

Marina Tornatora

Professore associato, Progettazione architettonica e urbana,
Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria.
mtornatora@unirc.it

Giacomo D'Amico

PhD Student, Università degli Studi Mediterranea
di Reggio Calabria.
giacomo.damico@unirc.it

Abitare l'inabitabile



01. Lo spaziorporto di Arrakeen nel film *Dune* (2021) | Arrakeen spaceport in *Dune* (2021). Deak Ferrand, artstation.com



Inhabiting the Uninhabitable *The contribution draws attention to those analogies between the desert and celestial bodies that have always fuelled the construction of the imaginary cosmic landscape. The study of design proposals for extraterrestrial habitats and settlements enables the identification of recurring settlement models where the desert continues to serve as a laboratory for experimentation in space architecture. The dialogue between design and exceptional environmental conditions becomes an expression of a “natural” idea of ecology which, going beyond the mere search for technical solutions, frees itself from the “superfluous” and becomes a theoretical tool and operational material.**

Il contributo riflette su quelle analogie tra deserto e corpi celesti che da sempre hanno alimentato la costruzione dell'immaginario del paesaggio cosmico. Lo studio delle proposte progettuali di habitat e settlement extraterrestri consente di tracciare una lettura dei modelli insediativi ricorrenti dove il deserto rappresenta ancora un laboratorio di sperimentazione dell'architettura spaziale. Il dialogo tra progetto e condizioni ambientali eccezionali diventa espressione di una “naturale” idea di ecologia che, superando la sola ricerca di soluzioni tecniche, si libera dal “superfluo” e diventa strumento teorico e materiale operativo.*

I deserti dello Spazio

Abitare “l'inabitabile”, abitare tutti quei luoghi con condizioni estreme, come il deserto e le calotte polari, esplorare nuovi mondi oltre il pianeta Terra, in orbita e su altri corpi celesti come la Luna e Marte, rappresentano il desiderio di superare frontiere sempre più complesse.

Il contributo riflette su quelle analogie tra deserto e Spazio extraterrestre che non solo consentono la sperimentazione di soluzioni progettuali e possibili modelli insediativi, ma da sempre hanno alimentato la costruzione dell'immaginario del paesaggio cosmico. Letteratura e cinema hanno attinto dal deserto elementi, atmosfere e condizioni per immaginare la vita sui pianeti, diventando lo spazio ideale per ambientazioni e narrazioni.

Il paesaggio brullo di sabbia rossa del deserto di Wadi Rum, detto anche Valle della Luna, nel sud della Giordania, veste i panni di Marte nel film *The Martian* (2015) di Ridley Scott, tratto dall'omonimo romanzo di Andy Weir (2011) (Porretta, 2020). Nella stessa *location* sono girate alcune scene della celebre saga *Star Wars* che dal 1977, insieme a *Star Trek*, hanno diffuso una iconografia degli habitat extraterrestri. Nei grandi classici fantascientifici, come la serie *Foundation* (1951-1993) di Isaac Asimov e *Dune* (1965) di Frank Herbert, i deserti terrestri diventano il teatro per le ambientazioni dei pianeti.

Totalmente diversa da quella ipertecnologica di David Lynch (1984), la versione cinematografica (2021 e 2024) di *Dune* di Denis Villeneuve veste il pianeta desertico di Arrakis attraverso una combinazione di colori, forme e architetture brutaliste (Niola, 2024). Il colore della terra si meschia a quello del costruito, esaltando il rapporto tra deserto e abitare (img. 01) con evidenti riferimenti all'architettura araba contemporanea.

Le condizioni ambientali e paesaggistiche degli aridi deserti, dove sono assenti flora e fauna, il silenzio si misura con le forti escursioni termiche e qualsiasi forma di vita si confronta con l'impossibilità di reperire le risorse vita-

li, hanno alimentato la sperimentazione di forme, materiali e modelli. In tali contesti il progetto affida all'architettura la responsabilità di dialogare con condizioni eccezionali, diventando espressione di una "naturale" idea di ecologia, cioè quella che, superando la sola ricerca di soluzioni tecniche, si libera dal "superfluo" e diventa strumento teorico e materiale operativo.

L'habitat della *Polvere d'oro* dei deserti (Al-Koni, 1990) si rivela essere un laboratorio naturale tanto per le architetture terrestri quanto per le *analog missions*¹, consentendo di costruire spazi che simulano le condizioni degli astronauti, studiando i comportamenti, gli effetti psicologici e antropologici.

Un celebre esempio di *analog* è *Biosphere 2*, realizzato a Oracle, nel deserto dell'Arizona, struttura di ricerca scientifica pensata per essere un "sistema ecologico chiuso" artificiale. *Biosphere 2* riproduce la Terra in miniatura, portando al suo interno flora e fauna e modellando lo spazio per sviluppare ricerche sulla mitigazione dei cambiamenti climatici e dell'inquinamento atmosferico. La struttura introver-

Le analogie tra deserto e corpi celesti da sempre alimentano la costruzione dell'immaginario del paesaggio cosmico

sa, ricca di vegetazione e vita, si contrappone al paesaggio che la circonda, caratterizzato dal clima arido e dalle forti escursioni termiche tipiche dell'Arizona.

Il *Self-Deployable Habitat for Extreme Environments* (SHEE) è il primo habitat modulare europeo pensato sia per ambienti estremi che per situazioni emergenziali e calamità naturali (Doule *et al.*, 2014) il cui prototipo fisico è stato testato nell'area del parco minerario di Rio Tinto in Spagna,

consentendo di perfezionare il modello virtuale e simulare le condizioni esistenti sulla Luna e su Marte.

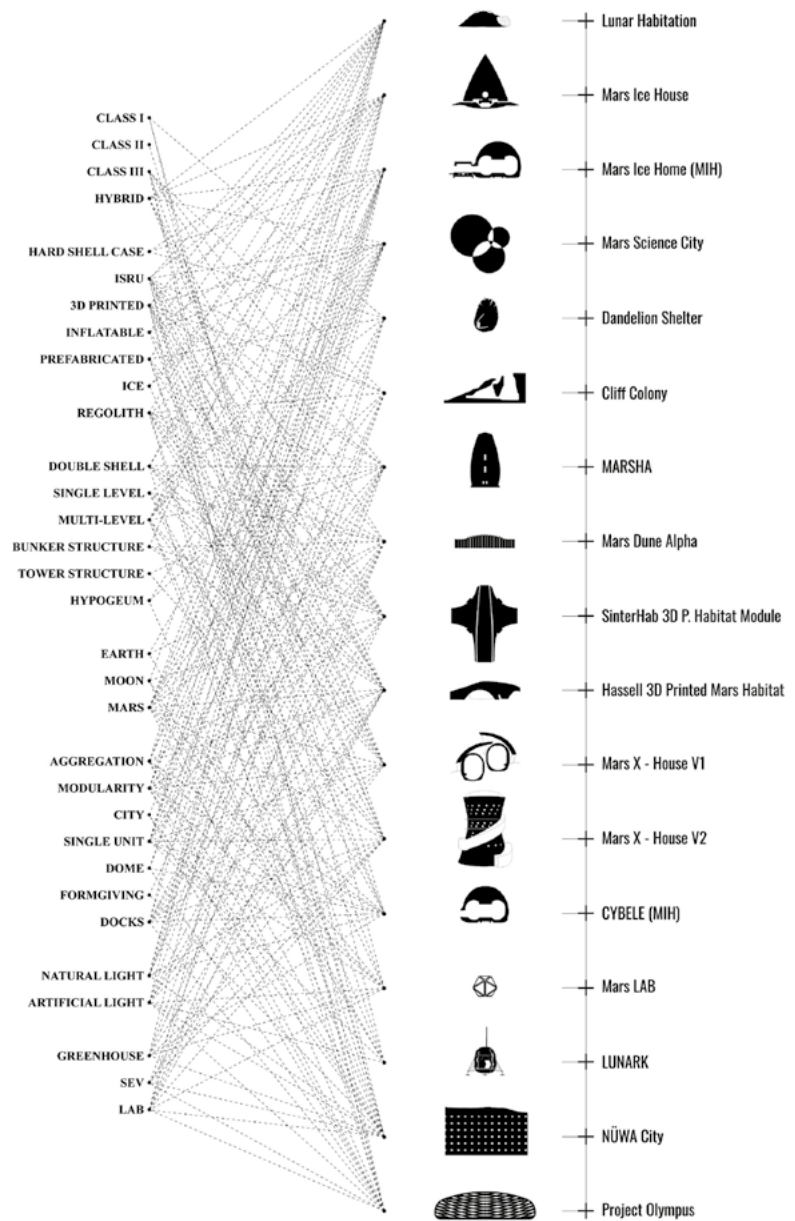
Concepito come un rifugio sicuro, autosufficiente, altamente compatto, SHEE è dotato di tutti i comfort per garantire benessere fisico e mentale a un equipaggio di due persone, articolato in aree funzionali distinte per vivere e lavorare, spazi comuni e privati, privi di aperture verso l'esterno, senza relazione o visione sul paesaggio.

Progettare nei deserti terrestri

Tali sperimentazioni si iscrivono nella più ampia e storica tensione alla esplorazione dello Spazio da parte dell'uomo, che già a partire dagli anni Trenta è alimentata tanto dagli scienziati quanto da scrittori e divulgatori, dal cinema al fumetto, al cartone animato. Lo Spazio è visto come un'opportunità, come possibilità di superare una "barriera" e raggiungere nuove frontiere alimentando quella che è stata definita la *Space Age* (Catucci, 2019).

La corsa alla Luna, dall'allunaggio della missione Apollo 11 (1969), apice della prima *Space Race* (1955-1975) conclusasi con l'*Apollo-Soyuz Test Project* (ASTP)², rappresenta un evento straordinario che dà slancio alla ricerca per la conquista dello Spazio e per rendere la vita possibile oltre la Terra.

Sebbene la conquista dell'orbita terrestre e della superficie lunare sia stata il risultato degli obiettivi militari delle grandi potenze (USA e URSS) e non un'impresa mossa solo dalla curiosità scientifica, gli effetti sono stati enormi, rappresentando il catalizzatore del progresso tecnologico. La Luna è stata il laboratorio di una nuova forma di esperienza che ha permesso di sviluppare una diversa visione della Terra, non più unico teatro dell'uomo ma piccolo pianeta della Via Lattea. La *Space Race* è stata portatrice di un sogno di futuro che ha trasformato lo Spazio cosmico in paesaggio, ma ha anche inaugurato una nuova fase storica,



02. Diagramma comparativo dei diciotto casi studio | Comparative diagram of the eighteen case studies. Giacomo D'Amico

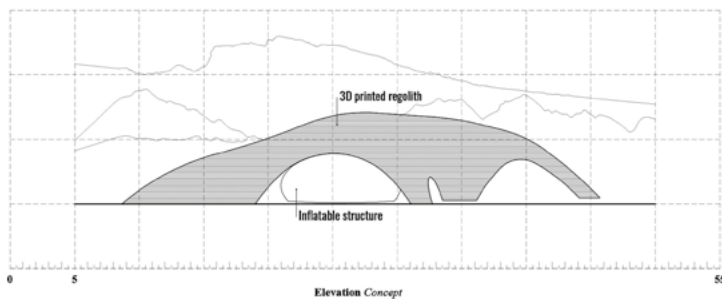
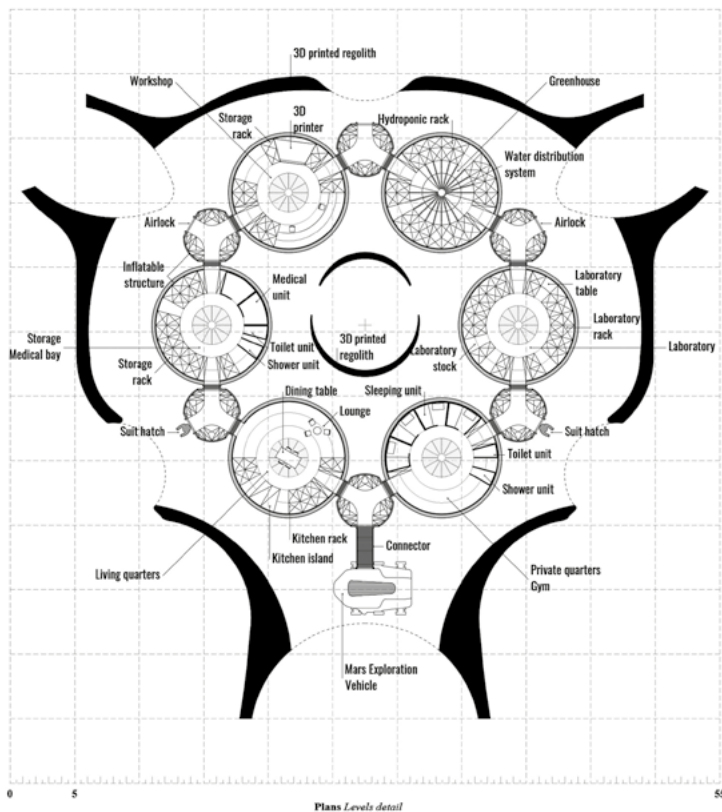
quella Spaziale, per l'effetto dell'impatto delle numerose innovazioni in campo informatico ed elettronico, come anche nei settori della comunicazione, dei materiali e dell'alimentazione, che segnano la crisi dell'industria pesante.

L'allunaggio ha anche "delunarizzato" la Luna, cioè, ha in qualche modo portato al superamento del mito storico della conquista dello Spazio (Catucci, 2019), che ha continuato ad alimentare la cooperazione internazionale delle agenzie governative. Nel 2017, a distanza di mezzo secolo, la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) ha presentato il programma *Artemis*, in partenariato con altre agenzie spaziali – tra le quali l'ESA (*European Space Agency*) e l'ASI (Agenzia Spaziale Italiana) – e in collaborazione con società private. La nuova missione intende tornare sulla Luna con "la prima donna e la prima persona di colore, usando tecnologie innovative per esplorare una parte della superficie

lunare mai vista prima" (NASA, 2020), rendere possibile una permanenza a lungo termine con abitazioni e laboratori, acquisire, dunque, quelle conoscenze per il grande salto: inviare i primi astronauti su Marte (Benacchio, 2024).

Si assiste oggi a un intensificarsi della corsa mondiale per la ricerca di un pianeta alternativo alla Terra. Cina e Stati Uniti puntano alla Luna, dove si concentra anche la missione Chandrayaan dell'India, e contemporaneamente gli studi si allargano verso altri pianeti come Marte e Giove. Un'accelerazione che sicuramente porterà a una ulteriore rivoluzione, che segna uno slittamento dall'approccio puramente tecnologico verso una visione più olistica nella quale sono coinvolte molte discipline con ricadute sugli aspetti costruttivi, ergonomici, psicologici, sociologici e antropologici.

In questo contesto si inserisce nel 2002 la *Space Architecture*³, riconosciuta come disciplina per la progettazione



03. Ridisegno della pianta e del prospetto del 3D Printed Mars Habitat di Hassell Studio | Redraw of the 3D Printed Mars Habitat floor plan and elevation by Hassell Studio. Giacomo D'Amico

e la costruzione di ambienti e strutture nello Spazio (Howe e Sherwood, 2009; Bannova, 2021). Una sfida complessa che mette in discussione i metodi progettuali ordinari per la sperimentazione di nuove dimensioni spaziali, capaci di rispondere a una diversa forza di gravità, ad agenti atmosferici violenti e alla difficoltà di reperire le materie prime sui pianeti.

L'articolata e multiforme progettazione degli habitat extraterrestri si misura per piccoli passi, le diverse proposte rappresentano dei tentativi, degli esperimenti in laboratorio di soluzioni, forme e idee che si confrontano con la difficoltà di lavorare in condizioni estreme, testando materiali, anche quelli da reperire *in loco* (come regolite⁴ o ghiaccio), verificando la relazione tra bisogni umani e tipologie abitative e costruttive (Fallacara e Netti, 2021). Ecco che la progettazione sviluppata nei deserti terrestri diventa un valido e fondamentale supporto per la capacità della forma architettonica di dialogare con la natura, diventando dispositivo per la vita, sistema di ventilazione e ombreggiamento, ga-

rantando l'approvvigionamento e la gestione delle risorse naturali, senza rinunciare alla bellezza e alla qualità dell'abitare (Testoni, 2022). Forme e geometrie si dichiarano all'esterno mentre si riflettono all'interno tentando di fornire un rifugio sicuro e confortevole.

Sofisticata strumentazioni consentono un avanzamento continuo della conoscenza dei pianeti, di cui si possiedono dati geomorfologici, chimici, ortofoto dettagliate e informazione su condizioni e fenomeni. Se sulla Luna ci si confronta con l'assenza di atmosfera e con l'impatto di micrometeoroidi e di radiazioni cosmiche, su Marte sono frequenti le tempeste di sabbia.

Atlante di architetture oltre la Terra

Lo studio sulle eterogenee proposte progettuali di habitat⁵ e *settlement*⁶ extraterrestri, che ormai si susseguono sempre più frequentemente, consente di tracciare una lettura sulle ipotesi di modelli insediativi ricorrenti. Non

esistono ancora pubblicazioni monografiche che restituiscano una sintesi organica dei numerosi progetti sviluppati, mentre gli articoli in riviste scientifiche e i database digitali consentono di elaborare una prima selezione di 45 progetti, tra i quali 18 dei più documentati sono stati assunti come caso studio e analizzati con maggiore dettaglio (img. 02).

La ricerca (D'Amico, 2021) propone, dunque, un atlante di architetture oltre la Terra, organizzate per invarianti assumendo la classificazione sviluppata per la NASA da Kriss J. Kennedy, che prende in esame l'evoluzione storica dei primi habitat spaziali – dal *Progetto Mercury* (1958-63) alla stazione russa *Mir* (1986-1996) – e organizza in classi, secondo il sistema costruttivo, le tipologie strutturali e la durata delle missioni (Kennedy, 2002). La prima classe corrisponde alle unità cosiddette “pre-integrate”, assemblate e verificate prima del lancio, per missioni di breve durata (giorni-settimane), come il modulo dell'Apollo 11 o le navicelle Soyuz; la seconda classe è costituita da sistemi “prefabbricati”, strutture realizzate sulla Terra ma assemblate nello Spazio, pensate per missioni di media durata (settimane-mesi); e, infine, la terza classe comprende quegli habitat costruiti *in situ* e realizzati con uso di risorse locali, in particolar modo la regolite, lunare o marziana, e successivamente integrati con componenti preassemblati, per missioni di lunga durata (mesi-anni). Seppur la classificazione di Kennedy parte dallo studio di strutture orbitali, le recenti proposte di habitat planetari non hanno trovato una precisa corrispondenza rispetto a queste tre classi. La ricerca ha dunque introdotto una quarta classe che comprende i sistemi cosiddetti “ibridi”, che combinano più tipologie.

La lettura analitico-interpretativa delle scelte costruttive, formali e ambientali per i progetti selezionati consente di individuare tra le tipologie ricorrenti quelle a guscio rigido, prefabbricate, gonfiabili, stampate in 3D con approccio ISRU (*In Situ Resource Utilization*), o derivate da una com-

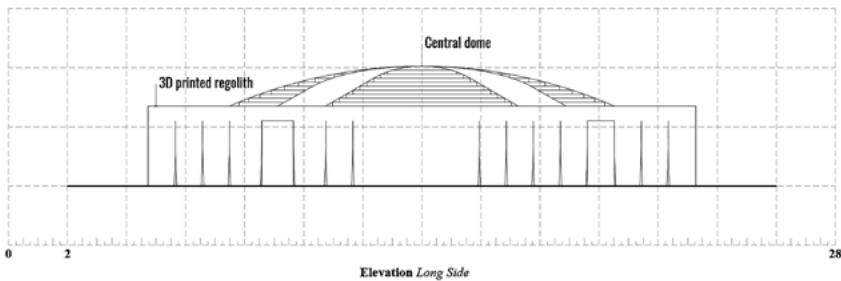
binazione di queste. Aspetto comune è la pressurizzazione interna per garantire il comfort necessario e contrastare gli stress strutturali dati dalle forze esterne. Infatti, se la Luna non presenta alcuna atmosfera, quella di Marte è tanto sottile da richiedere scelte progettuali specifiche, che in molti casi si risolvono con il cosiddetto “doppio guscio”, scudo protettivo per la struttura interna con una forte “elasticità” da potersi espandere e contrarre all'occorrenza.

La resistenza alle forti escursioni termiche e alle tempeste di sabbia marziane, che tanto ricordano quelle desertiche, gli standard di modularità e assemblaggio, la necessità di scrutare il paesaggio riducendo al minimo le uscite all'esterno, rappresentano quei fattori che inevitabilmente influiscono sulle geometrie degli habitat. È possibile circoscrivere alcune tipologie ricorrenti: “torre”, in cui lo spazio interno è distribuito verticalmente, con la copertura semitrasparente

L'architettura per condizioni estreme diventa espressione di una naturale idea di ecologia

per scrutare il cielo e il paesaggio; “bunker”, in cui la distribuzione degli ambienti avviene su un unico piano orizzontale coperto da un guscio protettivo senza rapporto con l'esterno; “cupola”, simile alla tipologia bunker, con superfici trasparenti nei casi di strutture gonfiabili pressurizzate; “toroidale”, con la configurazione di una corte interna, nella quale è innestata un sistema a cupola; e, infine, la tipologia “ipogea”, che si inserisce nelle insenature o nei crateri inattivi delle superfici dei pianeti, per una protezione naturale dalle minacce esterne, come è avvenuto nella Valle di Pasabag, in Cappadocia, nei cosiddetti “Camini delle Fate”.

La combinazione tra classe, tipologia strutturale, sito, forma e geometria di un habitat determina l'aggregazione in *settlement* più o meno estesi, fino a ipotesi di città o me-



04. Ridisegno della pianta e del prospetto longitudinale di Mars Dune Alpha di ICON e BIG | Redraw of the Mars Dune Alpha floor plan and longitudinal elevation by ICON and BIG. *Giacomo D'Amico*

tropoli capaci di ospitare fino a un milione di abitanti (Detrell *et al.*, 2021). Dei diciotto progetti approfonditi nella ricerca, si propongono alcuni di essi, esemplificativi delle principali questioni trattate, per le analogie con i modelli

Immaginare nuovi mondi, come in un esercizio circolare, rappresenta un ritorno alla Terra

architettonici terrestri, preferendo le ipotesi su Marte per le similitudini con i deserti terrestri.

La prima ipotesi progettuale è il *3D Printed Mars Habitat* (Hassell, 2018), di Hassell Studio + EOC, che è un habitat di classe ibrida composto da nuclei modulari prefabbricati e gonfiabili, protetti da un guscio esterno in regolite mar-

ziana da realizzare con stampa 3D (img. 03). Formalmente il progetto si configura come l'intersezione tra la capanna africana e i sistemi a volta catalani, dove l'architettura si fa sintesi tra forma, materiale e clima e la cui modularità consente un'aggregazione in *settlement* completo di tutte le parti necessarie e replicabili su larga scala.

Il paesaggio desertico diviene protagonista nel secondo progetto selezionato, *Mars Science City*, a firma di BIG (Bjarke Ingels Group) e commissionato dal Governo degli Emirati Arabi nel 2017: una città sotto una cupola geotecnica trasparente pressurizzata, capace di proteggere dagli agenti atmosferici e accogliere un complesso urbano di circa 71.000 m². Un "cupolone" che ha molti riferimenti con il progetto di Buckminster Fuller per la città di New York (1960) a protezione dai rischi atomici e dall'inquinamento, e ancora alla città immaginaria



05. Arcosanti, Arizona USA. Dave Pape, 2010

di Chester's Mill del romanzo *The Dome* (2009) di Stephen King.

Mars Science City simula Marte, proponendo un modello di città compatta e autosufficiente su grande scala, dove la copertura rende possibile la presenza di luce naturale e un dialogo con il paesaggio, favorendo il mantenimento del ciclo circadiano e riducendo lo stress psichico. I volumi interni, che includono residenze private, aree pubbliche e commerciali, nonché zone museali, sono pensati per essere stampati in 3D con sabbia del deserto.

Realizzato in un hangar della NASA è il *Mars Dune Alpha* (img. 04) di ICON e BIG, per CHAPEA. Il prototipo, stampato in 3D, è stato pensato per essere replicato sui corpi celesti, in particolare su Marte (Yashar, 2023), di cui la missione ne simula l'ambiente desertico.

La superficie di 160 m² è progettata per accogliere quattro astronauti e fornire aree private, comuni, relax e laboratori di ricerca. La struttura, priva di superfici trasparenti, presenta geometrie curvilinee per contrastare le condizioni di forte stress strutturale tipiche degli ambienti extraterrestri. Questi habitat potrebbero essere realizzati anche per abitazioni a basso costo nei Paesi in via di sviluppo.

Il confronto tra le diverse progettualità rivela come i colori, i paesaggi aridi, le tempeste di sabbia dei deserti terrestri rappresentano le condizioni di riferimento per verificare i numerosi "esperimenti" architettonici pensati per i corpi celesti. Che si tratti di una visione fantascientifica o di sperimentazioni scientifiche, il deserto si rivela essere il teatro di posa più congeniale per la sperimentazione così come è avvenuto per Arcosanti (img. 05) di Paolo Soleri, dove l'architettura si fa nuova ecologia. Una importante eredità che forse sintetizza il senso più profondo delle sfide dell'uomo, sperimentare come tentativo di immaginare nuovi mondi che, come in un esercizio circolare, rappresentano un "ritorno alla Terra".*

NOTE

- 1 – Test sul campo in luoghi che hanno somiglianze fisiche con gli ambienti spaziali estremi.
- 2 – Prima missione congiunta USA-URSS.
- 3 – La Space Architecture è la teoria e la pratica della progettazione e della costruzione di ambienti abitati nello spazio, rispondendo alla profonda propensione umana di esplorare e occupare nuovi luoghi. L'architettura organizza e integra la creazione e l'arricchimento dell'ambiente costruito (SATC-AIAA, 2002).
- 4 – L'insieme eterogeneo di sedimenti, polvere e frammenti di materiale, che compongono lo strato più esterno della superficie dei pianeti rocciosi come la Terra o Marte e dei corpi celesti come le lune e gli asteroidi.
- 5 – Volume pressurizzato all'interno del quale gli esseri umani vivono e lavorano, comprese le relative strutture per il supporto vitale.
- 6 – Gruppo di habitat abitati in modo permanente, installati l'uno vicino all'altro, eventualmente interconnessi.

REFERENCES

- Al-Koni, I. (1990). *Gold dust*. Cairo: American University in Cairo Press.
- Bannova, O. (2021). *Space Architecture: Human Habitats Beyond Planet Earth*. Berlin: DOM Publishers.
- Benacchio, L. (2024). *Corsa alla Luna*. Milano: Il Sole 24 Ore.
- Catucci, S. (2019). *Imparare dalla Luna*. Macerata: Quodlibet.
- D'Amico, G. (2021). *Space Habitat: Architetture per lo Spazio*. Tesi magistrale in architettura, relatrice prof.ssa Marina Tornatora, Università Mediterranea di Reggio Calabria.
- Detrell, G. et al. (2021). *Nūwa, a self-sustainable city state on Mars – development concept, urban design and life support*. 50th International Conference on Environmental Systems. Lubbock: Texas Tech University.
- Doule, O. et al. (2014). Self-Deployable Habitat for Extreme Environments – Universal Platform for Analog Research (AIAA 2014-4195). In *AIAA Space and Astronautics Forum and Exposition*. arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2014-4195
- Fallacara, G., Netti, V. (2021). *Abitare Marte. Architettura oltre il pianeta Terra. Hive Mars: progetto di un insediamento, di classe ibrida, sulla superficie marziana*. Roma: Gangemi Editore.
- Irawan, J. et al. (2020). A Reconfigurable Modular Swarm Robotic System for ISRU (In-Situ Resource Utilisation) Autonomous 3D Printing in Extreme Environments. In *Impact: Design With All Senses*, 2019. doi.org/10.1007/978-3-030-29829-6_53
- Howe, A.S., Sherwood, B. (2009). *Out of this World: The New Field of Space Architecture*. Reston: AIAA.
- Kennedy, K.J. (2009). Vernacular of Space Architecture. In Howe, A.S., Sherwood, B., *Out of this World: The New Field of Space Architecture*. Reston: AIAA. pp. 7-9.
- National Aeronautics and Space Administration (2020). *NASA's Lunar Exploration Program Overview* (NP-2020-05-2853-HQ), nasa.gov (ultima consultazione maggio 2024).
- Niola, G. (2024). *L'architettura di Dune* (online). In *domusweb.it/it/architettura/2024/02/28/larchitettura-di-dune.html* (ultima consultazione maggio 2024).
- Porretta, D. (2020). *L'altra Terra. L'utopia di Marte dall'età vittoriana alla New Space Economy*. Rome: Luiss University Press.
- Space Architecture Technical Committee AIAA (2002). *The Millennium Charter. Space Architecture Mission Statement*. Reston: AIAA.
- Testoni, C. (2022). *Architetture nel deserto: abitare l'inabitabile* (online). In *domusweb.it/it/architettura/gallery/2022/09/14/abitare-il-deserto.html* (ultima consultazione maggio 2024).
- Yashar, M. et al. (2023). Mars Dune Alpha: A 3D-printed habitat by ICON/BIG for NASA's Crew Health and Performance Exploration Analog (CHAPEA). In *Earth and Space 2022*. ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784484470.082



Giacomo D'Amico, Marina Tornatora

Inhabiting the Uninhabitable

The Deserts of Space

Inhabiting “the uninhabitable”, inhabiting all those places with extreme conditions, such as deserts and polar caps, exploring new worlds beyond planet Earth, in orbit and on other celestial bodies such as the Moon and Mars, represent the desire to overcome increasingly complex frontiers.

The contribution reflects on the analogies between the desert and extraterrestrial space that not only allow the experimentation of design solutions and possible settlement models but have also historically fuelled the construction of the imaginary cosmic landscape. The desert has been a source of inspiration for literature and cinema, providing elements, atmospheres and conditions that have been used to imagine life on planets. This has made the desert an ideal space for settings and narratives.

The arid red sandscape of the Wadi Rum Desert, also known as the Valley of the Moon, in Southern Jordan, serves as the backdrop for the planet Mars in Ridley Scott's film *The Martian* (2015), based on Andy Weir's 2011 namesake novel (Porretta, 2020). In that same location, scenes from the renowned *Star Wars* saga were filmed, which, since 1977, has been accompanied by *Star Trek* in the dissemination of extraterrestrial habitats iconography. In science fiction classics, such as Isaac Asimov's *Foundation* series (1951-1993) and Frank Herbert's *Dune* (1965), terrestrial deserts serve as the stage for planetary settings.

In contrast to David Lynch's hyper-technological interpretation of *Dune* (1984), the film version (2021 and 2024) by Denis Villeneuve presents a different representation of the desert planet of Arrakis in a combination of brutalist colours, shapes and architecture (Niola, 2024). The colour of the earth is blended with that of the constructed environment, emphasising the relationship between the desert and inhabiting (img. 01) with clear references to contemporary Arab architecture.

Where flora and fauna are absent, silence is measured by extreme temperature ranges and any form of life is confronted with the impossibility of finding vital resources, the environmental and landscape conditions of the arid deserts have fuelled experimentation with forms, materials and models. In such contexts, the project entrusts architecture with the responsibility of dialoguing with exceptional conditions, becoming an expression of a “natural” idea of ecology,

that it the one the frees itself from the “superfluous” and becomes a theoretical tool and operational material, going beyond the mere search for technical solutions.

The habitat of the “Golden Dust” of deserts (Al-Koni, 1990) turns out to be a natural laboratory for both terrestrial architectures and analog missions¹. This enables the construction of spaces that simulate the conditions of astronauts, allowing the study of behaviours, psychological and anthropological effects.

A notable example of an analogue is *Biosphere 2*, a scientific research facility designed to be an artificial “closed ecological system” constructed at Oracle in the Arizona Desert. It is designed to replicate the Earth in miniature, incorporating flora and fauna and shaping the space to develop research into the mitigation of climate change and air pollution. The introverted structure, rich in vegetation and life, contrasts with the surrounding landscape, characterised by Arizona's arid climate and extreme temperature fluctuations.

The Self-Deployable Habitat for Extreme Environments (SHEE) represents Europe's first modular habitat designed for extreme environments, as well as for emergency situations and natural disasters (Doule *et al.*, 2014). Its physical prototype was subjected to testing in the Rio Tinto Mining Park area in Spain, thereby allowing the virtual model to be refined and simulations of existing conditions on the Moon and Mars to be conducted. Conceived as a safe, self-sufficient, highly compact “shelter”, SHEE is equipped with all the comforts to guarantee physical and mental wellbeing for a crew of two people, articulated in distinct functional areas for living and working, common and private spaces, with no openings to the outside world, and no relationship with or view of the landscape.

Designing in Earth's Deserts

These experiments form part of a broader historical tension towards human exploration of space, which has been fuelled since the 1930s by scientists as much as by writers and popularisers, from cinema to comics and cartoons. Space is perceived as an opportunity to overcome a perceived barrier and reach new frontiers, which has led to the naming of the period since the 1950s as the Space Age (Catucci, 2019). The race to the Moon, from the lunar landing of the Apollo 11 mission (1969), the culmination of the first Space

Race (1955-1975) that ended with the *Apollo-Soyuz Test Project* (ASTP),² represents an extraordinary event that gives impetus to the quest to conquer Space and make life possible beyond Earth.

Although the conquest of the Earth's orbit and the lunar surface was driven by the military objectives of the USA and USSR, rather than being an endeavour driven solely by scientific curiosity, the effects were enormous, representing the catalyst for technological progress. The Moon served as a laboratory for a new form of experience that facilitated the evolution of a distinct perspective on the Earth, no longer the sole theatre of man but a small planet in the Milky Way. The Space Race was the catalyst for a vision of the future that transformed cosmic space into a landscape, but also initiated a new historical phase, the Space one, due to the impact of numerous innovations in information technology and electronics, as well as in communication, materials and food, which marked the crisis of heavy industries.

The Moon landing also “delunarised” the Moon; it somehow led to overcoming the historical myth of the conquest of Space (Catucci, 2019), continuing to fuel international cooperation between government agencies. In 2017, half a century later, NASA (National Aeronautics and Space Administration) presented the Artemis Programme, in partnership with other space agencies, including ESA (European Space Agency) and ASI (Italian Space Agency), and in collaboration with private companies. The objective of the new mission is “to return to the Moon with the first woman and the first person of colour, utilising innovative technologies to explore a previously uncharted region of the lunar surface. This endeavour will facilitate a prolonged stay on the lunar surface, including the construction of living quarters and laboratories. Furthermore, it will provide the necessary knowledge to enable the next significant leap: the sending the first astronauts to Mars (Benacchio, 2024).

The global race to identify an alternative planet to Earth is intensifying. China and the United States are focusing their efforts on the Moon, where India's Chandrayaan mission is also concentrated, while studies are expanding towards other planets such as Mars and Jupiter. This acceleration will undoubtedly result in a further revolution, marking a shift from a purely technological ap-

proach towards a more holistic vision in which many disciplines are involved, with repercussions on constructive, ergonomic, psychological, sociological and anthropological aspects.

In this context, *Space Architecture*³, which was first recognised in 2002 as a discipline for the design and construction of environments and structures in space (Howe and Sherwood, 2009; Bannova, 2021), was introduced. It is a complex challenge that questions ordinary design methods for experimenting with new spatial dimensions, capable of responding to a different force of gravity, violent atmospheric agents and the difficulty of finding raw materials on planets.

The articulated and multimorph design of extraterrestrial habitats is measured by small steps. The different proposals represent “attempts”, laboratory “experiments” of solutions, forms and ideas that are confronted with the difficulty of working in extreme conditions, testing with materials, even those to be found on site (such as regolith⁴ or ice), and verifying the relationship between human needs and housing and construction types (Falacara and Netti, 2021). In this light, the design developed in terrestrial deserts becomes a valid and fundamental support for the capacity of the architectural form to dialogue with nature, becoming a device for life, a ventilation and shading system, and a guarantee of the supply and management of natural resources (Testoni, 2022), without renouncing the beauty and quality of living. Shapes and geometries declare themselves on the outside while reflected on the inside, attempting to provide a safe and comfortable shelter.

Sophisticated instrumentation enables the continuous advancement of knowledge about planets, of which geomorphological and chemical data, detailed orthophotos, and information on conditions and phenomena are available. While on the Moon we are confronted with the absence of an atmosphere and the impact of micro-asteroids and cosmic radiation, sandstorms are frequent on Mars.

Atlas of Architectures Beyond Earth

The study of heterogeneous design proposals for extraterrestrial habitats⁵ and settlements⁶ which are becoming increasingly frequent, allows for a reading about the hypotheses of recurring settlement models. To date, there are no monographic publications that provide an organic synthesis of the numerous projects developed. However, articles in scientific journals and digital databases allow the initial selection of forty-five projects to be made, of which eighteen of the most documented have been taken as case studies and analysed in greater detail (img. 02).

The research (D'Amico, 2021) proposes an Atlas of architectures beyond Earth, organised by invariants assuming the classification developed for NASA by Kriss J. Kennedy, who examines the historical evolution of the first space habitats, from *Project Mercury* (1958-63) to the Russian *Mir* station (1986-1996), and organises them into classes according to construction system, structural types and mission duration. The first class corresponds to the so-called “pre-integrated” units, which are assembled and tested before launch and are designed for missions of short duration (days-weeks), as the Apollo 11 module and the Soyuz spacecraft. The second class consists of “prefabricated” systems, which are structures built on Earth but assembled in Space, designed for missions of medium duration (weeks-months). Finally, the third class en-

compasses habitats constructed *in situ* and assembled using local resources, particularly lunar or Martian regolith, and subsequently integrated with pre-assembled components, for missions of long duration (months-years). Although Kennedy's classification begins with the study of orbital structures, recent proposals for planetary habitats have not aligned with the three-class system he established. Consequently, research has led to the introduction of a fourth class, which includes so-called “hybrids”, which combine several types. The analytical-interpretative reading of the construction, formal and environmental choices for the selected projects allows for the identification of recurring typologies. These include hard-shell, prefabricated, inflatable, 3D-printed structures with an ISRU (In Situ Resource Utilization) approach, and structures derived from a combination of these. A common feature is the use of internal pressurisation to ensure the necessary comfort and to counteract the structural stresses caused by external forces. In fact, while the Moon has no atmosphere, that of Mars is so thin as to require specific design choices that, in many cases, are solved with the so-called “double shell”, a protective shield for the internal structure with a strong “elasticity” that can expand and contract if necessary.

The necessity to withstand extreme temperature fluctuations and Martian sandstorms, which are reminiscent of deserts, as well as the modularity and assembly standards, the need to scan the landscape while minimising “exits” to the outside, inevitably influence the geometries of habitats. It is possible to circumscribe some recurring typologies: the “tower”, characterised by a vertical distribution of interior space, with a semi-transparent roof that allows the observation of the sky and surrounding landscape; the “bunker”, with the distribution of rooms occurring on a single horizontal plane, covered by a protective shell that has no relationship with the outside; the “dome”, similar to the bunker typology but with transparent surfaces in the case of pressurised inflatable structures; the “toroidal” type, with an inner courtyard configuration into which a dome system is grafted; and, finally, the “hypogean” typology, which is inserted into inlets or inactive craters on the planets' surfaces for natural protection from external threats, as already happened in the Pasabag Valley in Cappadocia, in the so-called “Fairy Chimneys”.

The combination of class, structural type, site, form and geometry of a habitat determines its aggregation into more or less extensive settlements, with the potential for hypotheses of cities or metropolises capable of housing up to 1 million inhabitants (Detrell *et al.*, 2021). Out of the eighteen projects explored in the research, some are proposed as examples of the main issues addressed, for their similarities to terrestrial architectural models, preferring the Mars hypotheses for its similarities to terrestrial deserts.

The first design hypothesis is the 3D-printed *Mars Habitat* (Hassell, 2018), by Hassell Studio + EOC, which is a hybrid-class habitat composed of prefabricated and inflatable modular cores, protected by an outer shell made of Martian regolith to be 3D printed (img. 03). Formally, the project takes the form of an intersection between the African hut and the Catalan vaulted systems, where the architecture is a synthesis of form, material and climate, and its modularity allows for a complete settlement aggregation of all necessary and replicable parts on a large scale.

The desert landscape becomes the protagonist in the second project selected, *Mars Science City*, designed by BIG (Bjarke Ingels Group) and commissioned by the Government of the United Arab Emirates in 2017: a city under a transparent, pressurised geotechnical dome capable of protecting against atmospheric agents and accommodating an urban complex of ca. 71,000 m². The design references Buckminster Fuller's 1960 proposal for a protective dome over New York City to shield against atomic hazards and pollution, as well as the fictional city of Chester's Mill in Stephen King's 2009 novel *The Dome*.

The *Mars Science City* project proposes a model of a compact and self-sufficient city on a large scale, where the roof allows for natural light and a dialogue with the landscape, thus favouring the maintenance of the circadian cycle and reducing psychic stress. The interior volumes, which include private residences, public and commercial areas, as well as museum zones, are designed and constructed using 3D printing technology with desert sand.

The *Mars Dune Alpha* (img. 04) was constructed within a NASA hangar by ICON and BIG for CHAPEA. The 3D-printed prototype is designed to be replicated on celestial bodies, in particular on Mars (Yashar, 2023), which its desert environment the mission simulates. The surface area of 160 m² has been designed to accommodate four astronauts and to provide private, communal, relaxation and research laboratory areas. The structure, devoid of transparent surfaces, features curved geometries to mitigate the high structural stress conditions typical of extraterrestrial environments. Furthermore, these habitats could be implemented as low-cost housing solutions in developing countries.

The comparison between the different projects reveals how the colours, arid landscapes and sandstorms of the Earth's deserts represent the reference conditions for testing the numerous architectural “experiments” conceived for celestial bodies. Whether it is a science-fiction vision or scientific experimentation, the desert proves to be the most congenial theatre for experimentation, as was the case with Paolo Soleri's *Arcosanti* (img. 05), where architecture became a new ecology. An important legacy that perhaps synthesises the deepest sense of man's challenges, experimenting as an attempt to imagine new worlds that, as in a circular exercise, represent a “return to the Earth”.*

NOTES

1 - Field tests in locations that have physical similarities to the extreme space environments.

2 - First USA-USSR joint mission.

3 - Space Architecture is the theory and practice of designing and building inhabited environments in space, responding to the deep human propensity to explore and occupy new places. Architecture organises and integrates the creation and enrichment of the built environment (SATC-AIAA, 2002).

4 - A heterogeneous collection of sediments, dust and fragments of material that make up the outermost layer of the surface of rocky planets such as Earth or Mars and celestial bodies such as moons and asteroids.

5 - Pressurized volume within which humans live and work, including relevant facilities for life support.

6 - Group of permanently inhabited habitats installed near each other, possibly interconnected.