

design per l'abitabilità microgravitazionale

Giuseppe Losco, con Luca Bradini e Giuseppe Carfagna



**Design per l'abitabilità microgravitazionale.
Il progetto SHIC: moduli abitabili
per l'esplorazione spaziale verso Marte**

Giuseppe Losco, con Luca Bradini e Giuseppe Carfagna

Design per l'abitabilità microgravitazionale.

Il progetto SHIC: moduli abitabili per l'esplorazione spaziale verso Marte

seconda edizione Giugno 2016

ISBN 9788867680207

© 2016 Unicam edizioni

Piazza Cavour 19/f

62032 · Camerino MC

coordinamento scientifico

Giuseppe Losco

testi

Giuseppe Losco, Luca Bradini, Giuseppe Carfagna

Indice

prefazione	5
<i>di Giuseppe Losco</i>	
introduzione	
Gli scenari prossimi venturi della ricerca spaziale	9
<i>di Giuseppe Losco</i>	
STRATEGIE FUTURE PER LA RICERCA E L'ESPLORAZIONE SPAZIALE, COOPERAZIONE E LOGISTICA	
<i>di Giuseppe Losco</i>	
Scenario futuro dell'esplorazione spaziale	19
La strategia per l'esplorazione umana verso Marte	21
Prima tappa: la Luna	23
Colonizzazione di Marte: il programma Mars 2024	28
Criticità dell'ambiente spaziale	33
Elementi per un'abitabilità sostenibile nello spazio	36
Le strutture gonfiabili tipologie per l'abitabilità	42
Strutture tradizionali e strutture gonfiabili: caratteristiche e specificità	43
Strutture gonfiabili nel settore spaziale abitabili e non abitabili	45
Diverse applicazioni terrestri delle strutture gonfiabili	72
Il caso FLECS	79
Forma dimensionamento e parti costituenti del modulo FLECS	80
Caratteristiche e applicazione dei materiali	81
Ipotesi di installazione modulare di FLECS	83
Prossime tappe per il progetto FLECS	84
L'ABITABILITÀ NEI MODULI PRESSURIZZATI: SHIC CONCEPT DESIGN	
<i>di Luca Bradini</i>	
La realtà microgravitazionale	89
Scenari di riferimento per il design per l'abitabilità extragravitazionale	92
L'abitabilità microgravitazionale	93
L'abitabilità a gravità differenziata	94

Gli stati di confinamento e gli ambienti limite	101
I riferimenti terrestri e le dinamiche di sviluppo teorico per il progetto di design	102
Il progetto SHIC	106
Gli elementi costitutivi	109
Sviluppo e prototipo	111
Design di SHIC nella versione definitiva	115
INGEGNERIA DEI MODULI PRESSURIZZATI: SHIC CONCEPT ENGINEERING	
<i>di Giuseppe Carfagna</i>	
Interfacce e modularità del sottosistema SHIC per FLECS	129
Problematiche e vincoli di progetto del sottosistema SHIC	131
Qualità del prodotto	133
Materiali per moduli gonfiabili spaziali e relativi tests	134
Generalità su materiali e tessuti ad alte prestazioni	134
Il sottosistema SHIC per FLECS	150
L'interfaccia fra SHIC e FLECS	150
Il modello strutturale del sottosistema SHIC	172
La geometria degli elementi finiti	172
Vincoli e carichi nelle simulazioni di verifica	175
Convergenza e risultati delle analisi strutturali	178
Materiali e componenti del sottosistema SHIC	183
Attività di sperimentazione e test su materiali e strutture	183
 Bibliografia	 193

Strategie future per la ricerca e l'esplorazione spaziale, cooperazione e logistica

di Giuseppe Losco

1.1 Scenario futuro dell'esplorazione spaziale

La cooperazione internazionale per programmi di esplorazioni nel prossimo futuro

In tutto il mondo si sta lavorando su molte delle essenziali attività preparatorie necessarie allo sviluppo della presenza umana nello spazio. Con la predisposizione di una tabella di marcia comune, le dodici agenzie spaziali di tutto il mondo, riunite nell'*International Space Exploration Coordination Group* (ISECG), hanno condiviso la necessità di coordinare adeguatamente i loro investimenti attuali e di lavorare insieme in modo da massimizzare il ritorno sugli investimenti in modo tale da essere coerenti con gli scopi e gli obiettivi da raggiungere.

Il percorso condiviso, espresso nel *Global Exploration Roadmap* (GER), apre lo scenario sul futuro della ricerca spaziale che ha come fine ultimo l'esplorazione umana del pianeta Marte. Il documento, aggiornato ad agosto 2013, valuta la possibilità di impiegare la ISS per le future esplorazioni dello spazio più profondo in quanto l'esperienza di un quindicennio di attività permanente svolta nello spazio è ritenuta valido banco di prova per la sperimentazione e l'esplorazione umana a lungo raggio. La strategia comune alle dodici Potenze è quella di utilizzare come base di partenza la Stazione Spaziale Internazionale per missioni extraplanetarie, sviluppare le sinergie tra le missioni robotiche e umane, e continuare le missioni nelle vicinanze della Luna in modo da poter evolvere le capacità e le tecniche necessarie per andare oltre. In questo modello di cooperazione sarà possibile compiere missioni nello spazio profondo e la missione verso Marte sarebbe abilitata in modo sostenibile. Per il 2030 sono previste, nel programma, missioni robotiche per la scoperta e la preparazione all'esplorazione umana verso obiettivi che includono asteroidi near-Earth (NEA), la Luna e Marte.

Il quadro di riferimento per la collaborazione tra le agenzie prevede tre aree di intervento:

- obiettivi e traguardi comuni;
- una strategia a lungo raggio per l'esplorazione umana;
- il coordinamento delle attività preparatorie di esplorazione.

https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/GER-2013_Small.pdf

Fig.1 - Piano di attività per l'esplorazione futura Credit: Global Space Exploration.org

Destination	Knowledge Domain	Strategic Knowledge Gap: Description and Priority	Target Measurement	Mission or Ground Based Activity Addressing the SKG	Additional Measurements: R = Robotic Mission SR = Sample Return G = Ground Based Activities
Moon	Resource Potential	Lunar Cold Trap Volatiles: Composition/quantity/distribution/form of water/H species and other volatiles associated with lunar cold traps.	In-situ measurement of volatile characteristics and distribution within permanently shadowed lunar craters or other sites identified using remote sensing data (e.g., from LRO)	Roscosmos Luna-25/ Luna-27/Luna-28 and 29 NASA-CSA RESOLVE	R, SR
Near-Earth Objects (NEO)	Human Mission Target	NEO Composition/Physical Characteristics: Rotation State	Light curve and radar observations from different ground (Earth based telescopes) and space based assets.	e.g.: Goldstone Observatory (US); Bisei Spaceguard Center (Japan); Observatoire du Pic du Midi (France)	G, R
Mars	Atmosphere	Atmospheric Modeling: The atmospheric models for Mars have not been well validated due to a lack of sufficient observational data, and thus confidence in them is limited.	Density, pressure, temperature, and wind data, trajectory performance information	NASA Viking, Pathfinder, MGS, MERs, Phoenix, MRO, MSL ESA Mars Express ESA-Roscosmos ExoMars 2016, 2018	G, R

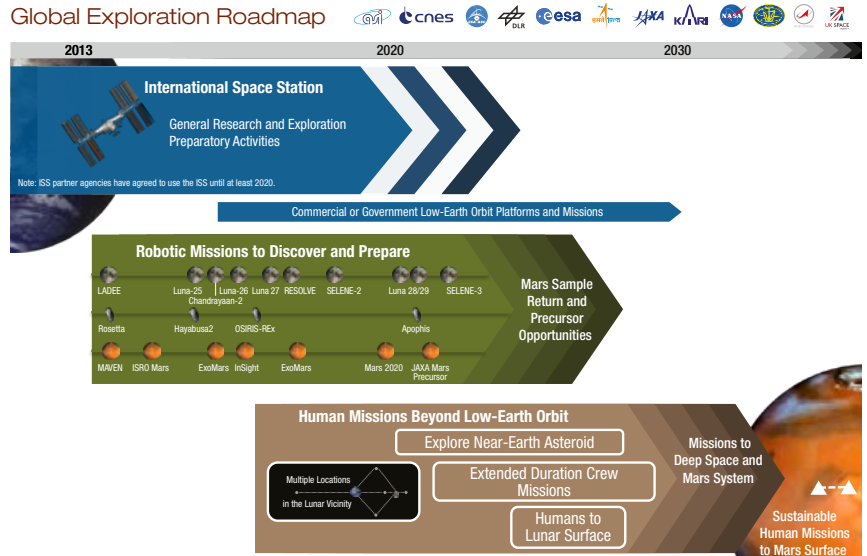
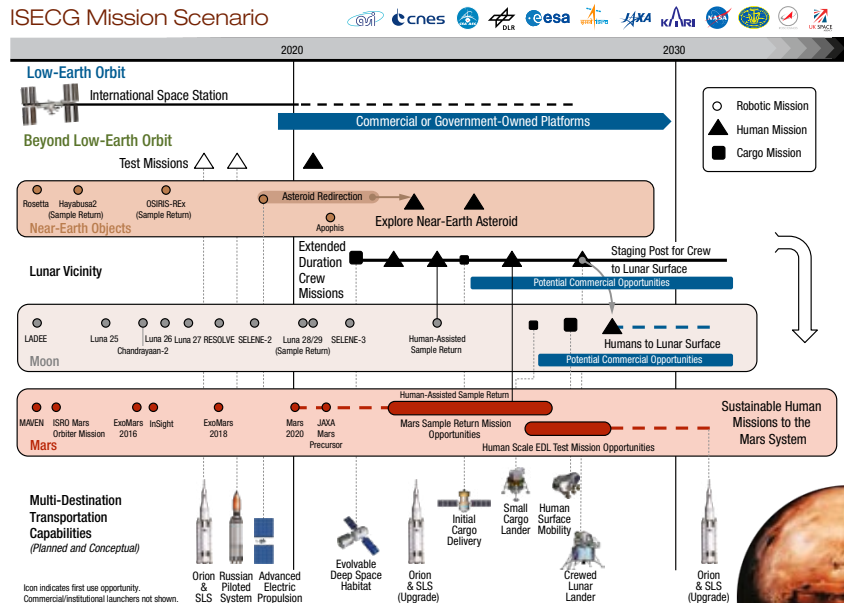


Fig.2 - Global Exploration Roadmap Credit: Global SpaceExploration.org

Fig.3 - Scenario di missione ISECG. Credit: Global Space Exploration.org



La strategia per l'esplorazione spaziale verso Marte

[1.1.1]

Le Agenzie Spaziali, esaminando i vari programmi e progetti per arrivare su Marte, hanno analizzato le capacità e le competenze necessarie per le missioni umane oltre l'orbita terrestre. Nessuna singola agenzia sarà in grado di investire ingenti risorse nella tecnologia necessaria per l'esecuzione di missioni umane oltre la bassa orbita terrestre (LEO). Solo attraverso il coordinato contributo internazionale sarà possibile avanzare verso gli obiettivi previsti e la sostenibilità delle missioni potrà essere aumentata anche attraverso la disponibilità di servizi commerciali e l'uso di partenariati pubblico-privato. L'obiettivo è di creare le migliori opportunità di investimenti globali da destinare allo sviluppo di tecnologie, sistemi e servizi basati sulle attività spaziali che saranno in grado di avere un ritorno dal punto di vista di benefici economici, tecnologici e di miglioramento della qualità della vita per tutta l'umanità.

L'esplorazione di Marte porterà alla conoscenza scientifica di contributi di ricerca inerenti a:

- sviluppare le conoscenze, le capacità e le infrastrutture necessarie per vivere e lavorare in orbita spaziale attraverso il progresso e la sperimentazione di tecnologie spaziali avanzate e di sistemi affidabili efficienti in ambienti estremi;
- migliorare la sicurezza del pianeta Terra in termini di difesa planetaria e di protezione da corpi celesti, asteroidi, e da detriti spaziali;
- esplorare nuove destinazioni, ampliare la presenza umana nello spazio, la permanenza nel tempo e le attività preparatorie all'esplorazione umana;
- migliorare la conoscenza scientifica per la riduzione dei rischi sulla salute umana in previsione di missioni di lunga durata;
- promuovere missioni robotiche che contribuiranno alla conoscenza fisica della Luna, degli asteroidi e di Marte e che potranno servire da precorritrici all'esplorazione umana rendendola più sicura e produttiva;
- promuovere missioni umane oltre l'orbita terrestre che permetterebbero di avanzare le conoscenze necessarie per le future missioni su Marte;
- sviluppare e sperimentare nuove tecnologie avanzate per l'esplorazione, l'abitabilità e la successiva colonizzazione del suolo marziano nei sistemi di trasporto e delle infrastrutture abitative ad elevato grado di affidabilità e sicurezza;
- ricercare nell'universo prove o elementi di vita extraterrestre passata o presente;
- stimolare lo sviluppo economico per creare nuovi mercati basati sulle attività spaziali.

In Europa ed in Italia

L'Agenzia Spaziale Europea (ESA), all'interno del programma ESA Aurora, sta sviluppando la missione ExoMars in collaborazione con la RKA russa, con lanci previsti nel 2016 e nel 2018, finalizzati a lanciare su Marte un lander e successivamente un rover, con varia strumentazione scientifica per preparare la successiva discesa dell'uomo. Sempre in questo contesto

di missioni robotiche si stanno studiando varie tecnologie preparatorie alla missione *Mars Sample Return* (MSR) orientata a riportare a terra campioni di suolo marziano. Per quanto riguarda le attività di ricerca sulla ISS, l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ha deciso di prolungare le sue attività almeno fino al 2020, e sta studiando nuovi sistemi di trasporto come derivati di ATV (*Automated Transfer Vehicle*) a cui partecipa *Thales Alenia Space Italy* (TAS-I) come responsabile del modulo pressurizzato, nonché all'utilizzo della ISS come "test bed" tecnologico per la Space Exploration. Infine ESA sta progettando una missione lunare, *Moon Lander*, e sta sviluppando la costruzione di un veicolo spaziale sperimentale IXV, *Intermediate eXperimental Vehicle*, in grado di compiere un rientro atmosferico controllato da orbita terrestre bassa, circa 300 km, di cui si prevedono evoluzioni future IXV Evolution.

Fig.4 - Programma di missioni robotiche per le future esplorazioni Credit: GlobalSpace Exploration.org

http://www.esa.int/Our_Activities/Launchers/IXV

Planned Robotic Missions to Future Human Destinations



Nel mondo e negli USA

A livello internazionale si è costituito un consorzio di dodici agenzie spaziali riunite nell'*International Space Exploration Coordination Group* (ISECG). Sebbene tutte le agenzie sviluppano programmi autonomi di *Space Exploration*, in vista di una possibile armonizzazione, hanno sottoscritto un documento, *Global Exploration Roadmap* (GER), di collaborazione e condivisione delle attività che ha come fine ultimo l'esplorazione umana del pianeta Marte.

Oltre ai programmi di esplorazione robotizzata di Luna, asteroidi e Marte, l'obiettivo dichiarato dalla NASA è di far scendere l'uomo su Marte entro il 2040. A questo scopo sta proseguendo lo sviluppo di una capsula di trasporto per l'equipaggio, *Orion*, *Multi-Purpose Crew Vehicle* (MPCV), ed un lanciatore di grandi capacità, *Heavy Launcher*, *International Launch Services* (ILS), in aggiunta ad altre iniziative di Trasporto Spaziale su base commerciale, *Commercial Orbital Transportation Services* (COTS), che vedono coinvolta anche Thales Alenia Space Italy (TAS-I) con il veicolo da rifornimento non pilotato *Cygnus* composto da due moduli *Pressurized Cargo Module* (PCM) and the *Service Module* (SM). Infine la NASA ha deciso insieme ai suoi partners di prolungare la vita della Stazione Spaziale Internazionale (ISS) con l'obiettivo di utilizzarla anche come base di prova per le tecnologie di *Space Exploration*. E' in corso anche un'iniziativa privata di missione *lander/rover* sulla Luna chiamata *Google Lunar X-Prize* (GLXP) a cui partecipa anche un Team italiano con il progetto AMALIA, *Ascensio Machinae Ad Lunam Italica Arte*, che coinvolge tra gli altri TAS-I, ALTEC, PoliTo e PMI del Distretto Aereospaziale Piemontese (2009-12), Thales Alenia Space, *Space Infrastructure and Transportation* (BS SIT).

Prima tappa: la Luna

[1.1.2]

La messa in orbita del primo satellite, effettuata dall'URSS il 4 ottobre 1957, segnò il passaggio alla verifica delle teorie sull'Universo con i dati scientifici provenienti dall'esplorazione diretta del Cosmo.

L'ultimo allunaggio fu quello dell'Apollo 17, nel dicembre del 1972, e da allora nessun uomo è tornato sulla Luna. Oggi, l'uomo ha deciso di tornarvi con l'obiettivo di realizzare una base intermedia per l'esplorazione di altri corpi celesti ed in particolare per proseguire poi verso Marte.

L'Amministrazione Americana con il finanziamento, alla metà degli anni del 2010, di nuovi programmi destinati alla esplorazione lunare, ha dato grande impulso al processo. Tutte le principali nazioni impegnate nella esplorazione dello spazio, dalla Russia, alla Cina, dall'India ed al Giappone, e l'Europa con le 14 agenzie spaziali che la compongono, si sono date o stanno dandosi come primo obiettivo, nelle missioni dell'esplorazione spaziale, il ritorno sulla Luna.

Il ritorno non sarà solo una tappa verso Marte, ma un progetto più articolato di insediamento permanente, che si intreccerà con profondi interessi economici. La Luna, perché relativamente vicina alla Terra, è particolarmente adatta a divenire un laboratorio sperimentale. L'idea della

sua colonizzazione potrà abituare l'uomo a vivere lontano dalla Terra e a svincolarsi dalla abitabilità ad orbite basse come quella nella ISS. Si potrà, inoltre, tentare di sfruttare elementi naturali vitali come l'ossigeno, l'acqua, l'idrogeno necessari alla permanenza della vita umana, di elementi minerali come il titanio, l'alluminio ed il ferro e di gas rarissimi sulla terra come l'elio 3. Anche se sono quasi assenti gli elementi chimici leggeri, idrogeno, ossigeno, carbonio, azoto, la quasi sicura presenza nelle regioni polari del pianeta di enormi quantità di ghiaccio, da cui si pensa di ricavare acqua e ossigeno che ricombinandolo con l'idrogeno presente, permetterà di ricavare un combustibile pulito per reattori a fusione nucleare, in quanto la sua utilizzazione, produrrebbe una quantità trascurabile di scorie radioattive, utile per missioni umane in zone ancora più remote. Al Polo Sud, poi, vi è una zona che è assolata per il 75% rispetto al periodo di rotazione della Luna dove si potranno installare pannelli solari e poiché in vista dalla Terra, anche efficienti sistemi di comunicazione. Queste zone quasi completamente soleggiate potrebbero essere una risorsa energetica con una sorgente pulita e illimitata di energia per gli astronauti, ma anche per la Terra attraverso la realizzazione di impianti che produrrebbero un'energia che potrebbe essere trasferita sul nostro pianeta con l'irraggiamento attraverso microonde.

Altre sperimentazioni saranno focalizzate sulle nuove tecnologie per il trasporto spaziale, quali quelle "fuel-less", per una propulsione elettrica ed elettromagnetica, le vele spaziali solari o fotoniche che sfruttano in termini energetici la pressione di radiazione di sorgenti di luci, l'ascensore spaziale lunare che posizionandosi sopra la superficie della Luna potrebbe ridurre considerevolmente i costi per far atterrare affidabilmente l'equipaggiamento sulla superficie lunare. È indubbia l'utilità economica del loro impiego per la produzione di materiali per le missioni spaziali, acqua, propellenti ed altro, perché i costi di trasporto dalla Luna saranno inferiori a quelli dalla Terra. La Luna è destinata pertanto ad essere il punto di transito per mete più lontane e impiantarvi un insediamento umano e sfruttarne le risorse. Questi sono passaggi necessari ai fini della missione con la prospettiva di raggiungere Marte.

La distanza della Luna, che è il corpo celeste più vicino alla Terra tra quelli di grandi dimensioni, si mantiene stabilmente attorno ai 384.400 chilometri, e questa vicinanza offre indubbi vantaggi come quelli di avere:

- una base per la costruzione o stazione di rifornimento per astronavi, in quanto la richiesta di energia per lanciare vettori dalla Luna verso lo spazio, risulterebbe minore a quella richiesta dalla Terra;
- la possibilità di utilizzare dispositivi ad accelerazione elettromagnetica per lanciare oggetti nello spazio senza dover ricorrere a razzi, necessari per superare l'orbita terrestre, rappresenta un passo importante per superare i limiti dei attuali vettori;
- un tempo di percorrenza breve, gli astronauti delle missioni Apollo

- coprirono la distanza in soli tre giorni; un tempo così breve permette sia di inviare rapidamente missioni di emergenza dalla Terra o di evacuare rapidamente l'equipaggio della base lunare. Per confronto, la distanza che ci separa da Marte (la distanza minore che si verifica quando Marte si trova nel punto più vicino al Sole, perielio, e la Terra è al suo più lontano, afelio, è di 54,6 milioni di km) con le attuali tecnologie richiede, a meno di nuovi vettori e di nuovi propellenti, non meno di sei mesi di viaggio;
- un ritardo delle telecomunicazioni di pochi secondi e non impedisce le normali conversazioni in voce e video. Per confronto, il ritardo con Marte va da otto a quaranta minuti circa e questo potrebbe essere cruciale nelle prime fasi di fondazione della colonia, dove emergenze e situazioni critiche potrebbero avvalersi dell'assistenza da Terra in tempo pressoché reale;
 - una visione della Terra grande e sempre visibile, mentre su Marte la Terra quando è visibile appare come una stella; l'equipaggio di una colonia lunare si sentirebbe psicologicamente meno distante dalla Terra;
 - una base lunare come eccellente sito per un osservatorio astronomico in quanto la sua lenta rotazione permetterebbero delle osservazioni in luce visibile che potrebbero durare intere giornate;
 - una serie di osservatori distribuiti lungo la circonferenza lunare che consentirebbero di mantenere sotto osservazione un bersaglio mobile;
 - un radiotelescopio molto più grande di quello di Arecibo, situato nei pressi dell'isola di Porto Rico e noto anche come il *National Astronomy and Ionosphere Center* (NAIC, Centro Nazionale per l'Astronomia e la Ionosfera) per via della quasi assenza di gravità;
 - una assenza di disturbi da vibrazione meccanica, in quanto la Luna geologicamente morta e senza la presenza di vita, consentirebbe la realizzazione di più efficienti telescopi a interferometria;
 - la possibilità di sfruttare ricchi giacimenti di minerali rari come il titanio, l'oro, il palladio, l'iridio ma anche minerali comuni come il ferro, il nichel, l'alluminio, per la presenza sulla sua superficie di molti meteoriti, ovvero, agglomerati d'asteroidi o comete, notoriamente abbondanti di questi minerali, che arrivano sull'estensione lunare pressoché intatti a causa dell'assenza d'atmosfera;

la possibilità di sfruttare l'elio 3, che potrà essere utilizzato per la realizzazione di centrali elettriche, capaci di rifornire, sia la Terra sia la Luna, d'energia per città e/o basi lunari.

http://www.difesa.it/InformazioniDellaDifesa/periodico/IlPeriodico_AnniPrecedenti/Documents/Il_ritorno_sulla_Luna_proble_213prospettive.pdf

*Ambiente lunare ostile
per l'installazione della
colonia*

L'installazione di una colonia sulla Luna presenta ancora una serie di requisiti sfavorevoli da superare come la possibilità, sulla maggior parte della superficie, di far completamente affidamento sull'energia solare a causa delle lunghi notti lunari (14 giorni terrestri). Ciò richiederebbe

la necessità, a causa delle basse temperature, di progettare strutture abitative capaci di resistere a temperature estreme. Un'eccezione a questa limitazione potrebbe essere la possibilità di utilizzare alcuni rilievi posti in prossimità del polo nord lunare, che sono sempre illuminati o di altre aree vicine ai poli che sono illuminate per la maggior parte del tempo dove potrebbe essere insediata una rete di centrali elettriche. Inoltre un'altra forte limitazione è rappresentata dal fatto che sulla Luna essendo quasi assenti gli elementi chimici leggeri (idrogeno, ossigeno, carbonio e azoto) necessari alla produzione di aria respirabile, cibo e propellente, dovrebbero essere importati dalla Terra fino alla scoperta di fonti più economiche che potrebbe essere rappresentate dalla scoperta del ghiaccio d'acqua in prossimità dei poli. Anche l'ossigeno è presente sulla Luna, è il principale elemento costituente della regolite che copre la sua superficie, ma l'energia richiesta per liberarlo è elevata. Il recupero di elementi leggeri da tali sostanze si presentano come un'operazione fattibile in un futuro non troppo distante, anche se la conversione di questi materiali in forme utili ad un sistema capace di sostenere la vita sono comunque complesse e costose. Questo limiterebbe la crescita della colonia e la manterrebbe dipendente dalle risorse della Terra. La NASA ha definito con gli acronimi ISFR - *In Situ Fabrication and Repair* - e ISRU - *In Situ Resource Utilisation*, i progetti ed i programmi di ricerca che hanno l'obiettivo di studiare procedimenti per l'ottenimento di prodotti (ossigeno, acqua, monossido di carbonio, ammoniaca, fertilizzanti azotati e biomassa edibile) utili al sostentamento di missioni spaziali permanenti su corpi celesti mediante l'utilizzo di risorse reperibili in situ. Per questi motivi l'assenza di atmosfera rende la superficie lunare non isolata ed esposta e grandi sbalzi di temperatura, nonché a livelli di radiazione paragonabili a quelli sperimentabili nel vuoto dello spazio interplanetario. L'assenza di atmosfera aumenta inoltre il rischio di

Fig.5 - Concept base lunare 3D
Printing



impatto da meteoriti; in queste condizioni anche piccole pietre hanno il potenziale per distruggere strutture non adeguatamente protette. Un'ulteriore ostacolo è rappresentato dall'incertezza su quanto la gravità lunare (un sesto di g) sia sufficiente per impedire i fenomeni di deperimento a lungo termine dell'organismo umano. È stato dimostrato che l'esposizione all'assenza di peso per lunghi periodi di tempo, in ordine di mesi, crea di fatto una riduzione delle masse di ossa e muscoli, nonché una depressione del sistema immunitario. Questi effetti simili sono stati riscontrati ormai nelle innumerevoli sperimentazioni di permanenza di persone in ambienti a gravità zero. L'esercizio fisico quotidiano sembra essere parzialmente efficace nel prevenire gli effetti della gravità zero.

https://it.wikipedia.org/wiki/Colonizzazione_della_Luna

https://it.wikipedia.org/wiki/Colonizzazione_dello_spazio

Strutture abitabili per la colonizzazione lunare

Numerose sono state le proposte per il tipo di moduli abitativi, i progetti si sono evoluti di pari passo alla conoscenza umana della Luna ed alle possibilità offerte dalle tecnologie. Si va dalla progettazione di navi spaziali a serbatoi di propellente vuoti, da moduli realizzati in leghe metalliche leggere a moduli gonfiabili di varie forme. In tutte queste sperimentazioni si è tenuto conto dei pericoli dell'ambiente lunare quali le lunghe notti, la brusca escursione termica, la mancanza di atmosfera e del campo magnetico, l'esposizione a radiazioni radioattive cosmiche e l'impatto di meteoroidi.

Per superare questi ostacoli si è pensato anche di costruire basi sotterranee, che avrebbero il vantaggio quanto meno di essere protette sia dalle radiazioni cosmiche che dall'impatto di meteoroidi. Una prima missione prevederebbe l'invio di una scavatrice automatica controllata dalla Terra in grado di scavare gli ambienti e di rinforzarli con l'applicazione di una sorta di legante cementizio, possibilmente ottenuto con i materiali presenti sul posto. Seguirebbe quindi l'applicazione di materiale poroso isolante e infine l'inserimento in tali spazi di moduli sigillati. Come alternativa agli scavi è stato proposto lo sfruttamento di cavità naturali sotterranee o dei crateri. Un'altra alternativa più semplice potrebbe consistere nel costruire la base sulla superficie e ricoprirla di suolo lunare. Sono stati proposti anche altri mezzi protettivi, come ad esempio l'impiego di campi magnetici artificiali per schermare la radiazione solare.

Una delle ultime frontiere è rappresentata dalla possibilità di costruire con l'utilizzo di risorse in situ i moduli abitativi. Le capacità di cementare materiali inerti, sabbie, utilizzando una speciale tecnica di agglomerazione, è particolarmente adatta per l'utilizzo di risorse in-situ, per la costruzione di moduli abitativi. In ambienti privi di atmosfera, pareti di spessore adeguato, stampate in 3D, assicurano una protezione contro le radiazioni ed i micrometeoriti, pari a quella di una caverna sotterranea. La costruzione

3D richiede un minor dispendio energetico ed apparecchiature più leggere, a condizione che vi sia disponibilità di acqua. Va inoltre considerato che le caratteristiche delle rocce sotterranee lunari sono molto meno note, rispetto a quelle della sua superficie sabbiosa e del materiale utilizzabile per la costruzione, la regolite. Il consorzio industriale costituito da Alta SpA (ora Sitael SpA), D-Shape, Foster + Partners e Scuola Superiore Sant'Anna, ha svolto, nel 2010 per conto dell'ESA, un'attività sperimentale del concetto di stampa 3D in condizioni di vuoto, per la costruzione di habitat utilizzando regolite lunare. Una sezione di muro del futuro avamposto lunare è stato prodotto in scala reale, utilizzando la stampante D_SHAPE e il simulante della regolite. Lo stesso consorzio si avvia ora a sviluppare un primo prototipo del 3DPrinter-Robot e ad eseguire una costruzione simulata completa del modulo abitativo lunare, nel contesto del programma ESA Moon 2020-2030.

<http://www.spacerenaissance.it/conferenza-7-ottobre-2015-abstract-e-bio-degli-oratori/>

<http://www.spacerenaissance.it/conferenza-7-ottobre-2015-abstract-e-bio-degli-oratori/>

Colonizzazione di Marte: il programma Mars One 2024

[1.1.3]

Fig. 6 - Brian Versteeg for Mars One
Rappresentazione artistica della futura colonizzazione di Marte

L'insediamento di una colonia umana sul pianeta Marte è ritenuta, per molti studiosi, di più facile realizzazione rispetto a quella della Luna in quanto si tratta del pianeta raggiungibile da Terra con il minor impiego di energia, sebbene con le tecnologie attuali un eventuale viaggio richiederebbe comunque almeno sei mesi. Inoltre sono presenti, in misura maggiore, gli elementi leggeri più adatti alla vita umana e migliori condizioni di abitabilità. Attualmente ci sono diversi progetti in corso sia di natura pubblica finanziati dalla Nasa, i cui programmi (*Human Exploration of Mars: Design Reference Architecture 5.0*), che prevedono una missione non prima del 2036, sono aggiornati in continuazione man mano che nuove tecnologie forniscono soluzioni più appropriate e dall'ESA con il Programma Aurora per la sperimentazione e l'implementazione di



tecnologie necessarie per l'esplorazione, sia di natura privata con *Mars One 2024* con il progetto, lanciato nel 2012, da un ricercatore olandese Bas Lansdorp, e sostenuto da un comitato consultivo di esperti tra cui il fisico olandese e premio Nobel Gerard 't Hooft, Mason Peck, docente di Ingegneria aerospaziale alla Cornell University e già Chief Technologist della Nasa, nonché di numerosi scienziati e imprenditori e con *Mars Society*, una società senza scopo di lucro fondata, nel 1998, da Robert Zubrin, ex scienziato NASA che ha per la prima volta presentato un progetto realistico per un insediamento umano con *Mars Direct*. Con le stazioni spaziali SkyLab, Mir e l'ISS, si è ormai acquisito un complesso di tecniche, esperienze e tecnologie che sono state utili per acquisire tutte le conoscenze necessarie per poter permettere l'insediamento dell'uomo, in modo permanente, su Marte, il Pianeta più simile alla Terra.

Il piano della Missione, *Mars One 2024*, prevede entro il 2025 di inviare i primi quattro astronauti, dopo circa sei mesi di viaggio, sulla superficie marziana.

Ulteriori gruppi di astronauti raggiungeranno la colonia ogni due anni, in modo da avere, entro il 2035, venti persone che vivono e lavorano su Marte. Le prime selezioni si sono concluse nel Settembre 2013 e oltre 200.000 persone, provenienti da ogni parte del mondo, hanno inviato la propria disponibilità, pur sapendo che potrebbe essere un viaggio di solo andata. Essendo una missione privata, si finanzierebbe non solo attraverso la sponsorizzazione di imprese e di investitori interessati a sviluppare tecnologie spaziali, ma anche attraverso il coinvolgimento di eventi mediatici di *realityTV show*, in grado di raccogliere in termini di pubblicità una parte dei 6 miliardi necessari all'impresa. Anche la scelta dei venti uomini e venti donne che si stabilizzeranno sul Pianeta avverrà attraverso un televoto mondiale. Il compito dei prescelti non sarà solo quello di domiciliarsi su Marte, ma di generare una nuova generazione di altri esseri umani, nativi del Pianeta Rosso. Come si potrà intuire si presentano, al di là delle difficoltà tecniche e logistiche della missione, anche problemi di natura etica e morale, in quanto non è stato previsto un viaggio di ritorno, nell'immediato, sia per motivi economici e sia perché ancora non si dispone di mezzi e tecnologie per il sollevamento ed il lancio pesante di un veicolo vettore.

Il progetto *Mars One* è stato pianificato con tappe ben delineate, anche se alcune di esse sono già state posticipate. Nel 2015 il gruppo di candidati, selezionati nel 2013, inizierà un percorso di formazione che gli permetterà di apprendere le modalità di sopravvivenza in condizioni fisiche e psicologiche estreme; impareranno a movimentare ed a riparare un Rover e qualsiasi altro dispositivo o strumentazione tecnologica che farà parte dell'insediamento marziano, a coltivare e a produrre prodotti alimentari con tecniche di coltivazione indoor aeroponica o idroponica e ad attuare

tutte quelle procedure mediche per la sicurezza e l'incolumità dei nuovi coloni. La missione con l'invio degli astronauti sarà preceduta, nel 2018, con l'invio, nell'orbita di Marte, di un satellite per le telecomunicazioni allo scopo di permettere lo scambio di informazioni con la Terra. Nel 2020 verrà lanciato un Rover che stabilirà, sulla base delle indicazioni programmate, la posizione migliore per l'insediamento. Nel 2022 con la Missione Cargo verrà inviato un modulo di atterraggio su Marte per dimostrare alcune tecnologie-chiave e le prime cellule abitative con sistemi di supporto alla sopravvivenza e unità di alimentazione. Nel 2023 i Rover posizioneranno le prime sei capsule orbitali di trasporto *Dragon*, sviluppate dalla *Space Exploration Technologies Corporation (SpaceX)*, per garantire la migliore condizione di vita. Nel 2024 il razzo *Falcon Heavy (FH)* progettato e costruito anch'esso dalla *Space Exploration Technologies (SpaceX)*, lancerà il primo gruppo di quattro coloni che arriverà su Marte nel 2025. A distanza di due anni, nel 2027 arriverà il secondo gruppo di coloni, fino a raggiungere il numero di venti nel 2035.

Marte ha numerosi elementi di base per una abitabilità di tipo planetario e di corrispondenza ed affinità con quella terrestre. L'estensione della superficie di Marte è pari a circa il 28,4% di quella complessiva terrestre e quasi pari all'estensione delle terre emerse sulla Terra che costituisce il 29,2% della superficie complessiva del pianeta. Il sole, ovvero il giorno marziano, è assai vicino al giorno terrestre, con una durata media di 24 ore, 39 minuti e 35,244 secondi. L'inclinazione assiale di Marte è quasi pari (25,19°) a quella terrestre (23,44°). Il ciclo delle stagioni di Marte è quasi del tutto analogo a quello terrestre, sebbene la loro durata sia quasi doppia, poiché l'anno marziano corrisponde ad 1,88 anni terrestri. Marte è inoltre

Fig. 7 - Rappresentazione grafica delle tappe della Missione Mars One



dotato di un'atmosfera rarefatta, la quale ha una pressione atmosferica al suolo che vale lo 0,7% di quella terrestre. Essa è sufficiente a proteggere in minima parte la superficie dalla radiazione solare e cosmica e può essere utilizzata favorevolmente per manovre di aerofrenaggio da parte di sonde spaziali. Da un punto di vista della composizione geologica è stato provato che circa quattro miliardi di anni fa, il pianeta Marte appariva proprio come appare il pianeta Terra, con grandi oceani e lunghi fiumi. La presenza di acqua sul pianeta, che è stata recentemente confermata dalle esplorazioni condotte dalle sonde spaziali *Mars Express* e *Phoenix* e dalla missione, tuttora in corso, di *Mars Exploration Rover*, è maggiormente localizzata attorno ai poli. L'installazione di una prima colonia abitativa verrà collocata dal Rover in un sito dove sarà rilevata la presenza di ghiaccio d'acqua nel terreno; l'acqua prodotta, essendo uno dei principali elementi per sviluppare forme di vita, servirà per tutti quegli usi legati alla cura e all'igiene personale ed allo svolgimento di tutte le altre attività umane legate alla sopravvivenza ed anche per la generazione di ossigeno attraverso elettrolisi. Inoltre sono disponibili discrete quantità di tutti gli elementi e i composti chimici fondamentali per la vita umana, ad iniziare dalla disponibilità di fonti naturali di azoto, elemento che si respira per l'80% nell'aria sulla Terra. La grande presenza di ferro, che rende il suolo di Marte color ruggine, servirà per bloccare le radiazioni cosmiche. La produzione energetica sarà ricavata da circa tremila metri quadri di pannelli solari che sfrutteranno l'energia solare. Marte è assai più freddo della Terra, con una temperatura media di $-63\text{ }^{\circ}\text{C}$ con minime di $-143\text{ }^{\circ}\text{C}$ e massime anche di $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ all'equatore. L'obiettivo ipotizzato è quello di trasformare Marte in una seconda Terra, aumentandone la temperatura fino a far

Fig. 8 - Rappresentazione grafica della colonia Mars One

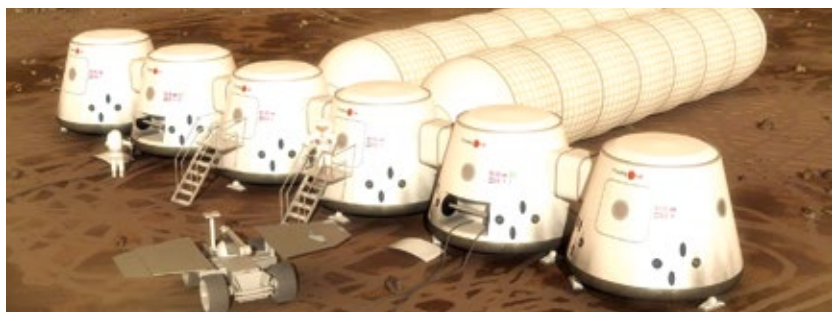


Fig. 9 - Ipotesi di piattaforma a pannelli solari per la produzione energetica - Credit Mars One



sciogliere l'acqua ai poli e ottenere fiumi e mari. Per permette di avere una temperatura media di 15-16°C, si pensa di replicare l'effetto serra, che invece esiste sulla Terra, e che permette di avere una temperatura media di 15-16°C. Per questo motivo si immagina la costruzione di fabbriche per la produzione di anidride carbonica. Via via che i gas entreranno nell'atmosfera, la temperatura aumenterà e nel giro di pochi secoli anche dal suolo uscirebbe anidride carbonica; ad un certo punto il ghiaccio inizierà a sciogliersi, parte del quale evaporerà e contribuirà notevolmente a far crescere la temperatura del pianeta. In condizioni estreme, l'uomo è già riuscito a sopravvivere in ambienti dalle caratteristiche analoghe a quelle della superficie di Marte: nel maggio 1961 il record di altitudine per un essere umano a bordo di un pallone aerostatico è stato registrato alla quota di 34,668 km (dove la pressione atmosferica è analoga a quella marziana); le temperature medie dell'Antartide non mostrano sostanziali discrepanze rispetto a quelle rilevate su Marte; alcuni deserti terrestri presentano caratteristiche simili a quelle della superficie marziana. Per quanto riguarda invece le conoscenze mediche, allo stato attuale, è impossibile stabilire se la presenza di una accelerazione di gravità su Marte, che è pari a circa un terzo del corrispondente valore terrestre, sia sufficiente ad evitare l'insorgere di problemi di salute connessi con l'assenza di peso.

La grande avventura per la conquista del Pianeta Rosso è ormai iniziata da tempo. La Nasa ha dimostrato che raggiungere Marte e farvi atterrare dei mezzi in grado di esplorare il pianeta è cosa possibile e realizzabile. Rimane ancora da individuare il sistema di trasporto più rapido per trasportare gli astronauti ed i primi materiali e le prime strutture fisiche che apriranno la strada all'uomo rispetto all'abitabilità di un pianeta extra-terrestre. Le conoscenze che si otterranno, nonostante un rallentamento degli investimenti, permetteranno di guardare con occhi nuovi alla nascita e all'evoluzione dell'universo.

<http://mars.nasa.gov/mer/home/>

http://www.nasa.gov/pdf/373665main_NASA-SP-2009-566.pdf

http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Mars_Express

http://m.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Exploration/The_European_Space_Exploration_Programme_Aurora

<http://www.mars-one.com/>

<http://www.marssociety.org/>

1.2 Criticità dell'ambiente spaziale

Rispetto ai sistemi ed alle strutture spaziali

L'ambiente attorno alla Terra, sia spaziale che atmosferico, influenza fortemente le prestazioni ed il ciclo di vita dei vari sistemi, strutture, dispositivi, elementi e componenti spaziali. Le caratteristiche dell'ambiente spaziale, *space environment*, assumono un rilievo importante nella loro progettazione in quanto influiscono notevolmente sulle loro prestazioni e sulla durata della vita degli stessi. Infatti sono determinanti per la definizione del peso, delle dimensioni, della complessità e del loro costo. Alcuni fenomeni legati alle caratteristiche dell'ambiente spaziale incideranno sulle prestazioni e affidabilità dei sistemi spaziali ed in misura minore influenzeranno anche le specifiche prestazionali dei sottosistemi per abitabilità interna. Quest'ultimi, sebbene risulteranno già in parte schermati dagli strati esterni dell'involucro dei moduli, dovranno tenere conto di tali aspetti in quanto avranno una notevole importanza nel garantire un buon livello di vivibilità degli astronauti.

In generale questi fenomeni, legati a condizioni ambientali operative, determinano criticità estremamente gravose in termini di:

- gradienti di temperatura;
 - fatica;
 - esposizione a radiazioni;
 - esposizione all'ossigeno atomico;
 - micrometeoriti;
 - outgassing;
 - sollecitazioni derivanti dal lancio riproducibili solo in parte sulla Terra.
- In particolare i fenomeni legati all'ambiente spaziale che possono incidere sulle prestazioni e affidabilità dei sistemi spaziali sono:
- la formazione di plasma, cioè di gas formato da ioni, elettroni e atomi neutri e risultante macroscopicamente neutro, causata da rilasci di energia sotto forma di tempeste magnetiche dirette verso l'atmosfera terrestre;
 - deposizione di ioni a bassa energia sulla superficie delle strutture del sistema spaziale provocando con un surriscaldamento di circa $0,5 \text{ W/m}^2$ la possibile rottura di alcuni legami chimici della struttura del sistema spaziale; tale fenomeno è riscontrabile all'interno delle fasce di Van Allen (Van Allen Belts);
 - presenza di ossigeno atomico, altamente reattivo ad alte temperature, che può causare erosione superficiale della struttura esterna del sistema spaziale. Tale fenomeno è stato notato per la prima volta nel 1982 durante la terza e quarta missione (STS-3 e STS-4) dello *Space Shuttle* grazie ad un caratteristico alone arancione che la navetta mostrava avere nella parte rivolta verso la direzione del moto. L'ossigeno atomico attacca le superfici dei sistemi aerospaziali. I polimeri, composti per lo più da

catene di idrocarburi, sono particolarmente vulnerabili al fenomeno. Infatti, l'ossigeno atomico colpisce la superficie alla velocità di circa 8 km/s e spezza una catena legandosi ad un atomo di carbonio. Quando la catena così accorciata, è colpita da un altro atomo di ossigeno, si forma un frammento molecolare che si stacca facilmente.

- evento di *Solar Particle Events* (SPE), causato da rapidi aumenti dell'attività solare detti anche "brillamenti solari" (Solar Flares). Tali fenomeni possono durare da poche ore a vari giorni e accadono poche volte all'anno. Possono degradare superfici esterne degli impianti aerospaziali e fare aumentare il rumore di fondo e indurre malori negli astronauti. Oltre al contributo degli elettroni che bombardano la superficie, è presente anche una componente dovuta alla dose di raggi X emessi in seguito alla violenta decelerazione delle particelle. Uno schermo contro i SPE dovrebbe avere uno spessore ideale di circa 120 mm.
- presenza di Raggi Cosmici (*Galactic Cosmic Rays, GCR*); si tratta di particelle provenienti dall'esterno del sistema solare. La loro natura è molto varia. L'energia cinetica delle particelle dei raggi cosmici è distribuita su quattordici ordini di grandezza e varia anche la loro origine: il Sole, le altre stelle, fenomeni energetici come *novae* e *supernovae*, fino ad oggetti remoti come i quasar. Tra i raggi cosmici si sono osservate particelle a energie molto più alte di quanto i più colossali acceleratori costruiti dall'uomo possano mai sperare di raggiungere. I raggi cosmici possono causare, sul sistema spaziale, un *Single Event Phenomena* (SEP) che possono essere di vari tipi, classificabili secondo le conseguenze prodotte:
 1. *Single Event Upset* (SEU) o *Bit-Flip*: compromissione di un bit che non danneggia il componente e non ne cambia il funzionamento;
 2. *Single Event Latch-Up* (SEL): il componente rimane bloccato a 0 o ad 1; per ripristinare il corretto funzionamento del dispositivo è necessario togliere potenza e ridarla;
 3. *Single Event Burn-Out* (SEB): il dispositivo risulta compromesso. Un evento di questo tipo potrebbe essere occorso al *Voyager 2* ad appena sei giorni dal suo incontro con Urano il 18 gennaio 1986. Un bit si resettò in modo permanente ed inspiegabile. Fortunatamente si riuscì a rimediare al problema rifacendo un download completo dei programmi per la gestione delle immagini del *Voyager 2*.
 4. Effetti dell'alta atmosfera che influisce sul moto del sistema spaziale generando attrito e quindi tutti gli effetti ad esso collegati: forza di *drag*, di *lift*, calore, effetto corrosivo dell'ossigeno atomico.

Tali fenomeni pongono problemi di *Hardness & Survivability*. Con il termine *hardness*, "resistenza", si intende il livello di stress ambientale che il sistema può sostenere. Con *Survivability*, "sopravvivenza", si intende l'abilità

del sistema spaziale di compiere le sue normali funzioni operative dopo essere stato sottoposto ad uno stress causato da un agente ambientale ostile come quelle descritte precedentemente. La protezione più utilizzata contro la radiazione naturalmente presente nelle fasce di Van Allen, per migliorare l'*hardness* consiste in un guscio di alluminio o di arseniuro di gallio (GaAs) di spessore compreso fra 0,2mm e 6mm. Le strategie adottate per migliorare la *survivability* sono sia passive che attive: la ridondanza dei sistemi di bordo, il *decoy*, cioè oggetti che simulano l'impronta radio e ottica al momento giusto.

Rispetto ai componenti dell'equipaggio

La prima, e forse più importante, considerazione sulla criticità riscontrabile in ambiente spaziale riguarda l'incidenza della assenza di gravità alla quale sono soggetti i componenti dell'equipaggio a bordo, che vedono alterate le condizioni fisiologiche, i parametri fisici e psicologici, le posture assunte dal corpo, i movimenti per spostarsi da un punto all'altro e per bilanciarsi, l'orientamento e la percezione dello spazio, dei volumi, dei colori. L'assenza di gravità è in genere considerata un vantaggio per il movimento nello spazio. Una volta abituato alle condizioni di microgravità, il corpo si muove con sforzi minimi ed è in grado di svolgere "manovre acrobatiche" con estrema facilità. Tuttavia, al fine di esercitare delle forze, il corpo deve essere ancorato in modo tale che la forza contraria possa essere sviluppata per l'esercizio attivo della forza-vettore. Un problema che si riscontra in modo diffuso durante i primi giorni in assenza di gravità è il decremento delle prestazioni motorie e ciò richiede una attività giornaliera di esercizi fisici per mantenere il tono muscolare. I componenti dell'equipaggio non avendo completamente il controllo della mobilità come sulla Terra possono subire seri infortuni o addirittura ferirsi considerevolmente urtando contro gli elementi strutturali. L'astronauta trova difficile stimare accuratamente l'entità del lavoro fisico richiesto per certe operazioni e inoltre impiega più tempo a svolgere le varie attività a causa della mancanza di punti di riferimento e di resistenza basati sulla gravità. Dopo pochi giorni in ambiente di microgravità i movimenti degli astronauti diventano più precisi e la percezione del livello di difficoltà diminuisce. Questi problemi scompaiono dopo circa una settimana di permanenza.

Attualmente non si è ancora in grado di stabilire quanto tempo si impiegherà per stabilizzare il controllo sulla mobilità in un ambiente con una accelerazione di circa 1/3 g come Marte.

La seconda considerazione riguarda, nello spazio, il cambiamento sostanziale nella postura e nelle dimensioni del corpo umano. Se rilassato, il corpo assume una posizione semi-raccolta in cui gli angoli delle ginocchia e dei gomiti sono circa a 130°, cambia l'angolo pelvico e si appiattisce la curvatura della spina dorsale nella sezione lombare e toracica, dando origine a un'estensione del corpo di oltre 10 centimetri. Testa e colonna vertebrale si piegano in avanti e gli arti superiori volano in alto verso il

tronco di 450 gradi.

La nuova "postura neutra" è simile a quella assunta dal corpo sott'acqua e sembra risultare principalmente da un nuovo bilanciamento delle forze muscolari in relazione alla tensione dei tessuti che agiscono sulle varie giunture. Mentre la postura neutra nello spazio non ha di per sé controindicazioni, a parte i disagi che possono verificarsi cercando di riprodurre posture terrestri, come lo stare eretti o cercare di distendersi, è necessario considerare attentamente le nuove implicazioni tra operatore e strumento. Un esempio significativo è il design di una workstation. L'operatore trova difficile lavorare a livello della vita, poiché deve esercitare continuamente una forza sulle braccia per portarle a quel livello più basso. La progettazione nel valutare e verificare la postura e i movimenti più idonei allo svolgimento di queste attività ha previsto l'uso e l'interfaccia dello strumento in relazione all'operatore. Il benessere degli astronauti dipende inoltre da una serie di stimolazioni ambientali, come la luce, i colori, le variazioni dell'aria, il vento, il caldo, il freddo, i profumi, i sapori eccetera, che normalmente troviamo sulla Terra e che sono in grado di attivare le funzioni vitali. L'essere umano reagisce a queste sollecitazioni sintonizzando il suo equilibrio con la natura e l'ambiente circostante e la mancanza di anche una sola di esse può comprometterne la salute biologica e psichica. La luce naturale, per esempio, influisce direttamente sui ritmi cardiocircolatori, che in ambiente confinato subiscono forti alterazioni dando problemi di insonnia e di insofferenza generale, compromettendo la salute e l'efficienza del soggetto nello svolgimento delle attività a bordo. Nello spazio l'ambiente artificiale ricreato all'interno dei moduli pressurizzati non è in grado di riprodurre tutti gli stimoli presenti in un ambiente terrestre ed a lungo andare provoca monotonia e una perdita di interesse diffusa tra gli astronauti. Lo stato psico-fisico dell'equipaggio, sempre più demotivato, tende a ridurre al minimo le funzioni vitali compromettendo anche il successo di una missione. Una terza considerazione riguarda i problemi posti dalle radiazioni cosmiche. I moduli pressurizzati abitabili prevedono una schermatura perimetrale anti-radiazioni contro le più intense tempeste solari, che di solito durano meno di 24 ore (anche se tale misura non viene considerata sufficientemente sicura). Per questo motivo i membri dell'equipaggio preferiscono dormire ancorandosi nel centro della stazione, piuttosto che utilizzare il "sacco notte", che è agganciato al perimetro del modulo abitabile.

**Elementi per
un'abitabilità
sostenibile nello spazio**

[1.2.1]

I sistemi per l'abitabilità umana nello spazio devono garantire una serie di specifiche ergonomiche e prestazionali tali da rendere la permanenza nello spazio, sopportabile sia dal punto di vista fisico che psicologico. Le condizioni in assenza di gravità (o meglio di "microgravità") rendono la vita decisamente più difficile che sulla Terra. Gli astronauti e qualsiasi oggetto che non sia fissato alle pareti fluttuano liberamente all'interno

degli ambienti. Occorre fissare o legare tutti gli oggetti che fanno parte del corredo di uno spazio abitabile: dallo spazzolino per denti alle attrezzature ed agli strumenti utilizzati per gli esperimenti scientifici. La temperatura ideale per tali ambienti è di 20°C, da garantirsi con impianti di condizionamento ad aria che sono sempre in funzione (sulla stazione spaziali come la MIR, ad esempio, la temperatura era di 30°C). La pressione dell'aria è mantenuta uguale a quella sulla Terra. Sicuramente gli astronauti devono essere dotati di buone capacità di sopportazione dello stress, socievolezza, pazienza e spirito di adattamento, e per tale motivo sono allenati duramente. Ma è anche vero che l'ambiente deve garantire il massimo confort compatibile con lo spazio a bordo, ma anche con il peso e quindi con i costi di lancio. L'assenza di peso condiziona pesantemente tutti gli aspetti della vita a bordo quotidiana. Il corpo è infatti costretto dalla nuova situazione a pose del tutto innaturali. Una di queste, per esempio, consiste nell'ancorarsi continuamente coi piedi ad una serie di staffe presenti lungo le pareti. Vista l'assenza di peso, anche premere un pulsante comporta uno spostamento all'indietro del corpo e lavorare sarebbe quasi impossibile senza fermi e appigli. Vestirsi è difficile. Mettersi alcuni indumenti è quasi impossibile perché si fluttua urtando da una parte e dall'altra. Per aprire un cassetto non basta tirare ma occorre puntellarsi da qualche parte. Questo esercizio di ancoraggio però, fatto per ore, comporta l'insorgere di dolorosi mal di schiena e di fitte alla caviglie. Anche in voli di breve durata gli astronauti sono soggetti ad una perdita di liquidi; per questo motivo è necessario bere molto ed ingerire pastiglie di sali minerali così da fissare i liquidi nei tessuti. Ci sono anche cibi e bevande deidratati che vengono ricostituiti aggiungendo acqua. Vengono usate siringhe per reidratare singole porzioni di cibo e evitare perdite: l'acqua rappresenta un bene vitale e prezioso.

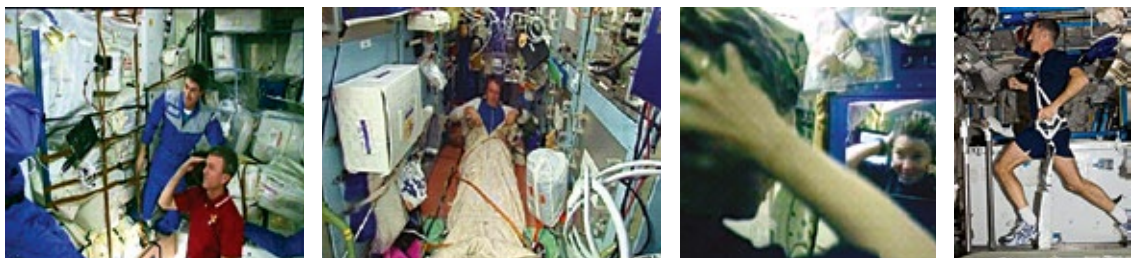
Trasportare acqua sulla ISS è molto costoso, così parte dell'acqua viene riciclata dallo stesso modulo spaziale tramite condensazione. Sulla Terra, la distribuzione di liquidi nel corpo umano è regolata dalla gravità. In assenza di gravità i liquidi si dispongono come se si trovassero in un unico tubo orizzontale. La pressione dei liquidi è la stessa in ogni punto del corpo. E questo fa sì che gli astronauti abbiano spesso il naso tappato, un fastidio continuo che causa anche la perdita di sensibilità olfattiva e del gusto. L'alimentazione è molto simile a quella terrestre; la giornata è scandita dai pasti principali, dalla colazione alla cena. Il cibo ha una particolare

Fig. 10 - Stoccaggio per materiale vario sulla stazione spaziale internazionale

Fig. 11 - Zona riposo, particolare sacco - letto sulla Stazione Spaziale Internazionale

Fig. 12 - Igiene personale sulla Stazione Spaziale Internazionale

Fig. 13 - Expedition 30 Commander Dan Burbank runs on the ISS



consistenza per evitare che voli via dal piatto: i cibi sono vari ma liofilizzati, le creme hanno sapore di verdure, pesce, carne e si mangia anche la pasta ma solo sminuzzata e con gelatina di sugo. Ogni astronauta ha a disposizione delle scorte di cibo individuali, che prepara nella cucina di bordo (dotata di due scaldavivande, di un dispensatore d'acqua calda e fredda e, dal 2008, anche di un frigo). I menù vengono decisi dagli astronauti settimane prima del lancio, ed un dietista li valuta per accertarsi che l'alimentazione sia bilanciata. Dal momento che in un ambiente a microgravità il senso del gusto tende ad essere inferiore, solitamente i pasti sono preparati con molte più spezie di quanto non si farebbe sulla Terra per cercare di renderli più saporiti, e molti astronauti amano consumare cibo piccante sull'ISS. Si beve in modo variato e di solito con cannuccie. Ogni astronauta prima del lancio può scegliere la propria dieta che viene preparato anche in base alle calorie necessarie all'attività prevista. In caso di attività extra veicolare viene consumata una riserva alimentare aggiuntiva costituita da barrette solide di frutta e da bevande in grado di fornire 500 calorie nel tempo massimo di 8 ore lavorative.

Molte operazioni estremamente semplici sulla Terra presentano difficoltà particolari quando ci si trova in orbita, e le attività di igiene personale non fanno eccezione. Gli astronauti per lavarsi hanno a disposizione un getto d'acqua, salviette umidificate e sapone erogato da un dispenser simile ad un tubetto di dentifricio.

Zona living

La dotazione necessaria di un sistema di abitabilità spaziale deve essere composta da:

- serbatoi di azoto;
- serbatoi dell'ossigeno;
- scomparti per materiale vario;
- zona trattamento rifiuti;
- zona di cambusa per il deposito, la conservazione e la preparazione dei viveri;
- zona relax;
- zona lavoro con computer di bordo;
- cabine per doccia;
- poltrone reclinabili girevoli;
- velo ergometro (bicicletta per attività fisica);
- scomparti per zona rifiuti;
- camera di compensazione per espulsione rifiuti;
- comfort termo igrometrico di 20°C e umidità relativa bassa;
- impianto di ventilazione della cabina;
- sistemi di condizionamento;
- cablaggi elettrici vari e strumentazione;
- tasche portaoggetti;

- sistemi per la depurazione dell'ossigeno;
- sistema portatile di sopravvivenza (PLSS);
- corrimani per facilitare lo spostamento e l'ancoraggio;
- contenitori speciali per le vettovaglie, l'acqua ed il vestiario;
- serbatoi per l'acqua tenuti a temperatura ambiente;
- contenitori refrigeranti e congelatori per cibo;
- scaldavivande per acqua e cibo.

Le specifiche ambientali all'interno delle stazioni spaziali, di solito, sono:

- Temperatura costante di 20°C circa, garantiti da un sistema di condizionamento;
- Miscela respirata dagli astronauti: ossigeno e azoto ad una pressione di 0,35 kg/cm².

Zona notte

Un equipaggio sottoposto allo stress di una missione di lunga durata ha assoluto bisogno sia di riposo breve rilassante che lungo e ristoratore. Poiché nello spazio non si ha distinzione fra posizione verticale e orizzontale, dormire in posizione verticale non rappresenta alcun problema. Ciascun astronauta è bene che abbia un suo scompartimento che lo isoli da luci e rumori e gli permetta una sufficiente privacy. Dormire è già di per sé difficile, poiché durante le ore di sonno che si hanno a disposizione, è quasi sempre attivo un altro turno d'equipaggio. Si è disturbati dal continuo rumore delle apparecchiature che in buona parte sono praticamente accese e dai sistemi di condizionamento. Le missioni scientifiche, infatti, si realizzano di solito con due turni di astronauti, il che permette praticamente di avere due settimane di lavoro in una missione della durata temporale di una sola settimana. L'assoluta oscurità è un'altra delle condizioni difficili da ottenere quando si dorme per cui vanno usate delle mascherine da apporre sugli occhi. Ci si deve ancorare mentre si dorme. Deve esserci la disponibilità di vani per alloggiare alcuni libri e oggetti vari. Si ha anche la necessità di un cappuccio per schermare il viso. L'astronauta deve poter entrare nel sacco-letto dall'apertura superiore del collo e far uscire le braccia da appositi fori. Il sacco-letto deve essere cambiato ogni 15 giorni al massimo ed alcune parti di esso, come cuscini ed imbottiture, devono essere sostituite più spesso a discrezione dell'astronauta. Per la zona letto occorre prevedere elementi di abitabilità quali:

- sacco-letto;
- ripostiglio per sacco-letto;
- telaio per il sacco-letto;
- contenitore armadio per oggetti personali;
- contenitore armadio per scarpe speciali per ancorarsi al pavimento a griglia (per esempio per stare fermo e l'igiene personale);
- deposito dei rifiuti;
- sacchetti per rifiuti;
- contenitore armadio per vestiario.

Zona igienico sanitaria

La raccolta di rifiuti organici degli astronauti pone una serie di problemi particolari perché essi devono essere conservati per un successivo esame al ritorno sulla Terra. La raccolta di solito avviene in un apposito apparecchio, il *Collector Module*. Per svolgere le sue funzioni fisiologiche l'astronauta, legato con una cintura di sicurezza, può defecare e mingere in posizione seduta, con la faccia rivolta al pavimento. La funzione di mingere può essere svolta anche in piedi, usando gli appositi fermapiedi e l'aspiratore. L'apparecchio contiene un sacco che deve essere cambiato dopo ogni defecazione e dei moduli (uno per ciascun astronauta) per il raffreddamento e la conservazione dell'urina. Un aspiratore risucchia ambedue i tipi di rifiuti e l'aria viene filtrata prima di essere rimessa in circolo. Ciascun sacco di feci viene pesato, disidratato in un apparecchio apposito e messo da parte per un'eventuale analisi al ritorno a Terra. Ciascun modulo dell'urina immagazzina per 24 ore, misura e raccoglie campioni dell'urina che viene raffreddata e separata dall'aria mediante un'unità che utilizza la forza centrifuga.

Un congelatore sotto il *Collector Module* immagazzina l'urina in provette di circa 120ml per successive analisi a terra. Lavarsi i denti è un'azione anche difficile. Occorre prendere una bolla d'acqua e inserirla in bocca per poterseli lavare.

La dotazione minima di un'unità per funzioni fisiologiche è costituita da:

- dispensatore d'acqua;
- aspiratore;
- appigli per l'astronauta;
- raccogliore delle feci;
- raccogliore dell'urina in due posizioni;
- indicatore di livello;
- separatore dell'urina;
- comando dell'aspiratore;
- serratura del modulo (chiave di blocco e sblocco apertura vano);
- modulo dell'urina (uno per astronauta);
- fermapiedi con fascetta aggiustabile in velcro;
- comandi dell'aspiratore/separatore;
- filtri dei moduli di raccolta delle feci.

Per svolgere attività di igiene personale, come per esempio la doccia, occorre un sistema di rigenerazione dell'acqua utilizzata con l'obiettivo di fornire all'equipaggio in ogni caso acqua potabile. Per eseguire la doccia o bagno, in alcune missioni passate si è usato un sacco di polietilene nel quale i cosmonauti possono infilarsi senza rischiare che l'acqua danneggiasse pericolosamente fra la strumentazione.

In ogni caso sono previsti prodotti studiati apposta per la vita nello spazio come ad esempio i prodotti a secco. Ripulire i saponi o bagnoschiuma o shampoo dal corpo, può essere fatto solo attraverso speciali asciugamani

umidificati. In caso di guasti alla toilette, gli astronauti possono utilizzare le "Apollo Bags", dei contenitori d'emergenza così chiamati perché progettati nelle vecchie tute del programma lunare.

Attività fisiche

È noto che l'attività fisica nello spazio è necessaria per garantire la salute di ossa e muscoli degli astronauti. Si allenano pertanto, circa 2 ore al giorno. Il tono muscolare e la robustezza delle ossa gradualmente si affievoliscono, soprattutto in caso di scarsa attività fisica con appositi strumenti. L'attività fisica è svolta con tapis-roulant o velo ergometri (particolari biciclette da camera) usati insieme ad una tuta elastica speciale, *Chibis*, che comprime i muscoli e le ossa. Per utilizzare questi attrezzi il cosmonauta deve indossare uno speciale indumento al quale sono attaccate delle corde elastiche che caricano il suo corpo con circa 50 kg e lo tiene a contatto con il nastro. Le tute *Chibis* sono state molto importanti nelle precedenti missioni perché, creando una depressione intorno alla parte inferiore del corpo, impedivano al sangue di migrare verso la parte superiore e mantengono in esercizio il sistema cardio-vascolare. Anche la circolazione del sangue è influenzata nello spazio. Il cuore è una pompa ed allo stesso tempo un muscolo: le contrazioni muscolari spingono il sangue per il corpo e questa circolazione, che è influenzata dalla gravità, fa in modo che la pompa abbia sempre un rifornimento di sangue per muoversi. Se il ritorno di sangue al cuore è insufficiente, pomperà volumi sempre più piccoli e alla fine collasserà. La circolazione lavora meglio ad una certa pressione sanguigna. Quando si è sdraiati, il sangue ritorna al cuore più facilmente, così che il cuore non deve pompare così forte come quando si sta in piedi. Se il sistema circolatorio non si adatta a questa nuova situazione, la pressione sanguigna crescerà. Perciò le arterie nel circolo sistemico (che porta sangue ossigenato dal cuore al resto del corpo) si rilassano, permettendo al sangue di fluire con minor resistenza e riportando la pressione sanguigna alla normalità. Quando il cuore si riempie di sangue (diastole), il muscolo del cuore si rilassa di più di quando si sta in piedi, facendo in modo che un volume di sangue maggiore venga pompato per battito, ma con un minore numero di battiti al minuto.

Questo è molto simile a quanto avviene inizialmente quando gli astronauti si trovano in assenza di peso: la mancanza di gravità fa in modo che il sangue ritorni più facilmente al cuore, riducendo il bisogno di pompare forzatamente, e si sposta dalle gambe degli astronauti al loro torace e alla loro testa. Le loro facce tendono a tumefarsi e le loro cavità nasali a gonfiarsi. Questo spostamento di fluido aumenta inizialmente il volume di sangue poiché più acqua entra nel flusso sanguigno, proveniente per lo più dai tessuti delle gambe. D'altro canto quest'acqua supplementare diluisce un po' il sangue e, dopo alcuni giorni, i reni cominciano ad espellere più sali ed acqua per imitare la situazione normale sulla Terra.

Anche se le facce possono rimanere leggermente tumefatte e le cavità nasali gonfie, la situazione migliora dopo pochi giorni.

http://www.asi.it/sites/default/files/LISS_-_ISS.pdf

<http://it.ibtimes.com/10-cose-che-non-conoscevatte-della-stazione-spaziale-internazionale-video-foto-1338740>

<http://www.scienceinschool.org/node/1076>

1.3 Le strutture gonfiabili per l'abitabilità: tipologie e tecnologie

Introduzione

Negli ultimi anni con l'evoluzione delle missioni spaziali, si è ravvisata maggiormente la necessità di trasportare in orbita, a parità di volume, vettori e sistemi per l'abitabilità spaziale con peso minore, leggeri. La necessità non è solo di avere masse piccole da trasportare ma anche di ottenere minori consumi energetici e maggiore velocità di trasporto (meno materia, meno energia).

Nelle applicazioni satellitari e spaziali in generale esiste l'esigenza di impiegare elementi funzionali di elevate dimensioni, quali antenne, riflettori, pannelli solari, superfici riflettenti/schermanti, vele solari. Questi componenti devono essere stivati in spazi limitati durante il trasporto ed essere dispiegati nella loro configurazione operativa una volta raggiunta la posizione di esercizio. Tale operazione viene effettuata tradizionalmente mediante sistemi di dispiegamento meccanico. I recenti sviluppi tecnologici nel campo delle strutture ultraleggere, specialmente nell'ambito dei sistemi di irrigidimento e dispiegamento controllato, hanno presentato nuove possibilità di soluzioni rispetto all'esigenza di disporre di strutture di grosse dimensioni, a basso costo ed a basso peso, alternative ai sistemi di dispiegamento tradizionale. A causa del generale uso di membrane e componenti ultraleggeri, questa categoria di strutture viene chiamata *gossamer* (il termine inglese si riferisce a oggetti estremamente sottili e leggeri), che include anche sistemi gonfiabili, in inglese *inflatable*, e altri sistemi di dispiegamento senza l'utilizzo di componenti in lega metallica. Presentano il grande vantaggio di potere essere racchiuse in un piccolo spazio con grandi risparmi in termini di costo, legato alla possibilità di ridurre le dimensioni dei sistemi di trasporto. Le strutture *gossamer* sono generalmente costituite da strutture membranali, piastre o gusci sottili, caratterizzate da rigidità flessionale molto limitata e incapacità di sostenere carichi di compressione. Sono spesso prodotte impiegando film polimerici sottili, altamente flessibili e di basso modulo elastico. Vengono quindi utilizzate in forma di sistemi planari tensionati o configurazioni curve gonfiate. I termini *gossamer*, membranali, gonfiabili vengono quindi applicati a

queste tipologie di strutture, spesso in modo alternativo.

Strutture tradizionali e strutture gonfiabili: caratteristiche e specificità

[1.3.1]

Le strutture gonfiabili, in particolare, sono una risposta conveniente per le seguenti richieste derivanti dalle attività spaziali per:

- compiere missioni spaziali di esplorazione planetaria con equipaggio umano;
- essere impiegati come moduli di collegamento sulla ISS;
- essere impiegati come mezzi di trasporto Free-Flyer in orbita bassa, LEO;
- per costruire basi permanenti su altri pianeti.

In generale, queste tecnologie hanno consentito già di sviluppare sistemi di grandi dimensioni, ma al contempo estremamente leggeri, come:

- grandi antenne gonfiabili per radiotelescopi, comunicazioni a banda larga dal lontano spazio, monitoraggio remoto della Terra mediante radar e radiometria;
- capsule di rientro nell'atmosfera terrestre;
- vele solari per la propulsione o il controllo orbitale in missioni extraplanetarie e interstellari;
- deceleratori per l'atterraggio su pianeti extra-terrestri;
- moduli abitativi.

Le strutture gonfiabili si caratterizzano per i seguenti aspetti:

- drastica riduzione della massa di lancio; raggiungono anche il 50% in termini di riduzione di peso a parità di volume rispetto ai corrispondenti sistemi meccanici dispiegabili. Ciò è dovuto al fatto che le strutture gonfiabili utilizzano film polimerici ultrasottili (nell'ordine di $0.2\div 10\text{mm}$) che contengono aria compressa con pressioni atmosferiche elevate che rendono la struttura dotata di adeguata rigidità;
- contenimento del volume, nell'ordine del 50%, in termini di spazio ed adattabilità della forma alla geometria del vano contenitore del lanciatore ottimizzando tutto lo spazio disponibile;
- alta resistenza delle strutture, una volta dispiegate, dovuta all'assorbimento dei carichi di esercizio su superfici più estese. I sistemi meccanici necessitano invece di sostenere carichi concentrati in alcuni punti e per questo hanno la necessità di essere dimensionati sui massimi carichi di esercizio, operazione che aumenta il peso in quantità non trascurabile;
- basso costo di produzione poiché le tecniche di realizzazione sono poco complesse e inoltre il minor peso favorisce la loro manipolazione durante le operazioni di manifattura. Ad esempio per le grandi antenne, il costo di produzione è all'incirca dieci volte minore rispetto a quello tradizionale in metallo;
- grande efficienza nel dispiegamento; nelle strutture realizzate fin ora non si sono presentati rilevanti inconvenienti riguardo il loro funzionamento;
- adattabilità alle forme simmetriche e alle superfici curve, possono essere progettate per approssimare, il più possibile, forme concave

aventi vincoli ridotti; in assenza di campo gravitazionale terrestre la forma desiderata diventa la forma di equilibrio dovuta alla pressione di gonfiaggio;

- resistenza alle sollecitazioni termiche, poiché i materiali utilizzati sono in genere nuovi polimeri con un basso coefficiente di propagazione termica.

Misure di protezione per l'abitabilità spaziale

Per le missioni spaziali di lunga permanenza occorre proteggere l'equipaggio e mantenere l'integrità della struttura gonfiabile contro:

- le radiazioni cosmiche dannose per l'organismo umano in quanto danneggiano le cellule stimolando una produzione maggiore di radicali liberi, ma soprattutto, alterano le macromolecole di DNA ed RNA causando danni somatici e genetici;
- l'ossigeno atomico, ovvero ossigeno sottoforma di singoli atomi (monossigeno, presente in quantità significative nell'atmosfera al di sopra dei cento chilometri di altezza), altamente reattivo ed in grado di sviluppare processi ossidativi; pertanto la copertura esterna delle strutture gonfiabili deve essere altamente resistente ai processi di corrosione;
- le violente escursioni termiche causate dalla presenza o dall'assenza del Sole (da +200°C al Sole a -150°C all'ombra) impongono la necessità di una protezione termica;
- l'impatto con micrometeoriti ad elevate velocità; pertanto la copertura esterna delle strutture gonfiabili deve essere altamente resistente agli urti violenti.

Fig. 14 - Inflatable shell structure possible sequence

Multi-Layer Inflatable Shell LAY-UP

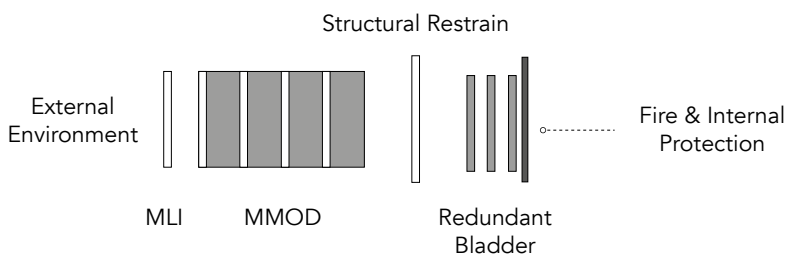
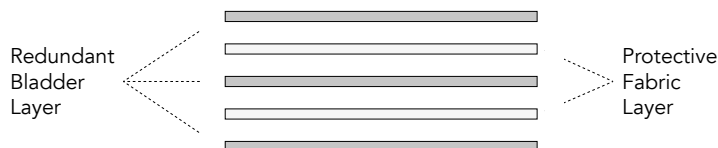


Fig. 15 - Tessuto Kevlar



Fig. 16 - Bladder multy - Layer



*Struttura gonfiabile
multi-layer*

Le strutture gonfiabili, per garantire le esigenze di protezione dai diversi agenti esterni aggressivi, è formata da un complesso di strati funzionali di materiale polimerico, *Multi-Layer Inflatable Shell*, composti in genere da:

- barriera di perforazione, *Internal Scuff Barrier*, strato in kevlar, materiale ignifugo che limita le lesioni accidentali della camera d'aria;
- camera d'aria, *Air Containment Bladder*, strato costituito da film polimerici (coestrusione di PE-EVOH-PA) e strati di kevlar interposti in modo da creare una schermatura composita per impedire che si propaghino perdite d'aria;
- struttura contenitiva, *Structural Restraint*, strato composto da nastri in fibra *PBO Zylon* distanziati a croce e interlacciati ad una struttura di base tessile ad alta resistenza, che contribuisce all'assorbimento dell'energia d'urto dovuta all'impatto con micro meteoriti; in fase di gonfiaggio l'allungamento a rottura è limitato;
- scudo di protezione da urti MMOD, *Micro-Meteoroids & Orbital Debris*, strato costituito da paracolpi, *bumper*, in fibra di ceramica con l'alternanza di schiume polimeriche ultraleggere;
- scudo di protezione termica MLI, *Multi-Layer Insulation*, strato costituito da 10-20 strati di materiale polimerico PTFE e strati di fibra di vetro per proteggere la struttura dall'ossigeno atomico.

**Strutture gonfiabili
nel settore spaziale
abitabili e non abitabili**
[1.3.2]

L'antenna satellitare, progetto della GATR Technologies (in fase di sviluppo definitivo), è un sistema di comunicazione satellitare gonfiabile (con rivestimento in PBO per la protezione dall'ossigeno atomico e dai raggi UV) utile per l'implementazione di progetti militari e civili, per applicazioni remote ad elevata larghezza di banda e per scenari di emergenza per la sicurezza pubblica.

*Antenna satellitare:
2.4 Antenna System*

2.4 *Antenna System* ha forma sferica e permette un dispiegamento complessivo fino a 2,4 metri e consente la portabilità di un'antenna da 1 metro (l'antenna da 4,6 metri è in fase di sviluppo). Questo sistema combina l'elevata potenza di trasmissione in rapporto ad un peso ridotto dovuta all'utilizzo di una struttura gonfiabile.¹

*Capsule di rientro
nell'atmosfera terrestre:
HIAD*

La tecnologia gonfiabile è stata recentemente impiegata anche per la progettazione di sistemi per il rientro planetario, fase in cui il forte riscaldamento per attrito con atmosfere più o meno rarefatte, può causare un surriscaldamento e conseguente danneggiamento delle strutture interne inadatte all'elevato calore trasmesso. Il sistema HIAD, *Hypersonic Inflatable Aerodynamics Decelerator*, della NASA ha la forma di un grande cono gonfiabile montato su uno *stacking system* rigido. Il sistema HIAD consentirà alla NASA di essere utilizzato anche per future missioni planetarie, perché potrebbe consentire al sistema di trasporto di avere un maggior carico utile, *payload*. La capsula HIAD sarebbe

Fig. 17 - Structural restraint with basic restraint and cross ribbons

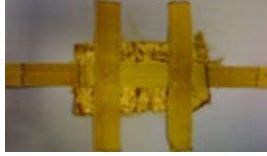


Fig. 18 - Structure MMOD



Fig. 19 - NASA TransHub shell structure

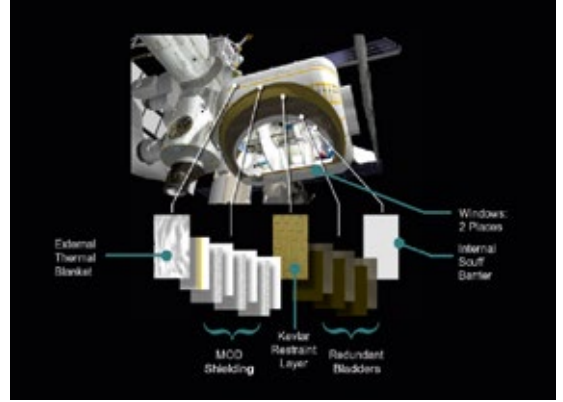


Fig. 20 - 2.4 Antenna System gonfiabile con sistema di comunicazione satellitare - GATR Technologies



Fig. 21 - Il sistema HIAD: Hypersonic Inflatable Aerodynamics Decelerator



Fig. 22 - Sistema prototipale di HIAD: Hypersonic Inflatable Aerodynamics Decelerator



Fig. 23 - IRVE - 3 HIAD TPS artist's concepts composite - Credit: NASA/AMA

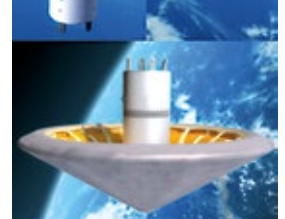


Fig. 24, 25 - Funzionamento del sistema HIAD e tests termici

trasportata in configurazione non gonfiata, contenuto in contenitore apposito, per poi gonfiarsi con gas inerte poco prima della discesa del mezzo spaziale attraverso l'atmosfera del pianeta in esplorazione. Sono allo studio diverse varianti di modello e di materiali. La struttura gonfiabile sarà costituita da un tessuto flessibile fortemente resistente in modo che possa mantenere la sua forma e resistere alle sollecitazioni di attrito attraverso una densa atmosfera fino ad una velocità di 25.000 miglia all'ora (circa 42.300 chilometri all'ora).

L'attuale design di HIAD nasce da una partnership con una società privata, *HDT global*. Si tratta di una serie di anelli gonfiati in kevlar intrecciato ad alte prestazioni, anelli che sono poi impilati insieme ed ognuno rivestito, all'interno, con silicone. Ogni anello ha una forma toroidale. Il kevlar conferisce alla geometria toroidale rigidità e resistenza, mentre il rivestimento in silicone mantiene il gas compresso interno evitando perdite di pressione. Cinghie di kevlar mantengono gli anelli attaccati l'uno all'altro e al carico utile. Il team di progettisti della NASA sta esaminando tutti i tipi di materiali che possono essere combinati insieme in strati e pervenire alla soluzione ottimizzata della stratificazione. Generalmente, il sistema di protezione termica è costituito da uno strato esterno che può sopportare l'elevato calore; strati intermedi che isolano e mantengono la forma della struttura gonfiabile, e un ultimo strato di difesa, una barriera al gas, che evita che i gas caldi raggiungano la struttura gonfiabile. Una combinazione di materiali con nomi come *Nextel*, *Pyrogel* e *Kapton* vengono al momento utilizzati su un prototipo HIAD denominato *Inflatable Reentry Vehicle*. L'obiettivo è quello di consentire allo scudo termico gonfiabile di resistere ad una temperatura fino a 2.300 gradi Fahrenheit (1.260 gradi Celsius).

Vela solare: progetto LightSail

I principi fondamentali della propulsione a vela solare erano noti fin dall'epoca di Giulio Verne, solo recentemente la tecnologia dei materiali e di costruzione dei veicoli spaziali si è sviluppata abbastanza da rendere la vela solare un metodo di propulsione praticabile. La vela, agganciata ad una astronave e lanciata nello spazio, sufficientemente grande e leggera ed ad un'altitudine sufficiente a far sì che non ci sia alcun effetto frenante dovuto all'atmosfera, con la leggera ma costante accelerazione generata dalla pressione della luce del Sole, può ottenere quelle altissime velocità di cui qualsiasi astronave ha bisogno per navigare nel Sistema Solare. La sfida risiede nella loro applicazione pratica. La vela, sufficientemente grande, robusta e leggerissima, una volta sistemata ben piegata dentro l'astronave insieme a un affidabile meccanismo di dispiegamento, dovrà essere messa in grado di controllare l'orientamento e l'assetto del veicolo nello spazio in modo che la vela possa essere usata per mandare l'astronave esattamente nel punto previsto.

Il progetto *LightSail*, concepito circa cinque anni fa da Louis Friedman,

Presidente uscente e co-fondatore della *Planetary Society*, e da Tomas Svitek, della società *Stellar Exploration*, aveva ed ha l'obiettivo di convalidare la tecnologia della vela solare e di dimostrare il suo basso costo.

Gli obiettivi del progetto individuati sono:

- dispiegare e stabilizzare con successo una vela solare in orbita terrestre;
- dimostrare di saper controllare l'assetto del veicolo spaziale con sufficiente accuratezza;
- usare la vela solare per modificarne intenzionalmente l'orbita.

Per poter rappresentare un passo significativo verso future missioni, la vela deve essere abbastanza grande da fornire l'accelerazione richiesta, ma il sistema in generale deve essere piccolo e semplice per poter essere abbordabile economicamente.

LightSail sarà lanciato nell'aprile del 2016 come carico utile secondario del lanciatore *Falcon Heavy*, lanciatore a razzo progettato e costruito dalla *Space Exploration Technologies, SpaceX*. L'esperimento prevede che *LightSail*, con la vela stivata all'interno, una volta raggiunta l'orbita terrestre si distacca dal vettore e verrà seguito e controllato lungo

Fig. 26 - Rappresentazione artistica della vela solare *LightSail* Credit *Planetary Society*

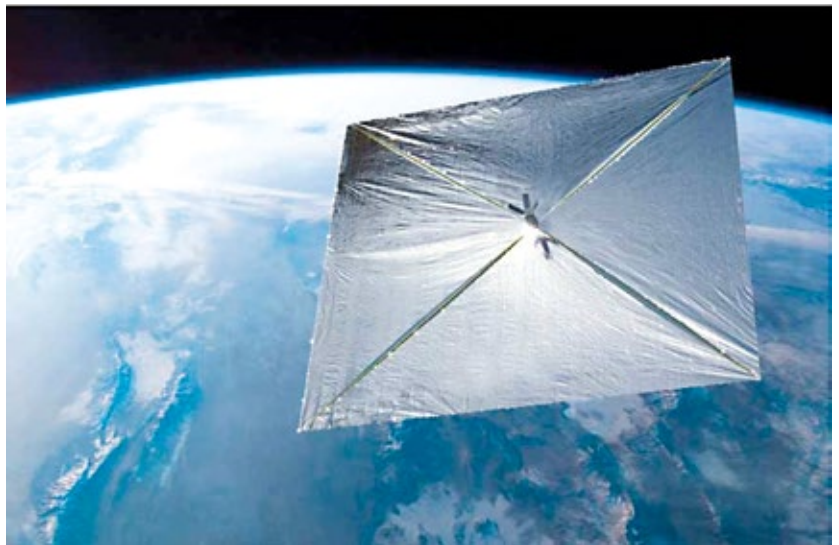


Fig. 27 - Trasporto con Prox - 1 della vela solare *LightSail* - Credit *Planetary Society*



la sua traiettoria per alcune settimane, allo scopo di determinarne accuratamente l'orbita e verificare che tutte le apparecchiature a bordo lavorino correttamente. Dopo circa quattro settimane dal lancio verrà dato il comando di dispiegare la vela solare. Nel momento in cui si avrà la certezza che il veicolo sarà in collegamento con una stazione terrestre di rilevamento, in modo da controllare il dispiegamento in tempo reale, la vela, rapidamente in circa due minuti, sarà completamente estesa. A bordo, i sistemi che controllano i bracci radiali estensibili, *torque rods*, allineeranno automaticamente *LightSail* al campo magnetico terrestre e stabilizzeranno l'assetto del veicolo per la fase successiva dedicata alla modificazione dell'orbita. Durante questa fase, il veicolo verrà riorientato due volte per ogni orbita, allo scopo di ottenere il massimo vantaggio dalla luce del Sole che colpisce la vela. L'intera missione è pianificata per durare circa tre mesi, ma se il veicolo rimanesse efficiente è previsto che la missione possa essere estesa per un periodo più lungo allo scopo di permettere ulteriori caratterizzazioni della prestazione dell'intero sistema.

In via sperimentale l'esperimento sarà preceduto dal lancio in un'altra missione Prox-1, del *Georgia Institute of Technology*, che avrà il compito di dimostrare nuove tecnologie per operazioni di prossimità tra due veicoli nello spazio. Il nuovo piano della missione richiede che *LightSail*, per raggiungere l'altitudine necessaria, circa 720 km, in cui sia presente la pressione della luce solare necessaria per il suo movimento, sia trasportato da Prox-1 e sganciato una volta raggiunta l'orbita. Per varie settimane prima del dispiegamento della vela, Prox-1 prenderà immagini e telerilevamenti di *LightSail* da una distanza di sicurezza, mentre porterà avanti i suoi esperimenti di operazioni in prossimità. Quando tali esperimenti saranno completati, Prox-1 osserverà *LightSail* mentre dispiega la vela e conduce le sue prime manovre di assetto. Le immagini restituite da Prox-1 saranno estremamente utili per comprendere la dinamica del dispiegamento della vela, poiché si potrà osservare la sequenza degli eventi in tempo reale oltre a ricevere i dati via radio.

<https://iltredicesimocavaliere.wordpress.com/tag/lightsail/>

*Decelleratore
supersonico: IDSD*

Una delle tecnologie in corso di sviluppo da parte dello *Space Technology Mission Directorate* della NASA per la creazione delle capacità necessarie allo svolgimento delle future missioni su asteroidi, su Marte e per l'esplorazione di pianeti fuori dal sistema solare, è il progetto LDSD, *Low-Density Supersonic Decelerator*.

Una delle fasi più critiche delle missioni spaziali è, senza dubbio, l'entrata delle navicelle spaziali nell'atmosfera che hanno la necessità, allo stesso tempo, di rallentare la loro velocità supersonica e di dissipare l'enorme energia, che si crea per l'attrito, sotto forma di calore. La NASA e le altre agenzie spaziali sono continuamente alla ricerca di nuove tecnologie e di innovazioni, in forma di miglioramenti di quelle attuali, per rendere meno

problematici i vincoli imposti da questa fase. In quest'ottica l'agenzia americana si appresta a testare un nuovo tipo di "deceleratore" per il rallentamento atmosferico.

Il progetto LDSD, *Low-Density Supersonic Decelerator*, equipaggerà un veicolo a forma di disco che su di un pallone stratosferico partirà dalla base della Marina Americana *Pacific Missile Range Facility* di *Kauai* nella *Hawaii*. L'esperimento consisterà che il veicolo, una volta raggiunti i 37 Km di quota, sarà sganciato dal pallone atmosferico ed attraverso l'accensione di un razzo a propellente solido raggiungerà la velocità necessaria al test. Questa missione dimostrativa testerà delle tecnologie innovative che permetteranno a grossi carichi di atterrare in maniera sicura su Marte o altri corpi celesti dotati di atmosfera, diversa dalla Terra. Riguardo Marte, questa nuova tecnologia permetterà anche di accedere a nuovi siti di atterraggio sul pianeta, in particolare quelli situati a elevate altitudini che fino a ora erano inaccessibili per i limiti delle tecnologie utilizzate. Attualmente la tecnologia utilizzata per il rallentamento durante gli atterraggi sul pianeta rosso, è il *Rover Curiosity* del 2012, che si basa su paracaduti derivati dal programma *Viking* che portò due lander su Marte nel 1976. La NASA pensa di utilizzare il freno fornito dall'attrito atmosferico per limitare l'uso dei motori riducendo anche il peso del carburante.

Attualmente sono tre i dispositivi in sviluppo. I primi due sono dei rallentatori aerodinamici supersonici gonfiabili, *Supersonic Inflatable Aerodynamic Decelerators*. Si tratta di contenitori simili a palloni molto grandi e resistenti che si gonfiano attorno al veicolo di rientro e abbassano la velocità da più di Mach 3,5 fino a Mach 2 o meno. Questi rallentatori sono in corso di sviluppo in tre diametri diversi:

- 6 metri chiamato SIAD-R gonfiato con gas caldi e destinato a missioni robotiche;
- 8 metri chiamato SIAD-E gonfiato con aria e destinato a missioni umane;
- 33,5 metri che dovrebbe rallentare ulteriormente il veicolo da Mach 2 fino a velocità subsoniche.

Tutti i sistemi sono a tutt'oggi i più grandi del loro tipo che abbiano mai volato a velocità supersoniche.

La combinazione di questi elementi porterà dei significativi miglioramenti di prestazioni in diversi ambiti in termini di:

- riduzione del peso, si passerà dal peso massimo attuale di circa 2 o 3 tonnellate a 1,5 tonnellate in base a quale diametro avrà il deceleratore gonfiabile (6 o 8 metri);
- raggiungimento di una maggiore altitudine di arrivo, la possibile altitudine del sito di atterraggio verrà incrementata di circa 2-3 Km consentendo di esplorare zone del pianeta rosso attualmente non raggiungibili;
- maggiore precisione del punto di atterraggio, il margine di errore previsto dovrebbe passare da 10 a 3 Km con un incremento notevole sulla sicurezza e l'affidabilità delle future missioni sia robotiche che umane.

Fig. 28 - Lavoratori della NASA del Jet Propulsion Laboratory dell'agenzia, in preparazione al test del 28 Giugno 2014
CreditNASA / JPL



Fig. 29 - I tre dispositivi che compongono il sistema LDSD
Credit NASA

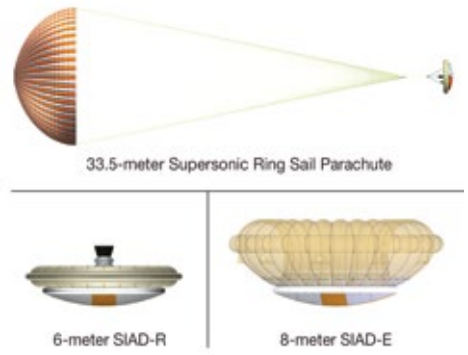
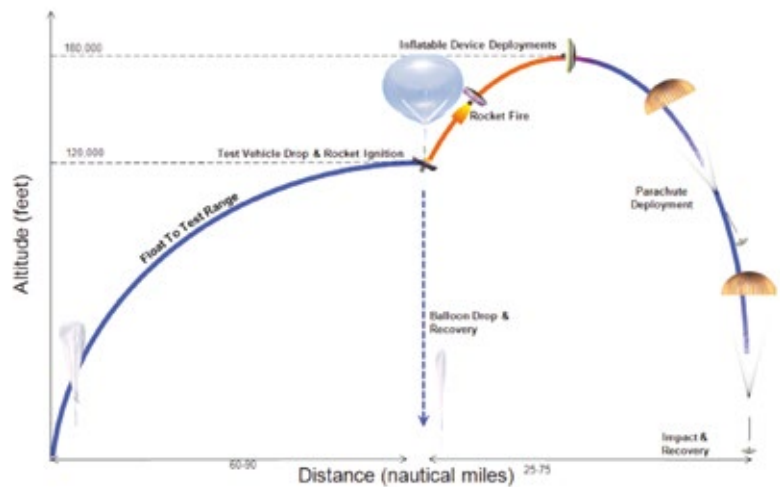


Fig. 30 - Il prototipo di paracadute in scala 1/3 durante i test in galleria del vento.
Credit NASA



Fig. 31 - Profilo di volo previsto
Credit NASA



Il team svolgerà tra il 2014 e il 2015 diversi test dei sistemi a grandezza e velocità reali dopo aver effettuato, a partire dal 2012, numerose simulazioni e verifiche in scala presso il *China Lake Naval Air Weapons Station* della marina americana. Se tutto dovesse procedere secondo i programmi, la tecnologia potrebbe essere utilizzata in missioni su Marte ad iniziare da quella prevista in partenza nel 2018.

<http://www.astronautinews.it/2014/04/11/la-nasa-si-appresta-a-testare-una-nuova-tecnologia-per-il-rallentamento-atmosferico/>

Il caso TransHub

Le strutture gonfiabili, caratterizzate in generale da involucri leggeri, espandibili e flessibili, sono state utilizzate nella progettazione di supporto e di complemento di habitat convenzionali, caratterizzati da involucri rigidi, per una varietà di funzioni, specialmente per la progettazione di spazi confinati in ambienti estremi. Le possibili applicazioni hanno riguardato spazi di lavoro controllati, spazi per emergenze e operazioni di soccorso ed attività avanzate d'esplorazione oppure per semplificare il trasporto e l'installazione di volumi abitativi. Le strutture gonfiabili, per la realizzazione di elementi abitabili nello spazio, sono state studiate e discusse per più di cinquanta anni, ma l'interesse recente per questi oggetti è cresciuto dopo la proposta del modulo *TransHab* da parte della NASA nel 1997. Dopo le prime sperimentazioni di strumenti pneumatici utilizzati come abitazioni spaziali, la NASA realizzò un'unità di alloggiamento gonfiabile conosciuta come *TransHab* (il nome del progetto è una forma contratta di *Transit Habitat*). Originariamente era concepita come il luogo abitativo per un gruppo di astronauti nei viaggi tra la Terra e Marte. Poiché la durata prevista della loro permanenza nello spazio in condizioni estreme non sarebbe stata meno di 12 mesi era necessario realizzare strutture con un'area importante, confortevole e relativamente spaziosa dal punto di vista vitale.

La NASA, dopo il ridimensionamento degli investimenti statali verso l'esplorazione di Marte, assegnò, sul finire degli anni 90, al progetto *TransHab* il compito di verificare la progettazione di moduli spaziali ad integrazione della Stazione Spaziale Internazionale (ISS) per la verifica delle

Fig. 32 - Test TransHub al Johnson Space Center in Texas

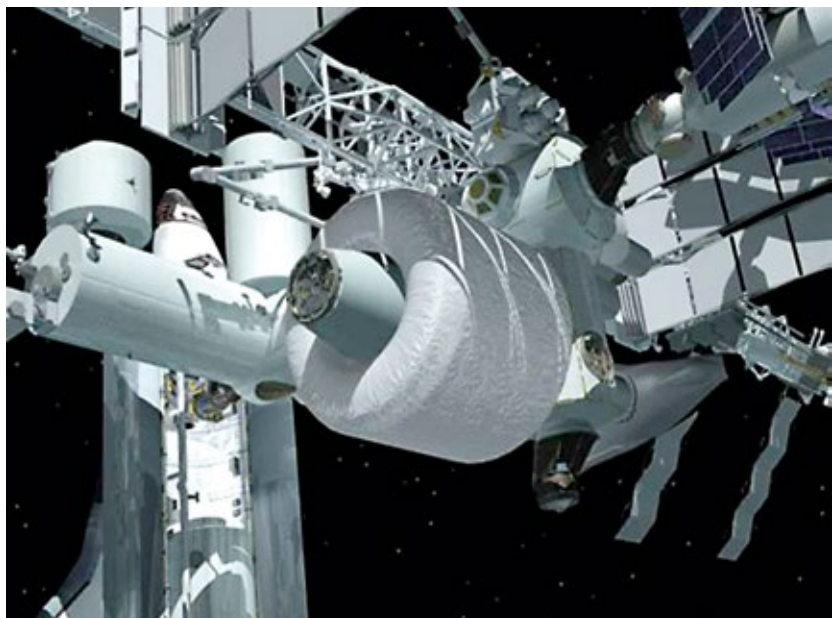
Fig. 33,34 - Disposizione interna modulo TransHub Credit Space Architect.org



prestazioni che poteva offrire.

Un prototipo a grandezza naturale fu costruito ed installato alla *Johnson Space Center* in Texas nel novembre del 1998. Il prototipo fu testato in una camera che simulava le condizioni spaziali. La prova consisteva nel portare il *TransHab* da uno stato compatto, nel quale si sarebbe trovato al momento del lancio, allo stato di completo gonfiaggio, con un diametro di m. 8,2 m., nello spazio connesso alla Stazione Spaziale Internazionale. Fino a sei astronauti avrebbero potuto vivere, lavorare e riposarsi nel modulo gonfiabile dell' ISS. I servizi a bordo erano comprensivi di aree per la notte, per il relax, per la preparazione e la conservazione degli alimenti, per il pranzo per dodici persone, compresi gli astronauti che avrebbero dato il cambio, una palestra ed una dispensa. La NASA effettuò delle ricerche per determinare gli effetti a lungo termine dell'abitare in un area confinata. Per questo motivo fu studiato un design che trasmettesse una maggiore sensazione di spazialità in contrasto con gli effetti dannosi causati dalla prolungata permanenza in ambienti ristretti, come nelle precedenti stazioni spaziali. La disposizione dell'area abitabile permetteva delle modifiche dei servizi di bordo per meglio adattarli alle diverse esigenze. Un alto livello di adattabilità, significava una maggiore flessibilità nell'organizzare la vita operativa nel *TransHab* stesso: ogni componente poteva essere facilmente rimosso, spostato e riposizionato secondo le necessità e le esigenze specifiche. I progettisti del *TransHab* guidati da Kriss J. Kennedy, furono accorti nel costruire un'unità abbastanza leggera da essere lanciata tramite strumenti esistenti all'epoca, rendendo il progetto realistico; se fosse stato costruito con materiali rigidi convenzionali, infatti, il costo del solo lancio della struttura nello spazio sarebbe stato enorme, in quanto sarebbe stato

Fig. 35 - Modulo TransHub ancorato alla Stazione Spaziale Internazionale



necessario inventare un nuovo tipo di vettore

Il *TransHab* sfruttò la tecnologia gonfiabile per ottenere un volume triplo rispetto ad una unità analoga costruita con materiali rigidi. I problemi fronteggiati da Kriss J. Kennedy ed il suo team nel progetto del *TransHab* sono simili a quelli incontrati dagli inventori delle tute spaziali dell' Apollo. Come per queste ultime, l'aspettativa del *TransHab* era salvaguardare i suoi "abitanti" dagli estremi rischi dello spazio.

La squadra costruì il guscio esterno con oltre venti strati di materiali che lo rendevano spesso solo 30 cm ma comunque in grado di resistere ai raggi cosmici, alle radiazioni solari magnetiche ed ai micro meteoriti che lo avrebbero potuto colpire a velocità molto elevate. Strati successivi di *Nextel*, un materiale comunemente usato come isolante in campo automobilistico, erano distanziati da materiale schiumogeno: questa combinazione serviva a proteggere dai colpi delle micro particelle che si frantumavano al momento dell'impatto. La forma spaziale del modulo veniva mantenuta mediante uno strato rigido di Kevlar ondulato posto all'interno del guscio protettivo. Tre camere d'aria di *Combitherm*, un materiale gommoso comunemente usato nell'imballaggio dei cibi, mantenevano la pressione interna del *TransHab*. La parte interna del modulo era protetta da una parete a prova di fuoco costituita dal *Nomex*, un materiale simile a quello delle tute degli astronauti. Un'ulteriore protezione era data dal guscio gonfiabile che isolava il modulo dalle estreme temperature dello spazio.

La struttura del *TransHab* era una combinazione ideale di tecnologie rigide e gonfiabili. I due metodi erano usati per creare una unità leggera ed estremamente mobile nonché resistente. Il modulo, sgonfiato, era abbastanza compatto per essere trasportato oltre l'atmosfera terrestre all'interno del vano di carico di uno Space Shuttle esistente. Una volta a destinazione il *TransHab* poteva essere espulso dallo Shuttle, gonfiato, dispiegato nello spazio ed utilizzato dall'equipaggio.

Il modulo era formato da due strutture diverse: un cuore rigido in materiale composito e una struttura esterna gonfiabile formata da molti strati di materiali diversi e dalle diverse prestazioni come *Kevlar*, *Vectran*, *Mylar* e *Nextel*.

La ricerca sviluppata intorno al progetto *TransHab* ha permesso a progettisti, ingegneri ed altri tecnici di sperimentare esempi pratici di nuovi tipi di strutture e materiali, esempi che sono stati presi in considerazione per strutture e progetti futuri. La NASA, sviluppando un notevole *know-how* sulle applicazioni delle strutture pneumatiche in campo spaziale, ha aperto un fronte di ricerche nuovo e molto promettente a cui si stanno affacciando anche altre Agenzie Spaziali. Sono stati eseguiti importanti test che hanno dimostrato come una struttura pneumatica sia non solo più leggera e poco ingombrante in fase di lancio, ma abbia una volta gonfiata nello spazio anche delle "performance" superiori rispetto a un modulo tradizionale in leghe metalliche anche se leggere o super leggere, come:

- drastica riduzione della massa al lancio;
- elevata flessibilità dell'architettura interna avendo un volume maggiore a disposizione;
- migliore comfort acustico per l'equipaggio;
- margini di sicurezza più elevati;
- carichi ridotti durante le fasi di atterraggio per future missioni su Luna o Marte;
- riduzione di tempi e costi di fabbricazione per la prossima generazione di moduli abitativi.

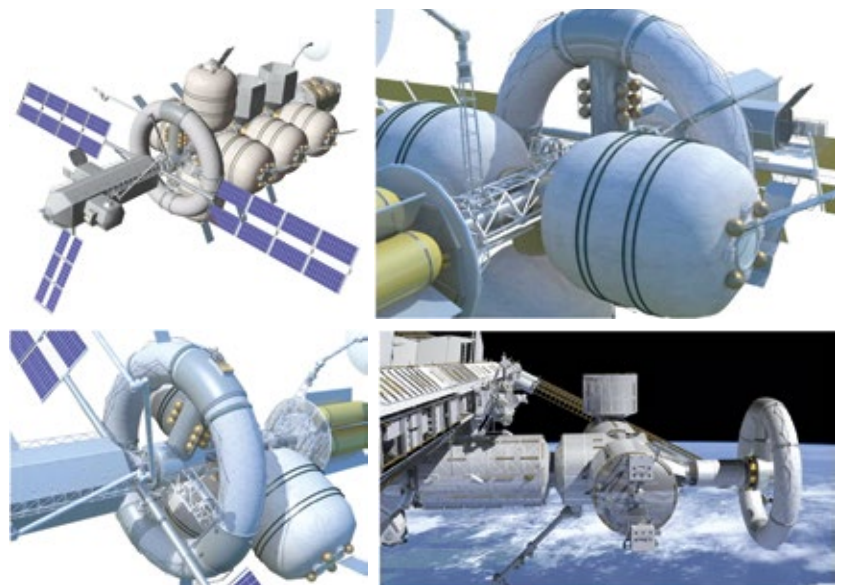
Queste peculiarità stanno portando a una larga applicabilità nello Spazio di tale tecnologia e gli utilizzi attualmente previsti sia da NASA che da ESA, e dalle altre Agenzie Spaziali, comprendono: un modulo abitativo da agganciarsi alla Stazione Spaziale Internazionale (ISS) destinato anche a test di affidabilità in previsione di future missioni abitative ed ad un aumento della capacità di accoglienza e di comfort ambientale, un modulo di trasferimento e atterraggio per le missioni su Luna e Marte.

Stazione spaziale
gonfiabile: Nautilus-X
MMSEV

Il Nautilus-X, *Non-Atmospheric Universal Transport Intended for Lengthy United States Exploration*, è il progetto per la realizzazione di un veicolo multi-missione per l'esplorazione spaziale denominato MMSEV, *Multi-Mission Space Exploration Vehicle*, concepito dalla *Technology Applications Assessment Team* della NASA. Il veicolo spaziale è stato progettato per missioni di lunga durata, da uno a ventiquattro mesi, per viaggiare fuori atmosfera, in uno spazio cislunare, con un equipaggio di sei persone. Il costo stimato per la realizzazione del veicolo proposto era stato, relativamente economico per gli standard dei sistemi spaziali, di circa 3,7 miliardi di dollari (USD). Inoltre, la sua realizzazione avrebbe richiesto solo 64 mesi di lavoro.

Fig. 36 - Nautilus-X NASA's
space exploration vehicle
concept

Fig. 37,38,39 - Nautilus - X
NASA's space exploration
vehicle concept



Nel 2011 il progetto si è evoluto nel BA-330, un modulo espandibile basato sulla precedente tecnologia *TransHab* della NASA. Il suo sviluppo fu annullato, ma poi ripreso dalla *Bigelow Aerospace* e modificato.

Per ridurre gli effetti della microgravità sulla salute umana, il veicolo sarà equipaggiato con una centrifuga.

Alcune delle caratteristiche che rendono tale stazione spaziale gonfiabile una vera soluzione alle future missioni di esplorazione spaziale sono:

- lunga durata di permanenza nello spazio per l'equipaggio di 6 astronauti per periodi da 1 a 24 mesi;
- fase di esplorazione CIS-lunare come potenziale fase iniziale di operazioni più lontane;
- sistema centrifugo integrato per ridurre gli effetti della microgravità sulla salute umana;
- sistemi di supporto alla vita degli astronauti e grande volume a disposizione;
- nuovo concetto di spinta distribuita sotto carico *Truss & Stringer*;
- capacità di utilizzo e adattamento a diverse tipologie di specifiche missioni;
- uso di moduli gonfiabili ed assemblabili e strutture distribuite;
- dotazione di un sistema di discesa e ritorno planetario per l'esplorazione spaziale;
- uso per un sistema di veicolo commerciale Orion per il ritorno dell'equipaggio sulla Terra.

<https://it.wikipedia.org/wiki/Nautilus-X>

Bigelow Modulo BA 330

Bigelow Aerospace è una impresa start-up di tecnologie spaziali fondata nel 1998 da Robert Bigelow, proprietario di una grande catena di alberghi, investendo i guadagni ricavati da tale attività. Con oltre quindici anni di esperienza di ricerca e sviluppo nella fornitura di servizi e opzioni convenienti per il volo spaziale destinato ad agenzie spaziali nazionali e clienti aziendali, *Bigelow Aerospace*, è stata la prima impresa privata per la realizzazione di moduli per stazioni spaziali espandibili. Nel 2006 e nel 2007, l'azienda ha lanciato i prototipi orbitanti *Genesis I* e *II* ed al momento stanno lavorando su veicoli spaziali di nuova generazione. Il modulo BA 330 brevettato dalla *Bigelow* può essere interfacciato alla ISS², ma può funzionare anche come una stazione spaziale indipendente. Più moduli BA 300 possono essere collegati fra loro in maniera seriale per creare uno spazio abitabile ancora più grande ed in grado di orbitare a diverse distanze da terra.

Fig. 49 - Alcune ipotesi di fornitura e costi

Astronaut Flight Cost	Lease Block Cost	Naming Rights
<i>Clients can select a live and work visit to the Bigelow Alpha Station that can last as long 60 days or as few as 10 days for a single, per seat rate. This per seat rate will be either \$26,25 or \$36,75 million depending on the transportation provider selected by the client.</i>	<i>\$ 25 million for exclusive use of and control over 110 cubic meters of volume for a two month period.</i>	<i>Full Alpha Station yearly fr \$25 million; Half of the Alpha Station yearly for \$12.5 milion.</i>

Le sue caratteristiche principali consistono in una:

- abitabilità fino a sei persone e con un volume di 330m³;
- radioprotezione per mezzo di una schermatura equivalente o migliore rispetto alla Stazione Spaziale Internazionale che riduce sostanzialmente il pericoloso impatto delle radiazioni secondarie;
- protezione balistica che protegge il modulo con un sistema di protezione da micrometeoriti e detriti orbitali; tests di impatto ad alta velocità hanno dimostrato che questa struttura schermante fornisce una protezione superiore a quella del tradizionale design in alluminio;
- propulsione che utilizza due sistemi ubicati sulla parte anteriore e posteriore del modulo; il sistema di propulsione a poppa può essere rifornito di carburante e riutilizzato;
- alimentazione elettrica che prevede un sistema indipendente costituito da batterie e celle fotovoltaiche;
- avionica il cui sistema per ogni modulo è indipendente per supportare la navigazione, ancoraggio e altre attività di manovra;
- abitabilità garantita da un sistema indipendente di comfort ambiente e di supporto vitale per gli astronauti compresi i servizi igienici;
- dotazione di aperture trasparenti, quattro grandi finestre, che rivestite con una pellicola per protezione UV, forniranno un'opportunità senza precedenti per l'osservazione celeste e terrestre.

Fig. 40 - Genesis II, Bigelow Aerospace. Dal suo lancio, Genesis II ha fornito una grande quantità di dati e immagini al centro di controllo missione di Bigelow Aerospace in North Las Vegas, Nevada.

Fig. 41, 42 - Modulo spaziale gonfiabile BA 330 della Bigelow Aerospace

Fig. 43 - Modulo spaziale gonfiabile BA 330 della Bigelow Aerospace: confronto con un modulo tradizionale in alluminio

Fig. 44 - Ipotesi di utilizzo di moduli BA 330 della Bigelow Aerospace: una stazione (Bigelow Alpha Station) composta da due BA 330 gonfiabili

Fig. 45 - Un modello in scala di un modulo abitabile della Bigelow Aerospace

Con l'arrivo di soluzioni gonfiabili per lo spazio di tipo commerciale, come quella proposta dalla Bigelow Aerospace, si sono aperte straordinarie opportunità di esplorazione e sperimentazione spaziale per numerosi paesi del mondo, grazie al costo contenuto della locazione di tali ambienti abitabili da personale opportunamente addestrato. Nazioni come Giappone, Canada, Brasile, Regno Unito, Paesi Bassi e Svezia potrebbero garantire il futuro dei loro programmi di volo umano spaziale e aumentare il numero di astronauti da dedicare alla sperimentazione. Paesi minori senza alcuna esperienza di volo spaziale umano come Singapore o Emirati Arabi potrebbero muovere i primi passi nello spazio in modo più rapido e conveniente. I benefici per le nazioni partecipanti sarebbero molteplici.

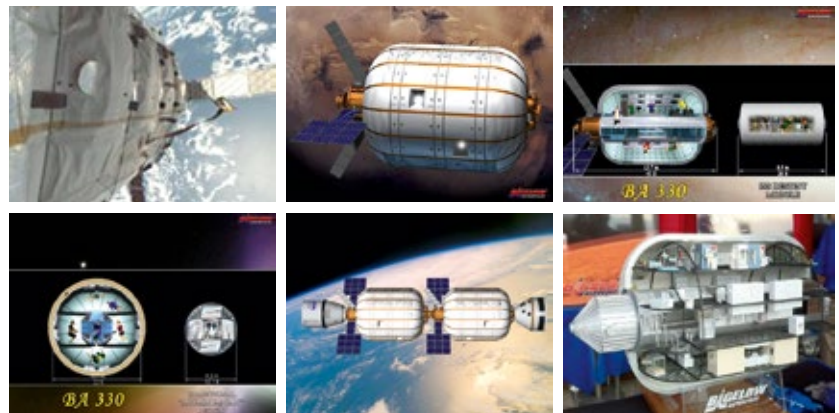


Fig. 46 - Modulo spaziale
espandibile Genesis II

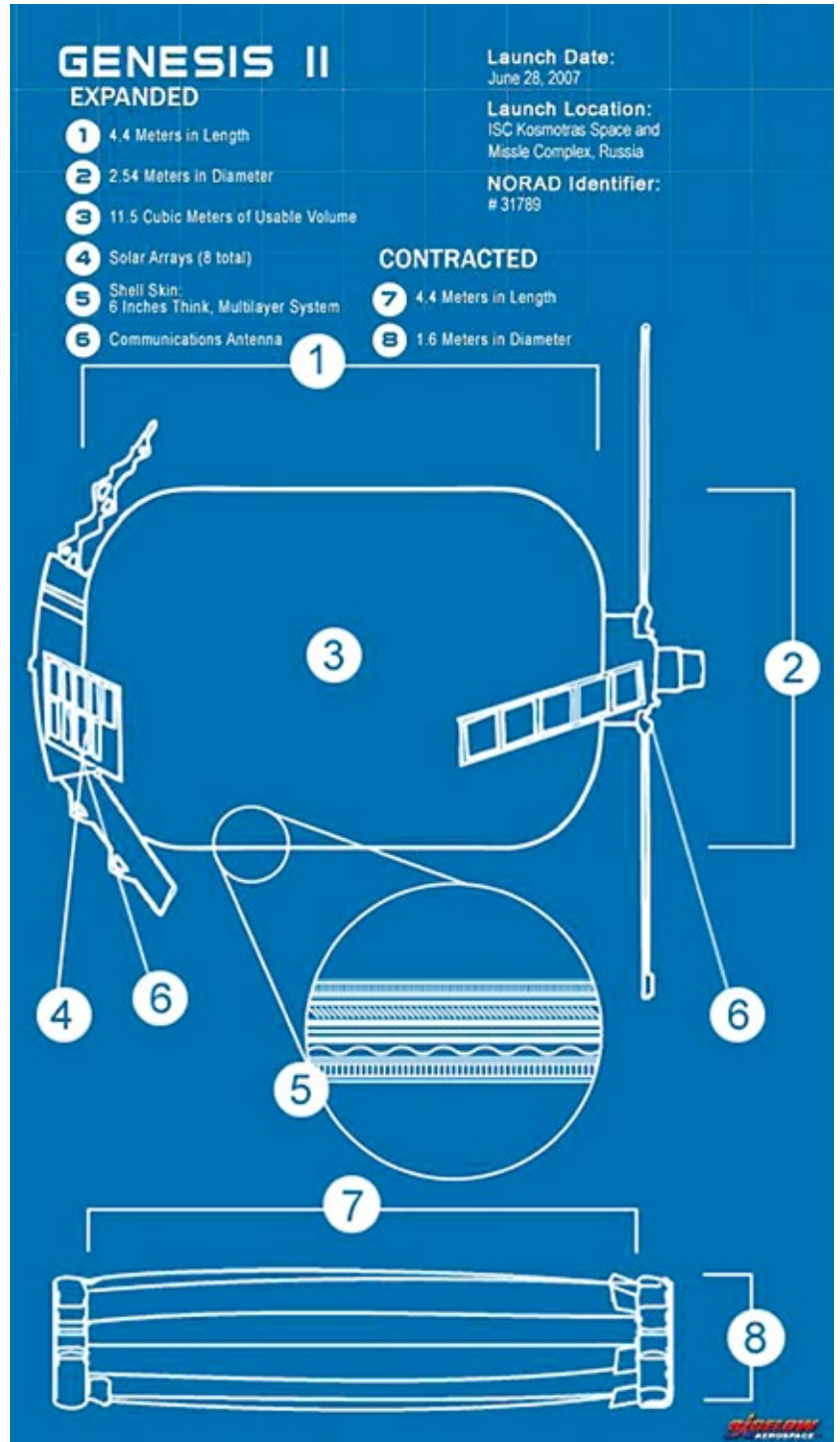


Fig. 47 - Dati e applicazioni di Genesis II

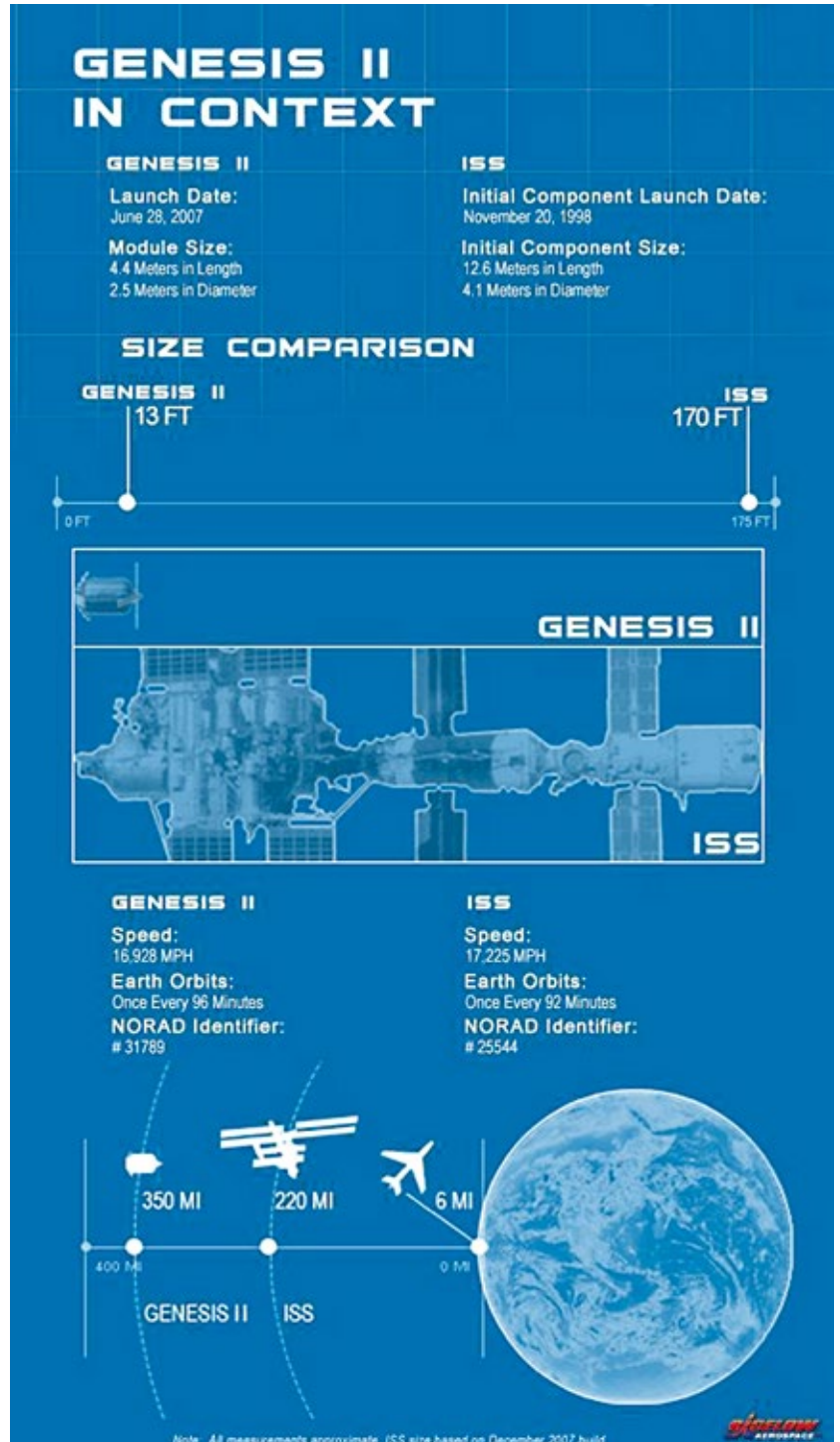
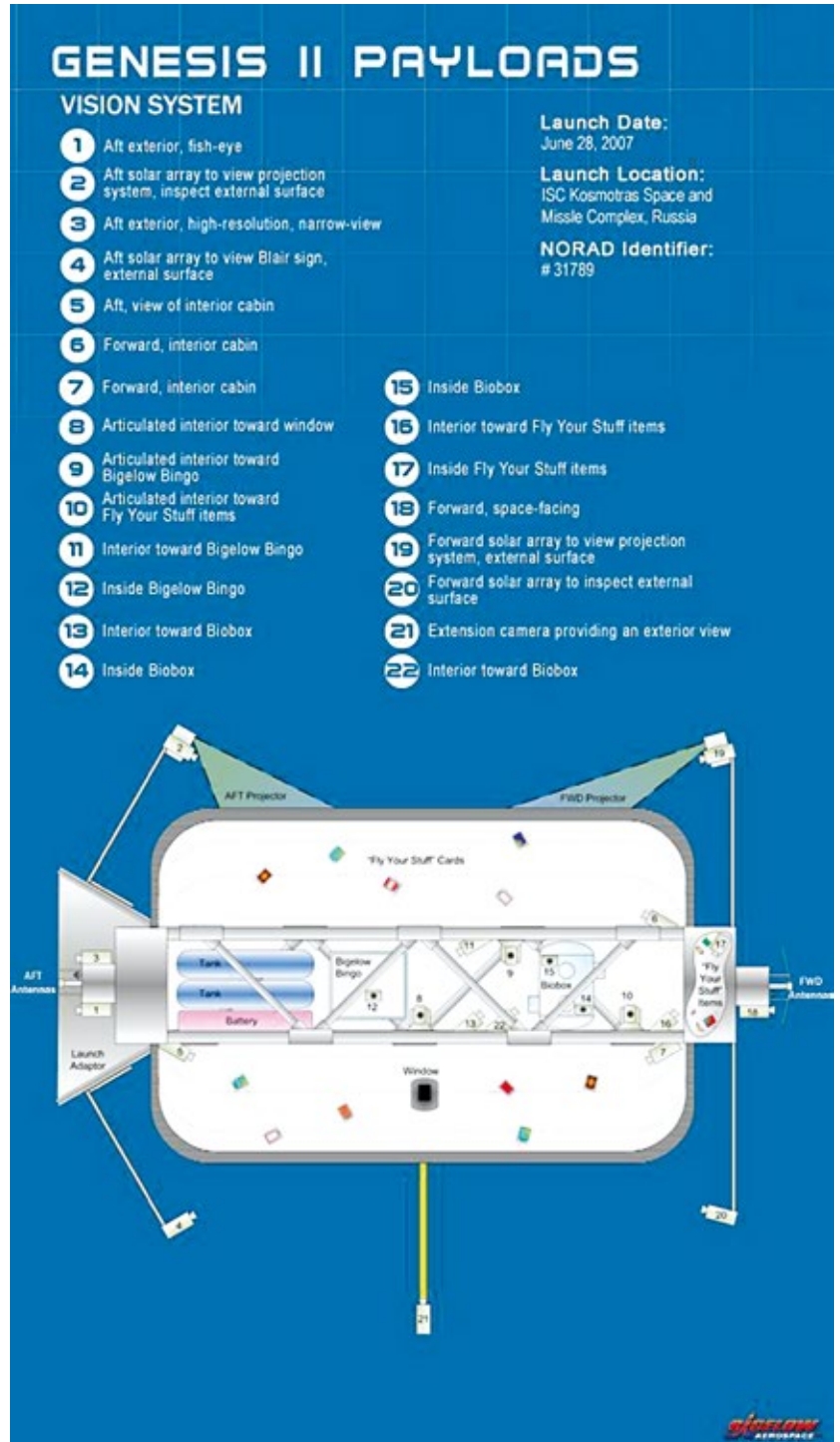


Fig. 48 - Sezione del modulo Genesis II e relative capacità di carico



Lo sviluppo di un team di astronauti in grado di condurre operazioni a bordo di una stazione spaziale può decisamente trasformare l'immagine, la credibilità e l'economia di una nazione. La creazione di posti di lavoro e di opportunità economiche redditizie legate alla sperimentazione in condizioni di microgravità, può stimolare la ricerca, lo sviluppo e la produzione nelle industrie manifatturiere dell'indotto e può anche svolgere una funzione attrattiva di capitale finanziario ed umano altamente qualificato di Università e Enti di ricerca. L'ambiente in microgravità rappresenta una nuova sfida per la ricerca e lo sviluppo commerciale di nuovi prodotti. Solo ora, con gli esperimenti effettuati nella ISS, si riescono a comprendere le potenzialità che l'ambiente in microgravità possa significare per le industrie farmaceutiche e biotech. Che sia lo sviluppo di farmaci, ricerca di materiali avanzati, o la generazione di nuove tecnologie agricole, i paesi e le aziende che sfrutteranno la sperimentazione in microgravità saranno i leader economici del futuro, senza escludere, naturalmente, il vantaggio competitivo dell'esplorazione dello spazio stesso.

Servizio di volo per astronauti:

Bigelow Aerospace, per i Paesi e le aziende che intendono far vivere e lavorare loro astronauti a bordo della prima stazione *Alpha*, offre la possibilità di trasporto e di soggiorno. In relazione al tipo di vettore scelto il costo potrà variare. Se utilizzano il razzo vettore *SpaceX Falcon 9* e la capsula *Dragon* il costo sarà di 26,25 milioni di dollari, se utilizzano in alternativa il razzo *Atlas V* e la capsula *CST-100* di *Boeing* il costo per ogni postazione sarà di 36,75 milioni dollari. A differenza dei brevi soggiorni di una settimana a bordo della ISS, pagato da singoli privati fino a 40 milioni di dollari, sarà possibile una permanenza di 10-60 giorni in orbita all'interno della stazione *Bigelow*. Durante questo periodo di permanenza agli astronauti verrà concesso l'accesso alle strutture di ricerca condivise della stazione *Alpha*. Saranno disponibili attrezzature tecnico scientifico come una centrifuga, dispositivi di misura e testing, microscopi, forni e sistemi di congelamento. Inoltre al contrario della ISS, dove gli astronauti dedicano la maggior parte del loro tempo ad effettuare operazioni di manutenzione e controllo della stazione, gli astronauti a bordo della stazione *Alpha* saranno in grado di concentrarsi esclusivamente sui loro esperimenti o attività, assicurando che le aziende possano avere un pieno ritorno del loro investimento da un programma di volo spaziale umano.

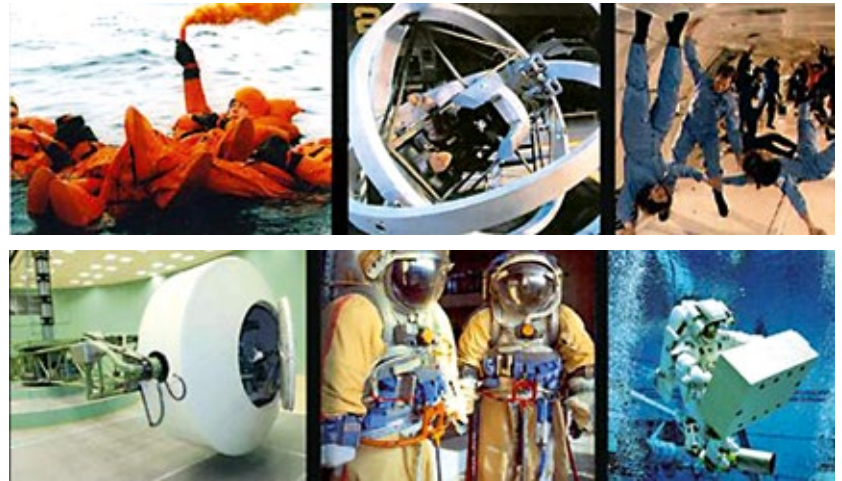
Servizio di locazione di moduli abitabili

Per i clienti che desiderano invece disporre l'esclusivo accesso e controllo, *Bigelow Aerospace* offre la possibilità di affittare un terzo di un habitat BA 330, circa 110 metri cubi, pari ad un intero modulo ISS, per un periodo di 60 giorni, per 25 milioni di dollari. La disponibilità di un così ampio volume a disposizione permetterà agli acquirenti dello spazio di utilizzare una parte significativa di una stazione spaziale per il proprio lavoro senza interruzioni. Inoltre, alla clientela della stazione *Alpha* sarà permesso

di subappaltare il proprio volume locato o rivendere i posti acquistati. Questa flessibilità fornirà ai clienti l'opportunità di ridurre le proprie spese o anche di averne un profitto.

Un'altra possibilità è offerta ai clienti che fossero interessati ad una maggiore visibilità che può presentare la stazione *Alpha*. Per 25 milioni di dollari, una società o una nazione può acquistare i diritti per l'intera stazione *Alpha* per un anno. In alternativa, i diritti per un anno per un solo modulo BA 330 potrà essere ottenuto per 12,5 milioni di dollari. L'opzione di esclusività annuale fornirà, all'azienda o ad una nazione, una visibilità mediatica senza precedenti ed un'attenzione continua da parte dei media mondiali.

Fig. 50, 51 - Alcune fasi del programma di addestramento della Bigelow Aerospace



Addestramento astronauti

Il servizio offerto dalla *Bigelow Aerospace* include anche l'addestramento per astronauti designati dagli acquirenti. La formazione prevede *screening* di qualificazione per la salute fisica e mentale, acclimatazione alle condizioni di vuoto e microgravità, funzionamento della stazione spaziale. Il 16 gennaio 2013 a Las Vegas l'amministratore delegato della NASA Lori Garver ed il Presidente e fondatore di *Bigelow Aerospace*, Robert T. Bigelow, hanno firmato accordi strategici di collaborazione ed è stato annunciato che la tecnologia BEAM espandibile sarà testata sulla stazione spaziale internazionale. Il test è previsto con l'arrivo alla stazione ISS nel 2015 per una dimostrazione tecnologica di due anni.

<http://bigelowaerospace.com/>

<http://bigelowaerospace.com/beam/>

Moduli abitabili lunari

Enti Spaziali e aziende private del settore aerospaziale, da alcuni anni, sono impegnate nella ricerca di soluzioni per la realizzazione di basi lunari. Il *Lunar Architecture Team* costituito dalla NASA ha come principale obiettivo la progettazione di moduli gonfiabili per abitabilità umana sulla Luna. Il fine

ultimo è quello di indagare le capacità di tali sistemi di resistere nella fase di lancio e di affrontare le difficili condizioni ambientali sulla Luna. Il team sta ora lavorando su diverse opzioni, una innovativa con moduli gonfiabili che potrebbe essere confezionati per il lancio e poi dispiegati sulla superficie lunare usando l'ossigeno trasportato in serbatoi, l'altra più tradizionale utilizzando una struttura rigida da montare sempre sulla superficie lunare, oppure una combinazione di entrambi.

I programmi della Nasa prevedono un ritorno sulla Luna, da parte di un team di astronauti, per il 2020. Inizialmente la permanenza non verrà prolungata oltre una settimana, ma l'obiettivo finale dell'Agenzia è di prevedere una permanenza di 6 mesi.

Fig. 52 - A demo of an inflatable structure sits at NASA's Langley Research Center in Virginia, US. A similar structure may be sent to Antarctica in 2008 to see how it weathers the extreme conditions there (Image: NASA/ Jeff Caplan)



Sulla Luna le temperature vanno da -233°C fino a 123°C e le radiazioni colpiscono costantemente la superficie. Senza la presenza di una atmosfera in grado di rallentarli, come avviene sulla Terra, micrometeoriti possono raggiungere la superficie lunare con velocità fino a 100.000 chilometri all'ora, producendo polvere abrasiva chiamato "regolite" che può causare gravi danni ad astronauti e strumentazione. Un habitat lunare artificiale deve essere in grado di resistere a tali condizioni e proteggere gli astronauti all'interno.

Strutture gonfiabili, realizzate con materiali flessibili ma molto resistenti e tenaci, come ad esempio, tessuti in fibra aramidica, sarebbero relativamente economiche da trasportare sulla Luna grazie al loro peso ridotto. Un prototipo dimostrativo di uno di questi habitat è stato costruito dalla statunitense ILC Dover, società di sviluppo di

Fig. 53, 54 - Moduli abitabili per la colonizzazione di Marte.
Credit Mars One

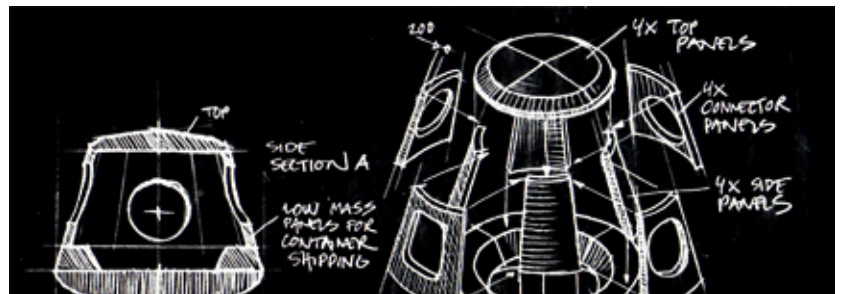
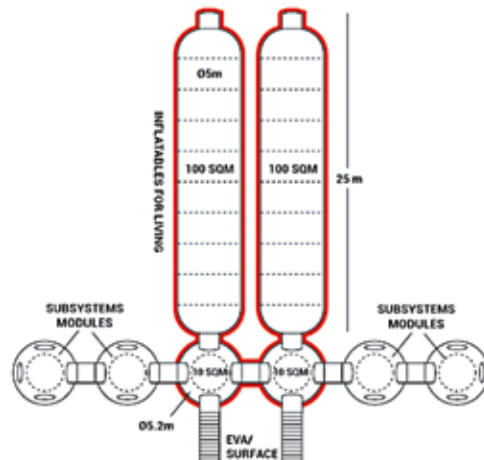


Fig. 55 - Ipotesi di arredamento d'interni. Credit Mars One



Fig. 56 - Outpost site living.
Credit Mars One



ingegneria e produzione specializzata nell'uso di materiali flessibili ad alte prestazioni, il modulo realizzato dispone di uno spazio principale che ha una superficie di 3,7 mq. ed un volume totale di 53 metri cubi. I tests suggeriscono che una struttura simile, per ospitare un equipaggio di quattro astronauti in grado di portare avanti un programma di permanenza sul suolo lunare, dovrebbe essere due volte più grande. Al momento non si è ancora definito quale sia la soluzione più conveniente fra quella che vede l'utilizzo di gonfiabili per tutta la struttura oppure solo per elementi di collegamento flessibili fra nodi rigidi.

In ogni caso, qualsiasi tipo di struttura dovrebbe essere fatta di strati in grado di resistere ai diversi tipi di sollecitazioni sulla Luna. La combinazione di questi strati porterebbe ad uno spessore totale non inferiore a 300 millimetri.

L'utilizzo di uno strato esterno di pellicola altamente riflettente come il *Mylar*, il *Kapton* o *Teflon*, potrebbe evitare eccessivi sbalzi di temperatura, come potrebbe evitare l'accumulo di regolite sulle pareti del modulo abitabile nonché fornire protezione dalla radiazione cosmica e da micro-meteoriti. È ipoteticamente previsto anche uno strato di almeno 50 mm di acqua per proteggere gli astronauti dal bombardamento protonico ad alta energia emesso dal Sole durante le eruzioni solari. Questo strato potrebbe essere integrato in una struttura gonfiabile all'interno di uno strato ad intercapedine piena d'acqua. Materiali di imballaggio usati e altri rifiuti avrebbero la capacità di essere accatastati in opportuni vani perimetrali di accumulo rifiuti per fornire una protezione ancora maggiore. Meteoriti con dimensioni più grandi di granelli di polvere sarebbero deviati da scudi in alluminio o kevlar come quelli utilizzati sulla Stazione Spaziale Internazionale. La NASA ha previsto che il progetto di design completo per un modulo abitabile lunare sarà disponibile nel 2015.

Moduli abitabili marziani

Mars One è una fondazione no-profit che ha l'obiettivo di realizzare una colonia su Marte entro il 2024. Bas Lansdrop, co-fondatore dell'associazione, ha annunciato, nel 2013 a Londra, di essere pronto ad inviare sul pianeta rosso un piccolo veicolo, che servirà come dimostratore tecnologico dell'iniziativa, ed ha esteso la partecipazione a possibili *partners*. I sostenitori del progetto, hanno elaborato un progetto che permetta un trasporto semplificato dei moduli abitativi e di tutte le strumentazioni necessarie a garantire lo scopo della missione. L'unità abitativa è stata prevista con l'utilizzo di tecnologie esistenti e già sperimentate. La tecnologia gonfiabile è ipotizzata anche nell'utilizzo di apparecchiature e sistemi logistici, tute spaziali, di airbag dispiegabili, in fase di atterraggio sul pianeta, nonché sugli arredamenti interni. Gli studi relativi all'abitabilità dei moduli gonfiabili sono stati affrontati creando degli avamposti di simulazione sulla Terra che hanno restituito dati e ricerche sull'abitabilità.

La tecnologia costruttiva dell'avamposto corrisponderà allo stesso livello di complessità che gli astronauti dovranno affrontare al momento dell'atterraggio su Marte. La colonia sarà costituita da sei moduli rigidi, *lander*, e da due volumi gonfiabili che costituiscono l'area principale, circa 200 metri quadrati per svolgere azioni di vita quotidiana e per la produzione alimentare.

I due moduli *lander* centrali forniranno la tecnologia di accesso alla superficie di Marte mentre i restanti quattro moduli conterranno principalmente sottosistemi di supporto per la vita della colonia. Il design interno, ancora in fase di progettazione, dovrà rispondere alle esigenze delle attività quotidiane e soddisfare i requisiti di massa massima consentita per il trasporto considerando anche il successivo dispiegamento.

Visioni per il futuro: gli Space Hotel

Il turismo spaziale ha visto attribuirsi nella sua fase iniziale ideologica la considerazione universale di una esperienza legata solo alla fantascienza, mentre in una fase più matura ha visto la sua concretizzazione, il 18 Aprile 2011, con i primi "turisti civili paganti" in orbita bassa e con propri mezzi di trasferimento.

Le aziende private interessate al suo sviluppo dal punto di vista commerciale, al fine di ridurre drasticamente il costo del viaggio e avere mezzi di trasporto affidabili e completamente riutilizzabili, hanno sviluppato nuovi spaziplani, in grado di permettere anche a chi non ha il titolo di astronauta, in seguito a un breve training, di andare nello Spazio. Gli spaziplani sono velivoli progettati per volare oltre la linea che delimita il confine tra l'atmosfera terrestre e lo spazio alla quota di 100 km sul livello medio del mare e combina alcune delle caratteristiche degli aeroplani con altre delle navi spaziali. Di solito ha la forma di una nave spaziale, con delle ali che vengono utilizzate solo durante l'attraversamento dell'atmosfera.

Fig. 57 - Spaziplano X - 34 della Nasa



Gli SVRs: la domanda di mercato

Una recente ricerca condotta dal gruppo Tauri nel 2012 per conto della *Federal Aviation Administration Office of Commercial Space Transportation (FAA/AST)* and *Space Florida*, riguardante lo sviluppo commerciale di un nuovo settore dell'industria legata al volo spaziale con la produzione di Veicoli Suborbitali Riutilizzabili, SRVs, *Suborbital Reusable Vehicle*, pensati per il trasporto di esseri umani o per il trasporto di merci, come cargo, ha evidenziato la possibilità di un importante ritorno economico sull'uso di questi veicoli. Infatti, i veicoli sviluppati da queste aziende sono destinati ad alti tassi di volo e costi relativamente bassi. Gli SRVs capaci di trasportare gli esseri umani sono ancora in fase di sviluppo e sperimentazione, mentre quelli per il trasporto delle merci sono già ora operativi, anche più di quanto era stato previsto. La ricerca ha individuato undici tipologie di servizi che sono offerti da sei società. La capacità di carico di questi SRVs, va da decine a centinaia di chilogrammi. La maggiore capacità attualmente prevista è di circa 700 chilogrammi. Gli SRVs per il trasporto di esseri umani prevedono da uno a sei posti oltre a uno o due membri dell'equipaggio. È prevista inoltre un'altra tipologia di SVRs adatta per il lancio di satelliti molto piccoli. La ricerca ha indagato tre scenari di sviluppo per i prossimi dieci anni. Il primo scenario riguarda lo sviluppo in un contesto politico ed economico prevedibile che è relativamente simile a quella odierno. In questo scenario, le tendenze esistenti generano una domanda di SRV significativa. Il secondo scenario riguarda lo sviluppo in un contesto di crescita economica dovuta alle ricadute dei successi della ricerca, ad operazioni di un marketing aggressivo e di immagine che modificano in modo significativo la domanda dei potenziali consumatori di questa tipologia di voli. Il terzo scenario riguarda lo sviluppo in un contesto di drastica riduzione della spesa rispetto ad oggi dovuto al peggioramento dell'economia globale.

I risultati della previsione sono stati quantificati in relazione alle possibili richieste in termini di richiesta di equivalenti posti /carico sulla base di capacità media di SRVs. Un richiesta di posto passeggeri è equivalente a 3,33 di richiesta di carico per trasporto merci.

Nel primo scenario si prevede una richiesta di 370 equivalenti posti/carico per anno ad oltre 500 equivalenti posti/carico nel decimo anno.

Nel secondo scenario si prevede una crescita da circa 1.100 a più di 1.500 posti / cargo equivalenti oltre dieci anni. Il terzo scenario che riflette significativamente la ridotta spesa dei consumatori e dei bilanci pubblici, presenta una domanda da circa 200 a 250 equivalenti posti/cargo all'anno. La domanda prevista è stata valutata su un potenziale di circa 8.000 persone nel mondo, individuati sulla base di distribuzione della ricchezza globale, di cui un terzo proveniente dagli Stati Uniti, che hanno un alto reddito e che sono interessati all'acquisto di un volo suborbitale. La popolazione interessata crescerà circa il 2% all'anno, allo stesso tasso di aumento della popolazione mondiale. È stato stimato che circa il 40% degli interessati, con

un alto reddito, circa 3.600 individui, volerà entro il periodo di previsione di 10 anni. Tale risultato se raggiunto genererà una ulteriore domanda del 5%. La previsione di base risultante è di 335 posti nel primo anno, in crescita di circa 400 posti per anno, per un totale di circa 4.000 entro i dieci 10 anni. Il secondo scenario di crescita prevede un totale di 11.000 posti, lo scenario più sfavorevole invece un totale di 2.000. Oggi circa 925 persone hanno attualmente già effettuato le prenotazioni con SRVs. È stata valutata anche la possibilità che i tre scenari, durante i dieci anni, si possono evolvere in modo discontinuo e nel caso in cui si verificasse un aumento della domanda i costi potrebbero ulteriormente scendere.

L'altra grande domanda per la richiesta di SVRs è rappresentata dalla ricerca di base ed applicata, finanziata principalmente da agenzie governative, da enti per la ricerca profit e non, università, scuole, imprese commerciali e mediatiche. La ricerca di base ed applicata rappresenta circa il 10% della domanda di base. Gli SRVs sono in grado di supportare una vasta gamma di possibili attività, ma offrono capacità straordinarie principalmente in quattro settori: la ricerca atmosferica, astronomia suborbitale, ricerca umana di natura longitudinale e microgravità. Queste aree permettono indagini che sarebbero di interesse immediato per lo spazio e la scienza da parte delle agenzie spaziali nazionali.

Un ulteriore 10% della domanda è generato dai tests e dalla dimostrazione delle tecnologia aerospaziale, per la formazione e l'istruzione di scuole e università che vedono nell'uso di questi veicoli voli a basso costo, l'utilizzo di piccoli payloads come strumento per di apprendimento, dispiegamenti satellitari che comprendono il lancio di piccoli satelliti, e Media e PR per voli per la pubblicità, documentari e programmi televisivi. In termini economici lo studio prevede una domanda di \$ 600 milioni di domanda oltre 10 anni nel caso del primo scenario, di \$ 1. 6 miliardi per il secondo e di \$ 300 milioni per il terzo. La previsione ha tenuto conto anche della domanda già sviluppata. Se, nel 1° anno, le prenotazioni si confermeranno secondo l'incremento con cui sono stati recentemente annunciate, 150 nel 2011, 185 nel 2012 e un totale di 925 dal 2003, le vendite per soddisfare la domanda prevista dal primo scenario crescerebbe di circa il 18% annuo. Nel secondo scenario, le vendite aumenterebbero di circa il 40% ogni anno. Nel terzo scenario invece sarebbe cresciuto di circa il 4%. La previsione ha valutato che i potenziali passeggeri scelgono di volare solo una volta ed ha 1/25 di probabilità di volare in un dato anno, quindi il 40% dei passeggeri interessati oggi volerà entro i prossimi 10 anni, e che la maggior parte dei passeggeri, il 95%, ha un patrimonio netto superiore ai \$ 5 milioni. La ricerca ha tenuto anche conto che i programmi di più di 50 governi internazionali sono interessati a finanziare la ricerca SRVs. Inoltre, la stessa NASA sta pensando di utilizzare in misura maggiore gli SRVs per la formazione degli astronauti, in sostituzione dei razzi sonda e per la ricerca in microgravità integrato con le attività dell'ISS.

Per quanto riguarda invece l'indicatore dei ricavi associata con la domanda stimata, è stato previsto che il costo di un equivalente postazione / carico è pari ad una tariffa di \$ 123.000 per postazione / carico equivalente. Questa stima riflette i prezzi per postazione previste dalle aziende che hanno i veicoli in un avanzata fase attiva di sviluppo, compresi i veicoli solo cargo, in base alla capacità del veicolo.

La domanda di voli suborbitali è sostenuta e sembra sufficiente a supportare più fornitori di servizi. La domanda totale di base supera, in 10 anni, \$ 600 milioni di entrate per voli SRVs, con attività di volo giornaliera. Lo scenario di base rispecchia la domanda prevedibile in base alle tendenze attuali ed agli interessi dei consumatori. Nello scenario di crescita, che riflette un aumento di marketing, successi legati ai risultati della ricerca di base ed applicata, maggiore consapevolezza ed interesse, da una parte consistente di consumatori, con più voli al giorno si potranno generare \$ 1.6 miliardi di fatturato in più di 10 anni. In uno scenario condizionato dalla crisi, dove i consumatori e le imprese dispongono di risorse in calo rispetto alle tendenze di oggi, più voli settimanali, non giornalieri, si prevede un fatturato di \$ 300 milioni in 10 anni. Ulteriori potenzialità di utilizzo dei SVRs potrebbe essere realizzate attraverso una riduzione dei costi e dei risultati al momento imprevedibili, grazie allo sviluppo della ricerca, l'individuazione di nuove applicazioni commerciali, il rafforzamento delle capacità delle aziende produttrici, e l'impegno dei governi nazionali, soprattutto nelle applicazioni militari, di utilizzare gli SRVs.

Gli Space Hotel

L'aumento della domanda dei viaggi porterebbe anche alla possibilità di un aumento del numero dei passeggeri trasportati che potranno trascorrere delle "vacanze spaziali" in Space Hotel ubicati in orbita a circa 500 km dalla superficie terrestre. La prossima fase del Turismo Spaziale vedrà quindi la costruzione di Space Hotel sulla stessa orbita della Stazione Spaziale Internazionale che ormai da svariati anni vola a 500 km dalla superficie terrestre. I turisti saranno portati a destinazione a spaziolani composti da

*Fig. 58, 59 - Galactic Suite
Space Resort di arch. Xavier
Claramunt*



due aerei accoppiati, il primo, il più grande, arriva fino a una quota di 100 km, il secondo, "l'Orbiter" fino all'orbita dell'hotel. La *Galactic Suit*, società di progettazione aerospaziale spagnola, fondata nel 2007, che ha come missione lo sviluppo di concept, design ed interni di habitat e di veicoli spaziali ha progettato per un'esperienza di turismo spaziale un Hotel, il *Galactic Suite Spazio Resort*, che orbita nel segmento orbitale LEO. La struttura è composta da un "grappolo" di una dozzina di moduli gonfiabili, vere e proprie camere tutte agganciate a uno snodo-corridoio posto in posizione centrale e a cui attraccheranno le navicelle provenienti dalla Terra. Il primo progetto prevede un massimo di 4 moduli pneumatici agganciati a un core rigido, con la possibilità di aggancio alla Space Station, permetterebbero così di avere costantemente in orbita 8 turisti spaziali per "vacanze" della durata di 3 o 4 giorni per un totale di circa 100 turisti all'anno già a partire dal 2015. All'interno, il modulo centrale rigido in lega di alluminio-litio, ospita la parte comune dell'hotel, la cucina, la sala da pranzo, la parte per la ginnastica e per l'igiene. Tutte le aree "tecnologiche" sono concentrate in tale modulo ed essendo le tecnologie già state sviluppate e testate per la Stazione Spaziale Internazionale, sono di immediato utilizzo. Nella parte terminale di questo modulo si trova una apertura trasparente panoramica dalla quale i turisti possono osservare lo Spazio e la Terra. Le cabine private nei moduli gonfiabili hanno arredi anch'essi pneumatici, possibili grazie all'assenza di peso a bordo. Il letto, gli armadi e tutti gli altri elementi si configurano gonfiandosi in maniera automatica³.

Un altro beneficio nell'utilizzo di queste tecnologie gonfiabili è quello della semplicità di configurazione. L'innovazione tecnologica dei materiali così come dei vari modelli possono consentire, grazie alla semplicità di configurazione, la possibilità di trasferire design e tecnologie in prodotti commerciali terrestri e nello sviluppo di concept avanzati, come ad esempio dei "Capsule-Hotel".

I Capsule-Hotel

I primi *Capsule-Hotel* sono stati costruiti in Giappone. Si tratta di un sistema di hotel, a basso costo per soddisfare le esigenze di pendolari che si devono recare nella capitale nipponica per lavoro, dove lo spazio per gli ospiti è ridotto alla dimensione di un blocco modulare in plastica o in fibra di vetro di circa 2 m di lunghezza per 1 m di larghezza e 1,25 m di altezza, fornendo un minimo spazio che consente di dormire e poco più; spesso queste strutture includono dispositivi di alta tecnologia per l'intrattenimento ed il comfort ambientale.

Gli architetti italiani Daniele Bedini e Massimo Cortini, hanno progettato un "*Capsule-Hotel*" di nuova concezione grazie all'applicazione della tecnologia pneumatica per la realizzazione delle camere-capsula. La struttura portante dell'hotel parte da una *hall* a forma ovoidale con aperture profonde da cui entra la luce e, di notte, crea un effetto

“superficie lunare” ad alto impatto emotivo. Tra la hall e la parte superiore c'è una superficie trasparente che fa sembrare il corpo delle capsule quasi fluttuante.

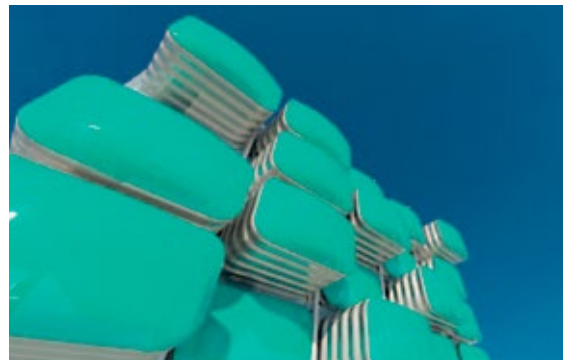
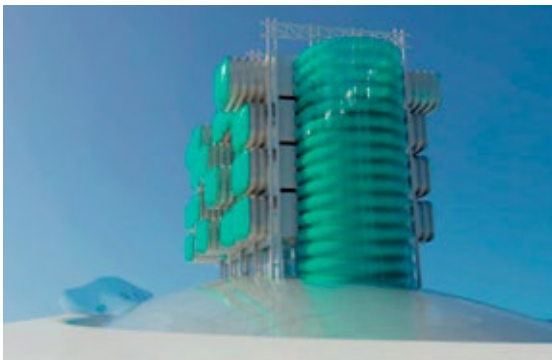
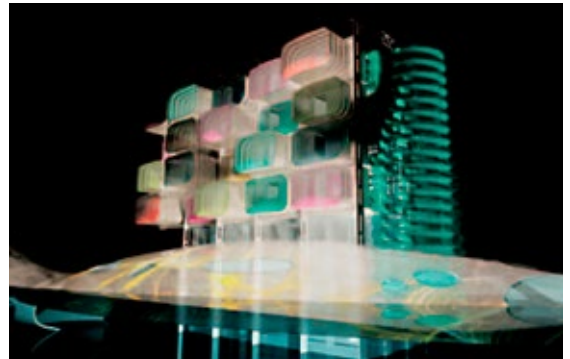
La struttura portante è raddoppiata per creare una intercapedine centrale dove un ascensore a propulsione ad aria compressa garantirà il trasporto dei passeggeri per raggiungere le camere ed il collegamento tra le vari parti. La cabina ovoidale dell'ascensore è agganciata a un doppio sistema di cavi ortogonali a scorrimento indipendente che ne consentono uno scorrimento anche in diagonale. Le capsule-camere sono organizzate in due sezioni differenziate, una rigida, realizzata in materiale composito, dove è organizzata l'area igiene e la parte impiantistica, l'altra pneumatica destinata alla zona riposo e relax.

La capsula è espandibile, infatti quando non è occupata si richiude e risulta arretrata rispetto alle altre. La superficie esterna è costituita da una membrana pneumatica che può divenire più o meno trasparente attraverso l'utilizzo di particolari schermi fotosensibili.

Quando la camera-capsula si espande, tutti gli arredi interni, il letto le sedute i piani, si autoconfigurano automaticamente e, in relazione al numero degli ospiti, la struttura può espandersi gradualmente e autoconfigurarsi per ospitare da 2 a 4 persone. Tutta la cabina pneumatica è sostenuta da un solaio metallico con apertura a pantografo, completamente integrato all'interno della membrana esterna della capsula⁴.

Fig. 60 - Shanghai - Xitai
Capsule Hotel

Fig. 61, 62, 63 - Capsule Hotel,
progettato da IS - in and
out space di Daniele Bedini
e Massimo Cortini



Diverse applicazioni terrestri delle strutture gonfiabili

[1.3.3]

Ambienti estremi: Arctic Drifter Research Lab

Le strutture gonfiabili sono utilizzate per la costruzione di unità abitative per la permanenza e la sicurezza umana sulla Terra in ambienti estremi. Infatti la presenza dell'aria all'interno del gonfiabile, contribuisce decisamente all'isolamento termico dell'habitat interno rispetto alle rigide condizioni meteorologiche esterne. L'*Arctic Drifter Research Lab* di *Studio Les Betes* è un'ingegnosa applicazione delle tecnologie dei gonfiabili nel settore dei laboratori e osservatori per l'Antartide. La struttura, al cui interno è ubicato il laboratorio di ricerca, quando è soggetta alla spinta del vento, può rotolare liberamente mentre l'equipaggio all'interno resterebbe in posizione verticale e confortevole grazie ad una gabbia interna girevole. Può essere considerato un laboratorio di ricerca e osservazione passiva del paesaggio e della fauna selvatica di zone della Terra poco adatte alla presenza dell'uomo senza specifici sistemi di protezione e di abitabilità.

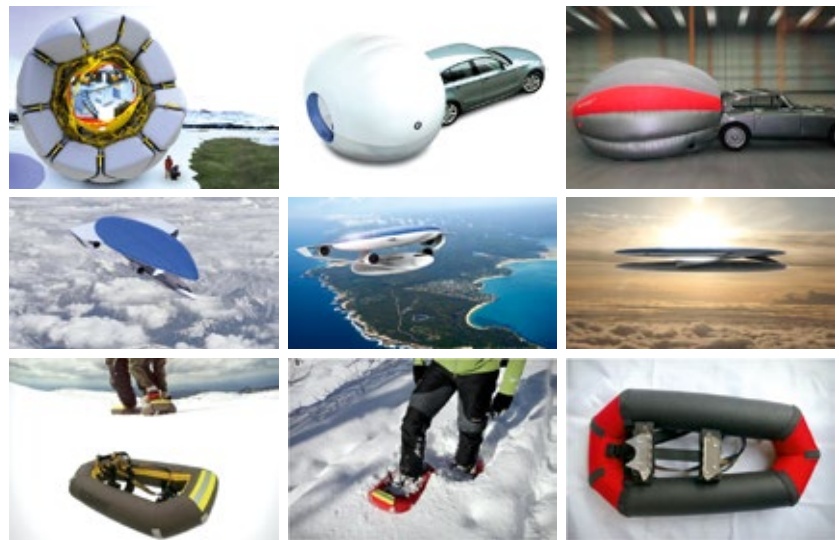
Fig. 64 - Arctic Drifter Research Lab: lesbetes.com

Fig. 65 - Sistema Air Camper gonfiabile

Fig. 66 - BMW inflatable bubble tent

Fig. 67, 68, 69 - Ipotesi progettuali del primo aereo di linea *Ecologic*, elaborato dal designer *Daphnis Fournier*

Fig. 70, 71, 72 - Racchette da neve gonfiabili: small foot inflatable snowshoes



Settore aeronautico di linea

Anche nel campo aeronautico si stanno sviluppando idee, soluzioni ed applicazioni che facciano uso di sistemi gonfiabili. Il primo aereo di linea che usa una struttura gonfiabile è l'*Ecologic*, progetto del designer *Daphnis Fournier*, ed è dotato di pannelli fotovoltaici per utilizzare come propulsore l'energia solare incidente sulla struttura dell'aereo. La struttura gonfiabile, in fase di decollo rimane planare, fino a quando l'aereo raggiunge l'altitudine di crociera. La struttura gonfiabile, una volta raggiunta la velocità di regime, si dispiega aumentando sensibilmente la superficie di esposizione all'irraggiamento solare dei pannelli fotovoltaici deformabili e adattabili alla geometria del gonfiabile

Settore sportivo

La tecnologia dei gonfiabili si sta affermando anche nel settore degli

articoli sportivi. Le racchette da neve gonfiabili offrono flessibilità e portabilità, progettate per esplorazioni su terreni innevati con neve fresca, sfruttando una naturale tendenza al galleggiamento. L'idea è semplice: vengono utilizzati i più recenti materiali ad alta tecnologia abbinati all'agente galleggiante per definizione: l'aria. Si ottiene un dispositivo che può essere gonfiato solo quando necessario e possono essere trasportati sgonfi in sacchi compatti da fissare allo zaino da montagna.

Settore automotive

Fig. 73 - Air Forest: Courtesy Mass Studies

Fig. 74, 75 - Giant Inflatable Trampoline Bridge, progettato da Atelier Zündel Cristea (AZC) per "A Bridge in Paris competition"

Alcune aziende specializzate in sistemi gonfiabili stanno studiando appendici posteriori per autoveicoli che, opportunamente fissati sulla parte posteriore di essi, possano essere gonfiati per ottenere un volume abitabile, coperto, protetto da agenti atmosferici, dove il passeggero possa dormire o svolgere altre funzioni quotidiane.

L'*Air Camper* è un'interpretazione di tale funzionalità esplorata da alcune aziende, spesso Case costruttrici di autoveicoli.

Un'ipotesi particolare di cellula abitabile agganciata ad un veicolo è stata messa a punto dalla BMW.

Il sistema gonfiabile, *Inflatable Bubble Tent*, è agganciato all'estremità posteriore del veicolo, permettendo ai campeggiatori di sfruttare l'interno della vettura e della cellula abitativa passando da una all'altra.



Il sistema è gonfiato da un ventilatore a bassa tensione collegato alla presa accendisigari dell'autovettura e può accogliere due persone.

Settore edilizio

Padiglioni Air Forest Pneumatic Pavilion. Il settore edilizio e delle costruzioni civili inizia a guardare con ottimismo alla tecnologia dei sistemi gonfiabili. Ne è una prova una serie di idee che, recentemente, alcuni progettisti hanno portato avanti realizzando anche alcuni prototipi. Come una vela, il padiglione pneumatico *Air Forest*, di *Mass Studies*, non ha bisogno di essere gonfiato ad aria artificialmente, ma in maniera molto semplice cattura il vento e viene gonfiato e reso rigido e stabile da esso. L'intera struttura è a geometria variabile perché cambia frequentemente in base alla direzione ed entità del vento, pur avendo una sua capacità portante anche in assenza di tale forza. La superficie

Design per l'abitabilità microgravitazionale.

Strategie future per la ricerca e l'esplorazione spaziale, cooperazione e logistica

luminescente è coperta da piccoli cerchi d'argento che riflettono e rispecchiano l'ambiente.

Ponte gonfiabile per utilizzo ludico. Il grande ponte gonfiabile a trampolino, *Giant Inflatable Trampoline Bridge*, progettato da *Atelier Zündel Cristea (AZC)* per il concorso "*A Bridge in Paris*", è formato da tre moduli gonfiabili.

Il ponte gonfiabile dotato di trampolini giganti, installati in prossimità del ponte *Bir-Hakeim*, riprende il concetto di liberazione dalla forza di gravità permettendo di avere la sensazione come di rimbalzare direttamente sulle acque del fiume sottostante.

Le boe galleggianti, riempite con 3700 metri cubi di aria e fabbricate in membrana di PVC, sono fissate insieme da un cavo per formare un insieme stabile e autosufficiente.

Strutture per concerti ed eventi. Le strutture provvisorie hanno sempre fatto uso di tecnologie gonfiabili, ma questa applicazione è decisamente

Fig. 76, 77, 78, 79 - Images
©Lucerne Festival Arknova 2013



Fig. 80 - Luna, IBEBI DESIGN



la prima nel settore degli ambienti dedicati ad eventi musicali e teatrali. Si tratta della prima sala gonfiabile del mondo pensata per concerti e rappresentazioni teatrali, denominata *Ark Nova* e progettata dall'architetto giapponese *Arata Isozaki*, che ha collaborato con lo scultore anglo-indiano *Anish Kapoor*.

*Copertura per
ricevimenti e servizi
ricettivi*

Coperture gonfiabili di tipologia e forma molto diversificata iniziano ad essere disponibili grazie all'impegno di alcuni produttori specializzati in tecnologie per gonfiabili che non esitano ad esplorare applicazioni originali nel settore dell'arredamento. IBEBI Design è un esempio caratteristico di questa tendenza del mercato dei gonfiabili. Luna è una struttura gonfiabile per creare angoli ricettivi provvisori; ideale per eventi occasionali e, comunque, anche non permanenti. Utilizzabile all'interno e all'esterno, leggero e facile da installare.

Alcuni dati tecnici caratteristici:

- Massima area utilizzabile: a richiesta;
- Capacità: 8 persone;
- Tempo min. per installazione: 30 minuti;
- Tempo min. di gonfiaggio: 10 minuti;
- Materiali: Tessuto Nylon antistrappo ed ignifugo;
- Colore: Bianco oppure esterno Silver e interno Nero;
- Energia richiesta: 230V/120W AC;
- Pesi Struttura: 26 kg.

*Complementi di arredo:
Tavoli e superfici piane*

Sempre della IBEBI Air Design è il tavolo da ricevimento denominato LOV. Le due tavole rotonde tops lo rendono ideale per catering, eventi e feste. LOV può essere personalizzato e può essere illuminato inserendo al suo interno sistemi di illuminazione al neon o LED.

Altro esempio di struttura abitabile per impieghi provvisori è OIAB, sistema compatto che permette di avere, una volta gonfiato, un ambiente polifunzionale. Il trasporto è agevolato in quanto OIAB è contenuto all'interno di in una sacca portatile leggera impermeabile.

Disegnata per uso ufficio interno, per un area riunione o un area espositiva, OIAB può essere installata permanentemente o usata temporaneamente. Per la realizzazione di dispositivi gonfiabili che abbiano superfici piane, non è sufficiente l'impiego della pressione del gas di gonfiaggio per rendere rigida e piana la struttura; risulta, invece, necessario prevedere una lavorazione interna del gonfiabile, che sia in grado di regolare e modellare la forma definitiva una volta portato il gonfiabile alla pressione di esercizio. Tale tecnologia utilizza un materiale plastico chiamato "*Drop-Thread*". Questo materiale ha trovato le sue prime applicazioni in campo militare. Il "*Drop-Thread*" è composto da due livelli di tessuto impermeabile interconnessi con migliaia di fili che, una volta gonfiati, permettono di ottenere superfici piatte.

Numerosi sono gli impieghi della tecnologia gonfiabile *Drop-Thread*: arredi vari con superfici piane, pontili galleggianti, cuscini di sollevamento e di soccorso ad alta pressione, ali di aerei ultraleggeri. Questo materiale permette la costruzione di imbarcazioni e gommoni con superfici piane che possono essere gonfiati all'occorrenza.

Il processo di fabbricazione prevede l'unione di due porzioni di tessuto poliestere di sostegno con migliaia di sottili fili anch'essi di poliestere. Questo materiale base è realizzato in strisce da cinque a dieci metri di larghezza. Ogni ago della macchina di produzione, esegue la cucitura in continuo di fili uniformemente distanziati, avanti e indietro tra i due pezzi di tessuto, fissandoli insieme in una struttura molto resistente. Queste macchine per cucire tessuti *drop-stitch* sono molto complesse ed il loro settaggio, *setup*, può richiedere anche diversi giorni. Per tal motivo tale tessuto gonfiabile ha costi decisamente più alti rispetto a quelli utilizzati nei semplici gonfiabili standard.

Arredi e sedute

Altro esempio di impiego della tecnologia gonfiabile è quello delle sedute: sedie per sale da pranzo e divani per zona giorno. Oskar Zieta e la sua squadra della Zieta ProzessDesign, con sede a Zurigo, hanno progettato e realizzato mobilio e oggetti di arredo che loro definiscono "in acciaio gonfiabile", che può essere "assemblato" con il semplice utilizzo di un sistema di pompaggio per biciclette. Due fogli di acciaio molto sottili sono saldati insieme e, quando gonfiati, assumono una configurazione molto rigida e resistente. Disponibile in sedie, sgabelli, scale, panchine, appendiabiti, e pannelli di sughero, questi elementi sono disponibili in una vasta gamma di colori, ma tutti hanno la caratteristica lucentezza del metallo.

Il marchio *BloField Air Design* propone invece, la gamma *Big Blo* che si compone di divani e poltrone gonfiabili. Queste soluzioni di arredo conciliano un gusto moderno con la comodità e la qualità del divano tradizionale, ma anche la trasportabilità ed il facile smontaggio. L'intera collezione è disponibile in 1, 2, 4 posti e nei colori: pietra bianca, nero e rosso. *The Big Blo* è realizzato in robusto PVC resistente ai raggi UV con una protezione di fondo supplementare in vinile, che lo rende adatto sia per interni che per gli esterni. Una pompa elettrica è inclusa nella dotazione, utilizzabile per gonfiare e sgonfiare rapidamente il *Big Blo* in pochi minuti.

Design per l'abitabilità microgravitazionale.

Strategie future per la ricerca e l'esplorazione spaziale, cooperazione e logistica

Fig. 81,82 - Il bancone per ricevimenti LOV della IBEBI AIR



Fig. 83,84 - IOIAB, IBEBI DESIGN



Fig. 85 - Particolare della struttura interna del gonfiabile

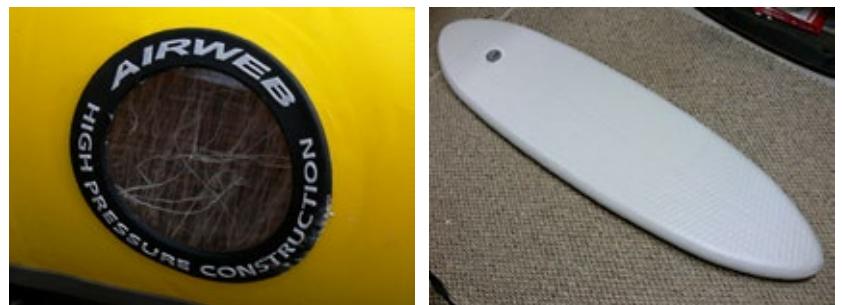
Fig. 86 - Sistema V - Drop Stitch per sistemi gonfiabili con superfici piane



Fig. 87, 88 - A sinistra è visibile un semplice dispositivo gonfiabile piano in "Drop - Stich" e, a destra, struttura interna in filamenti di poliestere



Fig. 89, 90 - Oggetto realizzato con il "Drop - Stich". La tensione di migliaia di fibre poliestere genera un dispositivo gonfiabile molto stabile e rigido Sedute e arredi gonfiabili Zieta - InflatableSteel Furniture



Design per l'abitabilità microgravitazionale.

Strategie future per la ricerca e l'esplorazione spaziale, cooperazione e logistica

Fig. 91 - Sedute gonfiabili [Zieta ProzessDesign]



Fig. 92, 93 - A sinistra un particolare di una seduta. A destra un appendiabiti



Fig. 94, 95, 96 - BloField Big Blo
Designer: Jeroen Van de Kant



1.4 Il caso FLECS

Il progetto di moduli gonfiabili con equipaggio per l'abitabilità nello spazio è stato perseguito in Italia a partire dagli anni 2000 grazie all'esperienza precedente Nasa *TransHub*. L'Industria Nazionale italiana fu chiamata alla partecipazione del progetto della struttura centrale, il Core, in materiale composito, proprio per la maturata competenza nell'utilizzo di strutture metalliche e che ha portato alla realizzazione di un *breadboard* di terra di un modulo gonfiabile nei primi anni 2000.

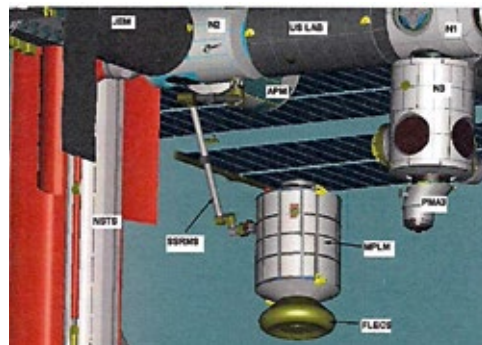
Il contributo al progetto ha messo a fuoco l'importanza strategica sull'applicabilità della tecnologia gonfiabile proprio per il fatto che il volume abitabile dispiegato in orbita è maggiore rispetto al volume minimizzato in fase di lancio. L'industria Italiana ha avviato specifici processi di studio che forniscono un valido banco di prova per l'implementazione di missioni future in prospettiva di una lunga permanenza nello spazio, con l'ipotesi della colonizzazione di Luna e Marte.

In questo scenario un gruppo di ingegneri di Alcatel Alenia Space Italia, sostenuto dall'Agenzia Spaziale Italiana ASI, stanno elaborando una tecnologia che porterà in orbita strutture espandibili di forma sferica molto resistenti. Il progetto denominato, FLECS, *Flexible Expandable Structure*, e prevede l'ancoraggio del modulo, in modo compatibile, con la porta del modulo logistico multi-funzione MPLM, *MultyPurpose Logistic Module*, della ISS, la Stazione Spaziale Internazionale. La missione prototipica, la Fase B, prevede il lancio in assetto compatto, l'ancoraggio al modulo MPLM della ISS e la successiva espansione. Per il ritorno di FLECS sulla Terra è previsto lo sgonfiaggio e il ricompattamento del guscio attraverso un sistema motorizzato di cinghie e lacci.

L'obiettivo del progetto è comprovare la qualifica in orbita della tecnologia gonfiabile rispetto a:

- l'utilizzo della tecnologia gonfiabile in ambiente microgravitazionale;
- sviluppo di nuove esigenze applicative al fine di prevedere la possibilità di future missioni su Luna e Marte.

Fig. 97 - Flecs inflated configuration Acta Astronautica



Forma, Dimensionamento e parti costituenti del modulo FLECS

[1.4.1]

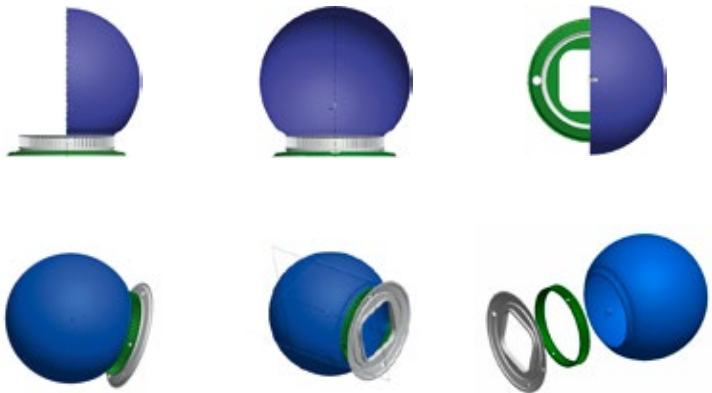
FLECS ha una forma geometrica sferica, che è quella che in fase di progetto ha dimostrato più affidabilità e fattibilità per via di una distribuzione naturale ed uniforme dell'aria. I risultati che valutano la possibilità dell'utilizzo di una forma sferica risultano essere più convincenti poiché la distribuzione delle tensioni è uniforme; i valori riscontrati tra la paratia e la scocca flessibile risultano accettabili. Il vincolo strutturale è dato dall'utilizzo di un materiale isotropo. La vera pressione applicata al sistema in orbita è di 1 bar (0,1MPa); la simulazione è stata effettuata con un valore di pressione di 0,4 MPa (quattro volte la MEOP, carico del valore di scoppio).

FLECS ha una struttura di peso e ingombro minimo; il suo raggio nominale è pari a 1500 m e in configurazione compatta misura all'incirca 1,5x1,2 m e una volta gonfiato dovrebbe espandersi a 3x3 m e occupare un volume di circa 20 metri cubi d'aria. Il guscio del modulo ha uno spessore di 30 cm che garantisce l'isolamento termico e la schermatura dalle radiazioni cosmiche oltre che in veste protettiva dall'impatto dei micrometeoriti.

Fig. 98 - Viste in sezione del modello CAD semplificato di FLECS

Fig. 99, 100 - Viste 3D del modello di FLECS e vista esplosa con componenti di interfaccia: collare e flangia.

Fig. 101 - Esploso con componenti di interfaccia per MPLM



Le parti che costituiscono il modulo FLECS sono:

- il guscio
- il collare
- la flangia

In termini di sicurezza è importante considerare la tenuta stagna tra le parti gonfiabili e quelle rigide sia per quanto riguarda:

- la struttura stessa, ovvero la parte gonfiata con la paratia metallica;
- l'aggancio al modulo MPLM della Stazione Spaziale Internazionale.

Il guscio gonfiabile è composto a sua volta da tre sotto-strati funzionali:

- lo strato più interno costituisce la camera d'aria, *Bladder*. Questa parte è ignifuga, non tossica ed ha una buona resistenza alle forature che

- potrebbero essere causata dalla perdita d'aria;
- lo strato intermedio costituisce lo scheletro della struttura, *Structural Restraint*, che contribuisce a sostenere i carichi strutturali dovuti al gonfiaggio e alla pressurizzazione del modulo e anche per aumentare la resistenza alle forature;
 - lo strato più esterno, MMOD e MLI, funge da protezione dall'impatto da micro meteoriti, dall'erosione dovuta all'ossigeno atomico e dalle radiazioni solari ed è realizzata da strati di *Kevlar* e *Nextel* distanziati tra loro da una schiuma polimerica.

Fig. 102 - Tipica stratificazione di una vetrata di struttura aerospaziale (NASA)

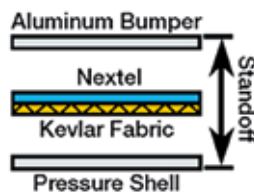
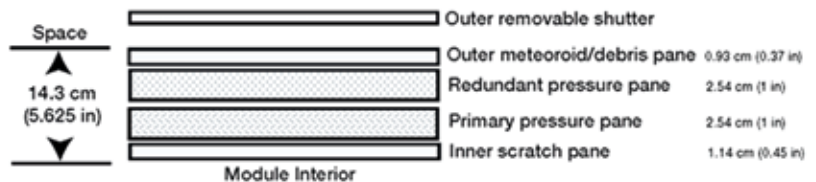


Fig. 103 - Tipica stratificazione di una schermatura di protezione da detriti spaziali (NASA)



Caratteristiche strutturali e applicazione dei materiali

[1.4.2]

Bladder

Lo strato *Bladder* è costituito da strati ridondanti di film polimerico interposti a strati di Nomex.

Il *Bladder* è così composto per avere una bassa permeazione, una buona flessibilità ed un'alta resistenza alla perforazione. L'aspetto relativo alla sicurezza ha incoraggiato a preferire l'adozione di film ignifughi.

Il modulo è dotato di un sistema di contenimento ridondante per impedire la fuoriuscita d'aria dagli strati ed è dimensionato per essere leggermente più grande rispetto allo strato di tenuta per mantenere la condizione di stress più prossima allo zero, in modo da ridurre i carichi che potrebbero portare alla lacerazione.

Per le verifiche sui materiali sono stati condotti numerosi test che prevedevano l'utilizzo di film polimerici come il Poliuretano, *Theclor*, *Nylon*, forniti da Aerosekur spa, e Covexx.

I test sono stati effettuati rispetto a:

- densità areale;
- permeabilità all'aria;
- resistenza alla trazione;
- resistenza alla lacerazione;

- resistenza alla perforazione;
- infiammabilità.

Molti materiali in esame hanno rilevato di non essere adeguati per lo strato *Bladder* per via della permeabilità all'aria, per l'infiammabilità e la bassa resistenza alle forature. Altri film come il Tedlar e il Kapton hanno modeste qualità meccaniche, ma l'alta formazione di grinze e la bassa elasticità non hanno convinto l'utilizzo.

Structural Restraint

Il sistema di tenuta strutturale è composto da una serie di tessuti pesanti, nastri intrecciati tra loro in modo da sostenere la forma del modulo. I nastri sono dimensionati per sopportare il carico di pressione interna della Stazione Spaziale Internazionale con fattore di sicurezza 4; lo strato di tenuta strutturale si trova tra MLI e MMOD.

Il materiale più adatto a ricoprire la funzione di questo strato è il *kevlar* proprio per le sue buone proprietà meccaniche, per la resistenza a trazione, per la resistenza a rottura, per la sua resistenza areale e la resistenza allo strappo.

Strato MMOD e copertura termica MLI

Nei moduli tradizionali la barriera primaria di MMOD è costituita da pannelli di alluminio T6, lo strato secondario da un accoppiato di *kevlar*/resina. Lo strato MMOD e MLI è quello che si occupa della protezione dei detriti e dei micro meteoriti. Questo è progettato per essere pieghevole poiché deve essere previsto per il rientro sulla Terra. Le principali caratteristiche richieste per questo strato sono la resistenza al calore, la flessibilità strutturale e l'assorbimento di energia cinetica. Per soddisfare queste esigenze la configurazione MMOD è composta da una sequenza di strati di *Nextel* e *Kevlar* interposti a strati di schiuma Solimide530.

La struttura flessibile multistrato MMOD, considerando FLECS un corpo sferico, è composta da tre strati concentrici: il bumper esterno (OB), il bumper centrale (CB) e dal *Balistic Restraint* (BR) fissati al portello metallico. Ad ognuno di questi strati sono interposti più strati di *Kevlar*, *Vectran* e *Nextel*. Tra OB-CB e CB-BR verranno posizionati strati di schiuma di Solimide 530 in modo da tenere le parti separate.

La discontinuità dell'immissione della schiuma è progettata per:

- consentire il miglior ripiegamento e un volume basso;
- ridurre la rigidità durante la fase di dispiegamento e compressione;
- ottimizzare il peso finale dello scudo MMOD;
- creare distanza tra i multistrati OB, CB e BR.

Il livello interno OB e il primo strato di BR è in *Kevlar*, così come le cuciture. Il sistema multistrato che copre completamente il modulo FLECS è quello che utilizza la tecnologia convenzionale. Alcatel Alenia Space ha testato e installato diverse coperte termiche MLI per diversi moduli dell'ISS e per missioni scientifiche. Le coperte MLI sono destinate

per il controllo termico del modulo e per rallentare e infine catturare le particelle di bassa orbita terrestre, contribuendo nella funzione dello strato MMOD. Il materiale solitamente utilizzato per le coperte termiche è il velcro poiché risulta facilmente sostituibile in caso di rottura o foratura.

Ipotesi di installazione modulare di FLECS

[1.4.3]

Nell'ambito del progetto di unità abitabili *inflatable*, FLECS può essere visto come un sistema modulare multiplo che può permettere la realizzazione di grandi volumi abitabili non unici, ma costituiti dalla somma di tanti piccoli volumi con funzione diversa. L'ipotesi della suddivisione dei volumi avviene in base agli obiettivi funzionali di questi. La modularità permette di personalizzare ogni volume abitabile in base all'attività quotidiana che deve essere svolta al suo interno. Ciò permette di aggiungere volumi in base alle esigenze valutando nel tempo la necessità di incrementare il volume abitabile con una data funzione. Qui di seguito un esempio di possibile installazione e utilizzo di FLECS nell'ambito di una stazione spaziale per medie/lunghe permanenze. Un altro vantaggio è legato alla sicurezza e alla manutenzione; la

Fig. 104, 105, 106, 107 - Viste 3D di installazione multipla modulare di FLECS

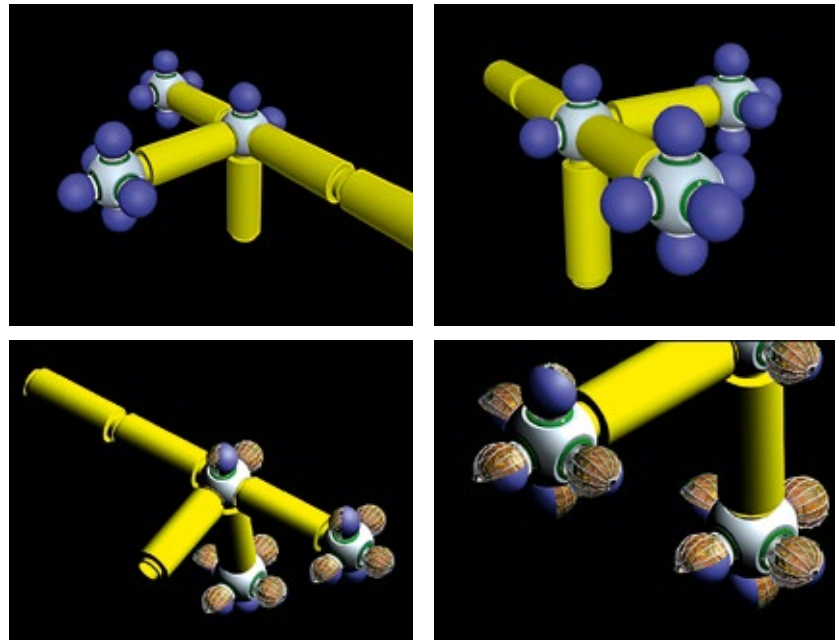
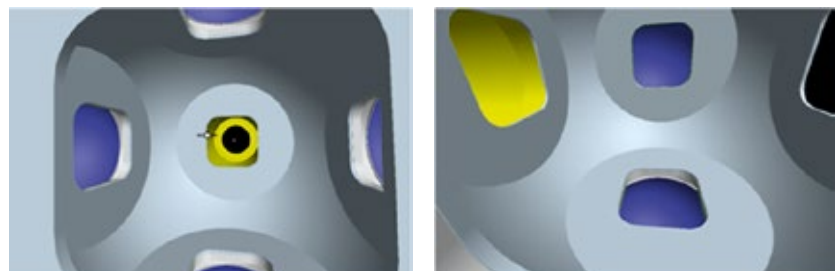


Fig. 108, 109 - Punto di vista interno al nodo dei FLECS



parcellizzazione degli spazi permette di elevare il grado di sicurezza poiché in caso di problemi tecnici in un modulo sferico, solo questo può essere isolato e posto fuori uso. Lo stesso vale per la manutenzione o la riparazione di danni in uno di essi; se più moduli sferici sono dedicati ad un'attività quotidiana, un modulo alla volta può essere sottoposto ad interventi manutentivi senza interferire sugli altri moduli della medesima attività o di attività diverse. L'installazione multipla di moduli sferici gonfiabili deve prevedere un nodo al quale ancorarli. Tale nodo può essere a sua volta di geometria di partenza sferica oppure no, può essere in materiale metallico oppure anch'esso gonfiabile. Il nodo base mostrato in Fig. 108, 109, potrebbe essere costituito da un'unità centrale rigida e metallica oppure non metallica gonfiabile, cui possono agganciarsi moduli cilindrici (utilizzati come ambienti di transito, ove poter disporre sistemi di stoccaggio di materiali, etc.) oppure moduli sferici. Ogni nodo potrebbe supportare sei moduli sferici e costituire un'unità autosufficiente in cui sono presenti una o più zone notte, una zona dedicata all'igiene personale, ambienti dedicati all'attività sportiva/ricreativa ed uno più ambienti specifici per l'attività lavorativa. Il vantaggio di installazioni multiple di FLECS può permettere anche altre interpretazioni degli spazi di bordo. Per esempio, ogni nodo costituito da quattro moduli sferici e due moduli di collegamento cilindrici, può essere assegnato ad un solo astronauta o al massimo due, aumentando la sensazione di *privacy* e le possibilità di personalizzazione del proprio spazio a bordo.

Le dimensioni di massima di un possibile nodo sono mostrate in figura. L'ambiente interno di un nodo si presenterebbe come in figura: una serie di boccaporti che portano ad ambienti funzionali sferici oppure a moduli cilindrici di interconnessione con altri nodi.

Una rapida individuazione della funzione degli ambienti può essere realizzata, all'interno dei nodi, con una serie di colori e simboli che caratterizzano le attività che si svolgono in un determinato modulo.

Le prossime tappe del progetto FLECS

[1.4.4]

Le prossime tappe del progetto svilupperanno la definizione della sequenza e delle combinazioni dei tessuti da utilizzare per OB, BC e BR.

I test riguarderanno:

- capacità di legame;
- *Taping*;
- tecniche di cucitura e pinzatura a seconda del materiale.

A questo punto del programma verrà creato un prototipo in scala assemblato e testato nella camera di simulazione del vuoto, per esprimere valutazioni rispetto alle operazioni:

- di gonfiaggio;
- l'efficienza di impacchettamento;
- l'influenza di aria residua in entrambe le configurazioni.

Design per l'abitabilità microgravitazionale.

Strategie future per la ricerca e l'esplorazione spaziale, cooperazione e logistica

Infine verrà sperimentato un volo di ritorno sulla Terra e verrà analizzata la possibilità di un sistema di sicurezza di rilascio del modulo MPLM nell'eventualità che il modulo non possa supportare i requisiti del volo di ritorno.

Note

¹GATR, *Originating Technology/NASA Contribution, Inflatable Antennas Support Emergency Communicatio*, 2010

²Eleonora Ferroni, *Bigelow alla conquista dell'orbita bassa*, Il notiziario online dell'Istituto Nazionale di Astrofisica, Media INAF, <http://www.media.inaf.it>

³GALACTIC SUITE DESIGN, January 2013, pp 74-75, <HTTP://galacticsuitedesign.com>

⁴D. Bedini, *L'Era del Turismo Spaziale*, *Agora Dreams and Visions*, *L'Arca* 231 pg 48-49 <http://isspace.com>, Dicembre 2008

Design per l'abitabilità microgravitazionale.

Il progetto SHIC: moduli abitabili per l'esplorazione spaziale verso Marte

seconda edizione Giugno 2016

ISBN 9788867680207

© 2016 Unicam edizioni

Piazza Cavour 19/f

62032 · Camerino MC

Progetto grafico

pierosabatini.com

Stampa

Unicam edizioni

Finito di stampare nel Luglio 2016

Design per l'abitabilità microgravitazionale.

Il progetto SHIC: moduli abitabili per l'esplorazione spaziale verso Marte

Lo spazio non è più considerato un settore caratterizzato da una prevalente connotazione tecnico-scientifica, ma costituisce invece un settore strategico, di conoscenza, innovazione e sviluppo che contiene ed anticipa i progressi scientifici, tecnologici, industriali, economici e sociali del mondo contemporaneo. La ricerca spaziale ha sempre costituito un rilevante fattore di progresso, in grado di contribuire ad affrontare le sfide del futuro. Ha consentito di esplorare il Sistema Solare e l'Universo profondo, di osservare la Terra, di comprendere le origini e la struttura dell'Universo, i fenomeni evolutivi dei corpi celesti, le teorie fondamentali della fisica e della materia ed anche di stabilire i nuovi confini per l'abitabilità umana.

Nell'ambito di quest'ultimo scenario l'Agenzia Spaziale Italiana, ASI, ha elaborato un progetto denominato, FLECS, Flexible Expandable Commercial Structure, basato su una tecnologia che porterà in orbita strutture espandibili di forma sferica molto resistenti. Il progetto prevede l'ancoraggio del modulo, in modo compatibile, con la porta del modulo logistico multi-funzione MPLM, Multy-Purpose Logistic Module, della ISS, la Stazione Spaziale Internazionale. Il progetto SHIC, Space Habitat Inflatable Component, sviluppato all'interno di un programma più complesso del modulo FLECS, rappresenta l'ipotesi sperimentale di moduli abitabili gonfiabili, inflatable, da utilizzare nelle missioni spaziali future.

