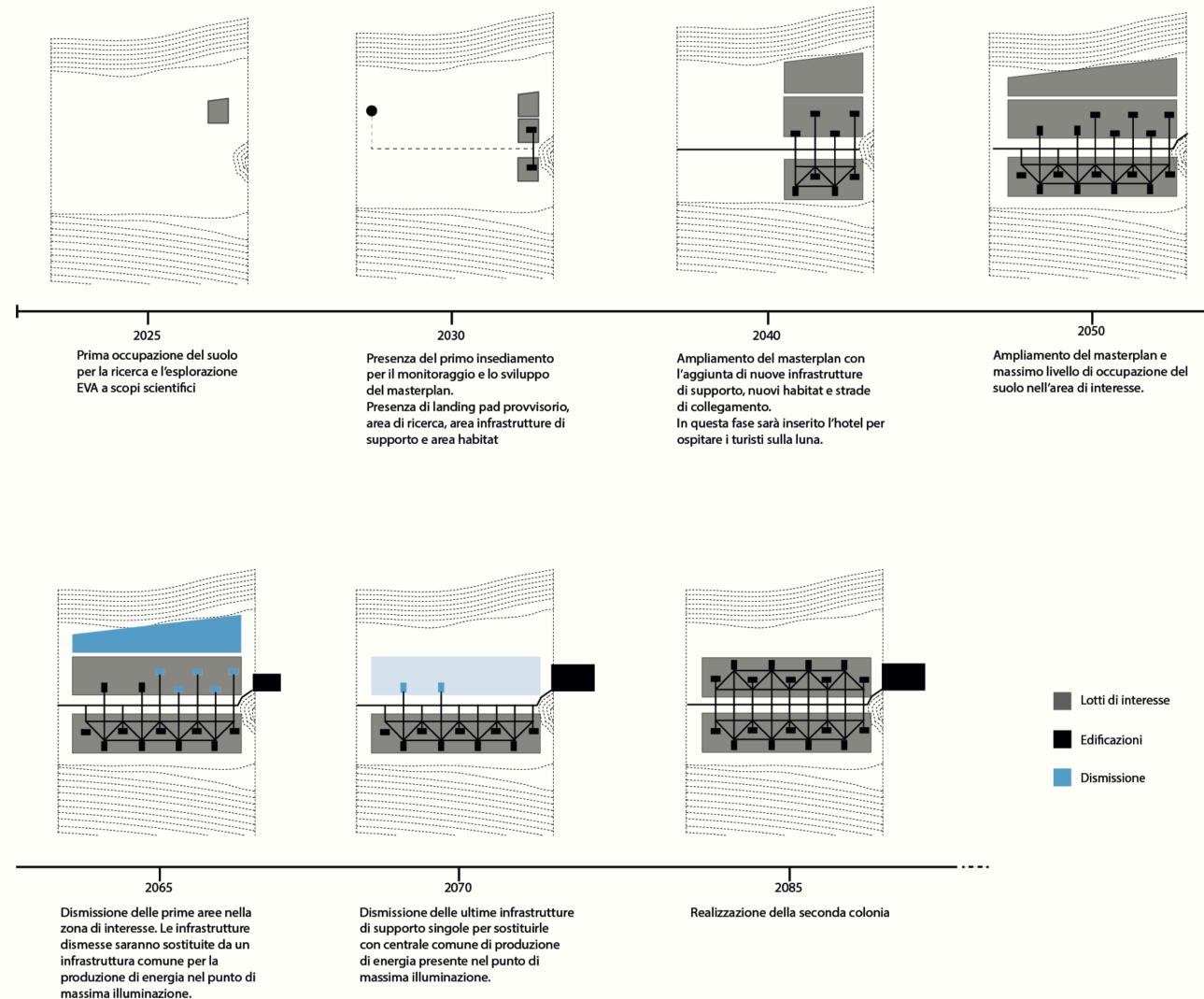


Fig. 3 Timeline Masterplan di progetto

Successivamente fino al 2040 il masterplan sarebbe sottoposto ad una prima fase di ampliamento con l'aggiunta di infrastrutture di supporto, nuovi habitat e strade di collegamento (Fig.5). Tra il 2040 e il 2050 il masterplan vedrebbe avviare il processo di espansione fino al raggiungimento del livello massimo di occupazione del suolo ipotizzato per la prima fascia abitativa (Fig.6). Dal 2050 si adotterebbero i primi interventi di smaltimento delle infrastrutture di supporto con l'obiettivo di giungere al 2070 in cui le infrastrutture precedenti verrebbero completamente sostituite da una struttura condivisa di produzione energetica posizionata nelle aree identificate nel masterplan generale. La fase successiva, 2080, prevederebbe l'ampliamento delle strutture abitabili nella fascia che prima risultava essere di pertinenza delle strutture per la produzione di energia, arrivando così al massimo utilizzo dell'area di interesse. Per rendere questo possibile e per rispettare un principio di sostenibilità, le strutture per la produzione di energia verrebbero fin da subito concepite come elementi riconfigurabili, smontabili e smaltibili qualora sostituiti dalla centrale unica di produzione energetica, indispensabile per il sostentamento dell'insediamento. Terminato lo studio sulle fasi di pianificazione del masterplan, ci siamo concentrati su un ulteriore zoom planimetrico in modo da definire più accuratamente la composizione dell'intero insediamento (Fig.7-8-9-10-11).

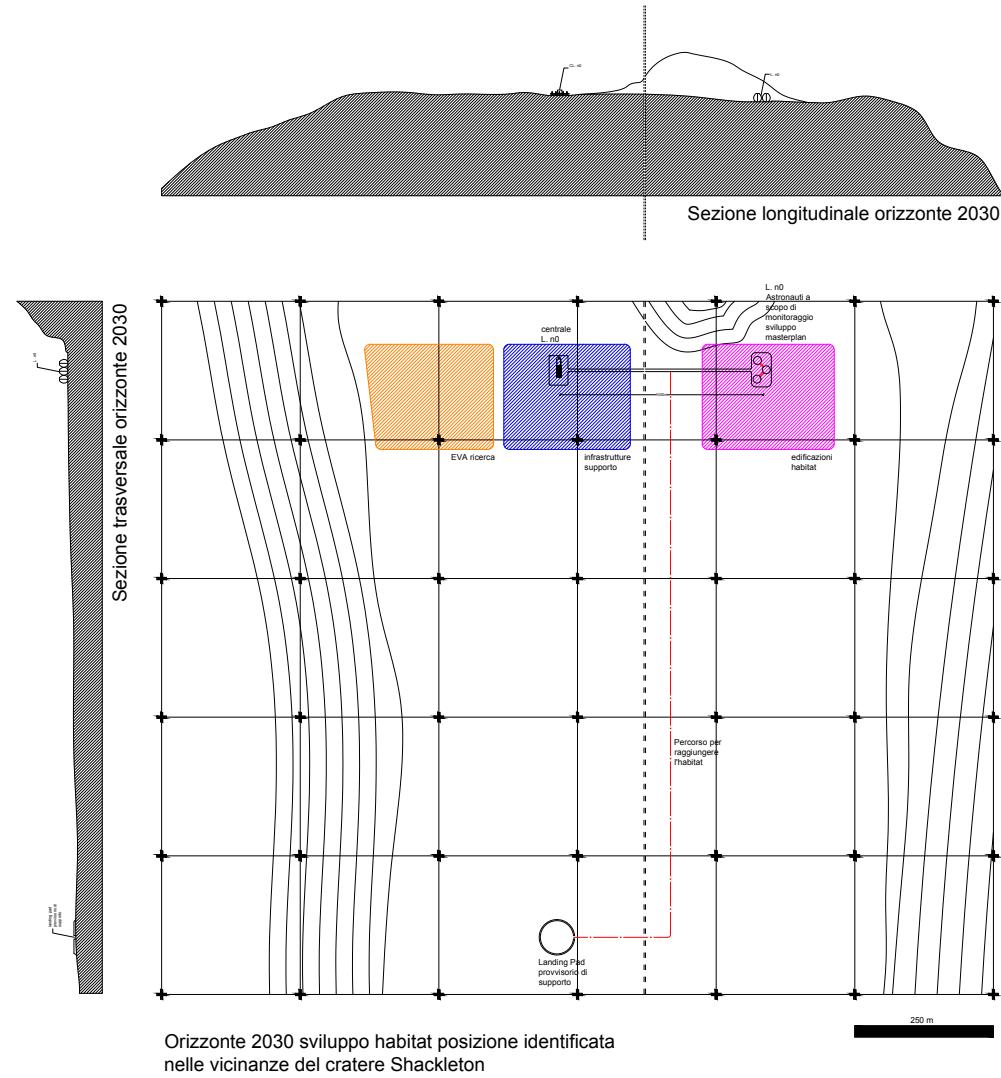


Fig. 4 Fase 1 Masterplan

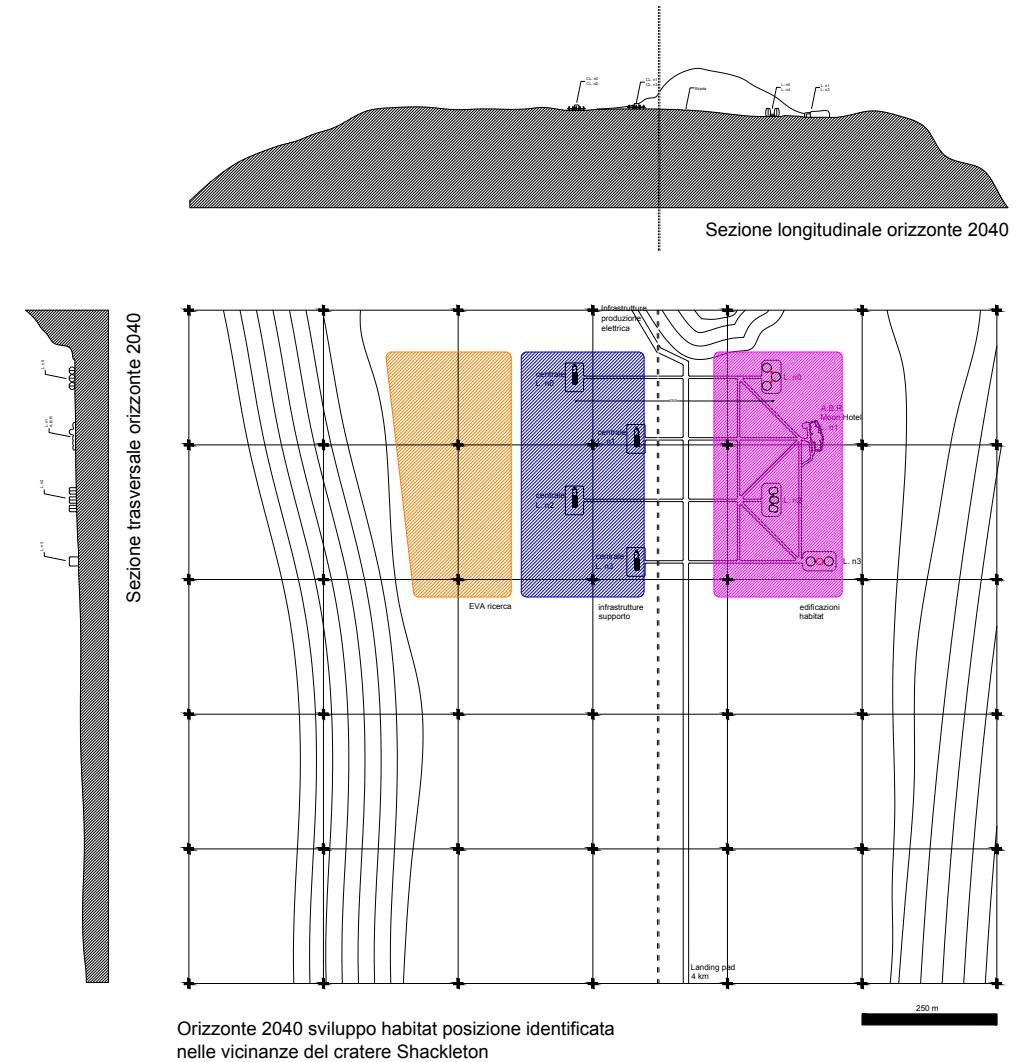


Fig. 5 Fase 2 Masterplan

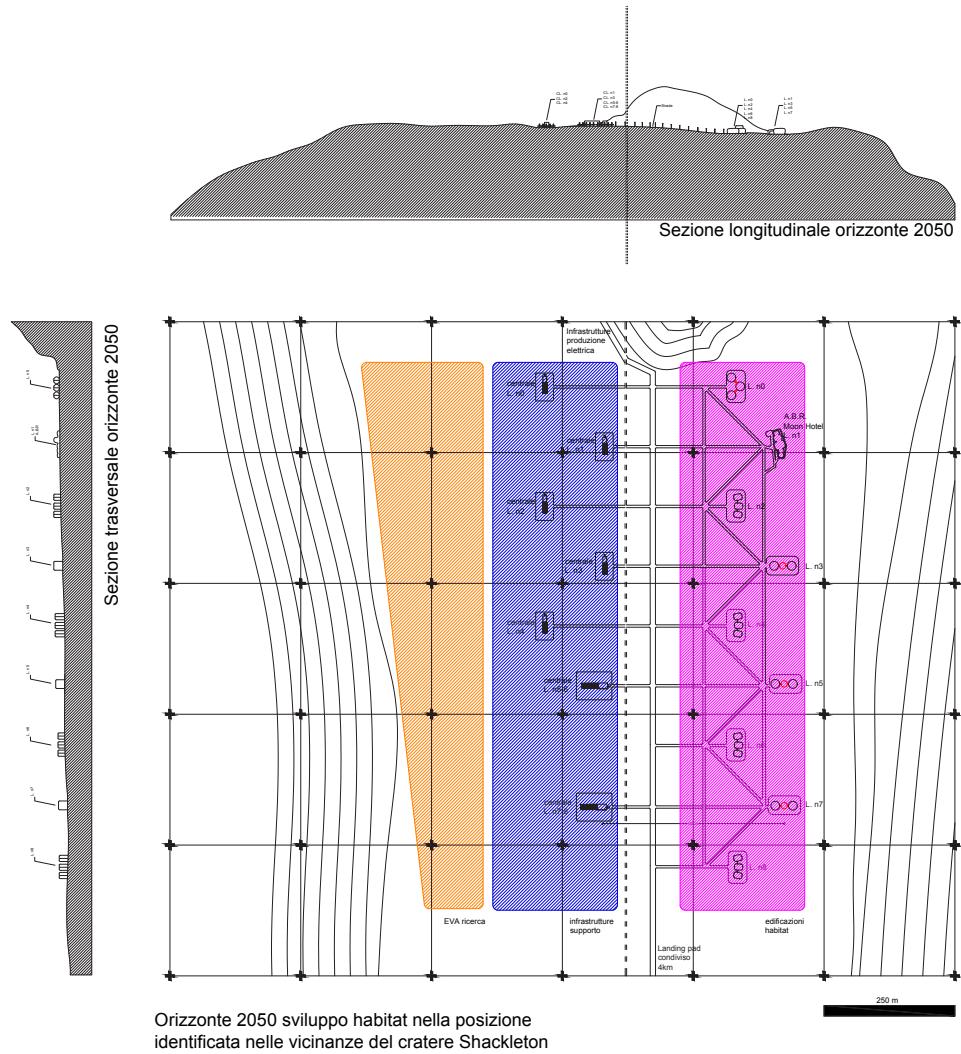


Fig.6 Fase 3 Masterplan

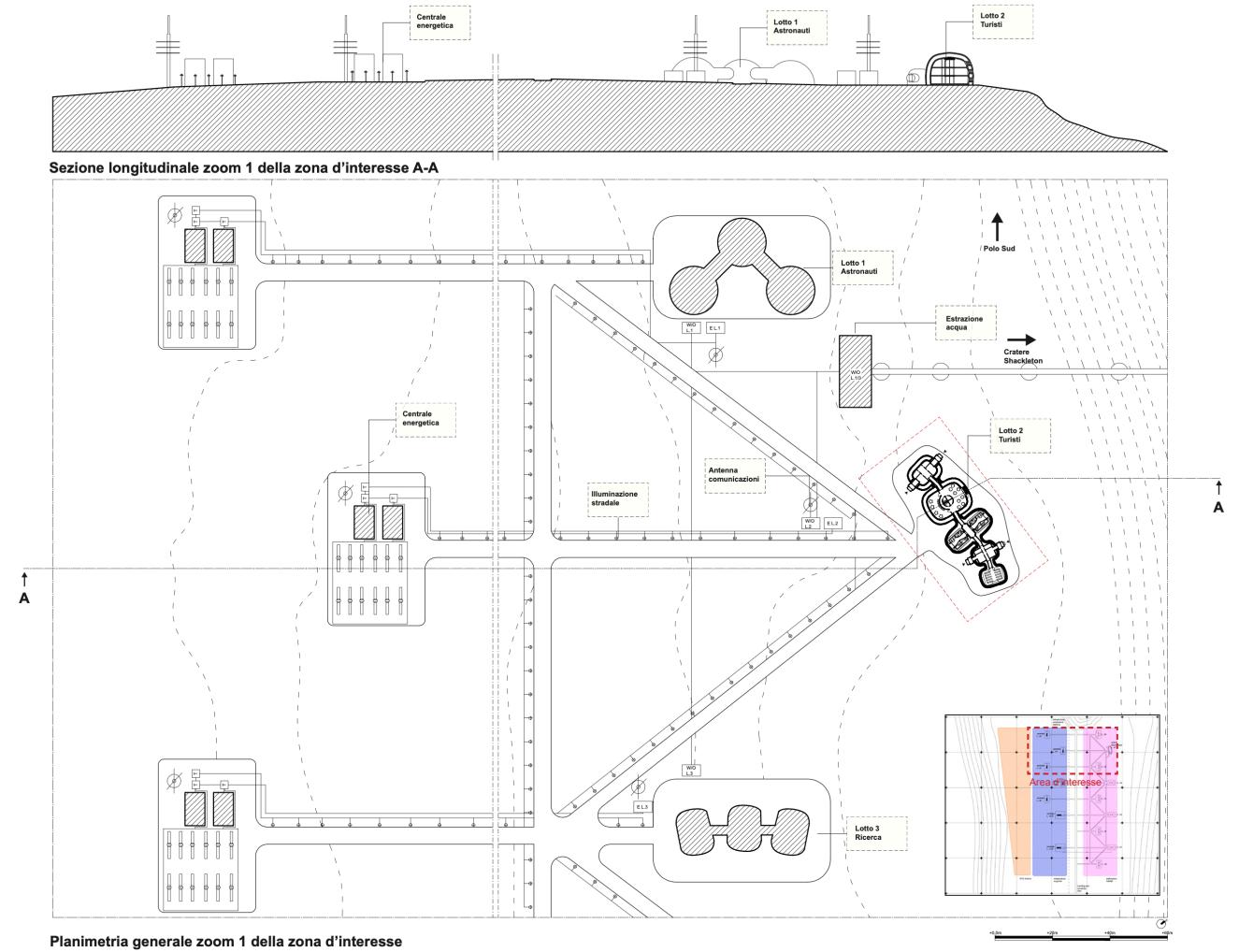


Fig.7 Zoom planimetria generale

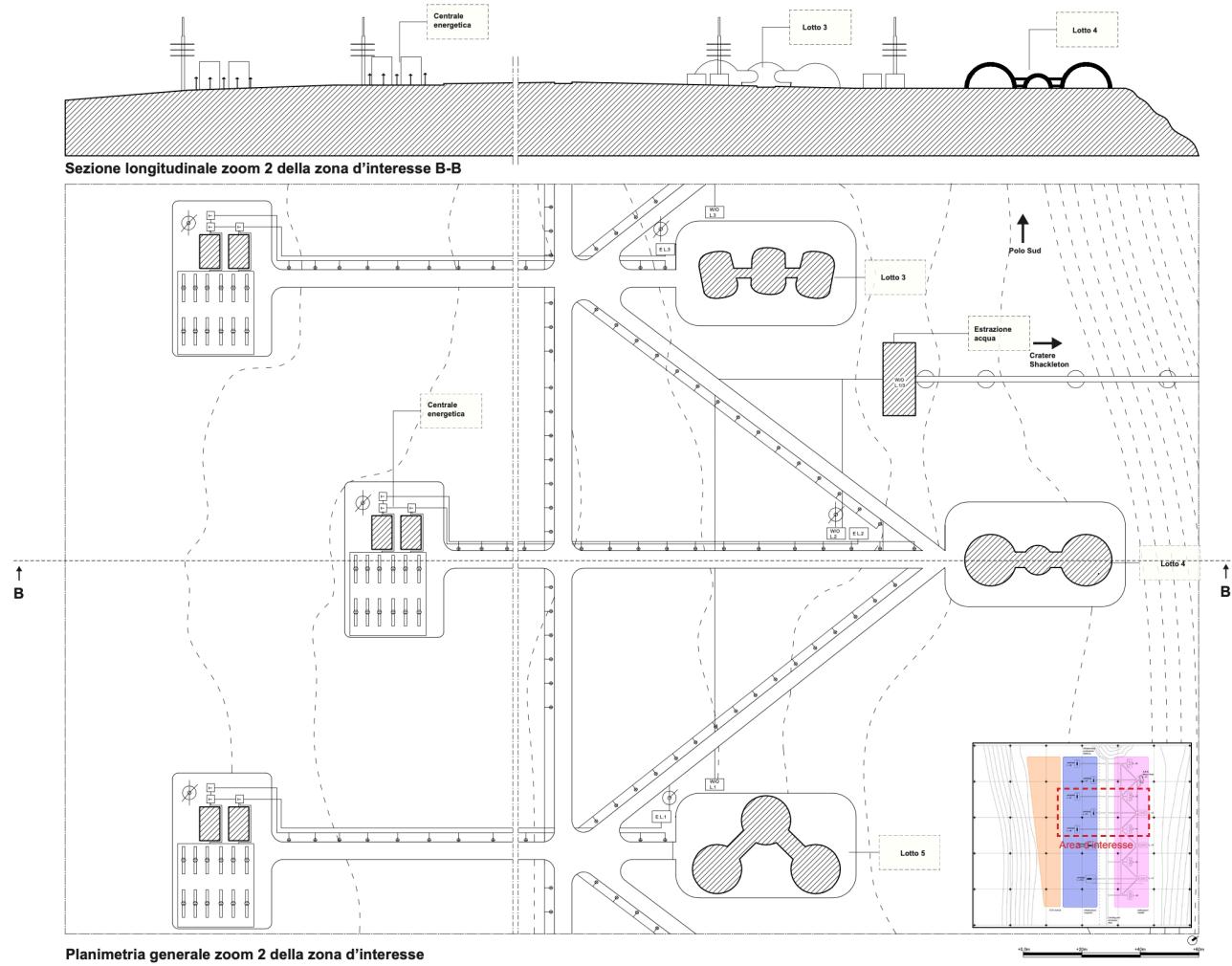


Fig.8 Zoom planimetrica generale

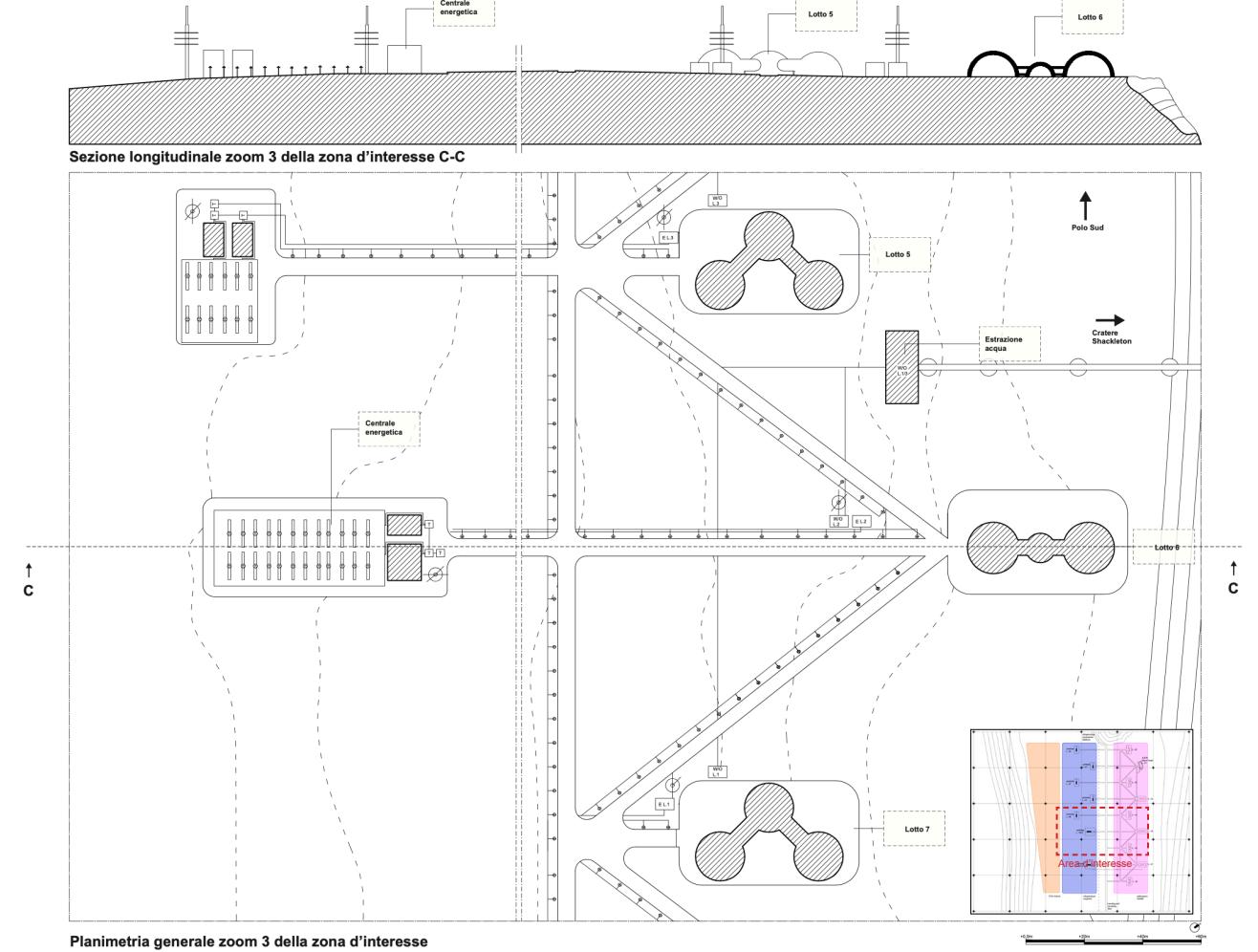


Fig.9 Zoom planimetrica generale

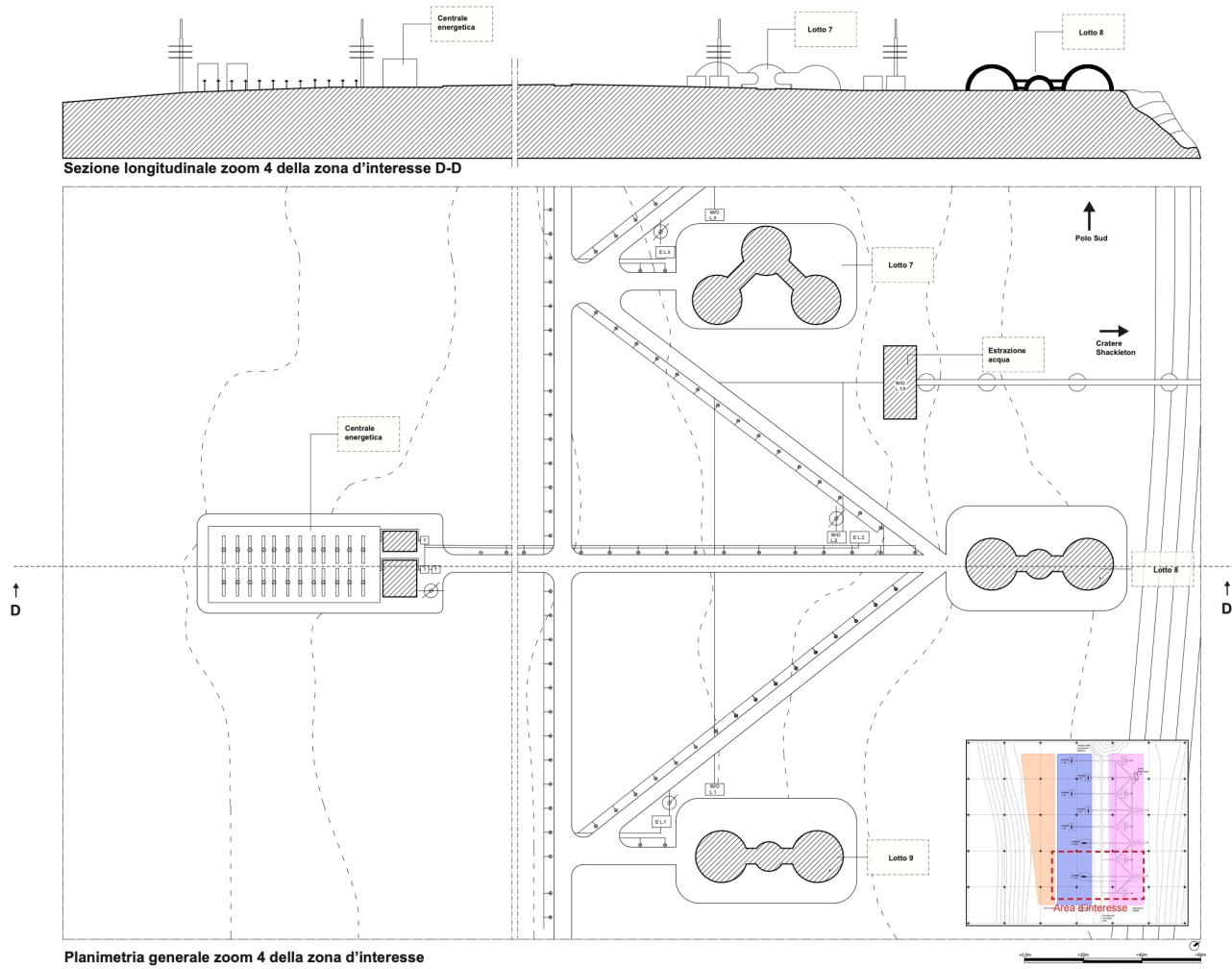


Fig.10 Zoom planimetria generale

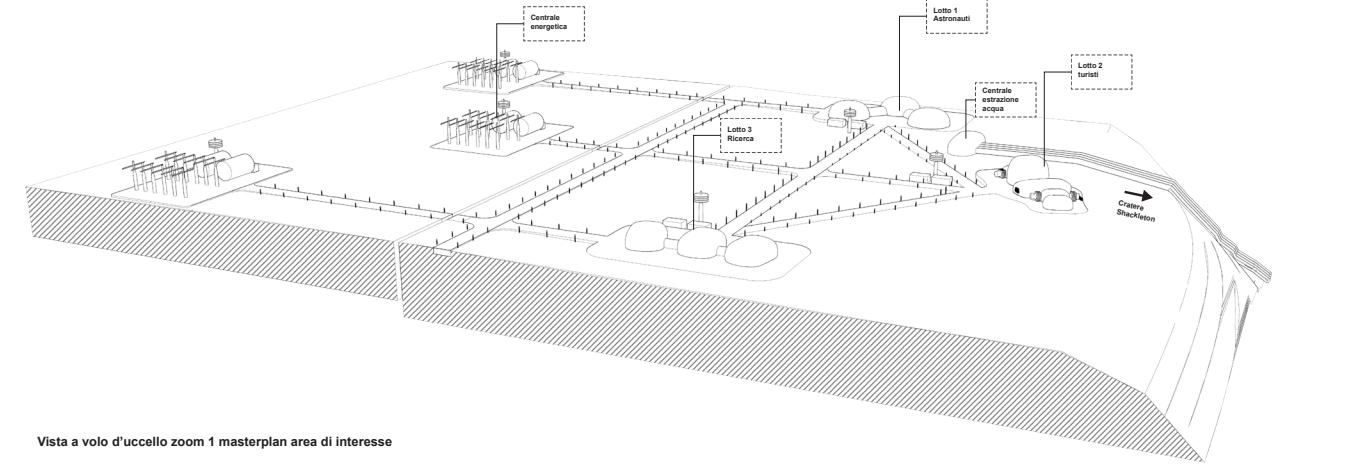
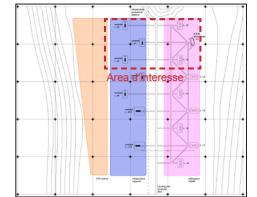


Fig.11 Vista volo d'uccello di una porzione di planimetria generale



Fasi di progetto Alla luce delle considerazioni sopra riportate, si sono adottate importanti modifiche temporali allo sviluppo dell'infrastruttura turistica.

Nello specifico, è stata rivalutata la prima fase di supporto prevista per la preparazione delle strade e dei lotti in quanto si darebbe per consolidata la realizzazione delle stesse durante la fase di masterplan riconducibile al decennio 2030-2040. Così facendo, la prima fase operativa verrebbe anticipata a gennaio 2040 stadio in cui avverrebbe lo sviluppo della prima effettiva fase di progetto. In questa fase si compierebbe la realizzazione dei primi blocchi abitabili dell'infrastruttura, di classe 2, per astronauti e turisti. Dopo il trasporto dalla Terra, 3 giorni, e il trasporto con successivo posizionamento dei moduli, 2 giorni, l'ultima sotto-fase prevederebbe la realizzazione dei gusci protettivi schermanti di regolite tramite stampaggio 3D. Come visto nelle analisi avvenute negli scenari precedenti, tali gusci risulterebbero essenziali per la protezione delle strutture e per la salute delle persone che usufruirebbero di questi spazi. Questa operazione richiederebbe un lasso temporale indicativo compreso tra i 6 e i 9 mesi con ipotetico completamento previsto entro ottobre 2040.

Seguirebbe da novembre 2040 la possibilità di ospitare la prima squadra di persone costituita da quattro astronauti e quattro turisti (Fig.12). Per l'aggiunta, nella fase citata si valuterebbe la realizzazione congiunta del blocco contenente la serra dettata dalla volontà secondo la quale l'infrastruttura, seppur parziale, possa soddisfare almeno il 50% del fabbisogno alimentare, diminuendo così i trasporti dalla Terra. La fase successiva, novembre 2040-ottobre 2041, confermerebbe la realizzazione del blocco principale

dell'infrastruttura in situ mediante la tecnologia di stampa 3D con l'utilizzo di risorse locali⁸ (Fig. 13-14-15).

Seguirebbe dunque, come nella fase precedente, il completamento dell'infrastruttura con l'aggiunta del modulo per il secondo ingresso, ipoteticamente completabile entro settembre 2042 (Fig.16).

Al termine dell'arco temporale in cui si ipotizza la piena funzionalità della struttura riconosciuto pari a 20/30 anni, sarebbe fondamentale riconfigurare i moduli caratterizzati da una classe costruttiva di tipo 2 (ingressi, serra e stanze) in strutture con una tecnologia avanzata.

La fase 5, di scommessa futura, consisterebbe quindi nella sostituzione dell'edificio ritenuto "obsoleto" con strutture di classe 3, o successive, nel periodo compreso tra il 2060 e il 2070.

Ipotizzando la possibilità di affrontare questo tipo di operazione, per rimodernare la struttura, nella figura 17 vengono mostrati i blocchi di edificio coinvolti. Si evidenzerebbe dunque la volontà di sostituire gradualmente, al termine del loro ciclo di vita ipotizzato, i blocchi della struttura definiti nella figura con nuove tecniche costruttive allineate al continuo sviluppo tecnologico futuro: così facendo la struttura sarebbe in grado di allungare il rispettivo tempo nominale di vita continuando ad ospitare turisti e astronauti dalla Terra.

8. A. Andonov, *Structural Design Criteria for Planetary Bases: Adaptation of Approaches used in Design of Nuclear Facilities on Earth*, in <<International Conference on Environmental System (ICES)>>, 46, 2016.

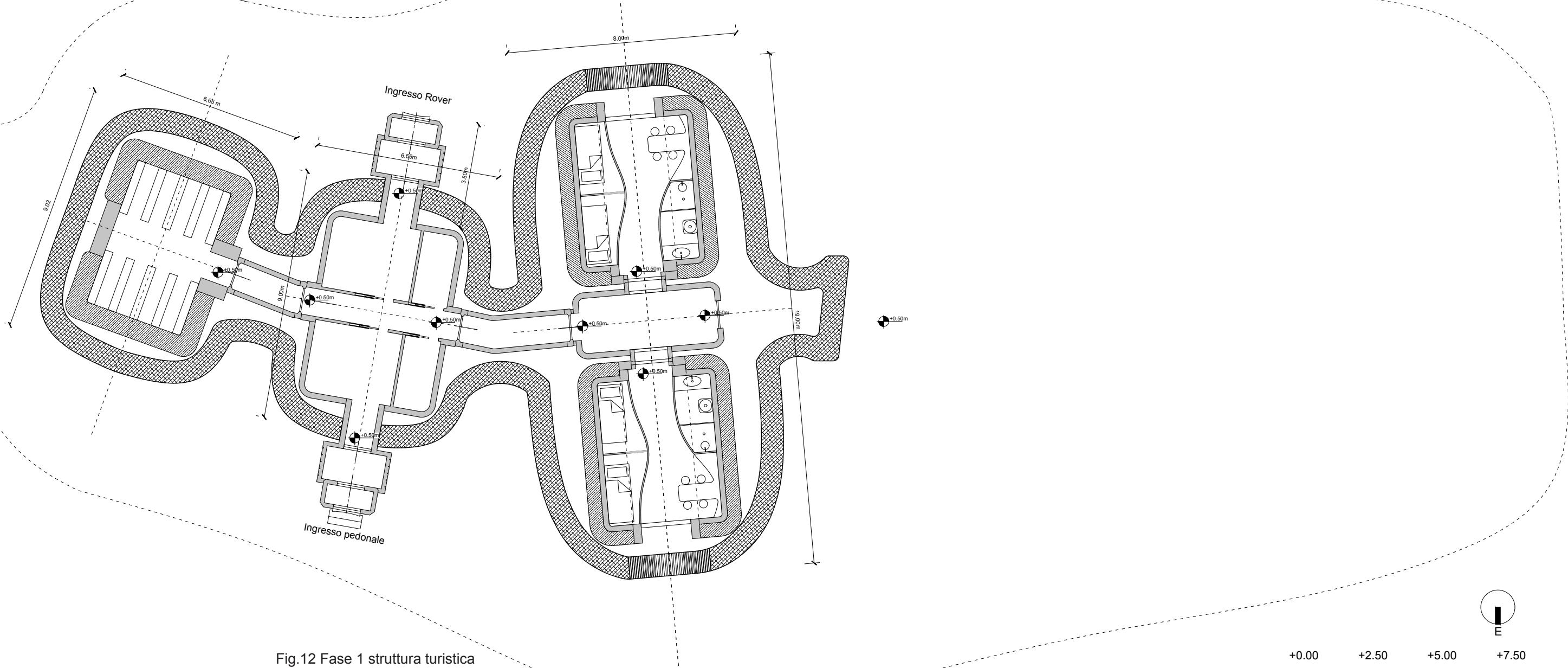
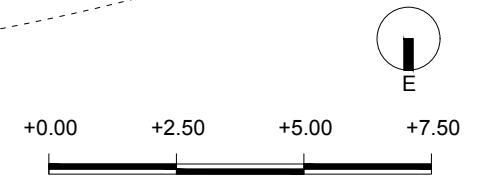


Fig.12 Fase 1 struttura turistica



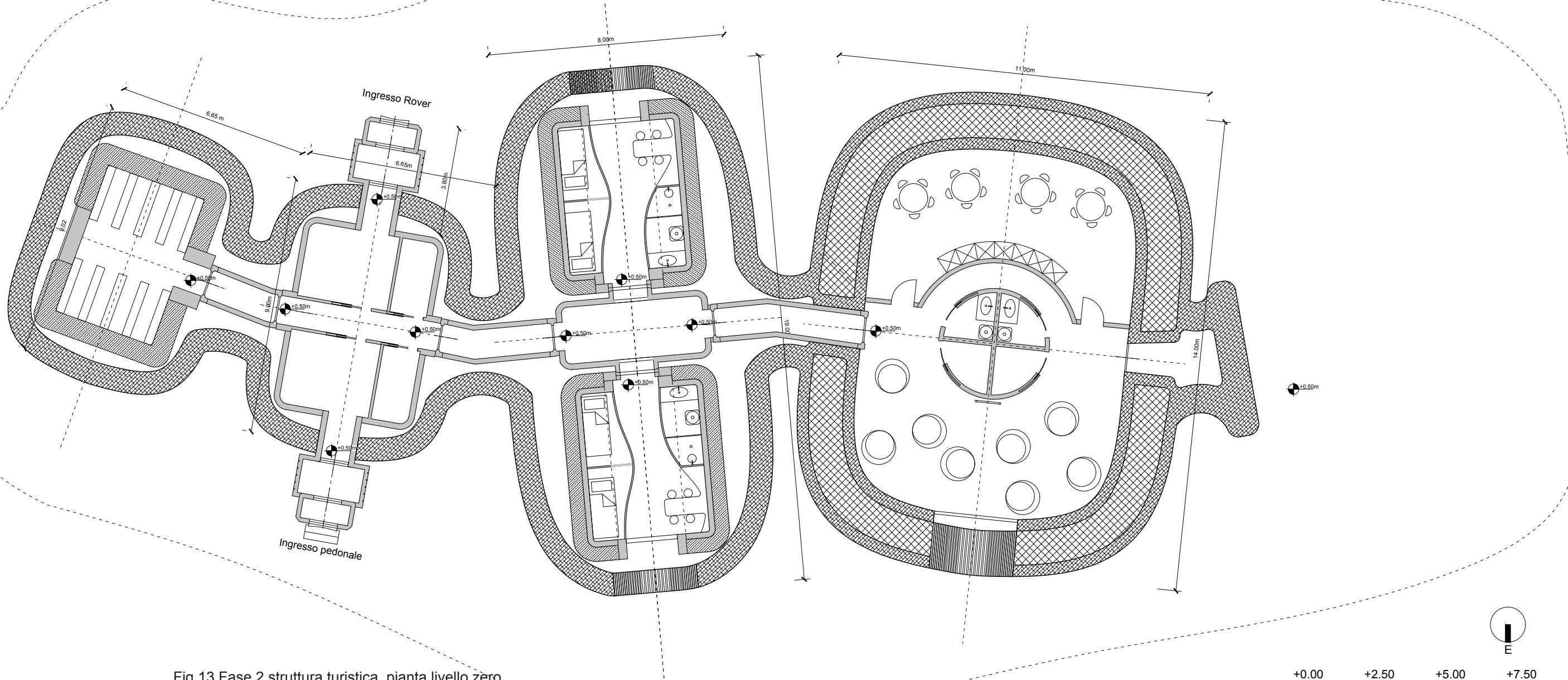


Fig.13 Fase 2 struttura turistica, pianta livello zero



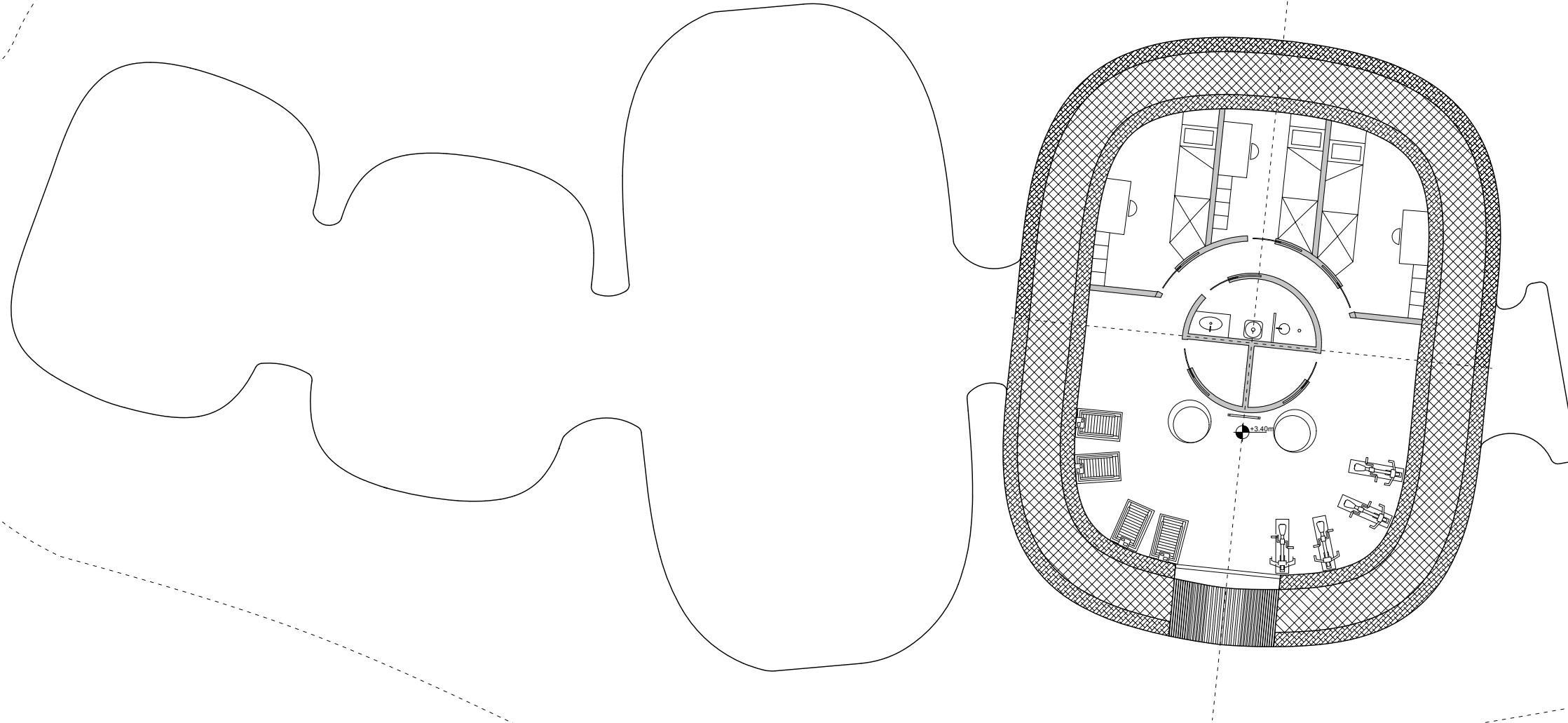
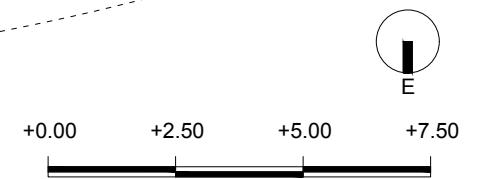


Fig.14 Fase 2 struttura turistica, pianta livello uno



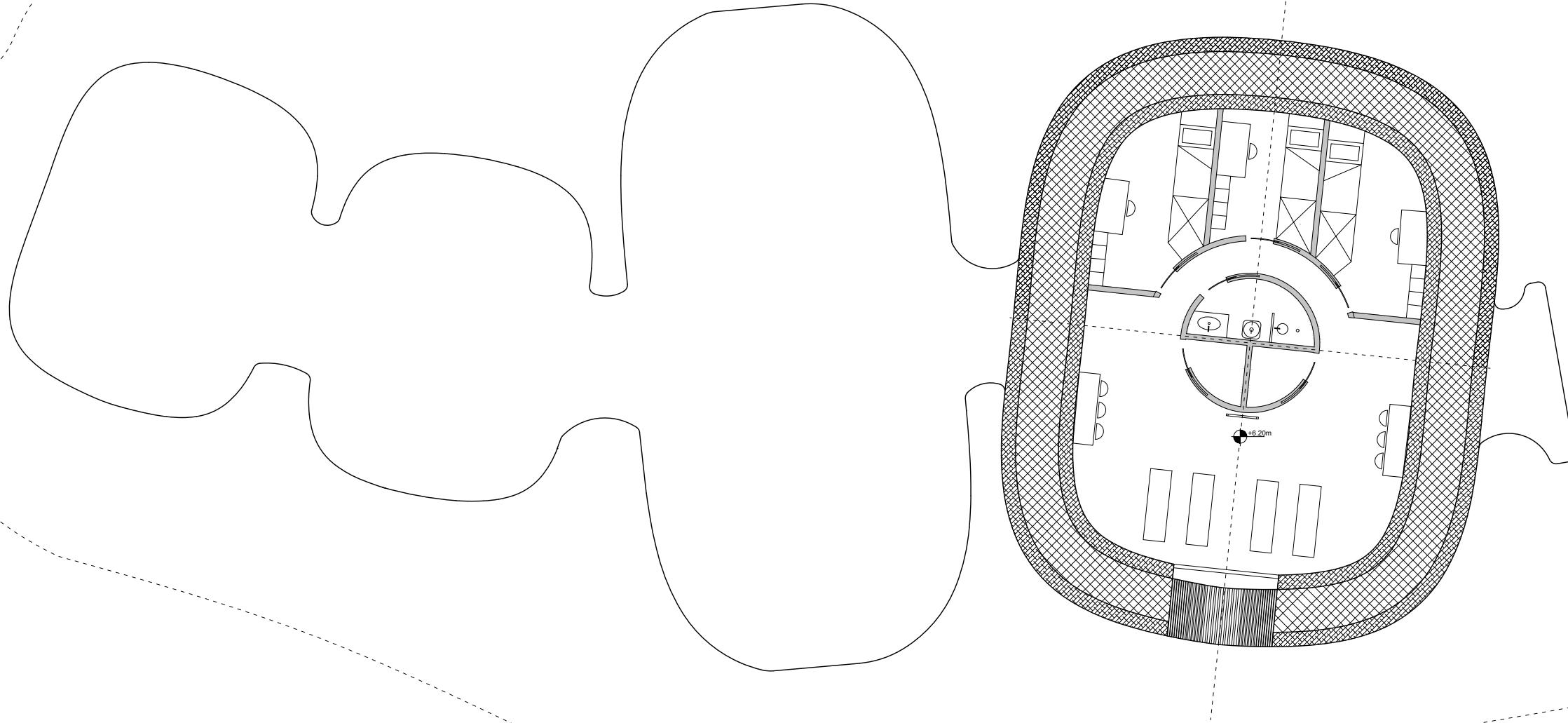
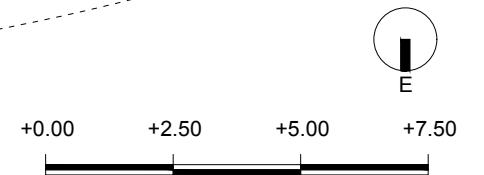


Fig.15 Fase 2 struttura turistica, pianta livello due



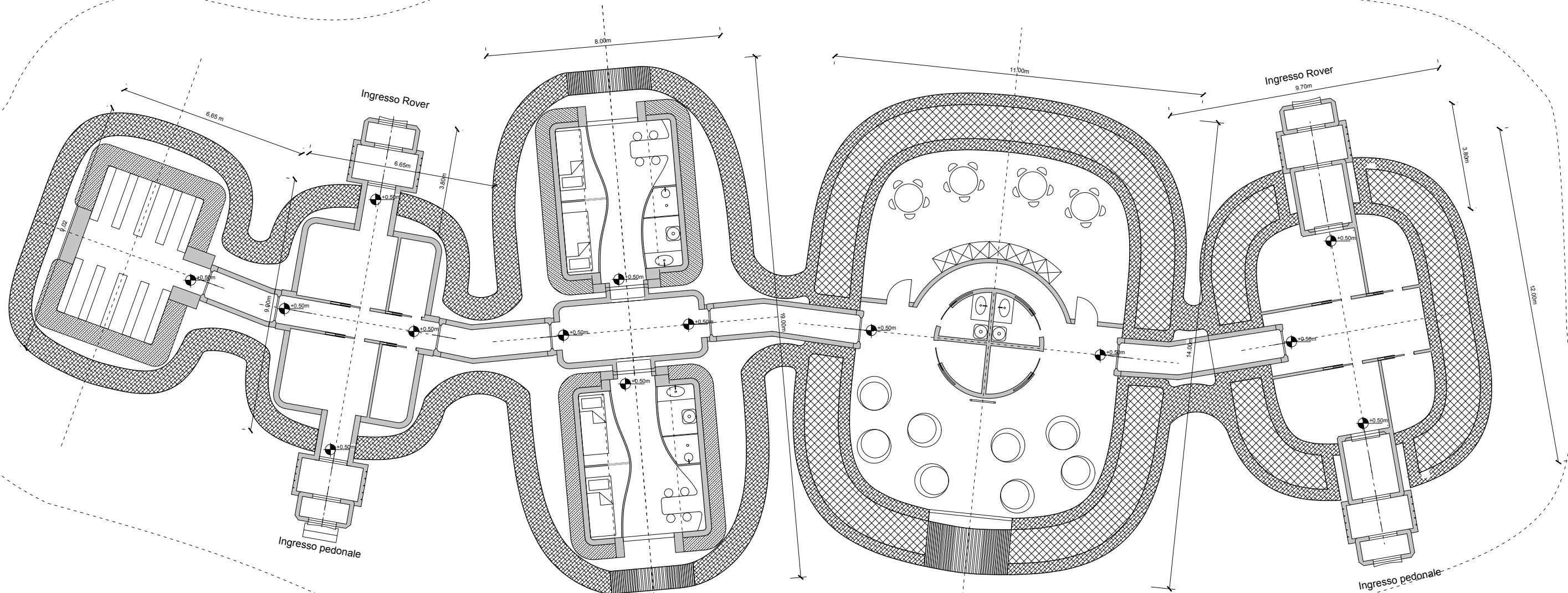
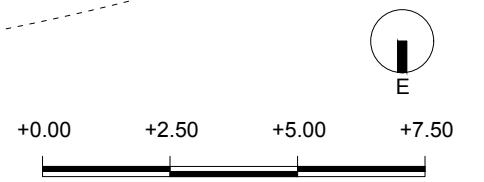


Fig.16 Fase 3 finale, completamento struttura turistica



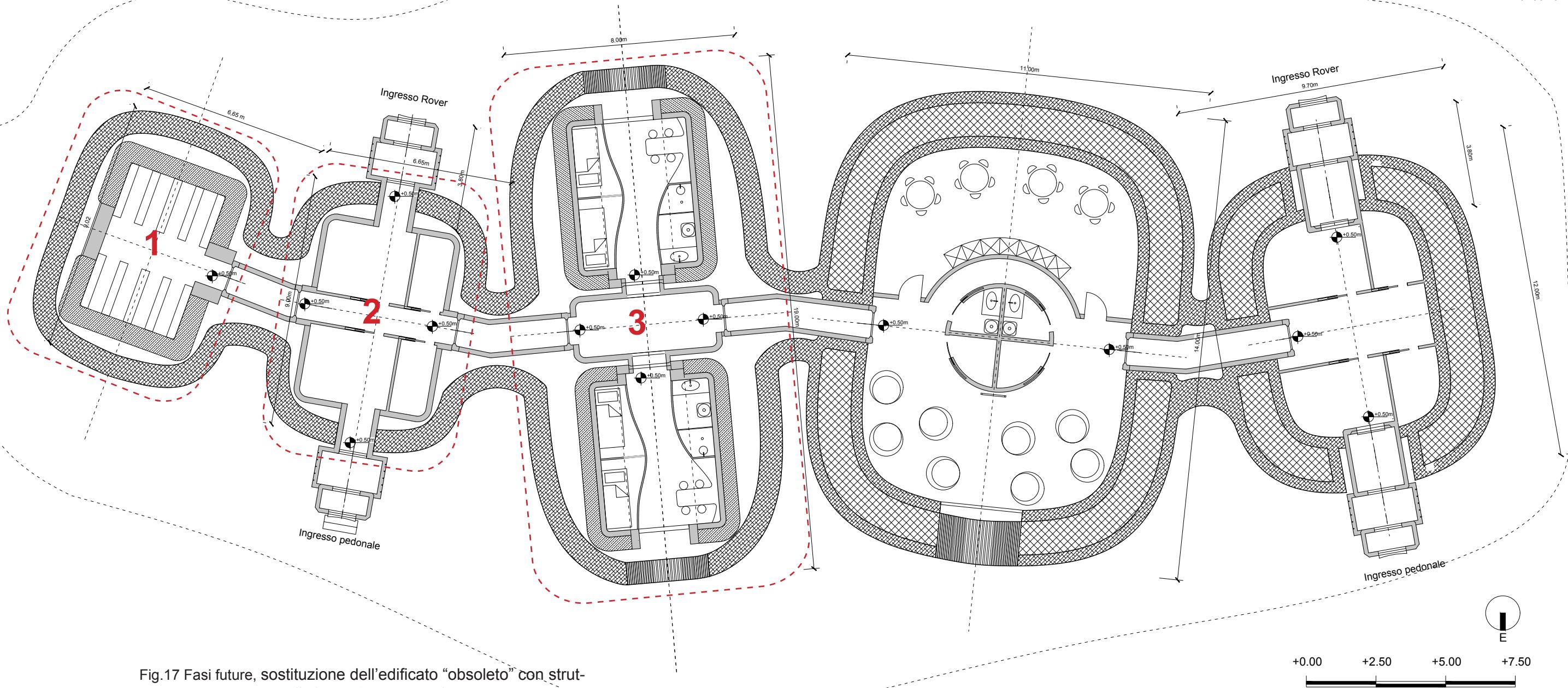
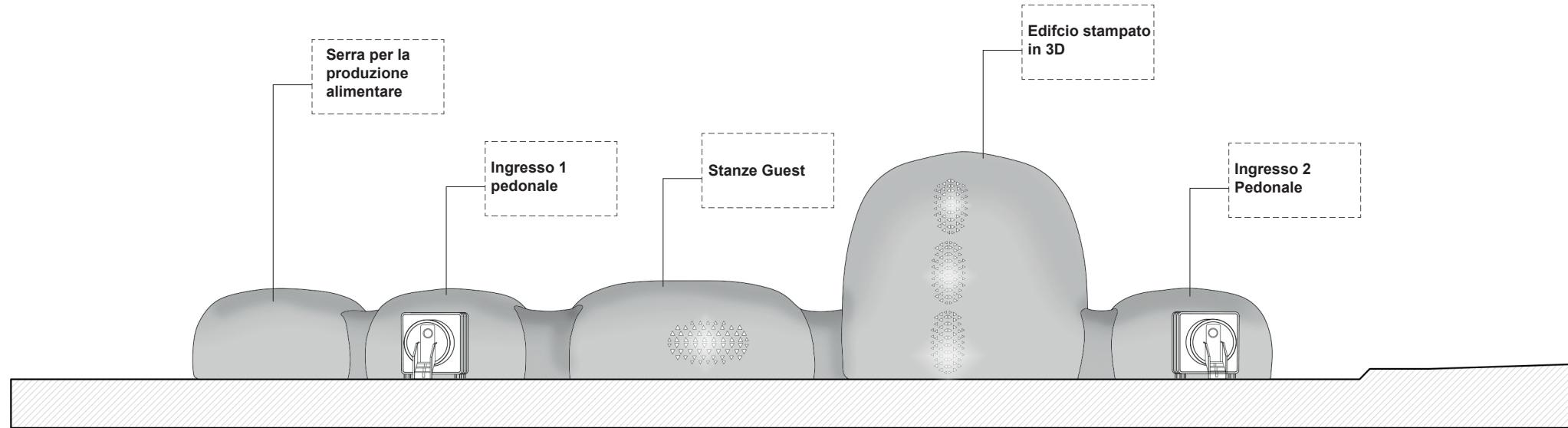
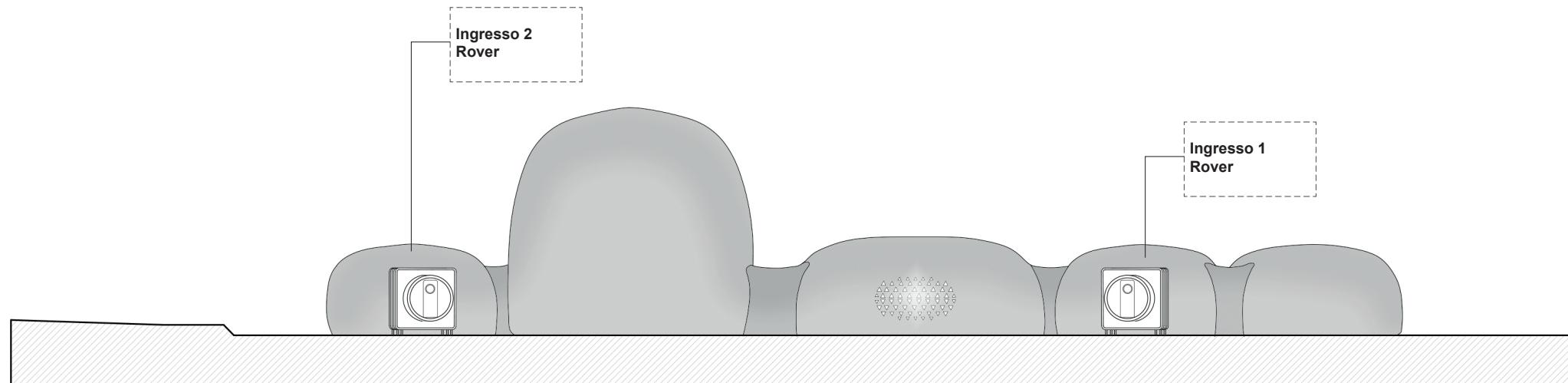
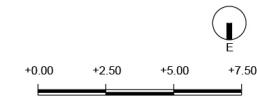


Fig.17 Fasi future, sostituzione dell'edificato "obsoleto" con strutture di classe 3 o successive.





Prospetto vista terra



Prospetto opposto alla vista terra



Studio della densità

I principi geopolitici analizzati hanno sottolineato l'importanza della tutela e conservazione del patrimonio del suolo lunare, da ritenersi non appropriabile, ma bene dell'umanità.

All'interno del documento OST (Outer Space Treaty) si ribadisce inoltre come tali aree debbano essere condivise e non esclusive.

Siamo consapevoli che l'attuazione di un masterplan di questo genere comporterebbe sicuramente un costo aggiuntivo, per quanto riguarda la realizzazione delle infrastrutture di collegamento e i trasporti per il raggiungimento dei vari lotti, ma avrebbe a supporto le normative che conferirebbero ad esso una maggiore probabilità di definizione legale dell'impostazione.

Un primo aspetto fondante la teoria di una ridotta densità e minor consumo di suolo è rappresentato dalla popolazione. Se sulla Terra questo fattore si è dimostrato essere, negli anni passati, fondamentale per l'espansione urbana, in quanto un aumento del numero di abitanti ha favorito la crescita del bene casa e, di conseguenza, il consumo di suolo per abitante, di contro la Luna si presenterebbe con tutt'altro ragionamento a valle del quale sarebbe quindi possibile adottare soluzione differente di espansione. Considerando che la popolazione lunare futura possa essere molto limitata, circoscritta ed esclusiva, si è pensato che in realtà tutti i fattori di reddito e mercato che regolamentano un'espansione immobiliare terrestre potrebbero di fatto essere del tutto trascurati generando una maggiore libertà di edificazione sul suolo. Garantire un aspetto come quanto citato non sarebbe affatto cosa scontata in quanto sarebbe paragonabile alla realizzazione

di un insediamento utopico sul suolo terrestre in cui i principali fattori economici-sociali verrebbero tralasciati.

La distribuzione proposta dei lotti costituenti l'insediamento è basata su uno studio planimetrico di triangolazioni in cui ciascun lotto risulterebbe libero della vista frontale e circostante ad esso con un'area di pertinenza circolare di raggio pari a 40 m ed una distanza triangolare che si imporrebbe pari a 80 mt lineari (Fig. 18). Questa soluzione garantirebbe una migliore relazione con il territorio, garantendone un adeguato consumo, libertà e limitata interferenza tra gli edifici e gli occupanti stessi. (Fig. 19).

Così facendo, si garantirebbe a ciascun lotto una propria area di competenza. Ad alimentare questa scelta si inserisce, inoltre, il campo della sfera privata; in un prossimo futuro, la Luna sarà senza dubbio soggetta anche ad attività turistica e, proprio come in un'esperienza di villeggiatura terrestre, la ricerca di una massimizzazione dei propri interessi, indipendentemente da quelli della collettività, sarebbe pertanto garantita. Inoltre, pur restando in qualsiasi altro scopo differente da quello turistico, la volontà di garantire un minimo di privacy nei confronti del circondario non avrebbe difficoltà alcuna a mostrarsi.

Dunque, l'obiettivo dell'adozione di questa tipologia di insediamento si confermerebbe essere anche il garantire un sistema urbano che possa imporre una congiunta presenza di un interesse privato senza creare danni per la collettività, permettendo al fruitore di vivere al meglio l'esperienza extra-atmosferica.

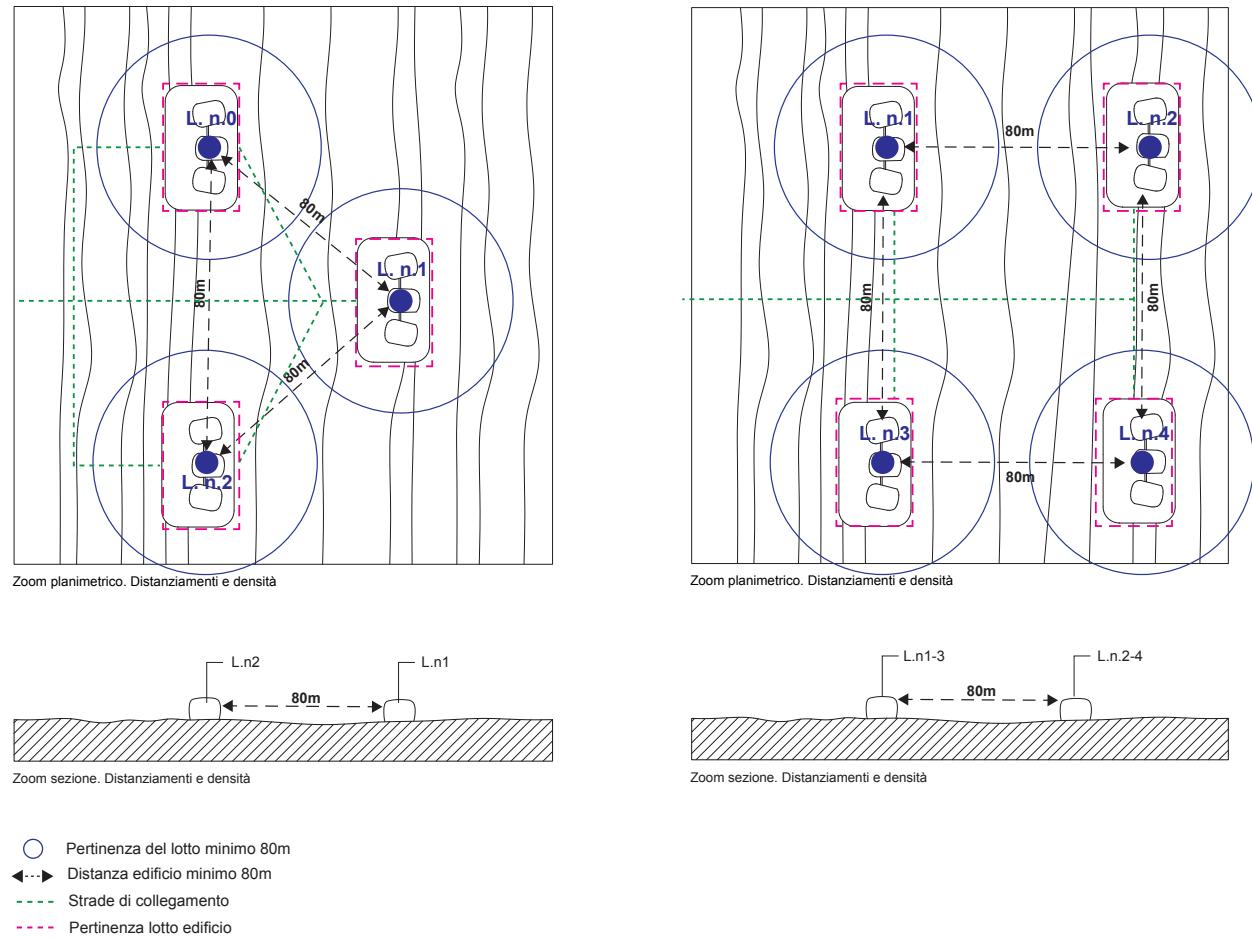


Fig.18 Studio delle distanze e della densità nell'insediamento ipotizzato

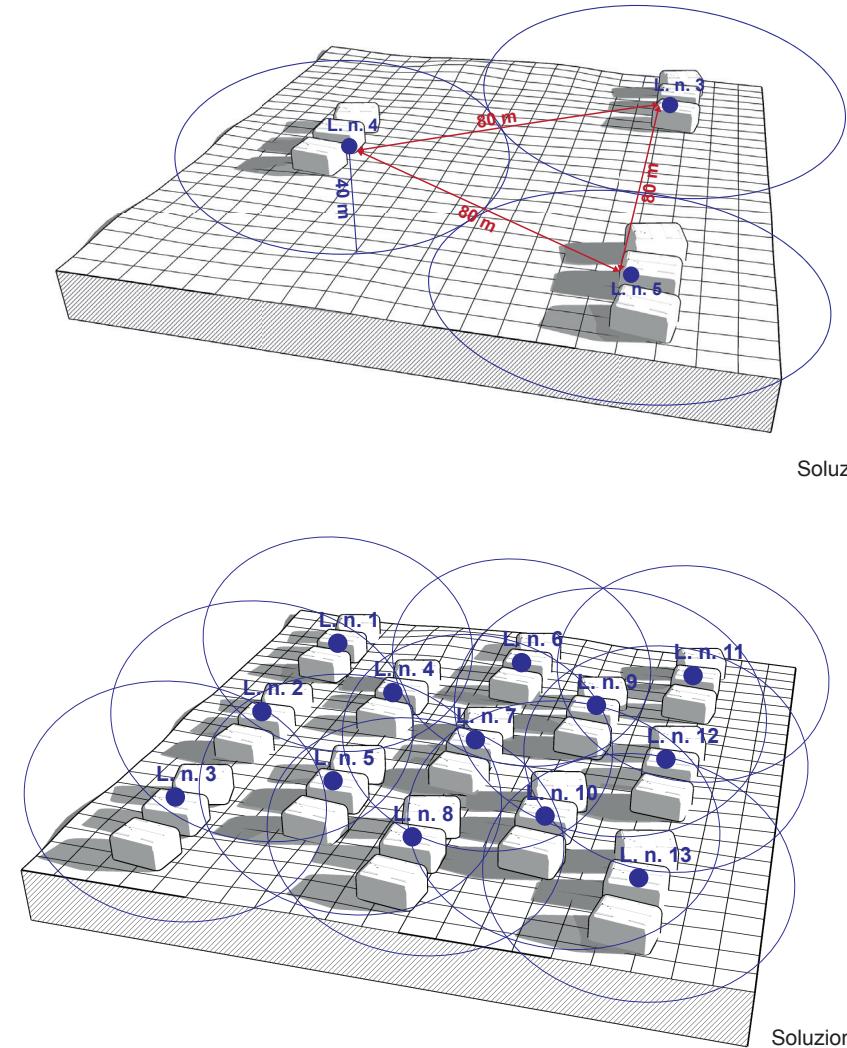


Fig.19 Studio delle distanze e della densità nell'insediamento ipotizzato, analisi delle interferenze tra gli edifici.

Inoltre, si integra anche il fattore di sicurezza, ultimo ma non per importanza, che sarebbe largamente soddisfatto dall'adozione di un insediamento basato sui parametri sopra citati. L'ipotesi che possa verificarsi un particolare guasto e sequenziale danno di grosse entità in uno degli edifici residenziali, turistici, piuttosto che tra le infrastrutture non deve essere trascurata così come la valutazione delle misure di sicurezza relative. Considerando di essere in un territorio ostile e completamente differente al livello di infrastrutture presenti rispetto al campo terrestre, come ad esempio un banale pronto intervento strutturato e organizzato, il mantenimento di distanze considerevoli tra i diversi siti permetterebbe, di fatto, una limitata diffusione del danno, evitando quindi di intaccare le strutture adiacenti e garantendo una circoscrizione del pericolo in una specifica area ben delimitata. Di contro, se tali distanze di sicurezza venissero a mancare, potrebbero generarsi effetti a catena per cui potrebbe mostrarsi complicato arginare e limitare il danno ad una sola infrastruttura lunare.

Sostenibilità Altro fattore di estrema importanza di cui si vuole evidenziarne l'adozione durante lo sviluppo di un insediamento in ambito extra-atmosferico riguarda, invece, le modalità di trasposizione a livello architettonico della teoria giuridica secondo cui il principio della sostenibilità, enunciato nel documento OST, rappresenta condizione fondamentale per qualsiasi operazione spaziale e lunare. Nello specifico, si enfatizza quello che, in ottica di una permanenza sul suolo lunare, possa essere lo sviluppo di strutture host per le attività a lungo termine nello spazio extra-atmosferico. In tale tema ricopre un ruolo determinante

il documento Guidelines for the Long-Term Sustainability of Outer Space Activities delle Nazioni Unite in cui si esprime, nelle specifiche linee guida, esplicitamente la possibilità di condivisione tecnologica e di attrezzature, in caso di una base infrastrutturale, piuttosto che la condivisione di sforzi per il raggiungimento dell'obiettivo con la concreta opportunità di evitare duplici impieghi di organico e materiali influenzandone tranquillamente le ingenti spese finanziarie, non per nulla trascurabili, nonché la riuscita più certa e di maggior successo delle operazioni. In ultimo, ma non per importanza, il tema della sostenibilità afferisce ad una concreta rivisitazione della questione costruttiva dalla quale emerge la necessità di realizzazione di strutture con la massima riutilizzabilità e versatilità possibile.

In risposta a quanto sopra riportato, la considerazione di un attacco a Terra degli edifici che possa risultare il meno invasivo e "tracciante" possibile permetterebbe l'inserimento degli stessi e delle infrastrutture vincolate soltanto superficialmente. Trasponendo quindi il vincolo terrestre presente nelle riserve naturali, anche sulla Luna sarebbe necessario adottare una condizione architettonica per la quale il vincolo a Terra dell'infrastruttura risulti essere altamente ridotto valutando pertanto un solo semplice appoggio e contatto tra le due superfici (Fig. 20). Tale azione permetterebbe di fatto la possibilità di non lasciare sul territorio alcuna traccia concreta, consentendo dunque un nuovo reimpiego futuro dell'area.

Conseguenzialmente si sposa ad esso una necessità di riuso e riutilizzo dei materiali impiegati adottando un mero progetto in divenire di tutte le future condizioni e circostanze ipotizzabili o certe. A livello energetico, ad esempio, lo

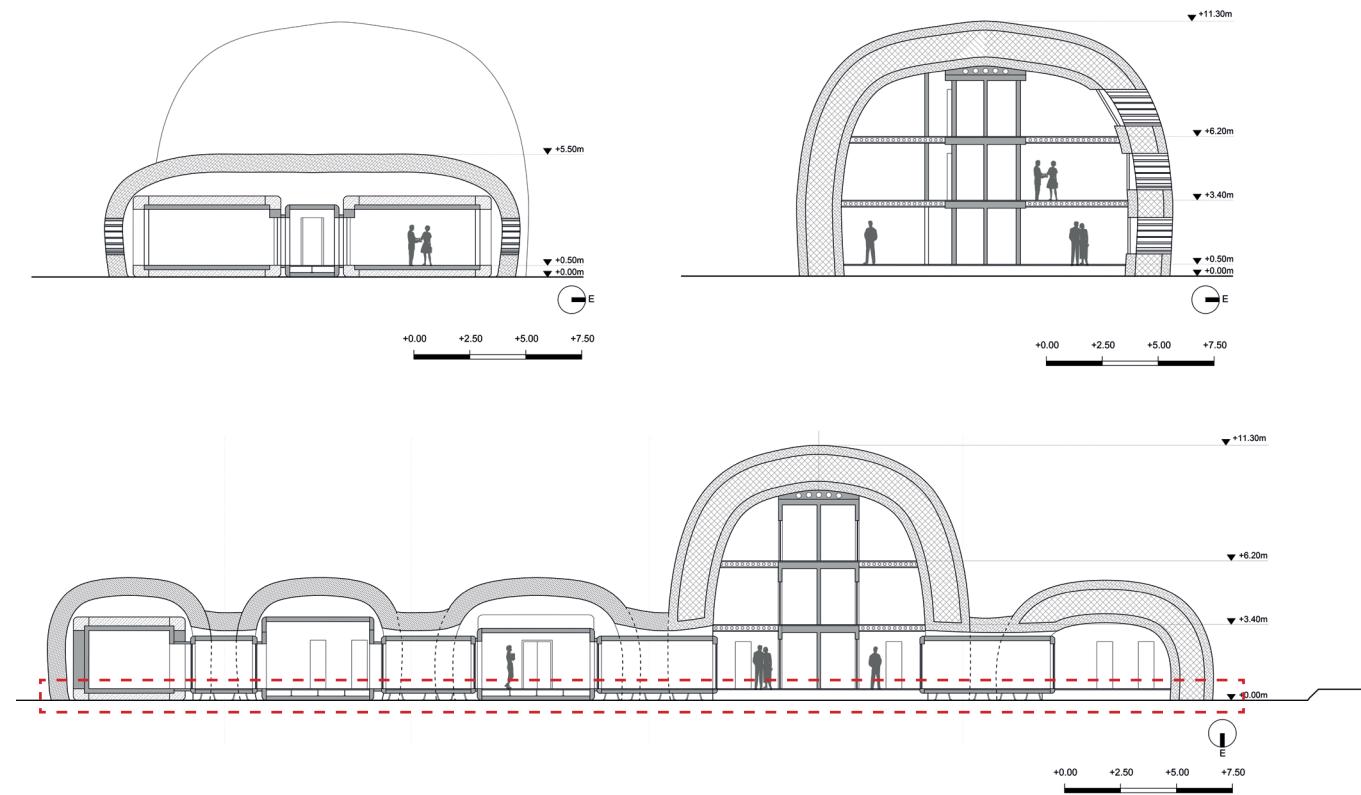


Fig.20 Sezioni di progetto. Viene mostrato come la struttura sia solo appoggiata al terreno e non presenta vincoli di fondazioni.

sviluppo del masterplan evidenzia come l'ipotesi delle fasi costituenti il progetto sia caratterizzato dalla presenza di centrali energetiche a servizio dell'infrastruttura. Dalla concezione progettuale, in ottica del principio citato nel paragrafo, si è valutato che dal 2065 le centrali vengano del tutto rivisitate accorpandone la produzione in una struttura generatrice più potente. Questa concezione risulterebbe fattibile dal momento in cui le componenti delle singole infrastrutture energetiche vengano reimpiegate a sistema per un nuovo riuso a servizio delle nascenti fonti energetiche.

Analogamente, lo stesso concetto verrebbe adottato per le infrastrutture destinate ad ospitare esseri umani ricercando una riconfigurazione delle stesse ad ogni necessità valutata.

Dunque, studiare e analizzare le possibili fasi di vita di un singolo edificio risulterebbe di indispensabile valutazione in quanto costituirebbe la vera considerazione accurata e consapevole dell'impiego di elementi costruttivi in un ambiente del tutto estraneo alla vita. A partire dall'analisi delle condizioni ambientali e giungendo alle finali richieste dell'ospite umano, si è valutato lo sviluppo temporale del masterplan di progetto fino al momento futuro in cui il raggiungimento del massimo sfruttamento delle potenzialità relative possibili decreteranno nascenti richieste tecnologiche e costruttive atte a definirne una rivalutazione dei layout esistenti. Ciò risulterebbe fattibile grazie all'impiego predittivo di forme costruttive prefabbricate i cui elementi si possano sposare alle nuove e ipotizzabili condizioni al futuro.

L'elemento fondante alla base di tutte queste considerazioni

si conferma la progettazione in divenire di tutto il lavoro: soltanto adottando questa tecnica sarebbe possibile valutare e prevedere le situazioni future che si ipotizza possano accadere, sostenendo una fabbricazione di tutti i costituenti in ottica di un concreto reimpiego e riutilizzo degli stessi.

Si può affermare dunque che l'imminente ritorno sulla Luna si conferma essere un evento generatore di innumerevoli condizioni al contorno tali da influenzare molteplici aspetti di cui si riportano specifiche nelle righe sopra citate.

Al fine di considerare innovativo il futuro insediamento lunare è necessario che gli aspetti di densità e consumo di suolo vengano presi in considerazione e attentamente valutati in ogni fase progettuale affinché si possa tutelare correttamente la sostenibilità a lungo termine del nostro satellite evitando di incappare nei numerosi errori terrestri. Le prime esplorazioni spaziali sono state caratterizzate da un'esagerata frenesia dettata dalla scatenata corsa allo spazio figlia delle condizioni degli anni ad esse risalenti. Oggi, le attività di perlustrazione extra-atmosferica hanno assunto un assetto del tutto differente che, per via di una sempre più incalzante e "vincolante" giurisdizione spaziale, conferma una caratterizzazione dissimile costituita da un potenziale obiettivo di cooperazione e tutela del satellite lunare.

Alla luce di ciò, se le considerazioni, di cui sopra dettagli, venissero accuratamente sviluppate e prese in carico, sarebbe alta la probabilità di generare un nuovo insediamento extra-atmosferico basato su aspetti concreti urbani, geo-politici, sociali ed economici in grado di delinearne attentamente le azioni future. Di seguito,

l'esperienza lunare sarebbe utile per una riconsiderazione di tutte le pratiche comuni in ambiente terrestre le quali, alla luce di tali osservazioni, potrebbero mostrarsi aperte ad un cambiamento o rifondazione in ottica dei nuovi stringenti vincoli per un futuro più sostenibile e strutturato.

Una volta determinato il masterplan della zona d'interesse ci siamo concentrati sul secondo appunto evidenziato dal' Ing. M. A. Perino di Thales Alenia Space. La difficile sfida di organizzazione degli spazi interni, nello scenario precedente, ci ha portato alla realizzazione di una composizione interna adottabile anche sulla Terra.

Questo risulta non essere sostenibile in ambiente lunare per motivazioni riguardanti l'aspetto economico e quello di configurazione degli spazi interni⁹.

Il consiglio dato è stato quello di esaminare delle configurazioni interne che valutino allo stesso tempo i limiti e le opportunità che un ambiente in gravità ridotta può avere.

L'obiettivo di una nuova configurazione interna ha portato a modificare le due zone d'interesse che più sono state criticate durante l'incontro con il collettivo di tesi. Queste aree riguardano l'interno del terzo volume contenente le camere per i turisti, camera astronauti (Fig. 21-22) e parte del nucleo del quarto modulo interamente stampato in 3D. Per cercare di risolvere questa nuova irruzione nella parte dell'edificio contenente le stanze, sono state eliminate due strutture inflatabili in modo da diminuire la dimensione della struttura e ottimizzare gli spazi interni.

Ogni stanza, nello scenario precedente, era configurata in modo da poter ospitare due ospiti mentre, con questa

Nuova configurazione interna

9. Perino M. A., co-relatrice collettivo tesi

nuova configurazione, gli spazi sono stati ottimizzati in modo da poterne contenere tre. Sfruttando la caratteristica della gravità ridotta, le cuccette degli ospiti sono state posizionate una sopra l'altra sfruttando la possibilità di raggiungerla con minore sforzo.

Il comfort e la privacy sarebbero ugualmente garantiti all'interno di ogni cuccetta con tanto di scompartimenti per riporre i propri effetti personali.

All'interno del modulo, oltre alla presenza di un bagno, è stato ipotizzato un angolo comune contenente un tavolo utilizzabile per più funzioni. Queste modifiche sono state apportate per conferire all'ospite un'esperienza più vicina a quella di una missione spaziale mantenendo, ad ogni modo, le richieste di comfort turistiche.

Da quanto riportato nell'ultimo confronto con il collettivo, il turista sulla superficie lunare ricercerebbe un'esperienza da astronauta ma con un comfort maggiore rispetto a quello trovato nello spazio a bordo, per esempio, dell'ISS¹⁰. Per quanto riguarda l'edificio interamente stampato in 3D, sono state ipotizzate delle modifiche riguardanti il nucleo centrale e la scala di risalita (Fig. 24-25-26-27).

Per un discorso di sfruttamento della gravità ridotta e ottimizzazione dello spazio, è stato possibile configurare una scala a pioli per il collegamento di tutti i piani dell'edificio. Ciò ha comportato la riduzione del nucleo centrale offrendo la possibilità di un maggiore spazio utilizzabile interno.

10. Perino M.A., Sumini V, collettivo di tesi







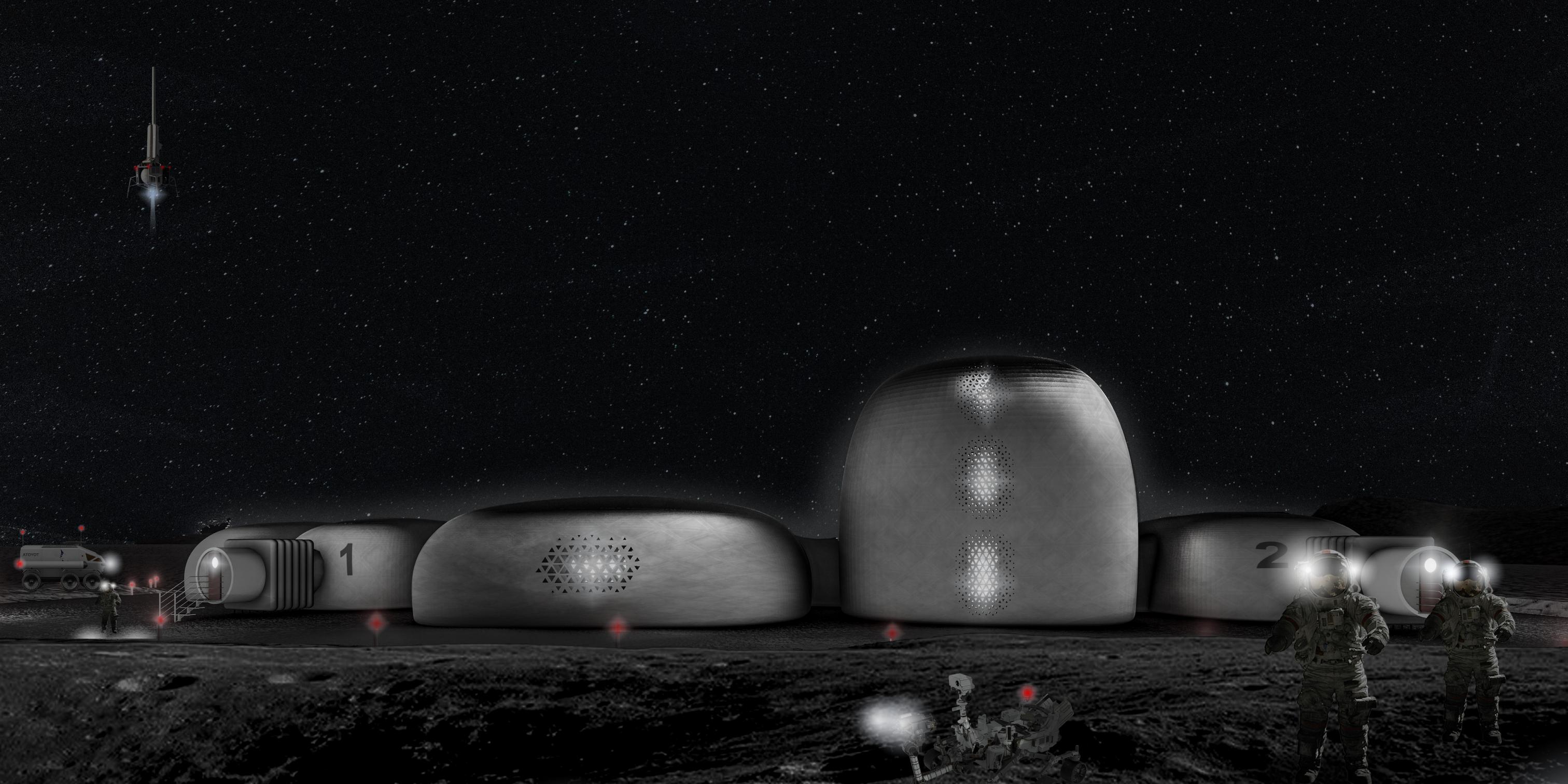




2

1







A.B.R.
Moon hotel

TOYOTA

TOYOTA

Con questo scenario progettuale il nostro obiettivo è stato, inoltre, quello di definire al meglio le componenti riguardanti il piano della missione, già definito in parte nello scenario precedente, e la quantificazione dei costi di trasporto per la realizzazione dell'infrastruttura.

Nel progetto della missione la componente centrale è naturalmente l'habitat, ma tuttavia sono state necessarie una serie di ulteriori componenti come i lander, rimorchiatori, gru, stampe 3D, infrastrutture elettriche ed infrastrutture termiche che si sono aggiunte a supporto dell'habitat¹¹.

A fronte di ciò, elaborare un piano di missione che possa determinare il numero di lanci e le forniture necessarie risulta indispensabile per la piena riuscita dell'operazione. Sono state identificate perciò due possibili sistemi di lancio che potrebbero permettere il trasporto delle componenti necessarie, ovvero lo Space Launch System (SLS) Block 2 e SpaceX Starship. I due, al momento, risultano tra i lanciatori più performanti utilizzabili per questi tipi di missione ma, in ottica futura, verranno sicuramente progettati e realizzati sistemi di lanci più adatti e con capacità di trasporto superiore.

Una volta raggiunta l'orbita lunare e atterrato sulla superficie lunare, tutti i componenti trasportati verrebbero trasferiti all'area d'interesse (Fig. 28-29)

StarShip di SpaceX per ora risulta il più adatto con l'utilizzo di carichi superiori alle 40 tonnellate. Tuttavia, per carichi più leggeri è preferibile utilizzare il Falcon 9 grazie al suo basso costo di circa 4000 \$ al kg¹².

Piano della missione

11. ESA, *Moon village Conceptual design of a lunar habitat*, CDF Study Report: CDF-202(A) - Issue 1.1, 2020.

12. *Return to Space*, J. Chin, E. C. Vasarhelyi, Netflix, aprile 2022

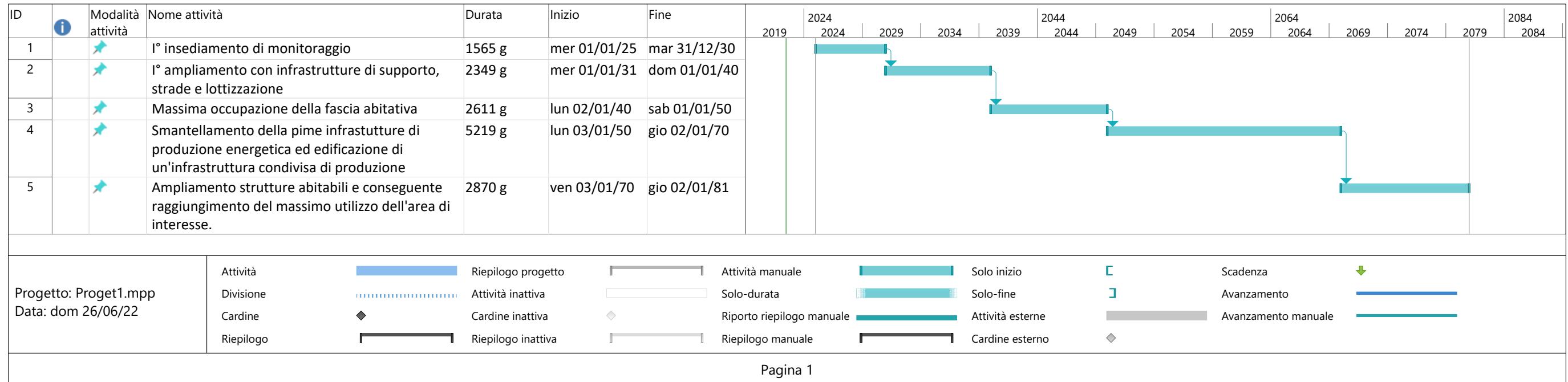


Fig.28 GANTT del Masterplan ipotizzato.

Analisi dei costi In questa fase di progetto è stato utile affrontare un'analisi dei costi, seppur in maniera approssimativa, in modo da permetterci di avere un'idea sommaria di quelle che potrebbero essere le risorse necessarie per la realizzazione di una missione di tipo lunare.

Come abbiamo potuto osservare all'interno dei documenti analizzati e dalle notizie ricavate all'interno degli articoli reperiti, il costo di una missione spaziale lunare può essere suddiviso in costo di progettazione/costruzione, costo programma di lancio e costi operativi. Il costo subirebbe una variazione considerevole a seconda della missione che si ha intenzione di affrontare e dipenderebbe fortemente dalla posizione geografica, dal design e dalle materie prime impiegate.

Quello che inciderebbe di più, oltre all'elevato costo di trasporto, sarebbe il costo del ciclo di vita dell'insediamento che si stima essere intorno ai 200\$ miliardi di dollari per una vita operativa di 20/30 anni. Naturalmente è bene sottolineare, a titolo cautelativo, come queste siano stime basate su costi odierni e che, senza dubbio, si potrebbe assistere nei prossimi anni ad un calo dei prezzi rendendo così più abbordabile l'esecuzione di missioni simili¹³.

Per ottenere un risparmio nei costi di lancio sarebbe imperativo redigere al meglio una pianificazione della missione in modo da ridurre al minimo le frequenze di lancio per la realizzazione e rifornimento della struttura durante il suo ciclo di vita. A tal proposito, il lanciatore Starship di SpaceX è il veicolo ideale per questo tipo di missione in quanto ad oggi risulta essere il sistema di trasporto con maggiore capacità di lancio.

Per un mantenimento dei costi e per la diminuzione

della frequenza dei lanci, sarebbe auspicabile, come visto nello scenario precedente, inserire una serra con la quale produrre almeno il 50% del fabbisogno alimentare all'interno della struttura.

Gli attori principali per lo sviluppo di un insediamento lunare si confermano i governi, unici rappresentanti dei principali investitori per progetti di lunga durata¹⁴.

Un'economia basata su servizi sulla superficie lunare si convaliderebbe come il miglior metodo per generare un profitto e, in aggiunta, l'attuale e rapida ascesa delle esplorazioni spaziali sta sempre più coinvolgendo società private in operazioni extraterrestri.

Nonostante questo, non è ancora possibile stimare le dimensioni e le entrate esatte del mercato¹⁵.

13. DIA, *DIA Moonbase Competition final Report*, final report, 2021

14. Salmeri A., co-relatore collettivo tesi

15. DIA, *DIA Moonbase Competition final Report*, final report, 2021

13

Permesso di
costruire

Una volta conclusi i ragionamenti riguardanti il masterplan, la conformazione architettonica della struttura turistica e lo studio della missione con i relativi costi, il passo successivo e conclusivo del processo di tesi è quello di definire le licenze indispensabili per arrivare all'ottenimento del permesso di costruire in ambiente extra-atmosferico¹. Per fare ciò risulta di cruciale importanza determinare l'ente o lo stato che possa autorizzare e supervisionare l'intero processo per la realizzazione dell'habitat lunare². Durante l'incontro con il Dr. A. Salmeri avvenuto il 30/05/2022 si è analizzato l'aspetto fondamentale per la riuscita della nostra missione e la realizzazione della struttura lunare che si tramuta nell'indispensabilità di ottenere tre particolari licenze che possano garantire il lancio, la costruzione e l'operatività nello spazio, nel nostro caso sulla superficie lunare. Durante la prima ricerca documentale, svolta con il supporto del correlatore Salmeri, si è definita la necessità di identificare una linea guida che possa risultare la più plausibile possibile. In prima fase abbiamo riscontrato come il lancio spaziale di oggetti in orbita, o fuori orbita, sia definita come un'attività ad elevato grado di pericolosità e complessità. A tal proposito se ne evince il primo ostacolo da oltrepassare riconosciuto, per l'appunto, in problemi generati dalle responsabilità internazionali. All'interno del documento *Le attività spaziali nelle politiche di sicurezza e difesa* (Rosanelli R., 2011)³ viene enunciato come per lo svolgimento di attività spaziali lecite, ovvero tutte quelle attività che non configurino una violazione di norme internazionali, vengano presi in considerazione i

Permesso di costruire

1. Salmeri A., co-relatore collettivo di tesi
2. Salmeri A., co-relatore collettivo di tesi
3. R. Rosanelli, *Le attività spaziali nelle politiche di sicurezza e difesa*, Edizioni Nuova Cultura, 2011.

regimi speciali di responsabilità già ampiamente specificati nel Trattato internazionale per la regolamentazione delle attività spaziali con scopo esplorativo dello spazio extra-atmosferico tra cui la Luna⁴.

Analizzando il Trattato sullo spazio viene evidenziato nell'art. VI che le responsabilità internazionali inerenti allo svolgimento di qualsiasi attività nello spazio siano interamente dello stato che le svolge, indipendentemente che si tratti di agenzie governative o enti privati⁵, comportando dunque una comprovata autorizzazione e sorveglianza da parte dello stato responsabile delle operosità che si intende intraprendere sul suolo lunare: ciò garantirebbe un continuo monitoraggio delle operazioni riducendo così il rischio di indesiderati inconvenienti.

Privatizzazione

Inoltre, abbiamo notato come negli ultimi decenni una privatizzazione delle attività spaziali sia sempre più consolidata a livello commerciale e che abbia decretato la necessità dell'adozione di norme nazionali in grado di disciplinare le attività condotte da entità non governative. Definite quelle che sono le considerazioni fondanti, il nostro intento è quello di ricostruire, seppur in modo ipotetico ma pur sempre reale, l'intero processo che possa consentire la realizzazione di una struttura in ambiente extra-terrestre. Il primo passo è stato quello di riconoscere effettivamente quale ente o stato possedesse le autorizzazioni e le economie adatte per questo tipo di missione.

4. R. Rosanelli, *Le attività spaziali nelle politiche di sicurezza e difesa*, Edizioni Nuova Cultura, 2011

5. R. Rosanelli, *Le attività spaziali nelle politiche di sicurezza e difesa*, Edizioni Nuova Cultura, 2011

In una fase iniziale si è pensato ad una cooperazione composta dall'agenzia spaziale NASA insieme al governo americano ma, a seguito di continui confronti con il collettivo di progetto, è stato fatto emergere la complessità ad essa legata riconducibile all'aleatoria disponibilità da parte della stessa di prendere parte ad un progetto così di secondaria intenzionalità rispetto ai propri principi costituenti⁶.

Vista l'evidenziata difficoltà emersa, si è deciso di adottare una differente strategia a maggior carattere informativo ricercando dunque uno o più stati, tra i tanti, che potesse riconoscere una conclamata struttura a riguardo delle licenze utili alla costruzione in ambiente lunare.

La seconda proposta ipotizzata avrebbe l'intenzione di formare una cooperazione X, nel nostro caso non sarebbe rilevante la sua esistenza effettiva, definendone la sede compatibilmente allo stato di appartenenza da cui poter ottenere le rispettive norme per giungere al rilascio delle necessarie licenze.

Si è ipotizzato che tale cooperazione X privata fosse supportata da un consorzio di imprese private che aderiscono su base volontaria alla realizzazione della colonia lunare le cui azioni, regolamentate per mezzo di accordi specifici tra le parti, ne definiscono ruoli e responsabilità all'interno del programma stesso. Ciascun privato sarebbe dunque coinvolto direttamente nel finanziamento e nelle operazioni di realizzazione del masterplan. Inizialmente questa cooperazione sarebbe stata ipotizzata in Italia con sede di lancio in America nel Kennedy Space Center ma, successivamente alla comprensione che in Italia è mancante una vera e propria legislazione spaziale nazionale in grado di rispondere in modo compiuto alle

Piano d'azione

6. Salmeri A., co-relatore collettivo di tesi

nostre esigenze, si è deciso di intraprendere altra strada⁷. Per questo motivo la nostra decisione si è spostata sugli USA, stato nel quale sono presenti le licenze necessarie per poter ricostruire i passaggi necessari al fine di ottenere il permesso di costruire a partire dalla definizione dello stato di lancio riconosciuto negli USA, sede della nostra cooperazione.

Licenze e regole

Ribadendo che la responsabilità della riuscita di una missione nonché delle azioni svolte e della supervisione della missione attuata anche da privati resta, come citato nell'art. 1, lett. C della Convenzione del 1972 comunque dello stato di lancio e dello stato in cui si opera⁸ ne deriverebbe che questa considerazione risulti valida sia che lo stato in discussione lanci per sé, sia che lanci per conto di enti terzi e privati.

Successivamente si appura che, in base al diritto internazionale, le basi lunari non sono proibite fintanto che un governo di Stato autorizza e supervisiona, come spiegato in precedenza, una qualsiasi base fatta eccezione di scopi militari, strategici o incompatibili con il diritto internazionale.

Definita questa possibilità quindi si conferma che ogni società commerciale, o cooperazione, che voglia costruire e gestire una base lunare debba ottenere l'autorizzazione dal governo nazionale dello stato in cui ha sede la società. Nel nostro caso, dunque, per ottenere le licenze necessarie bisognerebbe fare riferimento e richiesta di licenza FAA (Federal Aviation Administration), FCC (Federal Communications Commission). Manca invece, perché non ancora ufficializzata, una licenza relativa all'utilizzo delle

risorse spaziali che dovrebbe essere, quasi certamente, attribuita al Department of Commerce. A riguardo è comunque presente lo Space Act, in grado di consentire di costruire, migliorare, gestire e mantenere strutture e veicoli spaziali.

Tutti e tre gli enti forniscono dettagliate informazioni al fine di richiedere, e successivamente ottenere, le licenze necessarie.

A tal proposito è di fondamentale importanza attuare già all'inizio del processo progettuale un'attenta programmazione della missione mentre, al contrario, potrebbero generarsi notevoli ritardi e aumenti dei costi.

Negli ultimi decenni il crescente interesse per lo spazio commerciale genera nuove opportunità per le industrie e le società private. Questo settore, in rapida e continua crescita, tocca temi come quello di nostro interesse ovvero il turismo spaziale.

Nel 1984 viene emanato, per incentivare l'industria del lancio nello spazio, il CSLA. Questo ente e i suoi regolamenti disciplinano l'attività di lancio commerciale dando l'autorizzazione al delegato dei trasporti della Federal Aviation Administration (FAA). La FAA è l'ente che ci permetterebbe, una volta conseguita la licenza, di attuare le operazioni di lancio e rientro in ambiente spaziale. Inoltre, la FAA e le agenzie governative condurranno revisioni politiche, di sicurezza, del carico utile e dell'ambiente per un'attività proposta⁹.

La FCC è l'ente che supervisiona e regola le attività di comunicazione radio da parte degli enti governativi e non applicando questa autorità alle attività spaziali. I sistemi di comunicazione satellitare seguono un'attenta

7. Salmeri A., co-relatore collettivo di tesi

8. R. Rosanelli, *Le attività spaziali nelle politiche di sicurezza e difesa*, Edizioni Nuova Cultura, 2011.

9. M. Smith, *Space law, regulation and policy in USA*, Sherman & Howard LCC.

regolamentazione internazionale controllata dall'Unione Internazionale delle telecomunicazioni (ITU).

Più contorta è invece l'autorizzazione che ci porterebbe ad ottenere la licenza relativa all'utilizzo delle risorse spaziali. Nel 2015 gli USA hanno stipulato il Commercial Space Launch Competitiveness Act, attraverso il quale verranno facilitate le esplorazioni commerciali e il recupero delle risorse spaziali. L'atto adotta disposizioni riguardanti le operazioni su corpi celesti, tra cui la Luna e Marte. La legge afferma inoltre che gli USA non proclamano in nessuno modo la sovranità o diritti esclusivi di giurisdizione o qualsiasi proprietà su un corpo celeste.

Conferme e previsioni

Una volta conseguite le licenze necessarie dello stato in cui ha sede la cooperazione privata nonché l'autorizzazione come supervisore e responsabile secondo i trattati OST, nulla vieterebbe la realizzazione di una base lunare fatta eccezione della condizione precedentemente accennate. La cooperazione manterrebbe il pieno controllo della base, nel nostro caso dell'insediamento lunare, ma non avrebbe possesso o diritto di appropriazione del terreno preso in considerazione nelle vicinanze del cratere Shackleton. Ciò nonostante, l'OST (Outer Space Treaty) si conferma essere il documento di diritto spaziale internazionale fondante le linee guida principali per l'uso e la trasformazione dell'ambiente lunare. Tra i suoi articoli quindi si evidenziano i fondamentali riguardanti le specifiche limitazioni in merito allo spazio lunare quali cooperazione, uguaglianza e principio di non discriminazione allineandosi all'obiettivo di garantire la mutua partecipazione tra le parti e la non esclusività delle aree.

Inoltre, pur avendo la libertà e il permesso di costruire si ritiene necessario che una qualsiasi attività intrapresa sul suolo lunare debba necessariamente soddisfare i requisiti di sostenibilità a lungo termine assicurando la maggior possibilità di recupero e riuso delle materie prime, degli elementi costruttivi e delle strutture realizzate¹⁰.

10. Salmeri A., co-relatore collettivo di tesi

14

Conclusioni

Nella nostra ricerca di tesi abbiamo voluto analizzare nel dettaglio la pratica dell'architetto riferita al processo di progettazione di un habitat in ambiente lunare. Fin da subito, ci siamo confrontati con la complessità che si cela in progetti di questo calibro. Per questo, durante il nostro lavoro, siamo stati affiancati da esperti del settore, strettamente informati della tematica presa in questione, e dal collettivo di tesi, formato dal "Seminario di SinTesi" tenuto dal relatore Professore Giovanni Durbiano e dal Professore Alessandro Armando. Grazie al loro apporto abbiamo acquisito le nozioni base e fondamentali per progettare un possibile stazionamento nello spazio extra-atmosferico. Allo stesso tempo, con l'apporto del Seminario abbiamo appreso l'importanza di osservare il progetto in tutte le sue articolazioni sociotecniche riassumendo i passaggi, i legami instaurati e le problematiche all'interno di mappature utili alla comprensione di un progetto complesso come quello a cui ci siamo dedicati. La combinazione tra gli esperti del settore, gruppo formato principalmente da tecnici, e il "Seminario di SinTesi" ci ha permesso di concepire un risultato ottimale con il quale siamo stati in grado di rispondere alle problematiche generate dalla progettazione architettonica in ambiente spaziale. L'approccio teorico utilizzato, attraverso lo sviluppo di diagrammi utili a mappare e riassumere i procedimenti, ne ha facilitato la comprensione, rivalutando sostanziosamente l'apporto della figura dell'architetto in una nuova frontiera della progettazione. Riteniamo fondamentale sottolineare l'entusiasmo di aver collaborato con alcuni dei più rinomati professionisti del settore spaziale come Maria Antonietta Perino (Direttore Esplorazione Economia Spaziale e Rete

Internazionale di Thales Alenia Space), Antonino Salmeri (Avvocato spaziale specializzato nella governance delle risorse spaziali e delle attività lunari) e Valentina Sumini (Architetto spaziale e ricercatrice affiliata MIT Media Lab). È risultato interessante osservare come, all'interno di questa ricerca progettuale, abbiamo dovuto affrontare ripetutamente i differenti aspetti di carattere politico, sociale e tecnico che costituiscono l'intero panorama dell'ambito d'interesse. A tal proposito, indispensabile è l'esposizione del percorso del lavoro tramite scenari progettuali costituenti un "diario di bordo" attraverso il quale rendere questi argomenti chiari e concreti. Dunque, il nostro lavoro è stato suddiviso in diverse fasi progettuali che mostrano lo sviluppo della progettazione tramite schizzi, illustrazioni grafiche, diagrammi, studi planimetrici e masterplan derivanti dalle varie riunioni avvenute con il collettivo di tesi. Il risultato dei vari disegni è pertanto il frutto di considerazioni avvenute negli incontri durante il percorso e, per questo, la nostra tesi propone un percorso logico diretto al risultato "finale". Al termine del nostro lavoro lasciamo però aperte due questioni sollevate dalla professoressa Valentina Sumini nell'ultimo incontro.

L'ottimizzazione del rivestimento costituente la protezione in regolite, in termini statici e stratigrafici, avrebbe conferito al lavoro una conclusione ancora più completa rispetto a quanto trattato nel percorso di tesi. Queste integrazioni avrebbero infatti garantito una migliore concezione di un involucro performante e il più adatto possibile al processo costruttivo di stampa 3D. Ciò nonostante, si è deciso che tali affroni si sarebbero discostati dalla tematica cardine della ricerca caratterizzata, invece, da un indirizzo meno

tecnico. Ad ogni modo, il tutto porterebbe a considerare tali spunti come un concreto collegamento per un futuro approfondimento, con il desiderio di poterlo condurre guidati dalla professoressa.

Di contro, abbiamo ritenuto più rilevante affrontare al termine la tematica legata alla realizzazione di un masterplan adatto alla progettazione di un insediamento sul suolo lunare. Ne risulterebbe, infatti, la possibilità di valutare, per la prima volta e preventivamente, norme atte alla giurisdizione degli spazi e all'adozione di scelte architettoniche specifiche.

In conclusione, grazie alla nostra ricerca di progetto abbiamo avuto l'opportunità di sperimentare la progettazione architettonica al di fuori del nostro Pianeta, incoronando il sogno di poterci confrontare con lo spazio extra-atmosferico. Riteniamo sempre più concreta l'opportunità di una nuova vita in ambiente extra-terrestre e, pertanto, è necessario essere in grado di cogliere il nascente desiderio, finché possibile. Siamo certi che un giorno, non lontano dal presente, avremo tutti quanti la possibilità di "perderci" in un contesto nuovo, del tutto differente da quanto soliti ammirare nella nostra quotidianità.

Bibliografia e sitografia

Aspetti architettonici e tecnologici

K.J. Kennedy, *An Architect's Experience*, in <<Space Architecture Symposium>>, 6105, 2002.

K. Al-Jammaz A. Diaz, F. Hernandez, S. Iyer, C. Ortiz, B. Richardson, M. Rodriguez, G. Whitesides, *Elements for a sustainable lunar colony in the south polar region*, in << International Lunar Conference>>, 2003.

O. Bannova, Landschulz and F.C. Smith, *Autonomous Architecture: Summit Station in Greenland Design Proposal as a Test-Bed for Future Planetary Exploration.*, in <<International Conference on Environmental System (ICES)>>, 35, 2005.

F. Ruess, J. Schaenzlin e H. Benaroya, *Structural Design of a Lunar Habitat*, Vienna, Journal of Aerospace Engineering (ASCE), 2006.

W. K. Belvin, J. J. Watson, *Structural Concepts and Materials for Lunar Exploration Habitats*, NASA Langley Research Center, 2006

D. K. Bodkin, P. Escalera, K. J. Bocam, *A Human Lunar Surface Base and Infrastructure Solution*, in <<American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA)>>, 2006.

L. Bell, *Correlations between CEV and planetary surface system architectures planning*, in <<Acta Astronautica>>, 61, 2007, pp. 548-555

O. Bannova, *Design considerations for exterior and interior configurations of surface habitat modules*, in <<International Astronautical Federation (IAF)>>, 60, 2007.

V. Martinez, *Architecture for space habitats. Role of architectural design in planning artificial environment for long time manned space missions*, in <<Acta Astronautica>>, 60, 2007, pp. 588-593

O. Bannova, *Terrestrial Analogs for Planetary Surface Facility Planning and Operations*, in <<Aerospace Division International Conference on Engineering (ASCE)>>, 11, 2008.

G. Petrov, *Optimization of Inflatable Spacecraft Interior Volume Using Constraints Driven Design*, in <<International Conference on Environment System (ICES)>>, 40, 2010.

Sherwood B., *Module Architecture for In Situ Space Laboratories*, in << International Conference on Environment System>>, 40, 2010.

O. Bannova, L. Bell, *Radiation shielding strategies for lunar minimal functionality habitability element*, in <<Acta Astronautica>>, 67, 2010, pp. 1103-1109.

O. Bannova, L. Bell, *Designing from minimum to optimum functionality*, in <<Acta Astronautica>>, 68, 2011, pp. 760-769.

O. Bannova, L. Bell, *Lunar Habitat Micrometeoroid and Radiation Shielding: Options, Applications, and Assessments*, in <<Journal of Aerospace Engineering>>, ASCE, 2011.

O. Bannova, L. Bell, *Space architecture education as a part of aerospace engineering curriculum*, in <<Acta Astronautica>>, 69, 2011, pp. 1143- 1147

O. Bannova, *Designing sustainable moon base 3D environment as an interactive learning tool*, in <<International Astronautical Congress (IAC)>>, 63, 2012

S. A. Henze, *Advanced reconfigurable building system (ARBS) for spacecraft interiors, equipment support, and human accommodations*, in << International Astronautical Congress (IAC)>>, 63, 2012

T. A. Hockenberry, *Designing Tomorrow's Lunar Habitat with Today's Technology*, in << International Astronautical Congress (IAC)>>, 63, 2012.

W. Whittaker, *Technologies Enabling Exploration of Skylight, Lava Tubes and Caves*, NIAC Phase 1, 2012.

M. M. Cohen, R. L. Matossian, *Water Walls Life Support Architecture: System Overview*, in <<International Conference on Environmental Systems>>, 43, 2013.

N. Leach, *Space architecture, the new frontier for design research*, London, Wiley, 2014

B. Griffin, *Space Architecture: the role, work and aptitude*, Huntsville, USA, NASA, 2014.

E. Re Garbagnati, *L'uomo tornerà sulla luna e costruirà una base permanente, si può fare*, in <<Tomshow Spazio e Scienza>>, 2015. Disponibile a: <https://www.tomshw.it/altro/luomo-tornera-sulla-luna-e-costruira-una-base-permanente-si-puo-fare/> (Novembre 2022)

C. Miller, A. Wilhite, *Economic assessment and systems analysis of an evolvable lunar architecture that leverages commercial space capabilities and public-private-partnerships*, NexGen Space LLC, 2015

X. De Kestelier, E. Dini, G. Cesaretti, V. Colla, L. Pambaguian, *Lunar outpost design. 3D printing regolith as a construction technique for environmental shielding on the moon*, Research & Development - Specialist modelling group, The design of a Lunar Outpost, 2015

M. Morris, C. Ciardullo, K. Lents, J. Montes, M. Yashar, O. Rudakevych, M. Sono, Y. Sono, *Mars Icehouse: Using the physics of phase change in 3D printing a habitat with H₂O*, in <<International Conference on Environment System (ICES)>>, 46, 2016.

B. Sherwood, *Space Architecture for MoonVillage*, in <<International Conference on Environmental System (ICES)>>, 46, 2016.

A. Andonov, *Structural Design Criteria for Planetary Bases: Adaptation of Approaches used in Design of Nuclear Facilities on Earth*, in <<International Conference on Environmental System (ICES)>>, 46, 2016.

M. Arnhof, *Design of Human Settlement on Mars Using In-Situ Resources*, in << International Conference on Environmental System (ICES)>>, 46, 2016.

L. Geggel, *City-Size Lunar Lava Tubes Could House Future Astronaut Residents*, in <<LiveScience>>, 2017.

V. Sumini, C. Mueller, *Structural Challenges for Space Architecture*, in <<Structure Magazine>>, 2017, pp. 42.

A. Zuniga, H. Modi, A. Kaluthantrige, H. Vertadier, *Building an economical and sustainable lunar infrastructure to enable human lunar missions*, in <<Space and Astronautics Forum and Exposition>>, 2017.

A. Sgambatia, M. Berga, F. Rossia, A. Dauriskikhb, B. Imhofc, R. Davenportc, P. Weiss, M. Peer, T. Gobert, A. Makaya, *Urban: conceiving a lunar base using 3D printing technologies*, in <<International Astronautical Congress (IAC)>>, 2018.

L. David, *Living Underground on the Moon: how Lava Tubes Could Aid Lunar Colonization*, in <<space.com>>, 2019.

B. Sherwood, *Decadal opportunities for space architects*, in <<Acta Astronautica>>, 81, pp. 600-609, 2019

G. I. Petrov, D. Inocente, M. Haney, N. Katz, C. Koop, A. Makaya, M. Arnhof, H. Lakk, A. Cowley, C. Haigneré, P. Messina, V. Sumini, J.A. Hoffman, *Moon Village Reference Masterplan and Habitat Design*, in <<International Conference on Environmental Systems (ICES)>>, 49, 2019

G. I. Petrov, D. Inocente, A. Makaya, C. Koop, H. Lakk, A. Cowley, C. Haigneré, M. Arnhof, P. Messina, V. Sumini, J. A. Hoffman, B. Lamaze, D. Binns, M. Landgraf, *Master Planning and Space Architecture for a Moon Village*, in <<International Astronautical Congress (IAC)>>, 70, 2019.

E. Dini, *Così costruiremo mattoni con la polvere lunare*, in <<La Repubblica>>, 2019. Disponibile a: https://www.repubblica.it/dossier/scienze/sbarco-luna/2019/07/19/news/_cosi_costruiremo_mattoni_con_la_polvere_lunare_il_progetto_italiano_per_tornare_lassu_-231592975/ (Gennaio 2022)

K. Enc, L. Basarir, *At the dawn of space architecture: what can architects learn from International Space Station and architectural design challenges for outer space*, in <<Smart Buildings, Smart Cities - Architecture, Technology and Innovation 2020 (ATI 2020)>>, 2020.

L. De Angeli, *MushROOMS: mattoni di funghi per costruire case nello spazio*, *Moonwalkers*, 2020. Disponibile a: [https://moonwalkers50.netsons.org/mushrooms-mattoni-di-funghi-per-costruire-case-nello-spazio/#:~:text=Dall'Ames%20Research%20Center%20\(ARC, strutture%20molto%20complesse%20e%20resistenti](https://moonwalkers50.netsons.org/mushrooms-mattoni-di-funghi-per-costruire-case-nello-spazio/#:~:text=Dall'Ames%20Research%20Center%20(ARC, strutture%20molto%20complesse%20e%20resistenti) (Dicembre 2021)

ESA, *Moon village Conceptual design of a lunar habitat*, CDF Study Report: CDF-202(A) - Issue 1.1, 2020.

V. Netti, O. Bannova, *Space Architecture: designing beyond the sky*, USA University of Huston, 2021.

D. L. Akin, Z. Lachance, C. Hanner, *Experimental Investigation of Minimum Required Cabin Sizing in Varying Gravity Levels*, in <<International Conference on Environmental System (ICES)>>, 97, 2021.

G. Ranzini, *Spazio Valentina Sumini: le nostre case extraterrestri*, in <<Focus>>, 2020. Disponibile a: <https://www.focus.it/scienza/spazio/valentina-sumini-intervista> (Novembre 2021)

V. Magliani, *Modulo lunare: L'ESA prepara i progetti per il suo villaggio sulla Luna*, in <<FocusTech>>, 2021. Disponibile a: <https://focustech.it/2020/11/21/modulo-lunare-lesa-prepara-i-progetti-per-il-suo-villaggio-sulla-luna-518692> (Dicembre 2021)

Moon Base. Scientists want to build a lunar habitat inspired by ancient architecture, Disponibile a: <https://www.inverse.com/science/ancient-architecture-on-the-moon> (Dicembre 2021)

SOM, *SOM Presents Moon Village at Biennale Architettura*, 2021. Disponibile a: <https://www.som.com/news/som-presents-moon-village-at-biennale-architettura-2021/> (Febbraio 2022)

DIA, *DIA Moonbase Competition final Report*, final report, 2021

Thesis Team Members, *Report 6*, Script 6 meeting consideration, 2022.

Thesis Team Members, *Report 8*, Script 8 meeting consideration, 2022.

Bell L., *Planetary Surface Transportation and Site Development*, in <<Sasakawa International Center for space Architecture (SISCA)>>.

O. Bannova, *Designing for future. Space facilities for operations under different gravity conditions*, in <<International Astronautical Congress (IAC)>>, 4.

Aspetti geopolitici e legislazione internazionale spaziale

US, *Commercial Space Launch Competitiveness Act*, Public Law 114-90, 114th Congress, 2015

Haines R., *From Antarctica to Outer Space*, Springer-Verlag, New York, 1991

Cordis, *Il Giappone annuncia la costruzione di una base sulla Luna al termine della missione dell'ESA nell'orbita del pianeta*, Cordis Europa, 2006. Disponibile a: <https://cordis.europa.eu/article/id/26156-japan-announces-lunar-base-plans-as-esa-ends-moon-orbit-mission/it> (Dicembre 2021)

R. Rosanelli, *Le attività spaziali nelle politiche di sicurezza e difesa*, Edizioni Nuova Cultura, 2011

J. Song, *China Emphasizes International Operation in Future Lunar and Deep Space Exploration*, BCAS, Cina, 2019

Redazione, *Fly to the moon. Il dialogo spaziale tra Fraccaro, Parmitano e Comparini*, in <<Formiche>>, 2020. Disponibile a: <https://www.aerospacelombardia.it/wp-content/uploads/2020/09/Fly-to-the-Moon.-Il-dialogo-spaziale-tra-Fraccaro-Parmitano-e-Comparini.pdf> (Novembre 2021)

S. Pioppi, *Avanti tutta verso la luna. Ecco la firma (Italia Compresa) degli Artemis Accords*, in <<Formiche>>, 2020. Disponibile a: <https://formiche.net/2020/10/luna-artemis-accords-italia-usa/> (Febbraio 2022)

S. Pioppi, *Alla conquista della Luna (e non solo)! Così lo Spazio si fa spazio negli Usa*, in <<Formiche>>, 2020. Disponibile a: <https://formiche.net/2020/05/artemis-accords-space-force-spazio-usa/> (Febbraio 2021)

A. Salmeri, *Developing and managing moon and mars settlements in accordance with international space law*, in <<International Astronautical Congress (IAC)>>, 71, 2020

NASA, *NASA's Lunar exploration program overview*, 2020. Disponibile a: www.nasa.gov (Marzo 2022)

NASA, *The Artemis Accords, Principles for cooperation in the civil exploration and use of the Moon, Mars, Comets, and Asteroids for peaceful purposes*, in <<International astronautical congress (IAC)>>, 71, 2020

Space Generation Advisory council, *Effective and Adaptive Governance for a Lunar Ecosystem*, Lunar Governance Report, 2020

A.J. Gawronska, N. Barrett, S.J. Boazman, C.M. Gilmour, S.H. Halim, Harish, K. McCanaan, A.V. Satyakumari, J. Shah, H.M. Meyerl, D.A. Kring, *Geologic context and potential EVA targets at the lunar south pole*, in <<Acta Astronautica>>, 66, 2020, pp. 1247-1264.

S. Piccin, *Cosa sono e perché sono importanti gli Accordi Artemis? Intervista ad Antonino Salmeri*, 2020. Disponibile a: <https://www.astrospazio.it/2020/10/14/cosa-sono-e-perche-sono-importanti-gli-accordi-artemis-intervista-ad-antonino-salmeri/> (Marzo 2022)

A. D'Ottavio, *Polo sud lunare: il nuovo "west" della geopolitica spaziale e non solo*, in <<Geopolitica.info>>, 2021, Disponibile a: <https://www.geopolitica.info/polo-sud-lunare-il-nuovo-west-della-geopolitica-spaziale-e-non-solo/> (Marzo 2022)

S. Pioppi, *Verso la Luna e oltre. Così Biden conferma il piano di Trump*, in <<Formiche>>, 2021. Disponibile a: <https://formiche.net/2021/02/biden-luna-artemis-conferma/> (Novembre 2021)
Thesis Team Members, *Report 9*, Script 9 meeting consideration, 2022

FAA Federal Aviation Administration, *Commercial Human Spaceflight*, Available at: <https://www.faa.gov/space> (Accessed at 15 Mag 2022)

NASA, *Artemis Program Overview*, Disponibile a: <https://www.nasa.gov/content/artemis-i-overview> (Gennaio 2022)

M. Smith, *Space law, regulation and policy in USA*, Sherman & Howard LCC. Disponibile a: <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=563a0add-4c1f-4664-9241-42da197ad1ac> (Gennaio 2022)

Condizioni ambientali

G. J. Taylor, *Gamma Rays, Meteorites, Lunar Samples, and the Composition of the Moon*, in <<Planetary science research discoveries (PSRD)>>, 2005. Disponibile a: <http://www.psrdd.hawaii.edu/Nov05/PSRD-MoonComposition.pdf> (Dicembre 2021)

V. Caldelli, *Abitare sulla Luna? Ecco come sarà possibile*, in <<Quotidiano Nazionale>>, 2013. Disponibile a: <https://www.quotidiano.net/cronaca/2013/03/05/854507-case-sulla-luna-progetto-esa.shtml> (Marzo 2022)

J. Stopar, H. Meyer, *Annual illumination and topographical slope of the moon's south polar ridge*, Lunar and Planetary Institute regional planetary imaging facility, Contribute LPI 2179, 2019

J. Stopar, *Temperatures near the surface modeled at the south pole of the Moon (85° S to the pole)*, Lunar and Planetary Institute regional planetary imaging facility, Contribute LPI 2216, 2019

NASA, *Why Space Radiations Matters*, 2019, Available at: <https://www.nasa.gov/analog/nsrl/why-space-radiation-matters> (Accessed at: 13 Mar 2022)

M. Aderin-Pocock, *Il libro della Luna – Guida all'esplorazione del nostro satellite*, "s.l.", Il Saggiatore, 2020, (traduzione di) Malafarina G.

NASA, *Researchers Estimate Ice Content of Crater at Moon's South Pole*, NASA, 2020

M. Battaglia, *Come vivere sulla luna? Lo studio di Thales Alenia Space*, in <<Formiche>>, 2021. Disponibile a: <https://formiche.net/2021/04/thales-alenia-space-vivere-sulla-luna/> (Novembre 2021)

J. Grant, *The Moon's top layer alone has enough oxygen to sustain 8 billion people for 100,000 years*, in <<The Conversation>>, 2021. Disponibile a: <https://www.hindustantimes.com/science/moons-top-layer-has-ample-oxygen-to-sustain-8-bn-people-for-100k-yrs-report-101637561912263.html> (Novembre 2021)

S. Valesini, *Torniamo sulla Luna. Nascosto nel suolo della Luna c'è ossigeno per miliardi di persone*, in <<Today scienze>>, 2021. Disponibile a: <https://www.today.it/scienze/ossigeno-sulla-luna.html> (Novembre 2021)

V. Mariani, *Lo sfruttamento delle risorse spaziali: la meta della nuova corsa allo spazio*, 2021. Disponibile a: <https://www.geopolitica.info/lo-sfruttamento-delle-risorse-spaziali-la-meta-della-nuova-corsa-allo-spazio/> (Marzo 2022)

I minerali della Luna, il suolo lunare, in <<Torinoscienza>>, 2021. Disponibile a: http://archivio.torinoscienza.it/dossier/il_suolo_lunare_2557.html#:~:text=I%20minerali%20pi%C3%B9%20importanti%20e,goccioline%20allungate%20od%20ovoidali%20o (Dicembre 2021)

Politecnico e OHB Italia: Produrre acqua sulla Luna da oggi è realtà, Disponibile a: <https://alumni.polimi.it/2021/05/14/politecnico-e-ohb-italia-produrre-acqua-sulla-luna-da-oggi-e-realta/> (Novembre 2021)

Condizioni economiche e di sviluppo

United Nations treaties and principles on outer space, *Text of treaties and principles governing the activities of States in the exploration and use of outer space*, adopted by the United Nations General Assembly, New York 2002, United Nations Publication, Sales No. E.02.I.20, ISBN 92-1-1000900-6

D.M. Ladewig, *Lunar Real Estate Development*, in <<Conference Paper (ASCE)>>, 2011

P. Gläser, R. Figuera, D. De Rosa, R. M. Figuera, J. Oberst, E. Mazarico, G. A. Neumann, M. S. Robinson, *Connecting Ridge - A landing site at the lunar south pole with extended illumination*, in <<European Planetary Science Congress EPSC>>, 2014.

E. Intini, *Spazio, quanto costa tornare sulla Luna?*, in <<Focus>>, 2015. Disponibile a: <https://www.focus.it/scienza/spazio/quanto-costa-tornare-sulla-luna> (Novembre 2022)

M. Thangavelu, *Lunar Tourism: Catalyst for Jumpstarting a Cislunar Economy*, in <<International Astronautical Congress (IAC)>>, 70, 2019.

Retemedia, *Quanto costerebbe una casa sulla luna?*, in <<Recomm Magazine>>, 2021. Disponibile a: <https://www.recomm.org/quanto-costerebbe-una-casa-sulla-luna/#:~:text=Secondo%20un%20rapporto%20del%20sito,la%20prima%20casa%20sulla%20Luna.> (Dicembre 2021)

G. Anòè, *Non è fantascienza: l'uomo si prepara a colonizzare la luna*, in <<Today Tech>>, 2021. Disponibile a: <https://www.today.it/tech/nasa-cerca-ossigeno-luna.html#:~:text=Colonizzare%20la%20Luna.,potrebbe%20sostenere%20la%20vita%20umana.> (Novembre 2021)

K. Cui, H. Joung, S. A. Manzano, A. King, H. Kinlaw, K. Baker, A. Kaufman, N. Correll, *SIRONA: Sustainable integration of regenerative outer-space nature and agriculture. Part 1 - Architecture and Technology*, in <<Acta Astronautica>>, 196, 2022, pp. 350-368.

Soderman, *NLSI Staff, A lunar Nuclear Reactor*, disponibile a: <https://sservi.nasa.gov/articles/a-lunar-nuclear-reactor/> (Gennaio 2022)

Requisiti fisici e psicofisici

NASA, *Environmental Control and Life Support System (ECLSS)*, NASA, 2017

NASA, *NASA spaceflight human-system standard, Volume 2: Human factors, habitability, and environmental health*, in <<NASA-STD-3001>>, Volume 2, Revision B, METRIC/SI (ENGLISH), 2019

Guidelines for the Long-Term Sustainability of Outer Space Activities, in <<U.N. Doc. A/74/20>>, Annex II, 2020

T. Basu, O. Bannova, J.D. Camba, *Mixed reality architecture in space habitats*, Elsevier, in <<Acta Astronautica>>, 178, 2021, pp. 548-555

Teoria del progetto

M. Ferraris, *Documentalità: ontologia nel mondo sociale*, "s.l.", Etica & Politica, IX, 2007, pp.240-329

F. Julien, *Pensare l'efficacia in Cina e in Occidente*, Bari, Editori Laterza, 2008

P. Sloterdijk, *Sfere III. Schiume*, Milano, Raffaello Cortina, 2015

E. Terrone, *Filosofia dell'ingegneria*, il Mulino, Bologna, 2019.

G. Simondon, *Du mode d'existence des objets techniques*, Paris, Aubier- Montaigne, 1959; trad. it. Del modo di esistenza degli oggetti tecnici, Napoli-Salerno, 2021.

A. Armando, A. Bonino, et. al., *A Narrative of Urban Recycle*, Sandy Publishing Co., Guangzhou, 2015.

A. Armando, G. Durbiano, *Teoria del progetto architettonico dai disegni agli effetti*, Roma, Carrocci editore, 2017.

L. Bruno, *Politics of Nature*, Harvard University Press, Massachusetts, 2004.

Plato, *La Repubblica*, presentato da Luciano De Crescenzo, nota bibliografica di Enrico V. Maltese, traduzione di Giovanni Caccia, Roma, Newton Compton, 2009

L. Bruno, Y. Albenà, *Give Me a Gun and I Will Make all Buildings Move: An ANT's View of Architecture*, Ardeth, Torino, 2017.

Nell'ultimo decennio, la grande ondata di investimenti economici finanziati dalle neonate agenzie spaziali private, assieme al crescente numero di studi riguardanti le possibilità di costituire una vita permanente sulla Luna, hanno proiettato la "corsa allo spazio" in una nuova dimensione mondiale.

L'ipotesi alla base della tesi è dunque quella che le competenze della progettazione architettonica possano contribuire concretamente al dibattito, attualmente prettamente ingegneristico, incentrato intorno allo sviluppo di insediamenti semi-permanenti in ambiente lunare.

La ricerca ha come obiettivo quello di esplorare progettualmente le conoscenze fondamentali per la progettazione architettonica di un insediamento semi-permanente sulla superficie lunare, indagando i vincoli tecnico ambientali, economici e politici necessari. Inoltre, la ricerca si propone di sperimentare la costruzione di scenari dove l'azione progettuale si traduca in strumento di indagine delle condizioni di reale fattibilità.

Il metodo di ricerca adottato si sviluppa attraverso la mappatura delle istanze incidenti sul suolo lunare, quali documenti tecnici/politici e nozioni apprese negli scambi con gli attori coinvolti, e lo sviluppo progettuale degli scenari possibili.

La tesi viene presentata sottoforma di "diario di bordo", all'interno del quale vengono esposte, in ordine cronologico l'evoluzione dell'esplorazione progettuale, costituito da deviazioni in corso, irruzioni impreviste, indagini interrotte, errori progettuali e cambi di prospettiva temporale e spaziale. Data la complessità della tematica, dovuta dalle differenti condizioni al contorno che definiscono l'ambiente lunare, l'indagine coglie all'interno delle istanze raccolte nell'archivio delle ricerche svolte, gli elementi capaci di riconfigurarsi in funzione della produzione di un possibile effetto progettuale.

La prima fase di studio si incentra sull'evoluzione storico politica dell'esplorazione lunare con forte richiamo ai risvolti geopolitici caratterizzanti il passato, il presente e il futuro delle operazioni spaziali. Tali aspetti risultano essere fondamentali per la comprensione delle regolamentazioni giuridiche per le attività extra-atmosferiche.

Il percorso progettuale, inizialmente avviato con la volontà di realizzare una struttura permanente per i primi astronauti, si è modificato nel tempo, arrivando infine a trattare lo studio ipotetico del masterplan relativo ad un possibile insediamento contenente, al suo interno, anche una struttura turistica.

L'architettura spaziale ci può offrire l'opportunità di ripensare in maniera critica le convenzioni progettuali e architettoniche che non ci accorgiamo di adottare sulla Terra. Inoltre, la progettazione extra-atmosferica può essere un ottimo punto di partenza per sperimentare in ambiente terrestre nuove considerazioni riguardanti la sostenibilità.

In conclusione, progettare nello spazio ci può conferire una visione e una guida di come migliorare la progettazione sulla Terra, ottimizzando le risorse che abbiamo a disposizione.



**Politecnico
di Torino**