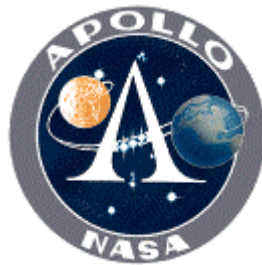


Grange Observatory

La conquista della Luna

Storia delle missioni Apollo

Ing. Paolo Pognant
Alenia Spazio - Torino



XXX anniversario volo Apollo 11
© 1999 Grange Obs.

Cenni sulla storia dell'Apollo

Una capsula con tre uomini a bordo fu per la prima volta proposta dalla NASA nel luglio del 1960, a pochi mesi dal successo del volo di prova di una navicella monoposto Mercury (senza equipaggio); in realtà molta strada era ancora da compiere, prova ne sia che John Glenn, il primo americano nello spazio, fu lanciato in orbita appena il 20 febbraio 1962, 11 mesi dopo il russo Yuri Gagarin.

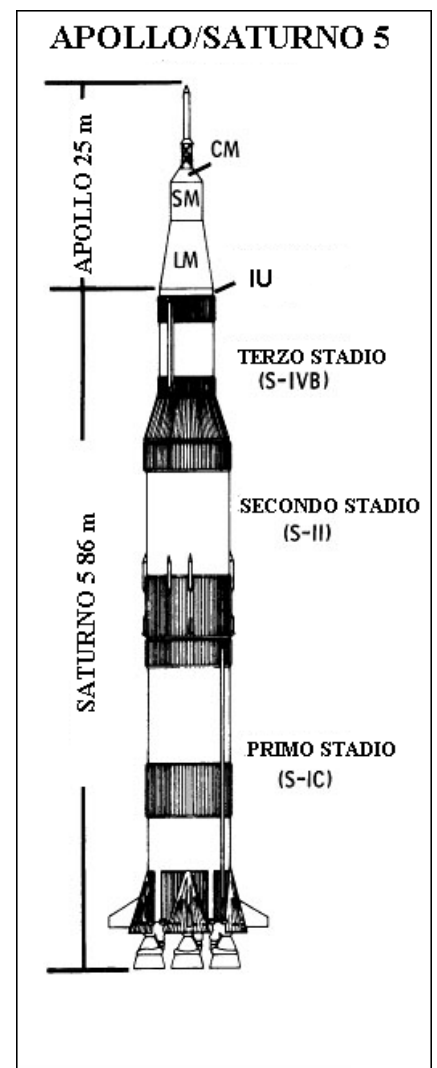
Ma l'idea delle missioni Apollo era ormai formulata, e tale capsula sarebbe andata in orbita con il più potente razzo vettore mai concepito dall'uomo, il Saturno: per l'orbita terrestre sarebbero servite 680 tonnellate di spinta, mentre per una missione di andata-ritorno alla Luna, con orbita di parcheggio attorno al nostro satellite (*lunar orbit rendez-vous* o LOR), ne sarebbero servite almeno 3500, il doppio per il concetto di missione con *rendez-vous* in orbita terrestre (EOR).

Mentre gli scienziati dibattevano su quale tipo di missione era più conveniente, l'unica persona in tutti gli Stati Uniti che avesse le idee chiare su come costruire un vettore adatto allo scopo era un tedesco naturalizzato americano, che durante la Seconda Guerra Mondiale si era consegnato nelle mani dei soldati statunitensi, dopo essere divenuto noto per aver progettato i micidiali razzi V2: Wernher Von Braun.

Quando a sorpresa il 25 maggio 1961 l'allora Presidente John F. Kennedy espone al Congresso americano la sua intenzione di finanziare un progetto astronautico che avrebbe portato "degli uomini sulla Luna prima della fine della decade, che sarebbero poi tornati a Terra sani e salvi", Von Braun vide realizzarsi il suo sogno giovanile di navigare nello spazio, e il suo gruppo di tecnici, prima all'Agenzia Missili Balistici dell'Esercito all'Arsenale Redstone, poi al Centro Volo Spaziale Marshall di Huntsville (Alabama), si sentirono pronti alla sfida; ma il resto degli ingegneri di Capo Canaveral, dove i fallimenti dei razzi di prova erano a quel tempo all'ordine del giorno, rimasero increduli. Da allora, i finanziamenti per lo sviluppo sia dei vettori che delle navicelle spaziali giunsero copiosi, e sotto la guida del gruppo del Marshall, che sviluppò il "dimostratore di tecnologia" Saturno 1 / 1B in grado di lanciare da 10 a 20 tonnellate in orbita terrestre (e che tra l'altro produsse un manuale per il calcolo strutturale in uso ancor oggi), si poterono creare dei *team* con centinaia di ingegneri all'interno delle industrie designate per la costruzione (la North American per la navicella Apollo, la Grumman per il modulo lunare, LEM o LM, e la Boeing, la Rockwell e la McDonnell Douglas per gli stadi del ben più potente razzo Saturno 5), impegnati a tempo pieno e liberi di procedere senza badare a spese.

Scelta la strategia LOR, lo sviluppo del Saturno 5 iniziò nel gennaio del 1962 e portò al volo del primo prototipo 5 anni più tardi: il diametro massimo del vettore era di 10 metri (primo e secondo stadio, il terzo aveva un diametro ridotto a 6.6 metri) e il suo peso complessivo al decollo era di 2338 tonnellate, con una spinta di 3426 tonnellate; la sua altezza, inclusi i vari componenti l'Apollo, raggiungeva i 111 metri.

La storia del Saturno 5 è un'incredibile serie di successi: il 9 novembre 1967 lanciò l'Apollo 4 senza equipaggio e qualificò sia il razzo che la navicella; il 21 dicembre 1968 fu la volta della prima capsula abitata, l'Apollo 8, che circumnavigò la Luna; infine, il 14 maggio 1973, pose in orbita la stazione orbitante Skylab. La sua flessibilità fu dimostrata quando uscì indenne quando fu colpito da due



fulmini durante il lancio della missione Apollo 12, e quando il motore centrale del secondo stadio dell'Apollo 13 si spense prematuramente, mentre gli altri 4 automaticamente compensarono la spinta venuta a mancare funzionando per un tempo più lungo.

Nell'ultima versione del Saturno 5, con vari miglioramenti strutturali, il peso complessivo lanciabile in orbita terrestre fu di 152 tonnellate, mentre raggiunse le 53 tonnellate da inviare in orbita lunare; ne furono costruiti 15 in totale, di cui 13 effettivamente lanciati; un esemplare completo è tuttora in mostra al Kennedy Space Center (in Florida, ex Capo Canaveral), mentre parti staccate e capsule Apollo si possono ammirare in vari musei, istituti di ricerca e parchi americani.

Parallelamente allo sviluppo del razzo vettore, la navicella Apollo a poco a poco prendeva forma: dovendo sostenere la vita dei tre uomini di equipaggio per almeno due settimane nello spazio e dovendo poi rientrare nell'atmosfera (il che richiedeva uno scudo termico che sopportasse le alte temperature causate dall'attrito con l'atmosfera), fu concepita in due parti: il Modulo di Comando o CM (il locale principale dell'equipaggio, ma anche la capsula di rientro) ed il Modulo di Servizio, o SM (atto a contenere i serbatoi di ossigeno per la respirazione ed i generatori di elettricità per gli strumenti, le pile a combustibile; inoltre, era un modulo propulsivo per tutte le correzioni di orbita richieste dalla missione).

Infine, per la discesa sulla Luna serviva un terzo componente, il LM, dotato di razzi di controllo e di un motore per la discesa dalla spinta regolabile, nonché di "zampe" molleggiate per l'impatto col suolo lunare; oltre a ciò, per ripartire doveva avere una sezione staccabile anch'essa propulsa, che avrebbe usato la parte restante del modulo come rampa di lancio.

Una macchina complessa, che andava verificata nel funzionamento simulando tutte le varie fasi del volo: questo fu fatto con la missione dell'Apollo 5 (sempre senza uomini a bordo) nel gennaio 1968, quando sia il CM e l'SM (chiamati insieme "CSM") sia il LM furono azionati in orbita terrestre con pieno successo.

Ma durante la storia dell'Apollo, anche se si cercò di rendere minimi i rischi, vi furono incidenti anche mortali: nel gennaio del 1967, durante una prova a terra dell'Apollo 1, un incendio sviluppatosi nell'ambiente di ossigeno puro della capsula causò la morte per asfissia di White, Chaffee e Grissom (quest'ultimo era uno degli originari 7 astronauti delle missioni Mercury); inoltre, vi fu il noto incidente occorso all'Apollo 13, dove un serbatoio di ossigeno difettoso andò in sovrappressione ed esplose, rendendo inutilizzabile l'SM: ma con la poca energia rimasta nelle batterie di bordo, e con l'ossigeno ed i motori del LM, l'equipaggio riuscì a ritornare a Terra sano e salvo, come è stato magistralmente raccontato nel film di Ron Howard "Apollo 13" con Tom Hanks.

La navicella Apollo

La navicella Apollo aveva una lunghezza totale di 25 metri, e comprendeva il CM (il cui peso era di 5558 kg), l'SM (23204 kg), il LM (15094 kg), il sistema di fuga al lancio (4041 kg) e la carenatura conica che adattava tutto il sistema sul vettore Saturno 5 (1837 kg, pesi relativi alle prime missioni).

Il sistema di fuga al lancio consisteva di una torre alta 10 metri che recava sulla sommità un motore da 66675 kg di spinta; in caso di incidente sulla rampa di lancio o durante la salita in orbita prima di 100 secondi dalla partenza, il razzo si sarebbe azionato allontanando la capsula dalla zona di pericolo di almeno 2 km, ed in seguito i paracadute principali dell'Apollo avrebbero rallentato la discesa. La torre era collegata ad una copertura che avvolgeva la capsula, lasciando scoperto solo il portellone di ingresso; se invece il volo era regolare, il sistema veniva sganciato in quota e allontanatosi a distanza di sicurezza dalla navicella, ricadeva nell'oceano con una traiettoria controllata aerodinamicamente.

L'adattatore che avvolgeva il LM aveva funzioni strutturali, e collegava il vettore al CSM proteggendo nel contempo il modulo lunare durante il volo in atmosfera a velocità supersonica; era di forma tronco conica, costruito in quattro settori uniti da bulloni esplosivi, che avrebbero allontanato la copertura quando non fosse più stata necessaria.

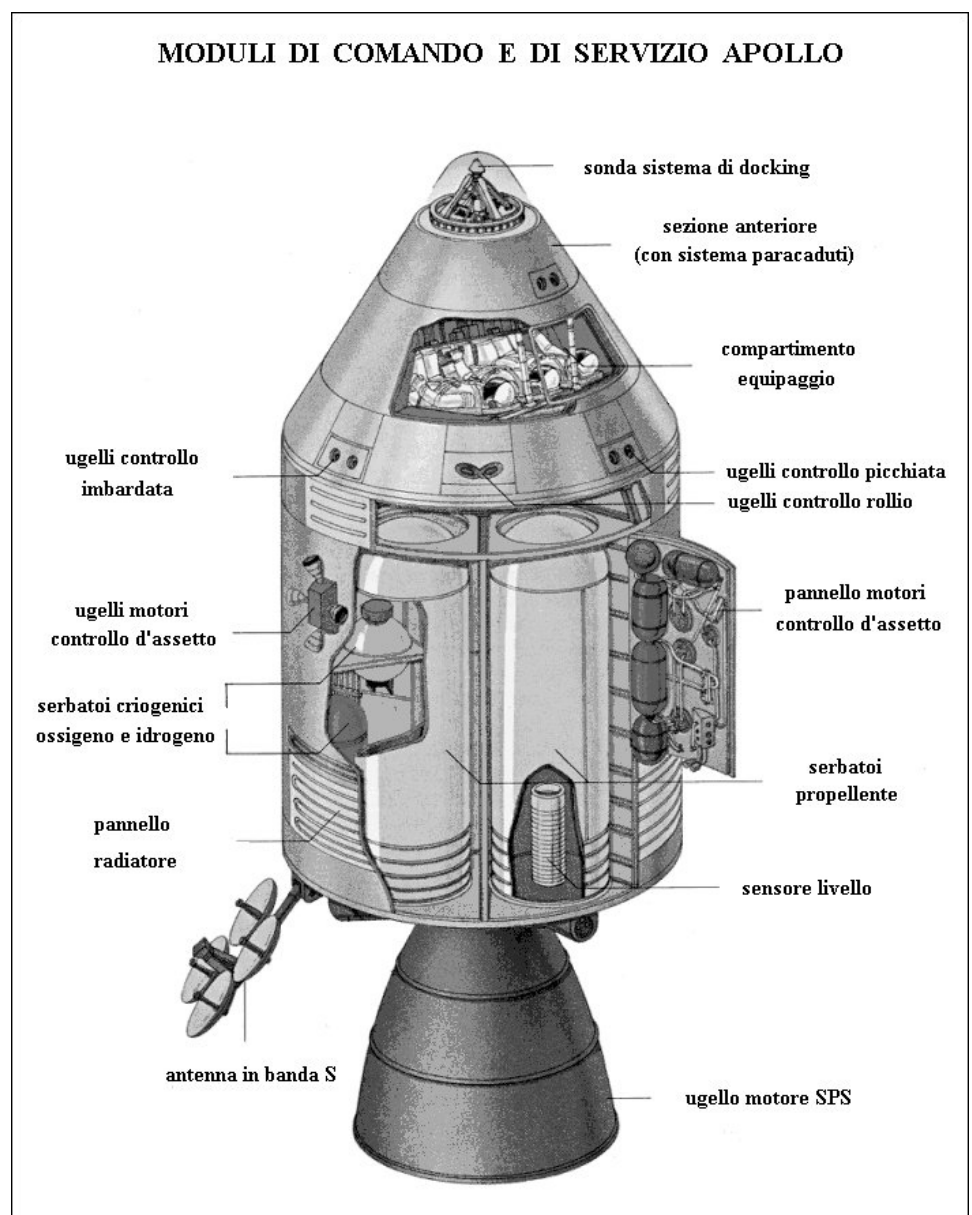
- Modulo di Comando

Alta 3.48 metri dalla sommità allo scudo termico e pesante circa 6 tonnellate al lancio, la capsula di forma conica costituiva il centro di controllo di tutto l'Apollo, ed era l'unica parte di esso che sarebbe tornata sulla Terra dopo la missione, con un peso ridotto a 4976 kg.

Come su di un aereo, il comandante, che normalmente controlla il volo, era seduto sul sedile sinistro; il pilota del CM, responsabile della guida e della navigazione, era seduto al centro, mentre il pilota del LM, che si prendeva cura della conduzione dei sistemi secondari, era sul sedile destro (l'ordine cambiava al rientro in atmosfera, il comandante sedeva al centro ed il pilota del CM a sinistra).

I tre sedili erano affiancati e posti di fronte al quadro principale dei comandi, di dimensioni 213x91 centimetri e contenente un'impressionante serie di indicatori, pulsanti e manopole; la cabina di 5.95 metri cubi aveva un'atmosfera al 60% di ossigeno e 40% di azoto alla pressione di 1.05 atmosfere, valori questi di riferimento, in quanto vi era un sistema di controllo ambientale che variava le condizioni a seconda delle funzioni vitali degli astronauti, mantenendo nel contempo una confortevole temperatura tra i 21 ed i 24 °C.

Le pareti esterne del CM erano realizzate in nido d'ape di acciaio inox racchiuso tra lamiere sempre d'acciaio e ricoperte da materiale isolante dissipatore di calore; lo scudo termico alla base aveva uno spessore variabile da 3.2 a 6.6 centimetri ed era costituito da resina epossidica fenolica, in grado di resistere all'intenso calore del rientro in atmosfera (1649 °C) senza trasmettere il calore alla struttura principale della capsula. Le parti interne del CM erano in alluminio separate da uno strato di materiale isolante. Il cibo, l'acqua, le tute, vari equipaggiamenti come le macchine fotografiche e le cineprese, ma anche le rocce lunari raccolte sulla Luna, erano sistemate in compartimenti ricavati alla base della capsula.



C'erano due portelli, il principale sul lato della navicella al di sopra dei sedili dell'equipaggio (usato per l'imbarco e lo sbarco), ed un altro sulla sommità del cono (usato per il trasferimento degli astronauti dal CM al LM); in tutto erano ricavate 5 finestrelle, due laterali da 83.9 centimetri quadri impiegate per osservazione e fotografia, due trapezoidali da 20.5x33 centimetri usate per controllare i *rendez-vous*, e una rotonda sul portello principale.

Sulla superficie della capsula, in posizioni opportune, erano sistemati gli ugelli del sistema di controllo d'assetto; mentre i vari orifizi per lo scarico fuori bordo dei rifiuti, i serbatoi di gas e di propellente, le riserve d'acqua ed il cordone ombelicale all'SM erano tutti sistemati nella parte inferiore della navicella.

- Modulo di Servizio

Lungo 7.4 metri e di forma cilindrica, le principali caratteristiche dell'SM erano l'ugello del motore SPS lungo 2.8 metri (perché progettato per funzionare nello spazio) ed i quattro sistemi a razzo per il controllo d'assetto simmetricamente distribuiti sulla circonferenza esterna; il modulo di servizio conteneva quindi il sistema propulsivo principale dell'Apollo, oltre alle riserve di ossigeno ed ai generatori di energia.

Il peso totale nelle ultime missioni era di ben 25 tonnellate, di cui 18 erano di propellente per l'SPS da 9300 kg di spinta, una miscela di tetrossido d'azoto (N_2O_4) e di aerazine 50 (50% idrazina, N_2H_4 , e 50% di dimetil idrazina asimmetrica, $(CH_3)_2N_2H_2$, la stessa dei vettori Titan impiegati per le missioni Gemini); dal momento che l'SM era connesso al CM dalla parte dello scudo termico, gli astronauti non potevano accedervi, ed era abbandonato poco prima del rientro in atmosfera alla fine della missione, venendo distrutto dall'attrito con l'aria.

All'interno del corpo cilindrico vi erano 6 settori contenenti: 3 celle a combustibile per la generazione di elettricità, i serbatoi dell'idrogeno e dell'ossigeno (quest'ultimo, oltre che per la respirazione dell'equipaggio, veniva combinato con l'idrogeno nelle celle a combustibile producendo acqua come sottoprodotto, che veniva riutilizzata), i serbatoi di elio, i pannelli radiatori, le batterie ausiliarie, i sistemi di controllo d'assetto ed i serbatoi di propellente dell'SPS; dall'Apollo 15 in poi venne anche installato il modulo strumentazione scientifica (SIM) comprendente 4 spettrometri, camere panoramiche, un altimetro laser e un mini-satellite di 35.4 kg da lanciare in orbita lunare.

Il LM ed il CM erano collegati da un tunnel chiuso da portelli, in cui poteva essere temporaneamente montato un meccanismo di *docking* atto ad effettuare il *rendez-vous*: tale meccanismo aveva una sonda sporgente dalla parte del CM che si impegnava in un ricettacolo conico sul LM; una volta a contatto, avveniva la "cattura" dei due moduli tramite dei ganci, e successivamente le due parti venivano avvicinate da un sistema a retrazione azionato da azoto in pressione, finché sigillando le guarnizioni non si creava una perfetta tenuta nel tunnel.

- Modulo Lunare

Il veicolo bistadio era alto circa 7 metri e largo alla base 9.45 metri in diagonale tra due zampe di atterraggio; il suo compito era di alloggiare i due astronauti designati a scendere sulla Luna, per le circa 73 ore richieste: non erano previsti sedili, ma soltanto dei cavi per mantenere in posizione eretta i due membri dell'equipaggio, appoggiati sugli avambracci durante le manovre.

Il peso totale, dai 14696 kg delle prime missioni passo' a ben 16647 kg negli ultimi voli, quando fu possibile, grazie a miglioramenti strutturali del Saturno 5, destinare il peso così risparmiato all'aumento della strumentazione imbarcata, tra cui il *Lunar Rover* (LRV), un veicolo per spostarsi sulla superficie lunare.

Siccome il LM era progettato per operare nel vuoto dello spazio, non occorre una forma aerodinamica; il *design* prevedeva soltanto uno stadio di discesa che sarebbe servito da piattaforma per

il lancio del modulo di risalita, che doveva contenere la cabina pressurizzata per gli astronauti e quindi tutti i controlli per il volo.

Lo stadio di risalita era costruito da due strati di lamiera in lega di alluminio saldata, distanziati da 7.6 centimetri di materiale isolante e la cabina abitata aveva un volume di 6.65 metri cubi; vi erano due portelli per l'equipaggio, uno alla sommità da 81 cm di diametro per l'accesso al CM ed un altro di 81 centimetri quadri, situato tra i due astronauti, che dava su di una piattaforma esterna in corrispondenza della scaletta montata su di una zampa di atterraggio.

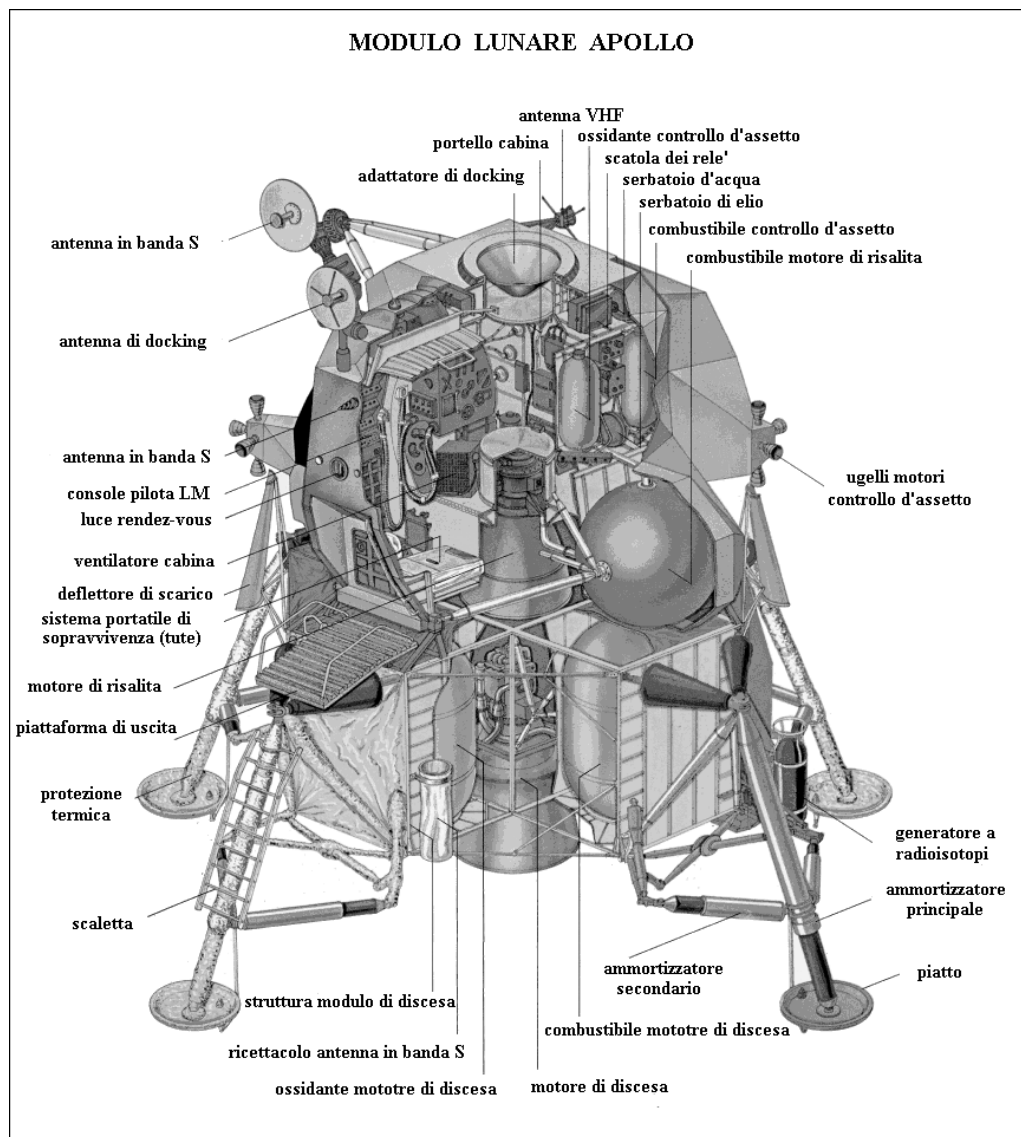
Ciascun astronauta aveva davanti a sé una finestra triangolare, da cui si poteva guardare in basso ed in avanti; inoltre il comandante aveva una finestrella sul soffitto sopra di sé di 12.7 x 30.5 centimetri per controllare il *rendez-vous*.

Il LM aveva concentrate in sé essenzialmente le stesse caratteristiche del CSM, inclusi la propulsione, il controllo ambientale ed il sistema di telecomunicazioni: per questo motivo pote' fungere da "lancia di salvataggio" per l'equipaggio dell'Apollo 13, una

volta divenuto inutilizzabile il Modulo di Servizio.

Il motore di ascesa del LM aveva una spinta di 1587 kg ed aveva propellente sufficiente per 460 secondi; poteva essere spento e riacceso fino a 35 volte. Dal modulo di risalita si poteva comandare lo stadio di discesa, inaccessibile agli astronauti, che pesava da solo i due terzi del complesso del LM: infatti doveva alloggiare un motore più grande e maggior propellente per la discesa, e doveva essere strutturalmente più robusto per resistere all'impatto col suolo lunare; il razzo aveva una spinta massima di 4490 kg, che poteva essere regolata fino ad un minimo di 580 kg durante le complesse manovre dell'allunaggio, con un tempo totale di accensione di 720 secondi (portati a 960 nelle ultime missioni): il propellente imbarcato nei serbatoi del modulo di discesa ammontava a 8890 kg.

Lo stadio era di forma ottagonale e montava quattro zampe, ripiegate durante la traiettoria di trasferimento all'orbita lunare, ed estraibili con un comando attuato da bulloni esplosivi, recanti all'estremità dei piatti di 94 centimetri di diametro per distribuire meglio il peso; il sistema di tubi



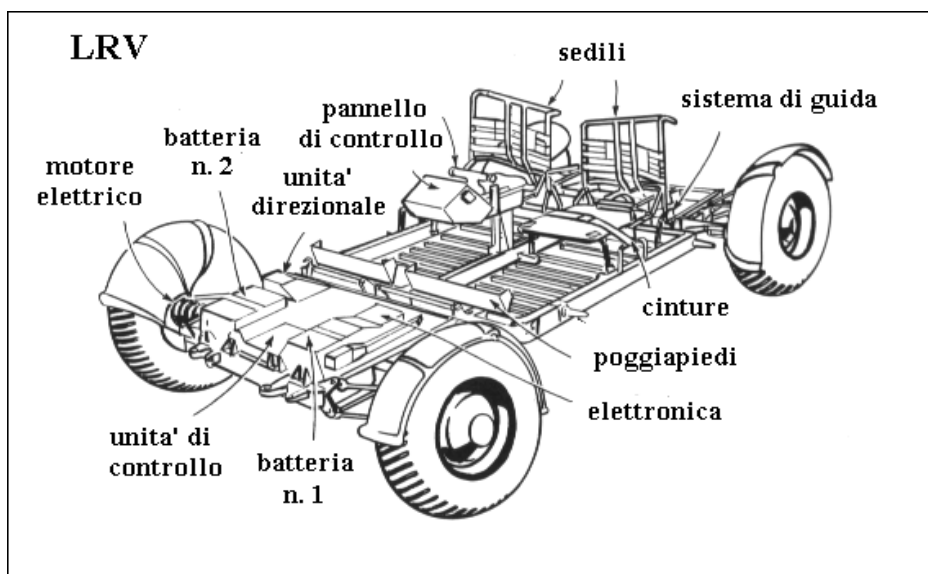
costituenti l'attacco al corpo principale era deformabile e fungeva da ammortizzatore in caso di allunaggio forzato.

Tutte le zampe di atterraggio meno una montavano una sonda filiforme pendente lunga 173 cm che avvertiva l'equipaggio dell'avvenuto contatto col suolo lunare, al che potevano spegnere il motore a razzo: durante tutte le fasi del volo, un radar montato nel modulo di discesa misurava la distanza del suolo in avvicinamento.

Nello stadio erano inoltre ricavati dei vani attorno al motore principale, in cui, oltre ai serbatoi di propellente, trovavano posto equipaggiamenti per la trasmissione televisiva, contenitori per i campioni lunari, il Sistema Apollo per Esperimenti sulla Superficie Lunare (l'ALSEP) ed infine, completamente ripiegato, l'LRV (solo nelle ultime missioni).

Quest'ultimo era un veicolo elettrico biposto costruito dalla Boeing ed aveva un peso di 209 kg per una lunghezza di 310 centimetri; la sua velocità massima era di 16.9 km/h con un'autonomia di 92 km. Era impiegato dagli astronauti per spostarsi lontano dal punto di atterraggio (fino ad una distanza di circa 10 km, dettata dalla loro massima resistenza in caso avessero dovuto rientrare a piedi per un guasto), e oltre al peso dei passeggeri poteva caricare attrezzi ed equipaggiamenti, ed ovviamente tutti i campioni lunari raccolti.

I 4 motori elettrici da $\frac{1}{4}$ di HP del veicolo, uno per ruota, erano alimentati da un sistema ridondante di batterie (in caso di guasto di una subentrava automaticamente l'altra), aventi un'autonomia di 78 ore; il pannello di controllo era situato tra i due astronauti e poteva essere azionato da entrambi: spingendolo avanti si metteva in moto l'LRV, ruotandolo lo si faceva curvare e tirandolo indietro si azionavano i freni.



Il veicolo poteva affrontare salite di 25° a pieno carico nella gravità ridotta lunare (circa 1/6 di quella terrestre), ed i sedili erano muniti di cinture di sicurezza per gli astronauti affinché non fossero sbalzati fuori bordo durante la marcia; un sistema elettronico di navigazione segnalava sempre all'equipaggio la direzione e la distanza del LM.

Con l'introduzione del *Lunar Rover*, il risparmio dell'energia impiegata nel camminare permise agli astronauti di raddoppiare la loro permanenza sul suolo lunare, in quanto consumavano meno ossigeno e meno acqua per il raffreddamento della tuta.

Il veicolo era dotato anche di una telecamera controllata da Terra (che riprese tutte le scene in cui comparivano i due astronauti al lavoro e quelle mostranti la partenza del modulo di risalita del LM), e di un'antenna parabolica ripiegabile ad ombrello per la trasmissione delle immagini televisive.

Una curiosità: la struttura dell'LRV era progettata per resistere al peso degli astronauti nella gravità lunare: se fosse stata usata a Terra, si sarebbe probabilmente spezzata; per l'addestramento degli equipaggi perciò era stata costruita un'unità modificata, in grado di resistere alle sollecitazioni terrestri.

Il vettore Saturno 5

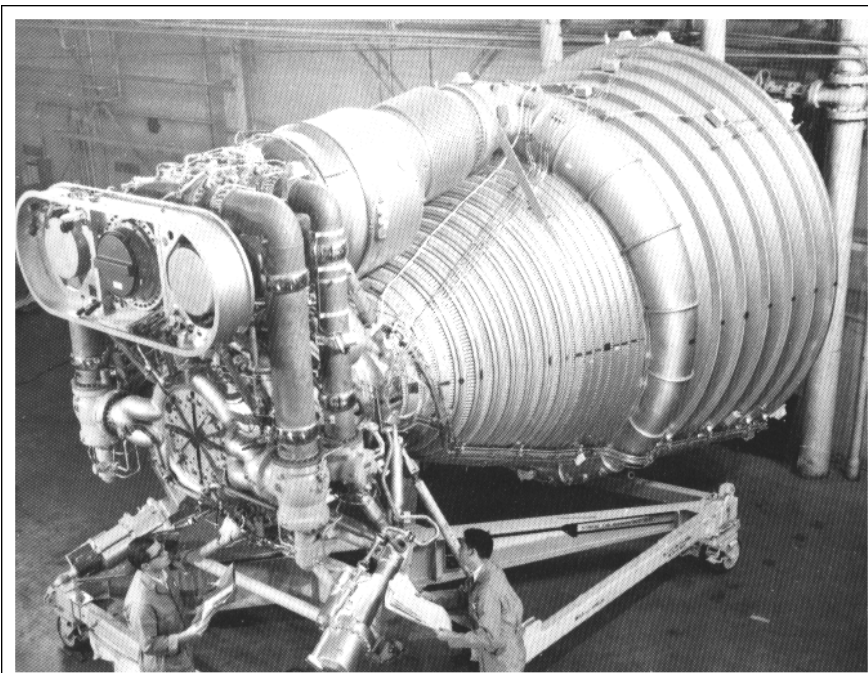
Il piu' potente vettore mai costruito dagli Stati Uniti era, come gia' ricordato, composto da 3 stadi:

- Primo stadio (S-1C)

Costruito dalla Boeing negli stabilimenti di Michoud (New Orleans, Mississippi), i suoi 5 motori F-1 consumavano kerosene raffinato (RP-1) ed ossigeno liquido ad un ritmo di 13.3 tonnellate al secondo, ed erano in grado di accelerare il vettore fino a 8530 km/h portandolo ad un'altezza di 61 km in 2 minuti e mezzo.

I componenti l'S-1C erano, partendo dall'alto: la struttura di rinforzo anteriore (che lo collegava al secondo stadio), il serbatoio dell'ossidante, la struttura di rinforzo centrale, il serbatoio del combustibile e la struttura di base, in grado di sopportare il peso dell'intero vettore a pieno carico sospeso in quattro punti sulla rampa prima del lancio e, una volta in volo, la formidabile spinta dei motori.

Dei 5 F-1, il centrale era montato rigidamente, mentre gli altri quattro laterali erano in grado di inclinarsi per impostare la rotta e correggere le eventuali deviazioni sotto il controllo del sistema computerizzato di guida montato tra il terzo stadio e l'Apollo.



Il motore F-1

Un vero capolavoro di ingegneria, il motore forniva una spinta di 680 tonnellate ed usava lo stesso kerosene della miscela propellente sia per il raffreddamento delle pareti della camera di combustione e della prima parte dell'ugello, sia come fluido in pressione per il controllo pneumatico dei meccanismi; le pompe del combustibile e dell'ossidante erano mosse da una turbina da 55000 HP, in cui era introdotta una miscela di RP-1 e O₂ ricca in combustibile per abbassare la temperatura dei gas di scarico a circa 650°C : questi ultimi, poi, erano introdotti direttamente nella parte divergente dell'ugello e fungevano da "raffreddatori" delle pareti, altrimenti sottoposte a temperature ben piu' alte. L'ugello era costruito in acciaio inox ad alte caratteristiche, ed aveva un'altezza di 5.8 metri ed un diametro massimo di 3.7 metri con un rapporto di espansione di 16 a 1; il peso complessivo del motore a vuoto era di 8.4 tonnellate e con una pressione di esercizio di 68 atmosfere, forniva un'impulso specifico di 260 secondi.

- Secondo stadio (S-2)

Era realizzato dalla North American Rockwell a Seal Beach, California; dotato di 5 motori J-2, entrava in funzione dopo il distacco del primo stadio e incrementava l'altezza del vettore fino a 184 km funzionando per circa 6 minuti; sviluppava una spinta di 526 tonnellate bruciando una miscela di ossigeno ed idrogeno liquidi.

I principali componenti erano: la struttura di rinforzo superiore, i serbatoi dell'idrogeno e dell'ossigeno liquidi (erano separati da un unico diaframma opportunamente coibentato, altrimenti l'ossigeno, liquido a -150°C , sarebbe divenuto solido alla temperatura dell'idrogeno, -220°C), la struttura conica di spinta e un interstadio cilindrico che veniva abbandonato dopo qualche istante dall'inizio del funzionamento dei 5 motori.

Come per l'S-1C, di questi ultimi solo i 4 esterni erano orientabili, mentre il centrale era fisso; benché avessero la capacità di essere riavviati, i J-2 del secondo stadio del Saturno 5 venivano usati per una singola combustione.

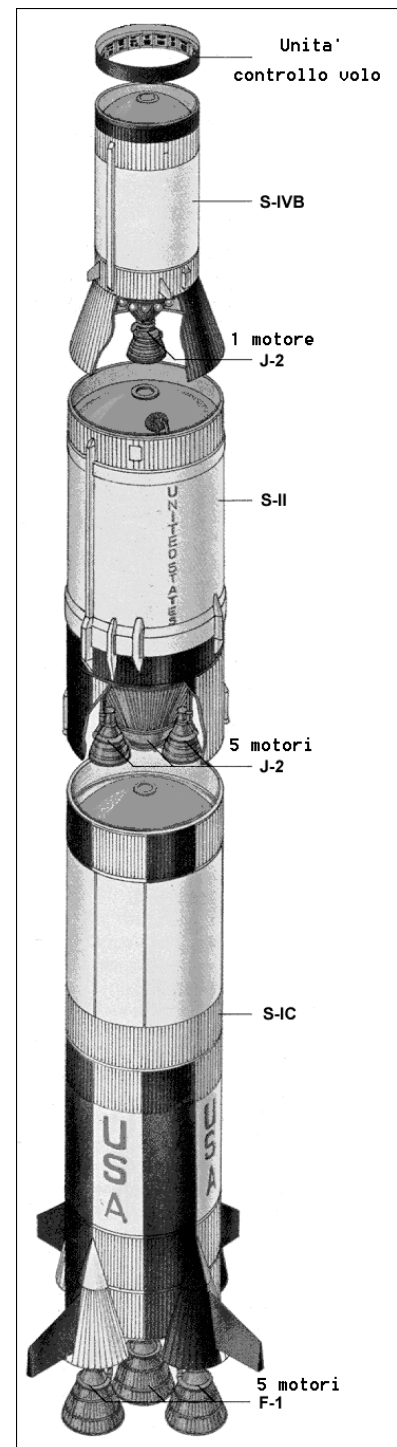
- Terzo stadio (S-4B)

Costruito dalla McDonnell-Douglas ad Huntington Beach (California), l'S-4B aveva dei compiti particolari: doveva dapprima far raggiungere all'Apollo i 28000 km/h necessari ad entrare in orbita terrestre, funzionando per circa 2 minuti e mezzo; in seguito, compiute due orbite di parcheggio, il suo singolo motore J-2 veniva riavviato e bruciava il rimanente propellente (O_2 ed H_2 liquidi) per altri 5 minuti, fornendo una spinta di 104 tonnellate, per immettere la navicella in una traiettoria di trasferimento verso la Luna facendole così raggiungere una velocità di 39000 km/h.

Una volta esaurito il suo compito, l'Apollo si separava e lo stadio veniva deviato in orbita solare per non interferire con le operazioni della navicella; in qualche caso fu invece indirizzato verso la Luna con una rotta di collisione, questo per testare i sismografi installati sulla superficie dagli astronauti.

L'S-4B era composto dalla struttura di connessione all'adattatore dell'Apollo, dai serbatoi del combustibile e dell'ossidante, e del cono di spinta cui era collegato il motore; quest'ultimo aveva una pressione di esercizio di 54 atmosfere con un impulso specifico di 424 secondi ed era raffreddato da

idrogeno gassoso circolante in intercapedini che attraversavano tutto l'ugello: durante il funzionamento il J-2 consumava propellente al ritmo di 240 kilogrammi al secondo.

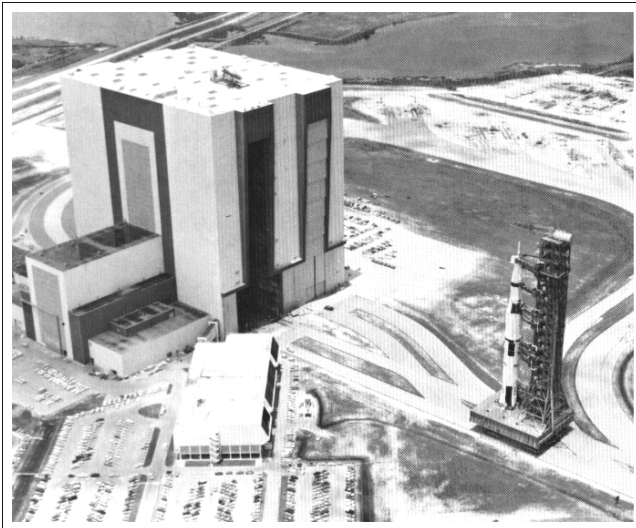


- Unita' controllo volo

Completava il Saturno 5 l'unita' di controllo (l'*Instrument Unit*), un vero e proprio computer sagomato a forma di anello di 6.6 metri di diametro e 91 centimetri di altezza: esso riceveva i dati sul funzionamento di tutti gli stadi nonche' le informazioni sulla traiettoria percorsa dal vettore e sulla sua velocita', li processava e se necessario variava autonomamente i parametri del volo.

Era stato progettato dall'IBM sotto il controllo del Marshall di Huntsville, e doveva sopportare alti livelli di accelerazioni e vibrazioni senza subire guasti; aveva tra l'altro un sistema di condizionamento che manteneva la temperatura all'interno al valore ottimale per il funzionamento.

L'assemblaggio ed il lancio del vettore e del suo carico utile, la navicella Apollo, richiese la costruzione di un sito apposito al KSC, il complesso di lancio 39, con due rampe indipendenti (la 39A e la 39B) con le relative infrastrutture, un gigantesco fabbricato per il montaggio dell'Apollo/Saturno 5, il VAB, un enorme trasportatore a cingoli per trasferirli al sito di lancio insieme con la rampa, il Crawler, e le opportune strade di collegamento.



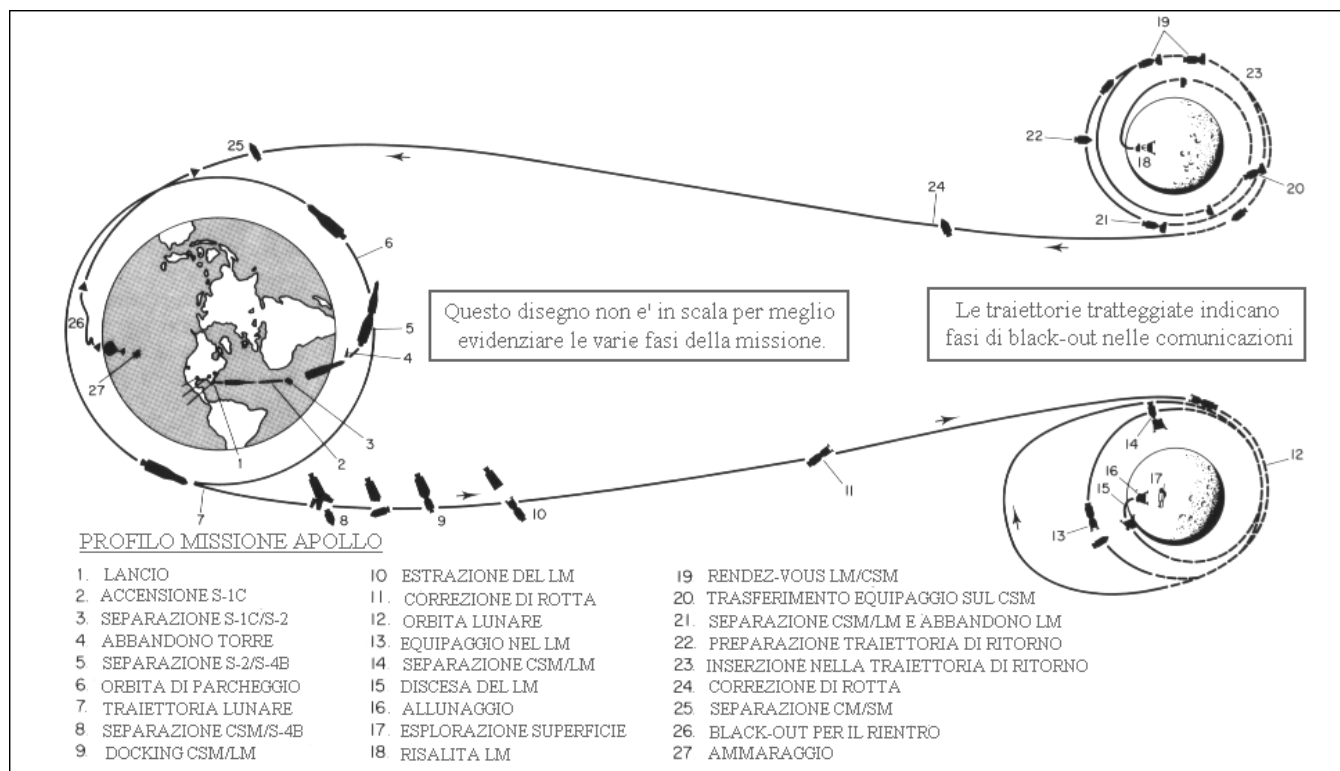
Il complesso 39 con le sue infrastrutture e' ancora funzionante, essendo attualmente impiegato per i lanci dell'NSTS, lo Space Shuttle; esso occupa al KSC un'area di 35600 ettari.

Profilo delle missioni Apollo

Dopo il lancio, lo stadio superiore del Saturno 5 S-4B era posto in orbita di parcheggio, come gia' ricordato, per dar tempo agli astronauti di controllare la navicella e tutto l'equipaggiamento; successivamente l'Apollo era accelerato alla velocita' di fuga terrestre (11.2 km/s) e quindi inserito in una traiettoria di trasferimento lunare: essa era stata scelta in modo che, in caso di guasto ai motori, la navicella sarebbe comunque ritornata nelle vicinanze della Terra per effettuare il rientro in atmosfera (traiettoria di ritorno libero).

Sulla strada per la Luna, il CSM si separava aprendo i petali dell'adattatore del LM, che si allontanavano dal terzo stadio, scoprendo cosi' il modulo lunare: i moduli di servizio e di comando eseguivano quindi una virata di 180° e si riavvicinavano al LM in modo da effettuare il *docking*, e quindi lo estraevano dall'S-4B.

A meta' strada circa dalla Luna, il motore SPS del CSM veniva azionato per trasformare la traiettoria di ritorno libero in "ibrida", che avrebbe permesso l'inserzione in orbita lunare; un'altra accensione avrebbe circolarizzato l'orbita ad una altezza dalla superficie di 60 miglia marine (111 km), ottimale per la discesa del LM.



Quindi dopo alcune orbite attorno alla Luna il modulo lunare con a bordo due astronauti si separava dal CSM, dove rimaneva in attesa il loro compagno, il pilota del modulo di comando; il LM rimaneva per un po' in vista, affinché l'estrazione delle zampe d'atterraggio fosse controllata, ed in seguito, quando le due navicelle si trovavano dietro al nostro satellite (perciò durante il *black-out* delle comunicazioni con la Terra), iniziava la discesa la cui ultima parte però avveniva quando le comunicazioni erano ripristinate.

Seguivano le fasi dell'allunaggio morbido sulla faccia della Luna visibile da Terra, l'esplorazione della superficie ed infine la partenza del modulo di risalita del LM, che si ricongiungeva al CSM, e dopo il trasferimento dell'equipaggio e dei campioni raccolti veniva abbandonato in orbita lunare o fatto precipitare sulla Luna.

Successivamente, il CSM riavviava l'SPS per inserire di nuovo la navicella in una traiettoria di trasferimento verso la Terra, e nuovamente a meta' strada veniva effettuata una correzione di rotta per ottimizzare l'angolo di rientro nell'atmosfera terrestre; in vicinanza della Terra l'SM veniva abbandonato e la capsula Apollo doveva imboccare un corridoio di appena 2° di ampiezza, altrimenti o sarebbe stata incenerita dall'attrito con l'atmosfera, oppure ci avrebbe rimbalzato su come un sasso lanciato orizzontalmente in uno stagno.

Le ultime fasi del volo erano il rientro in atmosfera, l'apertura dei paracadute e lo *splash-down*, l'ammarraggio nell'Oceano Pacifico: gli astronauti quindi venivano prelevati da elicotteri e portati a bordo della portaerei d'appoggio che incrociava in zona; in tutto una missione lunare poteva durare dagli 8 (Apollo 11) ai 12 giorni (Apollo 17).

Dettagli sulle missioni Apollo

- Apollo 7 (Ottobre 1968)

Fu la prima missione del CSM con equipaggio (Schirra, Eisele e Cunningham) di durata pari a 260 ore, circa 11 giorni; gli astronauti condussero test sulla navicella in tutti i suoi sistemi, incluso l'SPS che fu acceso per 8 volte manualmente ed automaticamente.

Fu simulata anche l'estrazione dall'S-4B lanciato da un Saturno 1B del LM (che però non era presente effettivamente), nonché fu controllato lo scudo termico durante il rientro.

Una curiosità: durante la missione gli astronauti si ammalarono di un forte raffreddore, contagiandosi a vicenda, e vi furono momenti di tensione nelle comunicazioni con il Centro di Controllo a Houston, Texas, tanto che Schirra (che aveva partecipato alle prime missioni Mercury) al ritorno a Terra rassegnò le dimissioni dalla NASA.

- Apollo 8 (Dicembre 1968)

Il primo volo attorno alla Luna, e la prima volta che un equipaggio (Borman, Lovell e Anders) fu lanciato col Saturno 5; furono compiute 10 orbite lunari, controllando il funzionamento dell'SPS nei cambiamenti di traiettoria.

Per la prima volta la faccia nascosta della Luna fu filmata e fotografata da una navicella abitata, mentre furono eseguite riprese delle zone sulla faccia visibile destinate all'atterraggio delle successive missioni Apollo; fu anche la prima volta che la Terra fu fotografata da un altro corpo celeste.

La missione terminò dopo 147 ore con l'ammarraggio nel Pacifico, 11 secondi prima di quanto i computer a Terra avessero calcolato mesi prima; fu quindi un completo successo, e fu dimostrata la fattibilità di far atterrare uomini sulla Luna: l'unica incertezza rimaneva però il pilotaggio del LM, che non era stato montato sul Saturno in questa missione.

- Apollo 9 (Marzo 1969)

Fu la prima missione abitata col modulo lunare sviluppato dalla Grumman; la partenza subì un ritardo di due giorni, a causa di un banale mal di gola dell'equipaggio (McDivitt, Scott e Schweickart): l'Apollo restò in orbita terrestre e furono simulate le manovre dell'estrazione del LM, dell'accensione del suo modulo di discesa, dell'uscita degli astronauti sulla passerella e sulla scaletta, e del *docking* del modulo di risalita con il CSM.

La durata della missione fu di ben 241 ore, circa 10 giorni, e fu una nuova conferma del funzionamento di tutti i sistemi dell'Apollo.

- Apollo 10 (Maggio 1969)

La prova generale della discesa sulla Luna: l'equipaggio (Stafford, Cernan e Young) condussero test in orbita lunare durante le 192 ore (8 giorni) della missione.

Il LM in orbita lunare si distaccò dal CSM e si avvicinò alla superficie della Luna fino a 14.5 km, dopodiché il modulo di discesa fu abbandonato e quello di risalita accese i suoi motori per ritornare alla navicella dove era rimasto Young.

A questo punto il LM cominciò a sbandare violentemente, e ci volle un po' per stabilizzarlo nuovamente: fu in seguito chiarito che un interruttore era stato lasciato dall'equipaggio nella posizione sbagliata; il LM ed il CSM effettuarono quindi il programmato *rendez-vous* dopo che erano rimasti separati per 8 ore.

Per la prima volta nelle missioni Apollo furono effettuate riprese televisive a colori; inoltre, l'equipaggio

rimase in ottima salute durante tutta la missione.

- Apollo 11 (Luglio 1969)

Fu la missione che passo' alla storia: l'equipaggio fu lanciato in perfetto orario il 16 luglio, e raggiunse l'orbita lunare il 19; domenica 20 luglio, mentre Collins rimase sul CM (chiamato "Columbia" in codice) Armstrong ed Aldrin entrarono nel LM (battezzato "Aquila").

I due moduli si separarono alla 13a orbita lunare, ed il motore dell'Aquila fu acceso per iniziare la discesa: in vicinanza della superficie, Armstrong decise di passare dal volo controllato dal computer ai comandi manuali, in quanto il modulo si stava avvicinando ad una zona del Mare della Tranquillita' ricca di grossi massi.

Alle 16:17 del 20 luglio ora di Houston (erano le 22:17 in Italia), con meno del 2% del propellente residuo, piu' di 500 milioni di persone seguirono la diretta dello sbarco sulla Luna, in cui Armstrong dapprima comunico' al Centro di Controllo: "The Eagle has landed" (Aquila ha atterrato), ed in seguito, dopo aver rinunciato alle 4 ore di riposo programmate, si diresse fuori del portello del LM e scendendo la scaletta, all'ultimo gradino pronuncio' la famosa frase: "E' un piccolo passo per un uomo, un balzo da gigante per l'umanita'", e poggio' i piedi sul suolo lunare (erano in Italia le 4:56 del 21 luglio), seguito 18 minuti piu' tardi dal compagno Aldrin.

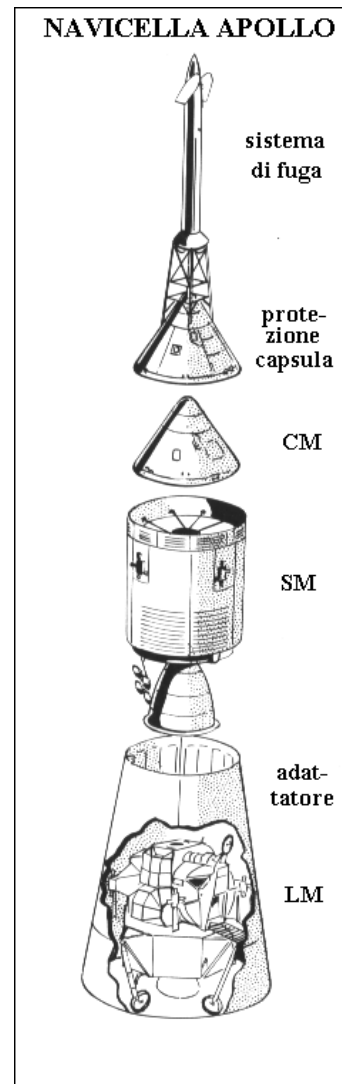
I due astronauti rimasero sulla Luna 2 ore e mezza, e per prima cosa sperimentarono qual era il modo migliore per spostarsi sulla superficie, provando a camminare, correre, o effettuare il "salto del canguro"; eressero la bandiera americana (che aveva un'asta orizzontale per mantenerla dispiegata, in quanto non c'era vento non essendoci atmosfera), lasciarono una placca con le loro firme e quella del presidente Nixon, un dischetto con il saluto registrato da molti capi di stato terrestri, un riflettore laser per misurare in modo accurato la distanza della Luna ed un sismografo per registrare l'impatto dei meteoriti ed i "lunamoti" (era cosi' sensibile che misuro' il tonfo dei pesanti scarponi lunari gettati fuori bordo dall'equipaggio per alleggerire la navicella alla partenza).

Armstrong ed Aldrin raccolsero circa 22 kg di rocce lunari e campioni di suolo, e 3 ore e mezza da quando erano rientrati nel LM, azionando il motore del modulo di risalita lasciarono la superficie della Luna; dopo aver passato all'aspirapolvere le loro tute ed isolato i campioni raccolti (precauzioni per non portare sulla Terra eventuali germi lunari) ed aver effettuato il *rendez-vous* col CSM, i due astronauti si trasferirono sul Columbia, ricongiungendosi al collega Collins.

I tre lasciarono l'orbita lunare e dopo aver percorso complessivamente 1.533.225 km, il 24 luglio alle 18:50 ora italiana ammararono, 30 secondi piu' tardi di quanto previsto originariamente; indossate delle tute isolanti furono messi in quarantena per 21 giorni in una roulotte modificata, nella quale raggiunsero Houston: l'isolamento fu una precauzione che si rivelò inutile, in quanto non venne trovata traccia di alcuna contaminazione.

- Apollo 12 (Novembre 1969)

Fu la seconda missione lunare (la quarta di un Apollo nel giro di un anno) con a bordo Conrad, Gordon e Bean; e per certi versi fu un volo ancora piu' memorabile dell'Apollo 11; inizio' in modo sensazionale, il lancio avvenne durante un temporale e come gia' menzionato il Saturno 5 fu colpito da due fulmini: le



comunicazioni si interruppero per qualche momento, e si temette che il corto circuito avesse danneggiato la memoria del computer di bordo in cui erano immagazzinati i dati sulla traiettoria e sull'allunaggio.

L'equipaggio impiegò il tempo durante le orbite di parcheggio a controllare minuziosamente il funzionamento di tutti i sistemi, ma tutto fu trovato in perfetto stato, quindi la missione poté continuare; era previsto che l'allunaggio dovesse essere effettuato in prossimità della sonda Surveyor 3 che 31 mesi prima era scesa dolcemente sulla superficie lunare: ma durante la missione Apollo 11 gli astronauti erano atterrati a 6.5 km dal punto previsto, perciò furono studiate delle correzioni di rotta in modo che il LM poté toccare il suolo lunare a soli 183 metri dalla sonda americana.

Conrad ai comandi del LM riportò che rispetto alla precedente missione il motore di discesa sollevò molta più polvere durante l'allunaggio, ma comunque gli rimase il propellente sufficiente per altri 58 secondi di volo sospeso (ad Armstrong erano rimasti appena 20 secondi).

Gli astronauti rimasero sulla Luna 31 ore e mezza, facendo due uscite dal LM, durante le quali raccolsero 34 kg di campioni lunari, installarono gli esperimenti dell'ALSEP (che sarebbero rimasti attivi per circa un anno, in quanto alimentati da una pila atomica) e recuperarono la telecamera ed altre parti del Surveyor per studiare su di essi gli effetti dell'esposizione al vento solare, al vuoto e ai raggi cosmici dello spazio.

Conrad fu il primo uomo che cadde camminando sulla Luna, e fu rialzato da Bean che dichiarò essere un compito semplicissimo nonostante la sua ingombrante tuta; purtroppo non fu possibile avere riprese televisive della permanenza degli astronauti sulla superficie lunare perché la telecamera fu accidentalmente puntata verso il Sole ed ebbe così il rivelatore bruciato.

Una volta ritornati sul CSM, l'equipaggio diresse il LM disabitato nuovamente verso la superficie lunare, dove si schiantò a soli 72.5 km dal sismografo appena installato: i geologi dissero che la Luna si mise a vibrare "come una campana", e le oscillazioni durarono 51 minuti, un fenomeno inatteso; essi avanzarono l'ipotesi che il nostro satellite sia una struttura instabile, e l'impatto aveva innescato una serie di collassi e frane.

Al ritorno Conrad, Gordon e Bean furono posti in quarantena (di nuovo rivelatasi inutile), e successivamente 13 kg di rocce lunari furono inviati a scienziati in tutto il mondo per corriere diplomatico, ma anche per posta normale; la missione durò in tutto 10 giorni, due in più dell'Apollo 11.

- Apollo 13 (Aprile 1970)

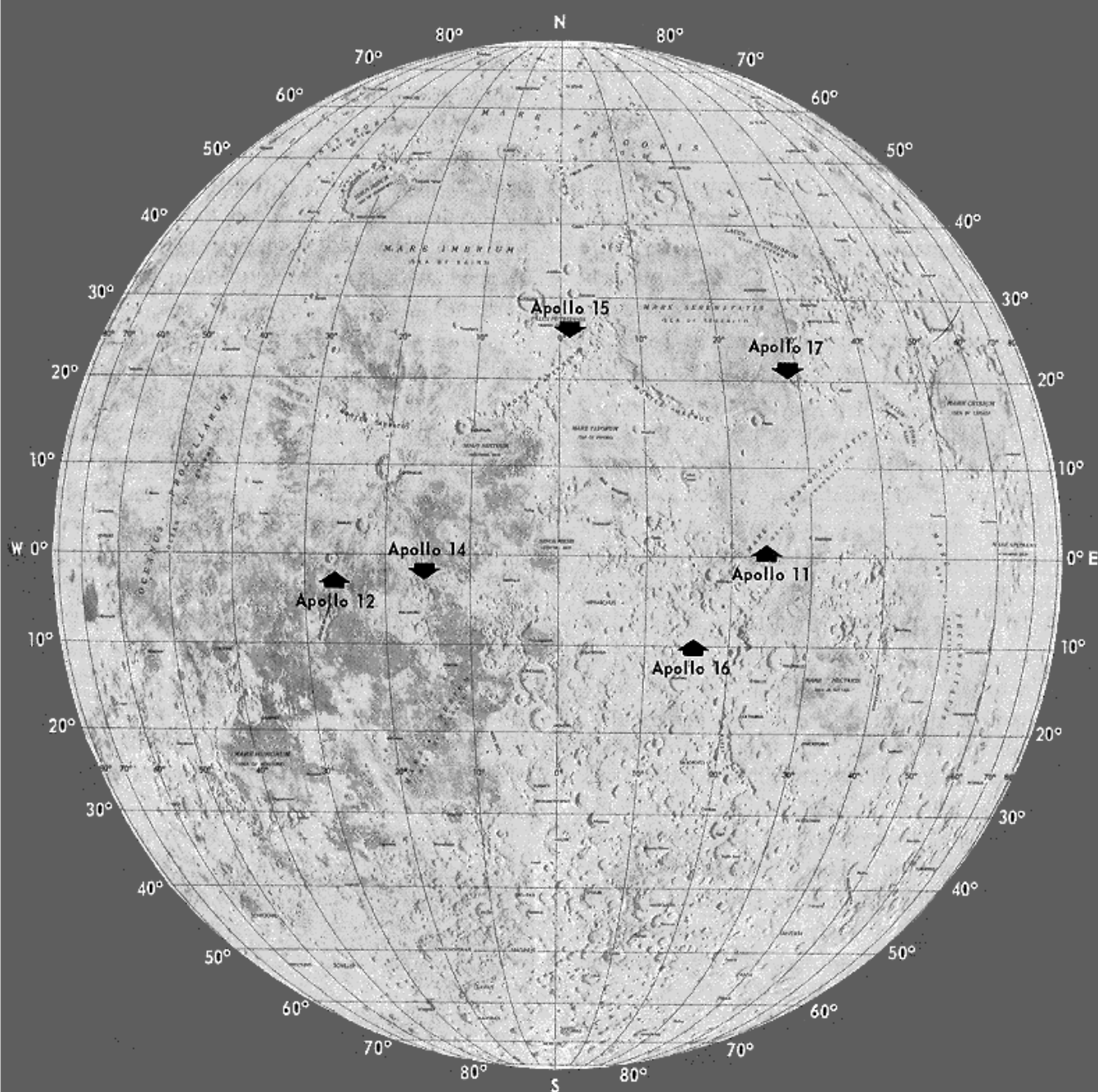
Sarebbe stato il primo di una serie di tre allunaggi interamente dedicati agli studi geologici; invece, un'esplosione a bordo quando la navicella si trovava a 330.000 km dalla Terra trasformò la missione in un drammatico salvataggio, durante il quale decine di migliaia di tecnici dell'industria aerospaziale si adoperarono per riportare a casa l'equipaggio dell'astronave in avaria.

Fu una missione costellata di incidenti, a cominciare dal fatto che l'equipaggio composto da Lovell, Mattingly ed Haise venne contagiato dal morbillo, cui Mattingly, il pilota del modulo di comando, non era immune: perciò dovette essere sostituito e fu rimpiazzato dalla sua riserva Swigert solo una settimana prima del lancio; inoltre il motore centrale del secondo stadio del Saturno 5 si spense in volo, ma nonostante ciò la missione poté continuare.

Infine dopo una trasmissione TV dalla navicella, gli astronauti comunicarono che l'allarme era entrato in funzione, e che avevano percepito un forte botto seguito da una caduta di tensione sul circuito elettrico secondario; gli indicatori del livello dell'ossigeno nei serbatoi dell'SM andarono velocemente a zero e l'equipaggio segnalò che dalla navicella si vedeva del gas uscire nello spazio: solo in seguito si appurò che un serbatoio di ossigeno difettoso era esploso nel SM, facendone saltar via un pannello esterno, di fatto mettendo il modulo completamente fuori uso.

Solo 80 minuti dopo l'inizio dell'emergenza i giornalisti furono avvertiti che la missione lunare era stata abbandonata e che la navicella avrebbe percorso la traiettoria di ritorno libero con gli astronauti tenuti in vita nel LM; dopo i successi di Apollo 11 e 12 i *mass-media* avevano cominciato a ritenere i voli lunari

SITI DEGLI ALLUNAGGI DEI LM APOLLO



APOLLO 11: Mare della Tranquillita' (20 luglio 1969)
 APOLLO 12: Oceano delle Tempeste (18 novembre 1969)
 APOLLO 14: Altopiano di Fra Mauro (3 febbraio 1971)
 APOLLO 15: Appennini/Rima Hadley (30 luglio 1971)
 APOLLO 16: Cartesio/Cayley (20 aprile 1972)
 APOLLO 17: Taurus/Littrow (11 dicembre 1972)

come un fatto ormai di routine: ma la situazione venutasi a creare riaccese l'interesse e fu data ampia copertura dell'evento in tutto il mondo.

Il LM (chiamato in codice Aquarius) con tutti i sistemi in funzione avrebbe avuto un'autonomia di 38 ore, circa la meta' del tempo necessario per tornare a Terra: percio' il consumo delle apparecchiature dovette essere drasticamente ridotto, incluso il riscaldamento in cabina.

Oltre al freddo e alla tensione, gli astronauti dovettero anche affrontare l'emergenza della velenosa anidride carbonica prodotta dal loro stesso respiro: infatti i filtri del LM si esaurirono con l'uso e non c'erano ricambi disponibili, percio' si dovettero usare quelli del CM (in codice Odyssey) aventi forma diversa, con un adattatore di fortuna fatto di plastica, cartone, nastro adesivo e tubi d'aria delle tute; inoltre le correzioni di rotta (4 in tutto) vennero effettuate col motore di discesa del LM usato manualmente, in quanto il computer era stato spento per risparmiare energia.

Giunti in prossimita' della Terra, l'SM danneggiato venne abbandonato e gli astronauti poterono finalmente vedere l'entita' del danno causato dall'esplosione: esso era cosi' esteso che si temette per l'integrita' dello scudo termico dell'Odyssey; un'ora prima del rientro anche Aquarius fu abbandonato e si tuffo' nell'atmosfera, seguito dalla capsula.

Con tutte le incognite ancora presenti, l'angolo di discesa non ottimale e lo scudo termico probabilmente danneggiato, il mondo resto' col fiato sospeso durante i 4 minuti di *black-out* delle comunicazioni causato dal rientro: 100 milioni di persone tirarono un respiro di sollievo quando videro nella diretta TV la capsula scendere appesa ai paracadute e poterono sentire il saluto degli astronauti felici di essere tornati a casa.

La NASA descrisse la missione come "un fallimento di successo", perche' la navicella non riusci' nell'intento di allunare, ma gli astronauti ritornarono a Terra sani e salvi in una situazione di estrema emergenza.

- Apollo 14 (Febbraio 1971)

Dopo l'incidente dell'Apollo 13 il piano di marcia delle missioni fu rivisto per avere il tempo di eliminare simili problemi; la nuova missione ebbe luogo 10 mesi dopo e fu diretta verso il precedente obiettivo, l'altopiano di Fra Mauro.

L'equipaggio composto da Roosa e Mitchell era al comando del 47enne Shepard, l'ultimo degli originali 7 astronauti della Mercury ancora in servizio, che avrebbe dovuto volare sull'Apollo 13 ma era stato scartato per una grave forma di otite.

Il lancio venne ritardato per evitare i problemi occorsi all'Apollo 12 con i fulmini: infatti si attese una schiarita ed il Saturno 5 decollo' senza problemi; questi tuttavia si presentarono all'atto dell'estrazione del LM, quando Roosa dovette ripetere il *docking* 6 volte, ed in seguito si ripeterono al *rendez-vous* al ritorno dalla Luna.

Il propellente in piu' consumato obbligo' alla cancellazione di una programmata correzione di rotta, e non si chiari' mai il motivo del malfunzionamento della procedura di aggancio: si avanzo' persino l'ipotesi che Roosa si era avvicinato troppo piano durante la manovra.

L'Apollo si inseri' in un'orbita peculiare con apoastro di 112 km e periastro di appena 15 km, questo significava che il LM avrebbe avuto piu' propellente per scendere sulla superficie lunare e cercare un punto sicuro nell'impervia regione scelta per l'allunaggio; il 15 febbraio Antares (cosi' fu battezzato il LM) alle 11:18 ora italiana tocco' il suolo lunare ad appena 26.5 metri dal punto programmato.

Shepard e Mitchell effettuarono due uscite dal LM, entrambe di circa 4 ore e tre quarti, durante le quali raccolsero 44 kg di campioni lunari; molti degli esperimenti programmati non funzionarono a dovere, e gli astronauti sperimentarono anche un improvviso *black-out* nelle comunicazioni con la Terra: dovettero persino rinunciare a raggiungere un luogo elevato a 1.6 km di distanza dal LM (dovevano simulare una frana), perche' dopo due ore di cammino erano indietro di un'ora rispetto alla tabella di marcia ed erano stanchi.

Una curiosita': Shepard fu il primo uomo a giocare a golf sulla Luna: costruì due palline ed uso' un

pezzo di equipaggiamento come mazza.

Durante il viaggio di ritorno il meccanismo di docking che aveva causato tanti problemi fu smantellato e riportato a Terra per essere esaminato, e l'equipaggio fu l'ultimo ad essere sottoposto alla quarantena al ritorno dalla Luna.

- Apollo 15 (Luglio 1971)

La prima delle tre missioni col CSM di "serie J" con strumentazione e peso aumentati: duro 12 giorni e 7 ore, due giorni in più delle precedenti missioni Apollo; l'equipaggio (Scott, Worden e Irwin) decollò con 8 millesimi di secondo di ritardo, dopo che la rampa di lancio era stata colpita da fulmini per ben 11 volte.

Problemi furono incontrati con il sistema di controllo dell'SPS e con un vetro rotto nell'altimetro del LM, i cui frammenti potevano causare perdite d'ossigeno nelle guarnizioni del portello; inoltre una valvola difettosa segnalò erroneamente una perdita nel circuito dell'acqua della navicella.

Gli astronauti indossarono le tute spaziali prima di raggiungere l'orbita lunare quando espulsero il pannello che copriva la SIMBAY nell'SM, contenente strumentazione scientifica per misurare la composizione del suolo lunare, e specialmente le *mascon*, le concentrazioni di massa della Luna che influenzavano l'orbita delle navicelle: un piccolo satellite di 35 kg fu anche rilasciato, che avrebbe continuato a fornire dati per circa un anno.

Il LM battezzato "Falcon" allunò il 30 luglio alle 23:16 ora italiana, dopo aver sorvolato gli Appennini alti 3960 metri, in una pianura vicina ad un piccolo *canyon*, la Rima Hadley, profondo 366 metri: il

modulo lunare si posò inclinato di 10° perché una zampa era finita in un piccolo cratere, cosa che causò non pochi problemi a Scott e Irwin nell'uscire e rientrare nel LM; in totale effettuarono tre uscite per complessive 18 ore e 36 minuti.

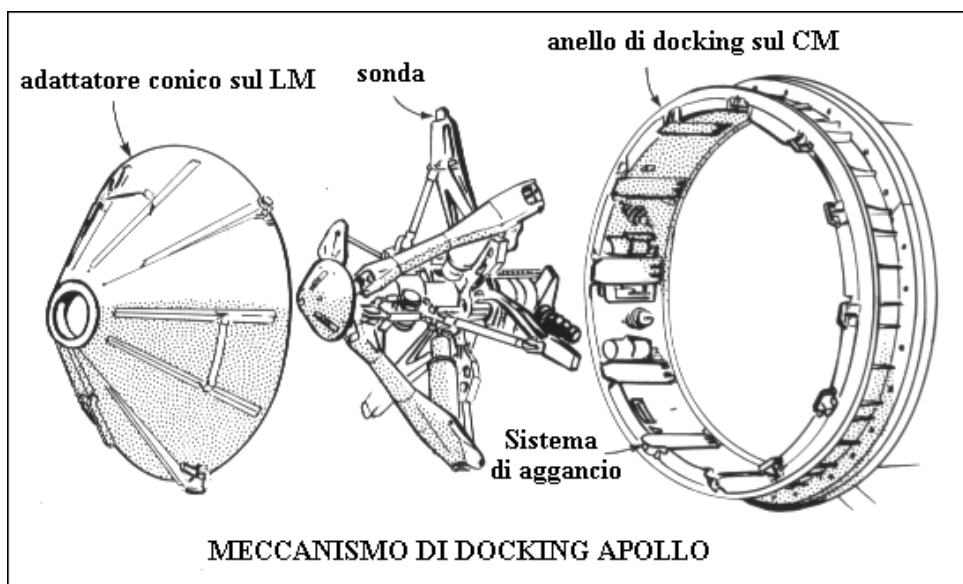
Gli astronauti ebbero qualche difficoltà a dispiegare il *Lunar Rover*, ma poi raggiunsero senza problemi il *canyon* distante 4 km,

mandando di esso bellissime immagini a colori con la telecamera montata sul veicolo; installarono il terzo ALSEP, con cui i geologi poterono avere la conferma che ogni volta la Luna raggiungeva il punto più vicino alla Terra avvenivano terremoti, specialmente nella regione del cratere Copernico.

Nella seconda uscita con l'LRV Scott e Irwin percorsero 12.5 km, raccogliendo campioni, i più antichi dei quali fu misurato avevano oltre 4 miliardi di anni; Irwin fece una caduta spettacolare e fu rialzato da Scott, ma si rifece quando quest'ultimo cadde durante la terza uscita e fu il suo turno ad aiutare il compagno.

Quando i due ritornarono definitivamente al Falcon, avevano percorso complessivamente 28 km col Rover e raccolto ben 78 kg di campioni lunari; la telecamera dell'LRV fu lasciata accesa e puntata sul LM, così per la prima volta la partenza dalla Luna fu trasmessa in diretta TV.

Seguì il *rendez-vous* in orbita col compagno Worden, e successivamente si ebbe qualche problema con il portello del CM Endeavour che si temeva fosse non propriamente sigillato; durante il viaggio di



ritorno alla Terra, lo stesso Worden uscì da una capsula per una attività extraveicolare al fine di recuperare due videocassette nel vano SIM dell'SM.

Vi furono due incidenti che occorsero in seguito, per fortuna senza gravi conseguenze: uno fu il malfunzionamento della telecamera del Rover che impedì l'osservazione del Sole eclissato dalla Terra, e l'altro, più grave, fu la mancata apertura di uno dei tre paracaduti che frenavano l'ammarraggio della capsula al rientro; lo *spash-down* avvenne a velocità superiore al previsto, ma gli astronauti non risentirono dell'impatto più di tanto.

- Apollo 16 (Aprile 1972)

Il quinto allunaggio fu un completo successo, ottenuto nonostante per un certo tempo si era pensato ad una emergenza tipo Apollo 13; la missione durò 11 giorni e 2 ore circa, ed il Saturno 5 decollò in orario nonostante problemi ai giroscopi dell'*Instrument Unit*.

Il primo problema durante il volo, di una dozzina che occorsero all'equipaggio composto da Young, Mattingly e Duke, si presentò dopo 8 ore e mezza dal lancio: Young notò all'esterno della capsula delle particelle a mo' di fiocchi e temette una fuga di azoto; così, anche se al Controllo a Terra non risultavano perdite, gli astronauti ricevettero l'ordine di controllare il LM.

Non fu trovata alcuna fuga, ma si notò che la vernice termica si stava staccando dai pannelli a fiocchi, e si decise che il problema non era critico; non fu così per un segnale di guasto al Sistema di Navigazione, infatti si dovette simulare a Terra che la strumentazione non avrebbe interrotto manovre essenziali quali l'inserzione in orbita lunare e la discesa sulla Luna.

Ma il problema più grave occorre appena dopo la separazione del LM e del CSM in orbita lunare: il sistema di controllo dell'SPS segnalò un guasto, e Mattingly non poté circularizzare l'orbita per il successivo *rendez-vous*, né Young e Duke poterono iniziare la discesa verso la superficie lunare; da Terra fu ordinato di continuare ad orbitare e nel frattempo riavvicinare le due navicelle, mentre con il motore dell'SM fuori uso si profilava uno scenario simile all'emergenza dell'Apollo 13.

Dopo essersi consultati, i direttori della NASA decisero di autorizzare la discesa del LM, ritenendo che la segnalazione del guasto non fosse veritiera: così Mattingly accese con successo l'SPS e circularizzò l'orbita, mentre Young e Duke cominciarono ad avvicinarsi alla pianura Cayley nella regione di Cartesio, dove toccarono il suolo alle 3:23 ora italiana del 21 aprile.

La prima uscita durò 7 ore e 11 minuti, e purtroppo Young dopo aver dispiegato l'ALSEP tranciò il cavo elettrico dell'esperimento più importante, il misuratore di calore emesso dalla Luna, con cui gli scienziati speravano di confermare quello che avevano rilevato gli astronauti dell'Apollo 15, e cioè che il flusso di calore era superiore al previsto; la delusione fu attenuata dal funzionamento di un trapano per estrarre carotaggi di 3 metri del suolo lunare.

La seconda uscita dal LM dimostrò chiaramente l'aumentata risoluzione delle riprese TV con la telecamera montata sul Rover e manovrata da Terra: si ottennero infatti primi piani di molte caratteristiche del suolo, da cui i geologi trassero molte informazioni; nella terza uscita Young e Duke si spinsero ancora lontano con l'LRV (che aveva un parafrangente rotto, e gli astronauti erano continuamente investiti dalla polvere lunare durante il moto), e successivamente provarono a vedere quanto in alto potevano saltare nella ridotta gravità lunare: a questo punto Duke cadde pesantemente di schiena, ma non ci furono conseguenze né per l'uomo né per la tuta spaziale.

Lasciata la Luna, ci fu un *rendez-vous* perfetto, ma al momento della separazione dei due moduli il LM cominciò a girare su se stesso a causa di un interruttore lasciato nella posizione errata, ed il CSM dovette fare un'improvvisa manovra evasiva per non entrare in collisione: il modulo lunare dovette quindi essere lasciato in orbita anziché cadere sulla superficie della Luna; nuovamente fu posto in orbita il microsatellite dalla SIMBAY (ma a causa di una inclinazione sfavorevole rimase attivo solo pochi mesi, per poi cadere sulla faccia lunare nascosta), e durante il viaggio di ritorno Mattingly uscì dalla capsula per recuperare le videocassette esterne.

Al rientro i tre paracadute si aprirono regolarmente, ma all'ammarraggio la capsula si rovesciò nell'acqua

prima che i palloni che aumentavano il galleggiamento entrassero in azione: questo causò per la prima volta il ristagno dei propellenti residui a bordo, e non essendo stata presa la precauzione di scaricarli esplosero quando il CM fu riportato alla North American per il controllo, causando danni e ferendo alcuni tecnici al lavoro.

Durante il volo dell'Apollo 16 fu sperimentata una dieta con cibi speciali e con succo d'arancia arricchito di potassio per evitare battiti cardiaci irregolari, fugando così i dubbi sulla praticabilità di una missione di 56 giorni a bordo dello Skylab; Young e Duke totalizzarono 20 ore e 40 minuti di permanenza sulla superficie lunare, e percorsero con l'LRV 27 km, raccogliendo in totale 97.5 kg di campioni.

- Apollo 17 (Dicembre 1972)

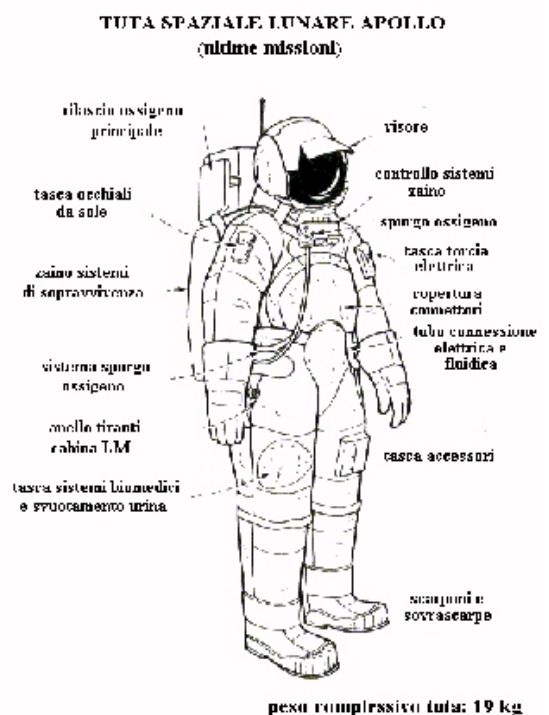
L'ultima missione lunare fu la spedizione Apollo meglio riuscita: l'equipaggio (Cernan, Evans e Schmitt, il primo astronauta geologo che imparò a fare il pilota, anziché il contrario) stette nello spazio più a lungo, percorse una maggiore distanza e riportò più campioni lunari (113 kg) dei precedenti voli.

Il Saturno 5 al lancio ebbe qualche problema, e si temette di non riuscire a rispettare la finestra di 3 ore e mezza: ma la missione partì con 2 ore e 40 minuti di ritardo, e mezzo milione di persone assistettero di persona al primo lancio notturno, con i gas di scarico degli F-1 che illuminarono Capo Kennedy a giorno.

Il volo verso la Luna fu caratterizzato da varie segnalazioni d'allarme sulla navicella che poi si videro essere errate, e da un intervento al meccanismo di *docking* che durante l'estrazione del LM si era in parte guastato; gli astronauti raggiunsero l'orbita lunare alle 20:47 ora italiana del 10 dicembre, Cernan si rimise dai dolori allo stomaco accusati durante il viaggio di trasferimento, e fu osservato l'impatto del terzo stadio S-4B sulla Luna, seguito da un lampo di luce vicino al cratere Grimaldi, probabilmente causato da un meteorite.

Il LM si posò tra i monti Taurus ed il cratere Littrow, esattamente sul terminatore, ai bordi del Mare della Serenità: il luogo era stato scelto perché Worden dell'Apollo 15 vi aveva scorto come dei coni vulcanici in una zona dove si trovavano antichi altopiani insieme a materiali accumulatisi più recentemente; erano le 20:55 ora italiana dell'11 dicembre, e per l'ultima volta in questo secolo venne piantata una bandiera americana e lasciata una targa ricordo sulla Luna.

Schmitt ebbe più difficoltà dei suoi colleghi ad adattarsi alla ridotta gravità lunare, infatti fu protagonista di spettacolari cadute; Cernan consumava più ossigeno del previsto, e fu istruito di porre molta attenzione a preparare l'esperimento dell'ALSEP per misurare il calore interno della Luna, per non ripetere l'errore della missione precedente. Il primo viaggio col *Rover* iniziò in ritardo di 40 minuti e dovette essere accorciato per l'alto consumo di ossigeno: gli astronauti si diressero a sud verso il cratere Steno e raccolsero circa 22 kg di campioni; una volta rientrati nel LM furono consigliati da Young (che si trovava a Terra al Controllo Missione) su come riparare il parafango dell'LRV nuovamente rotto, usando le loro cartine lunari pinzate insieme. Alla seconda uscita, Cernan e Schmitt si diressero ad ovest verso le montagne alte 2130 metri e guidarono per un'ora intera allontanandosi 6.4 km dal modulo lunare (in caso di rottura del *Rover*, per tornare a piedi i due



Alla seconda uscita, Cernan e Schmitt si diressero ad ovest verso le montagne alte 2130 metri e guidarono per un'ora intera allontanandosi 6.4 km dal modulo lunare (in caso di rottura del *Rover*, per tornare a piedi i due

avrebbero dovuto camminare per quasi 3 ore), raccogliendo altri campioni; al ritorno, attorno al cratere Shorty notarono che il suolo era di colore arancione: gli scienziati sperarono di aver trovato un vulcano lunare, o di aver scoperto che ci fu in un certo periodo acqua sulla Luna (si pensava a qualche ossido o composto dello zolfo); invece, tre mesi dopo, le analisi di quei campioni dimostrarono che erano particelle vetrose causate da un antico impatto meteoritico, pero' la composizione era peculiare, essendo ricche di piombo, zinco e zolfo: si avanzo' l'ipotesi che fossero di origine vulcanica, provenienti da 300 km di profondita' e venute in superficie quando il mantello lunare si fuse parzialmente.

Cernan e Schmitt rientrarono nuovamente nel LM dopo aver percorso la distanza record di 19 km in 7 ore e 37 minuti di attivita' extraveicolare; dall'orbita Evans sul CSM avvisto' altri due crateri circondati dal suolo arancione sulla faccia visibile della Luna ed uno sulla faccia nascosta.

La terza ed ultima uscita dal LM inizio' con il disappunto per aver scoperto che il cratere Van Serg, creduto un vulcano, si dimostro' del tipo da impatto, per lo piu' di scarso interesse; Schmitt fu ripreso mentre scalava dei massi delle dimensioni di bus londinesi per raccogliere campioni, e il *Rover* fu provato in salita superando pendenze ragguardevoli, tanto da danneggiare leggermente i pneumatici.

Alla fine dell'attivita' gli astronauti erano veramente esausti: avevano percorso 35 km a bordo dell'LRV ed erano rimasti fuori dal LM per 22 ore e 6 minuti, per un totale di 75 ore sulla superficie lunare; la partenza dalla Luna fu trasmessa dalla telecamera a colori del *Rover* abbandonato, e nonostante il modulo di risalita del LM avesse 18 kg di sovrappeso, il decollo avvenne senza problemi essendo stata studiata una sequenza di accensione dei razzi di controllo per annullare lo sbilanciamento.

Dopo il *rendez-vous* gli astronauti trascorsero ancora due giorni in orbita lunare, ricavando mappe della faccia nascosta della Luna; alla 75a orbita il motore del CSM fu riacceso per imboccare la traiettoria verso la Terra, dove ammararono dopo 12 giorni, 13 ore e 51 minuti di volo, avendo percorso 2.390.984 km nello spazio.

Curiosita' sull'Apollo

- Le fasi piu' drammatiche per gli astronauti erano il lancio, durante il quale erano sottoposti ad una accelerazione massima pari a 4 volte e mezza il loro peso (attualmente con lo Space Shuttle si raggiungono al massimo le 3.2 volte), ma soprattutto il rientro in atmosfera, quando si toccavano le 5 volte: a questi livelli di accelerazione, persino la respirazione e' difficoltosa (e' stato detto che era come avere un gorilla seduto sul petto).
- La probabilita' che un micrometeorite delle dimensioni di cenere di sigaretta potesse colpire il modulo di comando durante gli 8 giorni di una missione lunare e' stata calcolata essere di 1 su 1230. La sua velocita' comunque sarebbe stata di circa 30 km/s.
- La conduzione del calore nei serbatoi di ossigeno ed idrogeno liquidi dell'SM era cosi' piccola che se fossero stati posti in una stanza a 21°C e avessero contenuto ghiaccio, sarebbero trascorsi 8 anni e mezzo prima che questo si sciogliesse tutto.
- Quando l'Apollo passava attraverso le Fascie di Van Hallen durante il suo viaggio verso la Luna, gli astronauti erano esposti alla dose di radiazione all'incirca pari a quella di una radiografia dentale.
- Il quadro di controllo del CM includeva 24 strumenti diversi, 566 interruttori, 40 indicatori meccanici e 71 spie luminose.
- L'accuratezza richiesta durante ogni correzione di rotta della navicella era di appena 1°.
- Il vettore Saturno 5 conteneva qualcosa come 3.6 milioni di litri tra combustibili e ossidanti: questo significava che per ogni kg lanciato verso la Luna servivano 50 kg di propellente.
- Durante il rientro in atmosfera, il CM dissipava per attrito 86.000 Kwh di energia, equivalente al consumo di una citta' come Los Angeles per 104 secondi.
- I fili dei circuiti elettrici nel modulo di comando avevano una lunghezza complessiva di 24 km.

- Se la capsula Apollo fosse stata perforata da un buco di 6 mm di diametro, l'ossigeno all'interno sarebbe durato per 15 minuti, il tempo sufficiente perché gli astronauti indossassero le loro tute.
- La protezione conica in vetroresina rinforzata che proteggeva il CM al lancio raggiungeva, a causa dell'attrito dell'aria, i 1200°C.
- I 5 motori F-1 del primo stadio del Saturno fornivano una potenza complessiva di 160 milioni di HP: in base ai cavalli della vostra, potete calcolare quante auto vi servirebbero per eguagliare tale potenza.
- Il computer principale del modulo di comando occupava circa 28 dm³ (il volume di una damigiana di capacità media): oggi, grazie alla miniaturizzazione dei circuiti elettronici iniziata proprio allora, esso sarebbe probabilmente contenuto in una scatola di fiammiferi.
- Il consumo di tutti i sistemi del CM era di 2 Kw, pari a quella di un forno domestico.
- I serbatoi pressurizzati dell'Apollo avevano un certo tasso di perdita di gas; se un pneumatico per automobili perdesse come questi ultimi, si sgonfierebbe in 32.4 milioni di anni.
- Gli uomini che camminarono sulla Luna (i *Moonwalkers*) durante le missioni Apollo furono in tutto 12, di cui però solo 9 sono ancora in vita; Neil Armstrong, il primo uomo che lasciò le sue impronte sul suolo lunare, ha oggi 68 anni.

Conclusioni

Il costo totale delle missioni Apollo, includendo lo sviluppo e la produzione di tutte le apparecchiature, i siti di lancio e le stazioni di telemetria a Terra, è stato stimato attorno ai 24 miliardi di dollari; le conoscenze acquisite dalla scienza e dalla tecnica furono innumerevoli, la strumentazione lasciata sulla Luna rivelò che il nostro satellite emette un calore dal suo interno sorprendentemente alto (la metà di quello emesso dalla ben più grande e geologicamente attiva Terra), e che è sismicamente quieto anche se è percorsa da piccoli "lunamoti" aventi origine 800 km sotto la superficie, forse innescati dalle maree terrestri.

La crosta superficiale della Luna ha uno spessore di 60 km, e oltre i 1000 km di profondità l'interno è parzialmente fuso; i dati raccolti, anche se non sono conclusivi, sembrano propendere verso la conferma della teoria della "cattura", la quale prevede che il corpo celeste si sia formato altrove e poi attirato in orbita terrestre.

I test effettuati sul materiale lunare riportato a Terra dimostrano che è sufficientemente compatto da sopportare il peso di edifici di un'eventuale base abitata, e potrebbe essere facilmente scavato per ricavare gallerie sotterranee; potrebbe essere usato per ottenere un cemento di buone caratteristiche, e con l'aiuto di una fornace solare, data l'alta percentuale di ossido di ferro, aggiungendo idrogeno si potrebbe ottenere acqua, che a sua volta si può scindere in idrogeno ed ossigeno (utile per la respirazione e come propellenti per razzi).

Attualmente né gli Stati Uniti, né altri Paesi hanno in programma missioni abitate verso la Luna: forse l'evidenza di acqua scoperta dalla sonda Clementine in prossimità del suo Polo Sud accelererà i piani in tal senso, ma al momento l'augurio formulato da Cernan dell'Apollo 17 il 13 dicembre 1972 sul ritorno dell'uomo sulla superficie lunare rimane disatteso: "Mentre mi accingo a lasciare l'ultima impronta umana sulla Luna, per coloro che vi torneranno in un futuro prossimo, vorrei consegnare questa frase alla storia: la sfida da noi lanciata oggi ha forgiato il destino dell'uomo di domani. Lasciamo questa regione di Taurus-Littrow così come l'abbiamo raggiunta e, voglia il Signore, come vi torneremo, in pace nel nome di tutta l'Umanità'."

Approfondimenti

Le notizie ed i dati qui riportati sono tratti principalmente da due libri, entrambi in inglese, uno e' "Spaceflight Directory" di Reginald Turnill, Ed. F.Warne Publishers Ltd, London; l'altro e' "The Rocket" di David Baker, Ed. New Cavendish Books, London.

Molto probabilmente, essendo della fine degli anni '70, questi volumi saranno ormai fuori catalogo, percio' consigliamo a chi volesse procurarsi dei libri piu' recenti sull'argomento di rivolgersi a librerie fornite e la' farsi consigliare.

Per chi poi possieda la connessione ad Internet segnaliamo alcuni indirizzi per approfondire gli argomenti qui accennati; il primo e' quello ufficiale della NASA:

<http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/apollo.html>

cui e' senz'altro dovuta una visita: ma i siti migliori da cui abbiamo tratto materiale originale sono stati preparati da semplici entusiasti dei voli spaziali. Il primo e':

<http://www.apollosaturn.com/>

di John Duncan: vi si possono trovare informazioni dettagliatissime sul Saturno 5 e sulla navicella Apollo; il secondo, di Kipp Teague:

http://www.retroweb.com/apollo_archive.html

e' ricco di fotografie ad alta risoluzione e di una sezione multimediale con filmati e clip audio scaricabili sul proprio PC.

Da tale indirizzo abbiamo prelevato una pagina scritta in JAVA che aperta con un qualsiasi *browser* (ma consigliamo IE4) diventa un simulatore con cui cimentarsi in un allunaggio con il LM; abbiamo tradotto in italiano tutti i comandi, ed incluso tutti i *files* necessari al funzionamento, dopodiche' li abbiamo compressi nel formato *zip*.

Il *file*, da scompattarsi in una nuova *directory* sotto la principale chiamata C:\ap_it, e' prelevabile dal sito del Grange Observatory:

http://www.geocities.com/CapeCanaveral/5988/ap_it.zip

Il file da aprire con IE4 e' `land_it.html`

