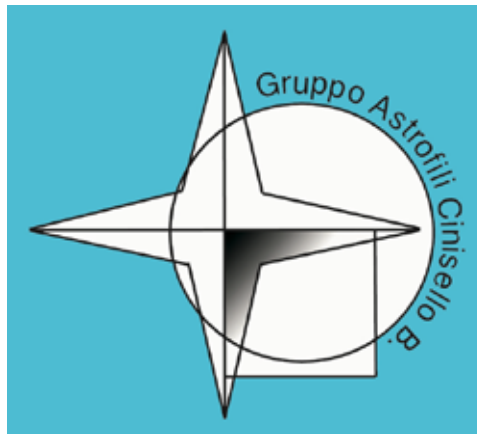
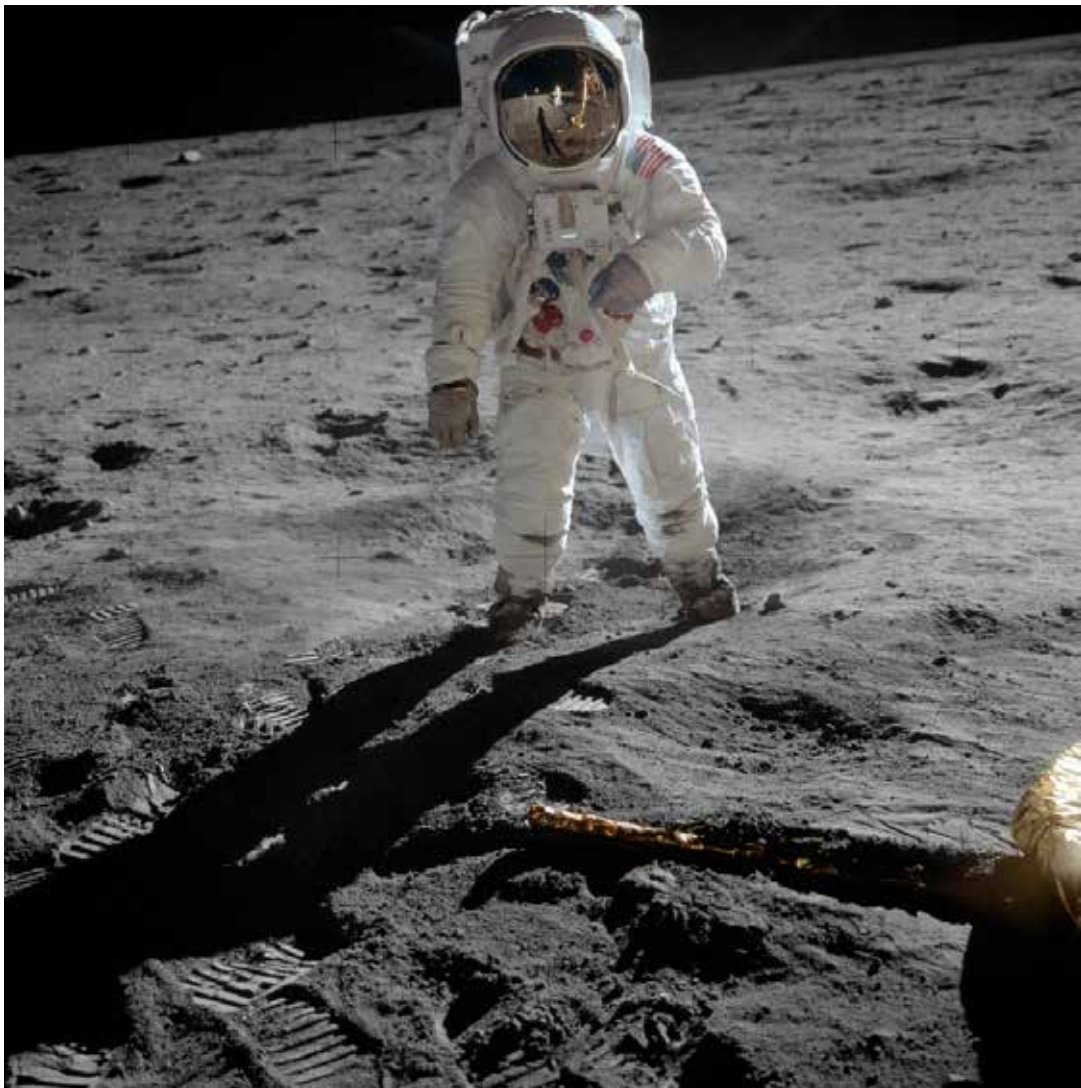




il **BOLLETTINO**
del GRUPPO ASTROFILI CINISELLO BALSAMO
numero 65 - Giugno 2019



50 ANNI FA SULLA LUNA!

IN QUESTO NUMERO

QUELLA NOTTE DI 50 ANNI FA <i>CRISTIANO FUMAGALLI</i>	3
POST SCRIPTUM. M87 - LA PRIMA IMMAGINE DI UN BUCO NERO <i>STEFANO SPAGOCCI</i>	4
APOLLO E I SUOI ANTENATI A CINQUANT'ANNI DALLO STORICO SBARCO <i>STEFANO SPAGOCCI</i>	7
L'ALTRA FACCIA DELLA LUNA TUTTO QUELLO CHE NON SAPETE SUL NOSTRO SATELLITE <i>NINO RAGUSI</i>	18
LA LUNA DEGLI ANTICHI: CALLANISH E HOCHDORF <i>ADRIANO GASPANI</i>	25
COSMOLOGIA PER ASTROFILI PARTE III: LA COSMOLOGIA MODERNA (1980-2019) <i>STEFANO SPAGOCCI</i>	31
PICCOLA ENCICLOPEDIA ASTRONOMICA - <i>FRANCO VRUNA</i>	38
ASTRO NEWS - <i>CRISTIANO FUMAGALLI</i>	40

EDITORIALE

QUELLA NOTTE DI 50 ANNI FA

Cristiano Fumagalli

La notte fra il 20 e il 21 Luglio 1969 Neil Amstrong e Buzz Aldrin piantano la bandiera a stelle e strisce sulla Luna, suggellando la vittoria americana nella corsa alla conquista del nostro satellite. Fu una vittoria soprattutto militare nei confronti dell'allora Unione Sovietica, in una corsa iniziata nel 1957 col lancio dello Sputnik e durata il breve arco di dodici anni. L'arrivo dell'uomo sulla Luna rappresenta, però, anche una grande rivoluzione, sia dal punto di vista scientifico-tecnologico, sia filosofico. In quei dodici anni si ebbe il primo uomo nello spazio (Yuri Gagarin, 1961), la prima passeggiata spaziale, il primo volo dal nostro pianeta ad un altro oggetto celeste, in un'epoca in cui gli attuali microprocessori, il cuore dei moderni computer, non erano stati ancora inventati. Lo sforzo tecnologico fu dunque imponente, con decisioni assai rapide e rischiose.

Dal punto di vista filosofico la cosa non fu da meno e il secolo scorso divenne uno di quelli di svolta per la nostra storia. L'umanità si affacciò al XX secolo come "animale prettamente terrestre" e, se trascuriamo i brevi balzi con le mongolfiere, ancora incapace di lasciare la superficie terrestre. Già nel 1904 i fratelli Wright fecero fare alcuni metri in volo al loro primo aereo e solo 65 anni dopo l'equipaggio dell'Apollo 11 conquistava la Luna! Un balzo incredibile in un arco temporale molto breve.

In quella notte io mi trovavo nel "Bar dello Sport" di un piccolo paese del Trentino; nello stesso luogo dove tre anni prima si era consumata la tragedia sportiva di Italia-Corea, ora tutta la popolazione era riunita per assistere a quel grande evento. Avevo dodici anni, gli stessi dell'arco temporale summenzionato, quasi un fatto simbolico per me, ed ero un ragazzino assai curioso, soprattutto attento a tutte quelle discipline legate in qualche modo alla scienza. Ricordo con memoria vivida la telecronaca di Tito Stagno, in contemporanea con Ruggero Orlando che si trovava a New York (o Nuova York, come lui la chiamava); anche questo fu assai simbolico, perché ciò era possibile grazie al satellite, un prodotto della corsa allo spazio. Come scordare la famosa frase di Stagno "Ha toccato!" e le prime, emozionanti, immagini della passeggiata lunare? Quella notte presi la mia decisione di svolgere una professione legata alla scienza e, soprattutto, non togliere mai più gli occhi da lassù. Sono stato fortunato, la mia vita ha permesso di coronare quel desiderio.

POST SCRIPTUM

M87 - La prima immagine di un buco nero

Stefano Spagocci

Per la seconda volta in pochi mesi, il rapido susseguirsi di scoperte scientifiche fondamentali ci costringe (costrizione che accettiamo volentieri!) ad un post scriptum astrofisico. Alcune settimane or sono, infatti, la collaborazione internazionale EHT ha annunciato la realizzazione della prima immagine di un buco nero galattico (Fig.1).

Come tutti o quasi sapranno, i buchi neri di massa stellare sono originati dalla morte di una stella avente massa dell'ordine delle decine di masse solari. Quando le reazioni di fusione nel nucleo di una stella di tale tipo hanno esaurito il loro combustibile e la pressione da esse generate non è più sufficiente a contrastare quella gravitazionale, gli strati più interni si contraggono fino a che la velocità di fuga dall'oggetto non raggiunga e superi quella della luce. Nulla però può superare la velocità della luce e dunque si origina un buco nero.

I buchi neri che qui ci interessano sono però quelli situati al centro di molte galassie. Tali buchi neri hanno origine dalla concentrazione di massa che darà poi origine alla galassia vera e propria. I buchi neri galattici hanno masse variabili dai milioni ai miliardi di volte la massa solare. Il diametro tipico dei buchi neri stellari è di qualche chilometro, quello dei buchi neri galattici è dell'ordine dei milioni o miliardi di chilometri.

L'immagine in Fig.1 (che nessuno la definisca una foto sfocata!) ha implicato uno sforzo pari a quello richiesto per recenti grandi scoperte quali quella del bosone di Higgs e la rilevazione del primo segnale di onda gravitazionale, proveniente tra l'altro dalla fusione di due buchi neri stellari. Diciamo anzi che l'apparente modesta immagine testé citata costituisce un'impresa al limite delle possibilità della tecnologia, al pari della prima rilevazione di un segnale di onda gravitazionale (alla quale, non a caso, avevamo dedicato il precedente post scriptum)!

Quanto appena detto spiega perché per la prima immagine di un buco nero si sia scelto un oggetto galattico super-massivo. Osservare infatti l'ombra di un buco nero di massa stellare è al di là delle possibilità dell'attuale tecnologia. La risoluzione di un telescopio è infatti proporzionale al diametro dello stesso. Date le dimensioni e la distanza (53.5 milioni di anni luce) del buco nero al centro di M87, il diametro angolare dell'oggetto è pari a quello che avrebbe un carattere di giornale posto a New York ma letto a Parigi!

Per realizzare l'immagine sarebbe necessario un radiotelescopio di diametro pari a quello terrestre: come si è potuto quindi realizzarla, stante l'impossibilità di costruire un tale mostruoso strumento? Non essendo possibile realizzare un unico radiotelescopio di diametro terrestre è stato necessario simulare un tale strumento, combinando le osservazioni effettuate da radiotelescopi distribuiti su tutto il globo terrestre. Si può quindi intuire la portata dell'impresa che ha richiesto un enorme sforzo scientifico/tecnologico ma anche matematico/informatico, essendo stato necessario elaborare innovativi algoritmi per l'analisi e la combinazione delle immagini, al fine di

simulare un radiotelescopio di dimensioni dell'ordine del diametro terrestre.

Alla collaborazione EHT (*Event Horizon Telescope*) hanno partecipato radiotelescopi situati in USA, Messico, Spagna, Cile ed Antartico. I circa 200 scienziati della collaborazione provengono da istituti situati in sedici paesi di quattro continenti. I dati raccolti dagli otto radiotelescopi hanno richiesto un lungo e meticoloso lavoro di elaborazione, durato due anni, per ottenere l'apparentemente modesta immagine!

Incidentalmente, tutto ciò andrebbe ricordato a quei giornalisti italiani che hanno riferito di presunte polemiche seguite all'annuncio, in quanto si sarebbe scoperto non trattarsi di una vera fotografia! Più seriamente, ha senso chiedersi perché si sia dovuto operare nel campo delle onde radio. La risposta la si può intuire osservando Fig.2. Ciò che gli astrofisici hanno osservato, infatti, è l'ombra del buco nero al centro della galassia M87, visibile (nella banda radio millimetrica) in quanto l'oggetto è circondato da un disco di accrescimento, formato da materia rubata alla galassia, che emette due getti simmetrici.

Va poi precisato che un buco nero non ha una vera e propria superficie esterna. Quella che impropriamente si definisce come sua superficie, infatti, è l'orizzonte degli eventi, definito come la sfera di raggio pari al raggio di Schwarzschild, definito a sua volta come la distanza minima cui può arrivare un corpo senza essere inevitabilmente catturato dal buco nero.

Fatte queste premesse, si può anche affermare che l'immagine mostri l'ombra del buco nero, visibile grazie alla presenza del suo disco di accrescimento, purché però si precisi il concetto di ombra. Secondo la relatività generale, infatti, anche la luce risente della curvatura dello spazio-tempo. La luce non viaggia quindi in linea retta, come insegna l'ottica geometrica. Non si tratta dunque di un'ombra geometrica, tant'è che il disco oscuro non ha un diametro pari a due raggi di Schwarzschild, come ci si potrebbe aspettare, ma di cinque!

In ogni caso, dettagliate simulazioni al computer hanno permesso di determinare l'aspetto del sistema buco nero/disco di accrescimento secondo la relatività generale e per una densa griglia di possibili parametri. Il modello che si adatta quasi perfettamente al sistema è quello di un buco nero di raggio 40 miliardi di chilometri e massa 6.5 miliardi di masse solari. Si è dunque ottenuta un'altra conferma sperimentale della relatività generale.

L'osservazione dell'ombra del buco nero al centro di M87 rappresenta un grande traguardo scientifico e tecnologico, un traguardo che solo tre decenni fa si pensava impossibile da raggiungere! I buchi neri, stellari e galattici, erano infatti rilevati solo sulla base degli effetti che la loro gravità induce sulla materia che li circonda (nel caso abbiano dischi di accrescimento), sul corpo/corpi che gli ruotano attorno o, da qualche anno, sulla base delle onde gravitazionali emesse quando un sistema di due buchi neri termina la sua vita con la fusione dei due oggetti.

Al pari della rilevazione diretta del primo segnale di onda gravitazionale, si tratta quindi di una scoperta di straordinario valore, per la difficoltà dell'impresa e le inedite prospettive che essa offre. Il prossimo obiettivo della collaborazione è quello di ottenere un'immagine di Sagittarius A*, il buco nero super-massivo al centro della nostra galassia. Oltre al modesto diametro angolare, l'ottenimento di un'immagine significativa di SgrA* è ostacolato dal fatto che il relativo disco di accrescimento ruota con un periodo di 20 minuti, da confrontarsi con le due settimane del buco

nero al centro di M87. Non resta che aspettare e sperare!

Per il futuro si punta ad ottenere immagini di almeno altri cinque buchi neri super-massivi ed approfondire le osservazioni di M87. Nuovi radiotelescopi, situati in Groenlandia, USA e Francia si aggiungeranno alla rete, permettendo così di ottenere un radiotelescopio virtuale di diametro ancora maggiore. Finanziamenti permettendo, si pensa a reti di radiotelescopi in orbita. Si potrebbero così ottenere radiotelescopi virtuali di ancor maggiore diametro ed aggirare quindi gli ostacoli posti dall'atmosfera terrestre. Le future osservazioni con radiotelescopi virtuali permetteranno di mettere ulteriormente alla prova la relatività generale, le teorie relativistiche alternative e la gravità quantistica. Si spera inoltre di chiarire il ruolo che i buchi neri super-massivi giocano nell'evoluzione galattica, ruolo che gli astrofisici sospettano essere determinante.

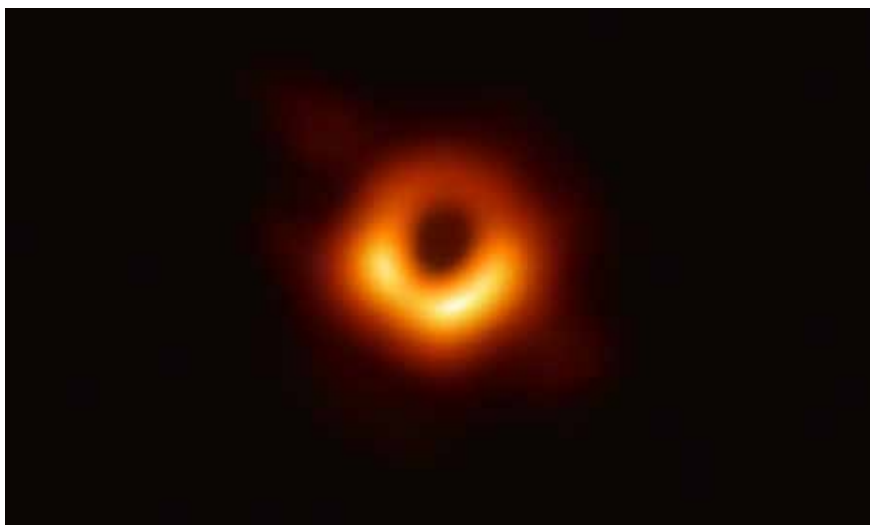


Fig.1 Il buco nero al centro di M87 e il disco di accrescimento da cui esso è circondato, secondo l'immagine ottenuta dalla collaborazione EHT.



Fig.2 Impressione artistica di un buco nero super-massivo al centro di una galassia, con il suo disco di accrescimento e i due getti che ne derivano.

APOLLO E I SUOI ANTENATI

A CINQUANT'ANNI DALLO STORICO SBARCO

Stefano Spagocci

Il 20 luglio 1969 la Luna era finalmente conquistata e l'uomo per la prima volta metteva piede su un corpo celeste. Come il lettore avrà intuito, a tale storico evento è dedicato questo numero del Bollettino GACB. La Luna non ha solo interesse astronautico ed alla Luna come corpo celeste osservato ieri, oggi e l'altro ieri sono dedicati i contributi che seguono. In questo contributo, invece, vogliamo proporre una sintetica cronologia del programma Apollo e dei suoi antenati.

Si potrebbero legittimamente definire come antenate di Apollo le sole missioni spaziali USA antecedenti il progetto stesso ma è stata scelta di chi scrive il "prenderla alla larga" ed inserire lo storico evento in un contesto più ampio. Coerentemente con tale scelta, considereremo come antenate del progetto Apollo le missioni sovietiche e statunitensi che lo hanno preceduto, compresi gli sviluppi tecnologici precedenti la prima missione spaziale.

1903 – L'EQUAZIONE DI TSIOLKOVSKY

Kostantin Tsiolkovsky (1857-1935), fisico ed inventore autodidatta russo, compì studi teorici fondamentali per l'astronautica. Non costruì alcun razzo ma diede al mondo idee ed equazioni fondamentali. Nel 1903, in particolare, pubblicò l'equazione che oggi ha il suo nome. L'equazione lega la velocità che si vuole far raggiungere ad un razzo alla massa di propellente necessaria, data la massa a vuoto del razzo. Il talento di Tsiolkovsky fu ricompensato dal governo sovietico; l'URSS staliniana, grazie alle sue ricerche, fu in grado di avviare un programma missilistico.

1926 – IL PRIMO RAZZO A PROPELLENTE LIQUIDO

Robert Goddard (1882-1945), fisico ed inventore statunitense, con i suoi studi teorici contribuì a porre le basi della scienza astronautica. Il 16 marzo 1926 lanciò il primo razzo a propellente liquido che raggiunse un'altezza di 12 metri. Dal 1926 al 1941 egli lanciò 34 razzi sempre più perfezionati, fino a raggiungere un'altezza di 2.6 km. Il suo lavoro non ricevette il riconoscimento meritato, se non dopo la morte. A lui è dedicato il Goddard Space Flight Center della NASA.

1942 – PEENEMÜNDE E I RAZZI V2

Wernher Von Braun (1912-1977), fisico ed ingegnere tedesco, discendente da una nobile famiglia prussiana, fu protagonista della ricerca missilistica nella Germania nazista. Dal 1942 egli diresse i lavori del laboratorio di Peenemünde e, in particolare, la costruzione della serie dei missili balistici V2 che, lanciati sulla Gran Bretagna, fecero migliaia di morti. Dal punto di

vista tecnologico, comunque, il programma V2 può annoverarsi tra gli antenati dei programmi spaziali statunitensi ma anche sovietici. Dopo la sconfitta del nazismo, Von Braun ed il suo gruppo, traversando la Germania devastata, si consegnarono agli americani. Dopo qualche mese di semiprigionia furono liberati e Von Braun divenne il dominus del programma Apollo che portò l'uomo sulla Luna.

1957 – SPUTNIK 1, IL PRIMO SATELLITE ARTIFICIALE

Il 4 ottobre 1957 l'URSS di Khrushchev, sorprendendo il mondo, lanciava Sputnik 1, il primo satellite artificiale. Lo Sputnik, un satellite piuttosto elementare per gli standard odierni, era dotato di quattro lunghe antenne, con le quali per tre settimane inviò segnali a terra. Il satellite non effettuò esperimenti scientifici ma la sua importanza storica va ben al di là di questo. Lo shock e l'offesa all'orgoglio nazionale furono fortissimi in USA. Per reazione, gli USA furono stimolati allo sviluppo del proprio programma spaziale, con i ben noti e brillanti risultati.

1957 – LAIKA, IL PRIMO VIVENTE IN ORBITA

Il 3 novembre 1957 con lo Sputnik 2 era lanciata in orbita la cagnetta Laika, il primo essere vivente ad entrare in orbita. Laika, una "bastardina" raccolta nelle strade di Mosca, fu inviata in orbita allo scopo di studiare le reazioni di un essere vivente agli stress del volo spaziale. Laika morì poche ore dopo. La versione ufficiale fu che la cagnetta avesse subito eutanasia; dal 2002 sappiamo che morì per surriscaldamento.

1958 – EXPLORER 1, IL PRIMO SATELLITE USA

Il 31 gennaio 1958 gli USA lanciarono Explorer 1, il loro primo satellite artificiale. Il lancio di Explorer 1 fu una reazione al lancio di Sputnik 1 ma il programma spaziale americano, in conseguenza del lancio del satellite, subì un potente impulso.

1958 – FONDAZIONE DELLA NASA

Il programma spaziale americano era stato malamente gestito dall'esercito e dalla marina del paese, in dissennata competizione tra loro. Nel 1958 fu finalmente fondata la NASA (National Aeronautics and Space Administration), protagonista, tra allora ed oggi, di tanti successi.

1959 – LUNA 2, IL PRIMO ALLUNAGGIO

Forse non è a tutti noto che fino ai primi anni '60 l'URSS fu leader mondiale anche per quanto riguarda le missioni lunari. In particolare, il primo manufatto terrestre ad atterrare sulla Luna fu la sonda Luna 2 (13 settembre 1959). La sonda allunò nel Mare Imbrium ma si tratta di un allunaggio decisamente non morbido, in quanto in realtà (per una scelta deliberata) si schiantò al suolo lunare alla velocità di 12.000 km/h! Un dettaglio curioso: per segnalare l'avvenuto allunaggio, la sonda sprigionò una nube di vapori di sodio che, avendo raggiunto un diametro di 650 km, fu avvistata da diversi osservatori sovietici.

1959 – LUNA 3, THE DARK SIDE OF THE MOON

Il 4 ottobre 1959 fu lanciata la sonda Luna 3. Tale sonda entrò in orbita lunare e fu dunque il primo manufatto terrestre a “vedere” il lato nascosto della Luna. The Dark Side of the Moon, appunto, per i fan dei Pink Floyd. Grazie alle fotografie scattate da Luna 3, per quanto di non elevato standard, fu possibile compilare il primo atlante della faccia nascosta della Luna.

1961 – GAGARIN, IL PRIMO UOMO IN ORBITA

Un altro successo dell'URSS fu l'invio del primo uomo in orbita (12 aprile 1961). Gli USA, nonostante la fondazione della NASA, ancora faticavano a raggiungere i sovietici. Yuri Gagarin (1934-1968) fu lanciato in orbita a bordo della Vostok 1 dal cosmodromo di Baikonur. Rimase in orbita per 108 minuti. È una leggenda, creata ad uso della propaganda atea sovietica, il fatto che Gagarin (ortodosso praticante, per quanto lo si poteva essere in URSS) abbia dichiarato di non aver scorto Dio durante la sua orbita.

1961 – SHEPARD, IL PRIMO VOLO SUBORBITALE USA

La risposta americana a Gagarin fu il lancio di Alan Shepard, a bordo di Freedom 7, in un volo suborbitale (5 maggio 1961). Alan Shepard (1923-1988) fu poi protagonista della missione Apollo 14, l'unico uomo ad aver partecipato al programma Mercury (il primo programma spaziale americano che ebbe appunto inizio con Freedom 7) e al programma Apollo.

1961 – GRISSOM, IL SECONDO VOLO SUBORBITALE USA

Al volo di Alan Shepard seguì quello di Virgil Grissom a bordo della navicella Liberty Bell 7 (21 luglio 1961). Si trattò di un altro volo suborbitale, nell'ambito del progetto Mercury. Virgil Grissom (1926-1967) perì nel tragico incidente dell'Apollo 1.

1962 – GLENN, IL PRIMO STATUNITENSE IN ORBITA

L'ennesima risposta al volo di Yuri Gagarin fu John Glenn, il primo statunitense ad essere lanciato in orbita, il 20 febbraio 1962 (Shepard e Grissom furono i primi astronauti USA ma i loro furono voli suborbitali). John Glenn (1921-2016), a bordo di Friendship 7, percorse tre orbite. Ritiratosi dalla NASA nel 1964, Glenn ebbe una lunga carriera politica come senatore per il Partito Democratico. Nel 1998, a 77 anni, tornò in orbita a bordo dello Space Shuttle Discovery (STS-95). Fu Glenn stesso a candidarsi per la missione e la sua richiesta ebbe successo. La missione STS-95 ebbe un'ovvia importanza scientifica ma non si può negare che Glenn sia riuscito nei suoi intenti anche per il suo coinvolgimento nella politica USA.

1962 – RANGER 4, IL PRIMO ALLUNAGGIO USA

Il 26 aprile 1962 la sonda americana Ranger 4 atterrava (o meglio, si schiantava) sul suolo lunare. Come per la sonda sovietica Luna 2, lo schianto fu deliberato. Si trattava infatti di un “crash landing” (atterraggio con schianto), non essendo ancora matura la tecnologia del “soft landing” (atterraggio morbido). La vicenda di Ranger 4 dimostra (per quanto si faccia fatica a crederci) il

gap tecnologico che ancora esisteva tra USA ed URSS in campo astronautico. L'URSS atterrò sulla Luna con tre anni di anticipo rispetto agli USA e, per quanto pochi lo sappiano, avviò un programma che avrebbe portato un cosmonauta sulla Luna se non fosse poi stato cancellato, in conseguenza dei successi USA e dei propri fallimenti in quel campo.

1962 – KENNEDY, WE CHOSE TO GO TO THE MOON

Il 25 maggio 1961 il presidente John Kennedy annunciò al Congresso statunitense l'intenzione di sviluppare un programma spaziale finalizzato allo sbarco di astronauti sulla Luna. Gli USA erano stati umiliati dal ritmo incalzante delle missioni spaziali sovietiche e faticavano a rincorrere l'URSS, giungendo regolarmente secondi. Per di più, il fallito sbarco alla Baia dei Porci (Cuba) aveva sparso ulteriore sale sulla ferita. Eppure, inizialmente non vi fu grande entusiasmo per la proposta e solo il 42% degli statunitensi approvò la decisione del presidente.

Le cose cambiarono dopo lo storico discorso alla Rice University (Houston) del 12 settembre 1962, un cui breve estratto riportiamo qui di seguito:

...We chose to go to the Moon in this decade and do the other things, not because they are easy, but because they are hard; because that goal will serve to organize and measure the best of our energies and skills, because that challenge is one that we are willing to accept, one we are unwilling to postpone, and one we intend to win...

...Abbiamo scelto di raggiungere la Luna entro questo decennio e fare tante altre cose non perché siano facili ma proprio perché sono difficili; perché il darci questo obiettivo permetterà di organizzarci e di far emergere le nostre migliori energie ed abilità, perché è una sfida che intendiamo accettare, una sfida che non vogliamo rimandare, una sfida che intendiamo vincere...

La libera traduzione è dell'autore che ha voluto rendere il discorso in buon italiano.

1963 – TERESHKOVA, LA PRIMA DONNA IN ORBITA

L'ennesimo successo URSS, tecnologico ma anche politico e propagandistico, fu l'invio in orbita di Valentina Tereshkova, la prima donna ad essere lanciata in orbita. Il 16 giugno 1963, infatti, dal cosmodromo di Baikonur fu lanciata la navicella Vostok 6. La Tereshkova compì 48 orbite terrestri, per una durata complessiva di quasi tre giorni. Di umili origini, Valentina Tereshkova (1937) lasciò la scuola a 17 anni, lavorando poi come operaia in una fabbrica di pneumatici prima, di tessuti quindi. Riuscì tuttavia a laurearsi per corrispondenza. Contemporaneamente al lavoro e allo studio, praticava il paracadutismo sportivo. In quanto donna, esperta paracadutista e di non eccessiva altezza e peso, fu selezionata per il ruolo di cosmonauta. Fu una fervente comunista, è una fervente ortodossa (diversi astronauti condividono con lei la profonda fede). Ottenne il permesso di viaggiare e visitò più di 40 paesi, accolta trionfalmente. Fu membro del Soviet Supremo dell'Unione Sovietica e del Comitato Centrale del Partito Comunista dell'Unione Sovietica. Oggi è una dei deputati di Russia Unita (il partito di Vladimir Putin).

1965 – LEONOV, LA PRIMA PASSEGGIATA SPAZIALE

Il 18 marzo 1965 il cosmonauta Alexei Leonov (1934), a bordo della Voskhod 2, compiva la prima passeggiata spaziale della storia, un altro dei grandi successi sovietici degli anni '50 e '60 del secolo scorso. L'attività extraveicolare (ExtraVehicular Activity, EVA, questo è il termine tecnico) durò poco più di 12 minuti. Una curiosità che pochi conoscono: per un difetto di progettazione, la tuta spaziale di Leonov, esposta al vuoto cosmico, si gonfiò tanto da non permettergli di rientrare nella capsula, cosa che gli riuscì solo quando sfiatò parte dell'ossigeno nella tuta. Leonov fu poi protagonista della missione congiunta Apollo-Soyuz.

1965 – WHITE, LA PRIMA PASSEGGIATA SPAZIALE USA

Il 3 giugno 1965 Edward White (1930-1967), uscendo dalla navicella Gemini 4, compiva la prima EVA statunitense. La passeggiata spaziale durò 20 minuti. Come il nome suggerisce, Gemini 4 fu la quarta missione del progetto Gemini, successore del progetto Mercury ed antenato del progetto Apollo. Gli USA, evidentemente, erano ancora alla rincorsa dell'URSS ma ben presto la superarono. White però nel tragico incidente dell'Apollo 1.

1965 – GEMINI 6A/7, IL PRIMO RENDEZ-VOUS SPAZIALE

Il 15 dicembre 1965 fu stabilito il primo primato mondiale USA in campo astronautico. Le navicelle Gemini 6A e Gemini 7, infatti, compirono il primo *rendez-vous* (congiunzione) spaziale della storia. L'equipaggio della Gemini 6A era composto da Walter Schirra (1923-2007) e Thomas Stafford (1930). L'equipaggio della Gemini 7 era composto da Frank Borman (1928) e James Lovell (1928). I quattro astronauti parteciparono poi al progetto Apollo. In particolare: Schirra (Apollo 7), Stafford (Apollo 10), Borman (Apollo 8), Lovell (Apollo 8, Apollo 13). Stafford fu anche protagonista della missione congiunta Apollo-Soyuz (1975).

1967 – LA TRAGEDIA DELL'APOLLO 1

Il 21 febbraio 1967 si compì la tragedia dell'Apollo 1. La missione Apollo 1 aveva lo scopo di collaudare l'immissione in orbita terrestre del Command and Service Module. L'atmosfera della cabina era composta da ossigeno puro, notoriamente e pericolosamente infiammabile (in conseguenza dell'incidente, si cambiò la composizione dell'atmosfera). Un corto circuito, occorso poco prima della partenza, provocò un incendio nella cabina, in conseguenza del quale i tre astronauti dell'equipaggio morirono carbonizzati. Perirono così tragicamente Virgil Grissom (1926), Edward White (1930), Roger Chaffee (1935).

1967 – APOLLO 4, IL COLLAUDO DI SATURN V

Il 9 novembre 1967 aveva inizio la missione senza equipaggio Apollo 4, missione che servì a collaudare "sul campo" il razzo multistadio Saturn V, protagonista della conquista della Luna. Il Saturn V era composto da tre stadi, per un'altezza di 111 m, un diametro di 10 m ed una massa a pieno carico di 2.970 tonnellate. Il primo stadio, alto 42 m e con una massa a pieno carico di 2.290

tonnellate, alloggiava il propellente (cherosene raffinato con ossigeno liquido per ossidante) ed i cinque motori. Il secondo stadio, alto 25 m e con una massa a pieno carico di 500 tonnellate, alloggiava il propellente (idrogeno liquido ed ossigeno liquido) ed i cinque motori. Il terzo stadio, alto 19 m e con una massa a pieno carico di 120 tonnellate, alloggiava il propellente (idrogeno liquido ed ossigeno liquido) ed il motore. Al terzo stadio fu aggiunta una copia non funzionante del futuro Command and Service Module (CSM). La missione durò solo nove ore.

1968 – APOLLO 8, I PRIMI UOMINI ATTORNO ALLA LUNA

La missione Apollo 8 portò i primi esseri umani attorno alla Luna. Protagonisti della missione furono Frank Borman (1928), James Lovell (1928), William Anders (1933). I primi due astronauti, come abbiamo detto, erano già stati protagonisti del primo rendez-vous spaziale della storia. Borman, Lovell ed Anders furono, in particolare, i primi tre uomini a vedere il lato oscuro della Luna ed il sorgere della Terra dalla Luna. L'immissione in orbita circumlunare avvenne il 24 dicembre 1968 e gli astronauti totalizzarono dieci orbite lunari. Durante il collegamento televisivo (alla nona orbita) ciascuno degli astronauti lesse un brano della storia della creazione dal libro della Genesi. Borman, infine, augurò Buon Natale a tutti i terrestri. Anders, come fecero altri astronauti, ritiratosi si diede anche alla politica: nominato dal presidente Gerald Ford, egli fu infatti ambasciatore USA in Norvegia (1976-1977).

1969 – APOLLO 11, I PRIMI UOMINI SULLA LUNA

Il 20 luglio 1969 i primi due esseri umani mettevano piede sulla Luna. Come molti sapranno, i fortunati astronauti furono Neil Armstrong (1930-2012) ed Edwin (Buzz) Aldrin (1930). Armstrong, in particolare, fu il primo umano a mettere piede sul nostro satellite, seguito da Aldrin a pochi minuti di distanza. Michael Collins (1930) li attendeva invece in orbita lunare.

Il lancio del Saturn V avvenne il 16 luglio, davanti ad una platea di un milione di spettatori. A tre minuti dal lancio furono spenti i motori del primo stadio che si distaccò poco dopo. Furono quindi accesi i motori del secondo stadio che si spensero a nove minuti dal lancio. Poco dopo anche il secondo stadio si distaccò. Fu quindi acceso il motore del terzo stadio. A dodici minuti dal lancio gli astronauti erano in orbita. Dopo un'orbita e mezzo vi fu un'ulteriore accensione del motore del terzo stadio che immise la navicella nell'orbita verso la Luna. Il viaggio durò tre giorni.

Il CSM (ribattezzato Columbia) percorse quindi trenta orbite. Collins rimase in orbita mentre Armstrong ed Aldrin, a bordo del Lunar Module (LEM, ribattezzato Eagle, aquila) distaccatosi dalla navicella madre, iniziavano la discesa. Il LEM fu pilotato manualmente, giunti nei pressi del suolo lunare, tanto che la decisione finale riguardo al sito di allunaggio fu presa quando il veicolo si trovava a trenta metri di altezza ed aveva solo novanta secondi di propellente rimasto! Il sito di allunaggio (Mare della Tranquillità) era stato scelto prima della partenza ma la risoluzione delle fotografie sulle quali si basarono i tecnici NASA non era tale da poter determinare la presenza di massi o altri ostacoli all'allunaggio. Eagle allunò alle 20:17:40 (tempo di Greenwich). Alle 2:56:15, sei ore e mezzo dopo l'allunaggio, Neil Armstrong toccava il suolo lunare, pronunciando la storica frase che quasi tutti conoscono:

That's one small step for a man, one giant leap for mankind.

È un piccolo balzo per un uomo, un gigantesco salto per l'umanità.

Dopo pochi minuti lo seguiva Buzz Aldrin. Gli astronauti, a commemorazione dello storico evento, lasciarono sul suolo lunare una targa e una bandiera statunitense. Ci fu poi una conversazione "telefonica" con il presidente Richard Nixon, quindi iniziò l'attività extraveicolare. Durante l'attività extraveicolare gli astronauti, oltre alle fotografie e riprese, deposero un apparato sperimentale per la misura dei lunamoti ed un retro-riflettore laser (utilizzato per monitorare la distanza Terra/Luna) e raccolsero 22 kg di campioni geologici. La raccolta di campioni fruttò, tra le altre cose, la scoperta di tre nuovi minerali, successivamente identificati sulla Terra. Alle 5:01:00 l'EVA era conclusa e si chiudeva il portello dell'Eagle.

Ci furono sette ore di riposo e, dopo 2.5 ore di preparativi, Eagle lasciò il suolo lunare. È una storia ben nota il fatto che Armstrong ed Aldrin riuscirono a lasciare il suolo lunare grazie ad una riparazione di emergenza, effettuata impiegando una penna bic! Il ritorno a Terra andò bene, ovviamente. Aggiungiamo che i tre astronauti, misura precauzionale a posteriori ingiustificata, rimasero in quarantena per tre settimane. Il sacrificio fu però largamente compensato: gli astronauti, infatti, furono condotti in trionfo a New York e Chicago - accolti da sei milioni di persone - e visitarono quindi 22 paesi stranieri, trionfalmente accolti ovunque.

1970 – APOLLO 13, UNA TRAGEDIA SFIORATA

L'11 aprile 1970 aveva inizio la missione Apollo 13. Protagonisti della missione furono James Lovell (1928), John Swigert (1931-1982), Fred Haise (1933). A 56 ore dalla partenza e 333.000 km dalla Terra, il 14 aprile 1970, il controllo missione chiese a Swigert di accendere i mescolatori del serbatoio di idrogeno e ossigeno. Due minuti più tardi, gli astronauti udirono un'esplosione (che si scoprì poi dovuta ad un cortocircuito in uno dei serbatoi per l'ossigeno), in conseguenza della quale l'intera scorta di ossigeno fu persa nello spazio. In conseguenza di ciò, si spensero anche due celle a combustibile e la navicella rimase senza energia, o meglio dipendente dalla potenza erogata dalle batterie di emergenza. Gli astronauti si rifugiarono quindi nel Lunar Module, rimanendo al suo interno fino alla manovra di rientro. Ovviamente si dovette rinunciare all'allunaggio.

La Luna fu usata come "fionda" per il ritorno alla Terra: si valutò infatti che questa fosse la soluzione meno rischiosa. Le scorte di acqua (usata per bere e raffreddare i componenti della navicella) ed energia elettrica del LEM non sarebbero state sufficienti per il ritorno ed il consumo di energia del LEM fu quindi tenuto al minimo. Di conseguenza gli astronauti dovettero sopravvivere ad una temperatura di soli quattro gradi Celsius. Un altro problema fu l'insufficiente numero dei filtri LEM che avrebbero dovuto rimuovere l'anidride carbonica prodotta dagli astronauti; all'inconveniente si ovviò adattando (con una soluzione improvvisata) i filtri del CSM agli alloggiamenti previsti per quelli del LEM. Alla fine tutto andò bene e il 17 aprile 1970 gli astronauti erano di nuovo a terra. L'eroico comportamento dei tre astronauti fu celebrato in diversi libri, film e spettacoli teatrali, tra

cui il famoso Apollo 13 (1995).

1970 – LUNOKHOD 1, IL PRIMO ROVER TELEGUIDATO

L'Unione Sovietica aveva perso la corsa alla Luna e, per certi versi, anche la corsa allo spazio. Dobbiamo tuttavia citare il rover lunare Lunokhod 1, il primo rover teleguidato a raggiungere la Luna (17 novembre 1970). Il rover, condotto sulla Luna dalla navicella Luna 17, sopravvisse per 11 giorni lunari (321 giorni terrestri), percorrendo quasi 11 km. La strumentazione scientifica a bordo includeva uno spettrometro a raggi X, un telescopio a raggi X e un rivelatore di raggi cosmici.

Il Lunokhod 2, condotto a destinazione dalla navicella Luna 21, allunò il 15 gennaio 1973. Fu quello il canto del cigno del programma lunare sovietico; Lunokhod 3, infatti, non fu mai lanciato ed il progetto fu terminato per mancanza di fondi e di interesse. La corsa alla Luna era definitivamente persa e l'URSS preferì dedicarsi allo sviluppo delle stazioni spaziali, campo nel quale la Russia detiene tuttora la leadership in termini di esperienza. Il suo contributo alla Stazione Spaziale Internazionale (ISS) era ed è determinante, tant'è che gli unici mezzi che permettono di raggiungere la ISS sono oggi quelli russi.

1971 – APOLLO 15, IL PRIMO ROVER A GUIDA UMANA

Gli statunitensi affermarono la loro acquisita superiorità anche nel campo dei rover lunari. Il 30 agosto 1971, infatti, il LEM della missione Apollo 15 giungeva sul suolo lunare. componevano la missione Apollo 15 gli astronauti David Scott (1932), Alfred Worden (1932), James Irwin (1930-1971). A bordo di Apollo 15 vi era il Lunar Roving Vehicle (LRV), il primo rover a guida umana ad essere giunto sul suolo lunare. Il LRV, pilotato da Scott e Irwin, scorrazzò sul suolo lunare per 19 ore, percorrendo 25 km; gli astronauti effettuarono riprese ed esperimenti scientifici e raccolsero 77 kg di rocce lunari, tra cui la Genesis Rock, roccia un tempo ritenuta fossile della primordiale crosta lunare, oggi comunque importante perché datata a quattro miliardi di anni, formatasi quindi in uno stadio primitivo del Sistema Solare. Le successive missioni Apollo 16 e 17 fecero ugualmente uso di un Lunar Roving Vehicle.

1972 – APOLLO 17, IL CANTO DEL CIGNO

Dopo le prime missioni lunari, l'interesse del pubblico per le missioni crollò verticalmente; i costi divennero insostenibili per il budget federale e, non da ultimo, gli USA si trovavano invischiati nella lunga e terribile Guerra del Vietnam che stavano perdendo. La somma di questi fattori contribuì alla terminazione del progetto Apollo. L'ultima missione fu Apollo 17, le successive tre furono cancellate.

Componavano la missione Eugene Cernan (1934-2017), Ronald Evans (1933-1990), Harrison Schmitt (1935). Schmitt, un geologo, fu il primo e unico scienziato ad aver calpestato il suolo lunare. A lui si deve, tra l'altro, la raccolta del campione che costituisce la maggior evidenza sperimentale della presenza di un campo magnetico nella Luna primordiale. Come altri astronauti, Schmitt ebbe una carriera politica dopo il ritiro dalla NASA. Tra l'altro fu senatore per

il Partito Repubblicano dal 1977 al 1983. Altri astronauti hanno o hanno avuto fede repubblicana; le posizioni di Schmitt, però, lo collocano decisamente nell'ala destra del partito.

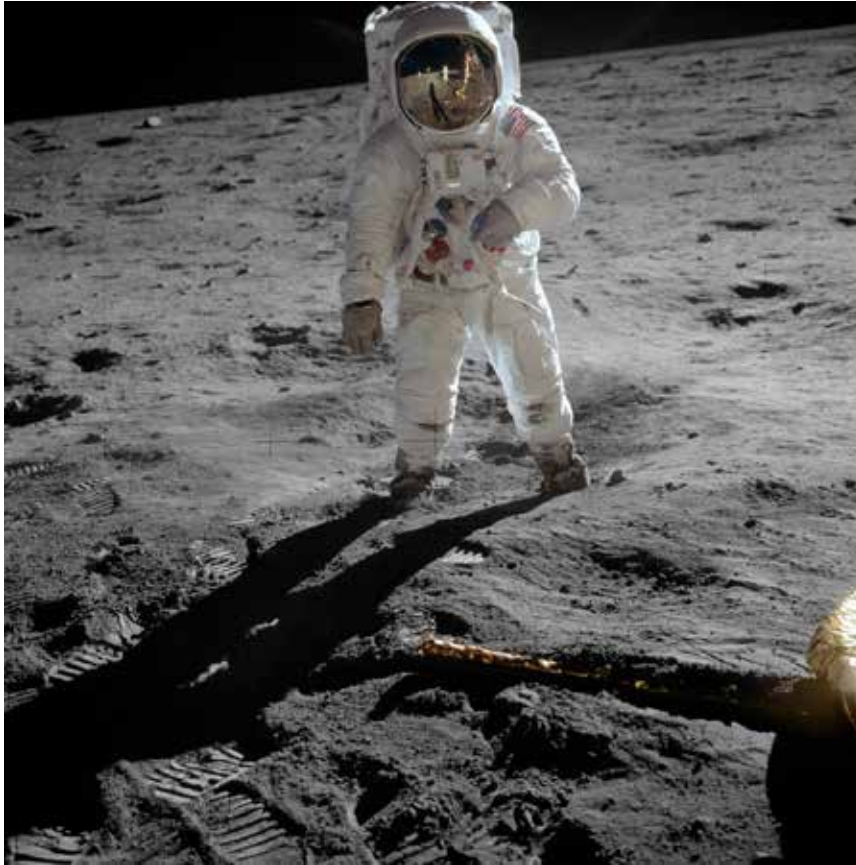
L'11 dicembre 1972 il LEM di Apollo 17 toccava il suolo lunare. A bordo della navicella si trovava un Lunar Roving Vehicle, terzo ed ultimo della serie, pilotato da Cernan e Schmitt. Il ROV percorse 36 km, per un tempo complessivo di 22 ore. Gli astronauti raccolsero 110 kg di rocce lunari ed effettuarono diversi esperimenti scientifici. Tra gli esperimenti effettuati ricordiamo la misura dell'accelerazione di gravità sul suolo lunare e un esperimento sugli effetti biologici dei raggi cosmici, protagonisti del quale furono cinque topolini a cui erano stati impiantati rivelatori di radiazione. Quattro dei cinque topolini sopravvissero al viaggio. L'autopsia degli animali rivelò lesioni che si ritennero non essere correlate all'esposizione alla radiazione cosmica.

IN CONCLUSIONE

Abbiamo esposto per sommi capi la storia dell'astronautica fino all'abbandono del progetto Apollo, quindi di Apollo e dei suoi antenati. Non abbiamo potuto nominare tutte le missioni e delle missioni che abbiamo citato è stato possibile trattare solo sinteticamente. Dopo il progetto Apollo vi fu una missione congiunta USA/URSS, la Apollo-Soyuz. Seguirono la stazione spaziale americana Skylab e le stazioni spaziali sovietiche Salyut e Mir. Lo Space Shuttle, imitato dalla russa Buran (che non volò mai e fu dismessa in conseguenza della dissoluzione dell'URSS), essendo veicolo spaziale recuperabile rappresentò una rivoluzione in campo astronautico. È da due decenni in orbita la Stazione Spaziale Internazionale e non dobbiamo poi dimenticare le molte e gloriose missioni interplanetarie, soprattutto statunitensi ed europee. Negli ultimi anni si sta anche affermando l'astronautica privata che presumibilmente collaborerà con quella pubblica nelle future missioni lunari USA, preludio a quelle su Marte. Ma questa è un'altra storia.



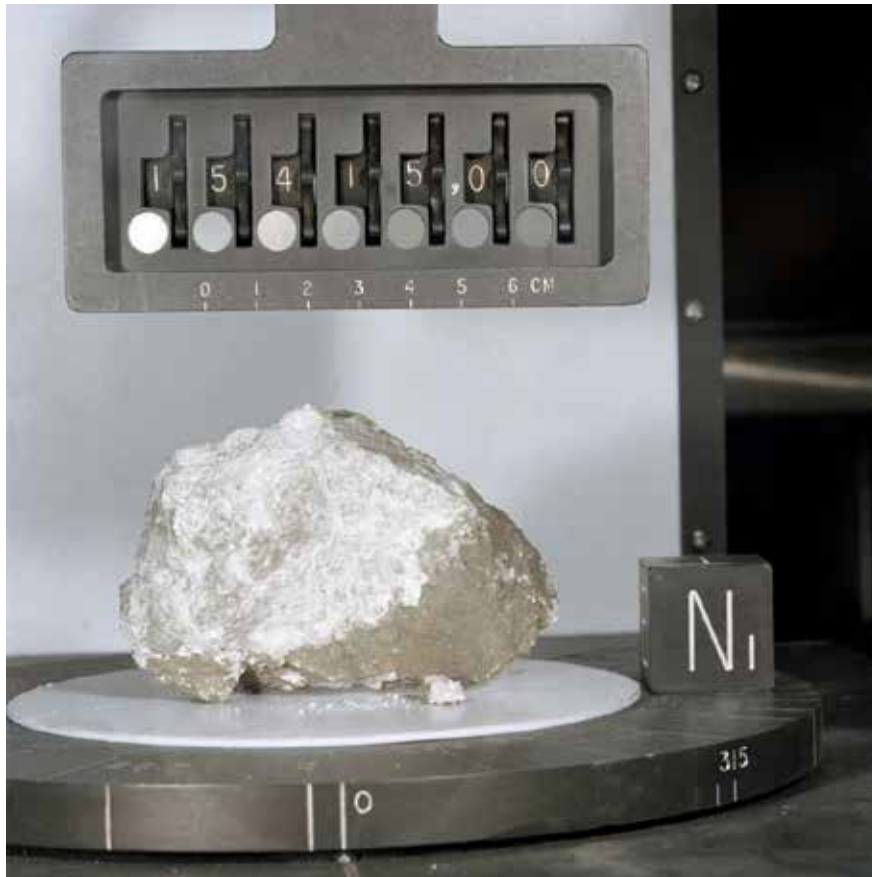
La partenza di Saturn V (missione Apollo 11)



Buzz Aldrin (missione Apollo 11) che passeggia sul suolo lunare



Il Lunar Roving Vehicle sul suolo lunare (missione Apollo 15)



La Genesis Rock (missione Apollo 17), fossile della fase primordiale del Sistema Solare

L'ALTRA FACCIA DELLA LUNA

TUTTO QUELLO CHE NON SAPETE SUL NOSTRO SATELLITE

Nino Ragusi

La Luna è un satellite naturale, l'unico della Terra. Orbita a una distanza media di circa 384.400 km dal nostro pianeta, abbastanza vicina da renderla osservabile ad occhio nudo e da distinguerne alcuni rilievi sulla superficie. Essendo in rotazione sincrona, la Luna rivolge sempre la stessa faccia verso di noi ed il suo lato nascosto è rimasto sconosciuto fino al periodo delle esplorazioni spaziali.

Durante il suo moto orbitale, il diverso aspetto causato dall'orientazione rispetto al Sole genera delle fasi chiaramente visibili che hanno influenzato il comportamento dell'uomo fin dall'antichità. Condiziona la vita di molte specie, regolandone il ciclo riproduttivo e i periodi di caccia, agisce sulle maree e sulla stabilità dell'asse di rotazione terrestre.

1. Dimensioni

Se la Terra fosse grande come una palla da basket, la Luna sarebbe una pallina da tennis. Su questa scala, la distanza tra la Terra e la Luna sarebbe di 7 metri e 23 centimetri.

2. Distanza

La Luna si trova a circa 30 "terre" di distanza dalla Terra.

3. Rotazione e maree

L'influsso della Luna sulle maree fa rallentare la rotazione terrestre. La gravità lunare esercita sulla Terra una pressione parzialmente responsabile per il flusso e il riflusso delle maree degli oceani. Il fisico George Darwin (figlio di Charles Darwin) scoprì che la particolare spinta sulle acque terrestri esercitata dalla gravità lunare rallenta gradualmente la rotazione della Terra. Il nostro giorno si allunga di circa 0,002 secondi ogni secolo che si sommano nell'arco di miliardi e miliardi di anni. Darwin concluse anche che la Luna finirà con l'allontanarsi dalla Terra, orbitare più lentamente e creare quindi un mese più lungo.

4. L'orbita

L'orbita lunare non è perfettamente circolare, bensì ellittica. Di conseguenza, quando la Luna si trova nel punto più vicino alla Terra ci sembra più grande del 14% e più luminosa del 30% rispetto a quando è più lontana.

5. Formazione

Probabilmente la Luna si è formata 4,5 miliardi di anni fa. Le teorie su come si sia esattamente

formata la Terra sono svariate ma si ritiene che la Luna sia nata in seguito allo scontro di un oggetto delle dimensioni di Marte contro la Terra. L'impatto provocò dei detriti che iniziarono a orbitare intorno alla Terra per poi fondersi, creando la Luna.

6. Atmosfera

Gli esseri umani sopravviverebbero sulla Luna con molta difficoltà. Date l'atmosfera estremamente sottile e la mancanza di acqua liquida, è difficile immaginare insediamenti lunari permanenti. Tuttavia ricerche recenti hanno confermato l'esistenza di acqua ghiacciata sulla superficie lunare. Secondo una dichiarazione Nasa, riportata da *Space.com*: «Con abbastanza ghiaccio a disposizione sulla superficie – nei primi millimetri – sarebbe possibile accedere all'acqua come risorsa per spedizioni future per esplorare e addirittura restare sulla Luna e magari per raggiungere più facilmente l'acqua rilevata al di sotto della superficie lunare».

7. Polvere lunare

Molti altri fattori impediscono la sopravvivenza sulla Luna degli esseri umani o di altre creature viventi. La missione Apollo «ha avuto molti problemi con la polvere», aveva già spiegato a *Business Insider* l'astronauta della NASA in pensione Peggy Whitson. La polvere lunare, conosciuta come "regolite", è una sostanza simile al talco che può danneggiare gravemente gli equipaggiamenti. Sulla Luna esiste anche una enorme escursione termica. La Luna ruota sul proprio asse, provocando un plenilunio ogni 27 giorni. Di conseguenza, il giorno su un lato della Luna dura circa 13 giorni terrestri e mezzo, seguiti da una notte della stessa durata. Quando la Luna è immersa nella luce solare la temperatura può raggiungere i 115 gradi Celsius; quando fa buio la temperatura può precipitare a meno 143.

8. Lunamoti

La Luna ha lunamoti simili ai terremoti. Nel 2006, i dati degli anni '70 hanno portato alla scoperta dell'attività sismica della Luna. Secondo la Nasa si verificano forti lunamoti, provocati da piccole distorsioni dell'intero satellite dette "maree solide", da vibrazioni dovute all'impatto di meteoriti e da terremoti termici «provocati dall'espansione della crosta gelida quando viene illuminata dal Sole mattutino dopo due settimane di notte lunare estremamente gelida». Inoltre, i terremoti superficiali, terremoti con cause sconosciute che si verificano solo a 20 o 30 chilometri sotto alla superficie, possono durare fino a 10 minuti. Se si verificassero sulla Terra, le vibrazioni di simili terremoti potrebbero spostare mobili molto pesanti (sulla Terra, l'acqua impedisce che i terremoti durino più di alcuni minuti).

9. La Luna tra le lune

La Luna terrestre è la quinta luna più grande del Sistema Solare. Nel Sistema Solare ci sono più di 150 lune che orbitano attorno ai pianeti. Quella della Terra è la quinta più grande. La maggiore è Ganimede, una delle 79 lune di Giove.

10. Non siamo mai stati sulla Luna

Una nota teoria cospirazionista sostiene (scorrettamente) che gli esseri umani non siano mai atterrati sulla Luna. Il 20 luglio 1969, Neil Armstrong si trovava davvero sulla Luna quando ha pronunciato le famose parole: «un piccolo passo per l'uomo, un grande passo per l'umanità». Neil deGrasse Tyson ha confutato l'idea che l'atterraggio sia stato un inganno, facendo calcoli sul carburante e usando il buon senso: «Semplicemente, i detrattori non riescono a capire la portata dei progressi tecnologici», ha detto.

11. La superficie lunare è disseminata di oggetti prodotti dall'uomo

Insieme alla bandiera Usa, gli astronauti hanno inizialmente lasciato sulla Luna uno stemma che onora l'equipaggio morto nell'incidente dell'Apollo 1, come anche una placca con la scritta: «In questo punto gli uomini del pianeta Terra hanno messo per la prima volta piede sulla Luna. Luglio 1969 d.C. Veniamo in pace per tutta l'umanità». Da allora, come riferito da *The Atlantic*, gli astronauti hanno lasciato sulla Luna approssimativamente 180 kg di materiale, veicoli spaziali telecomandati, stazioni di atterraggio e di decollo, dune buggy lunari, palle da golf e un ritratto di famiglia appartenente a Charles Duke della missione Apollo 16.

12. Gli astronauti hanno riportato sulla Terra 382 kg di materiale dalla Luna

La Nasa ha riferito che tra il 1969 e 1972, nel corso di sei missioni, sono stati portati sulla Terra 2.200 campioni diversi di «rocce lunari, carotaggi, sassolini, sabbia e polvere», prelevati dalla superficie lunare. I campioni provengono da sei diversi siti di esplorazione spaziale. Anche se gli statunitensi sono atterrati per primi sulla Luna, non possiedono alcun territorio lunare.

13. Leggi spaziali

Nel 1960 fu creato l'International Institute of Space Law per «promuovere la cooperazione internazionale nel processo di elaborazione di leggi di diritto spaziale». Ne derivò il Trattato sullo spazio extra-atmosferico, emanato nell'ottobre del 1967, che proibisce a una singola nazione di possedere pianeti, stelle o altri oggetti spaziali. Il trattato dice anche che tutte le esplorazioni spaziali devono essere realizzate per scopi pacifici.

14. Nel XXI secolo ci saranno 228 eclissi lunari

La Nasa ha già calcolato ogni eclisse lunare fino al 2100. Nel 2019 ci saranno un'eclisse parziale e una totale, mentre nel 2020 le eclissi saranno quattro.

15. Nel gennaio del 2019 la Cina è atterrata sul lato nascosto della Luna

L'8 dicembre, l'Agenzia spaziale cinese ha lanciato la missione Chang'e 4 verso il bacino Polo Sud Aitken, sul lato nascosto. Tra gli scopi della missione c'è quello di esaminare la geologia lunare, cercare l'acqua, analizzare il cielo notturno in cerca di impulsi radio e anche sperimentare l'allevamento di bachi da seta. Come già riferito da *Business Insider*, il riuscito atterraggio «è un buon esempio del successo cinese nel rafforzare nel mondo la propria posizione scientifica,

tecnologica, educativa ed economica».

16. Ci sono più persone state sulla Luna che nelle profondità oceaniche

Dodici uomini sono stati sulla Luna, nelle profondità oceaniche, invece, solo tre. I primi sono stati Don Walsh e Jacques Picard che nel 1960 scesero nella Fossa delle Marianne, la più profonda depressione oceanica conosciuta. La missione non ebbe però lo stesso successo mediatico dell'allunaggio.

17. L'ultimo allunaggio risale al 1972

La maggior parte delle persone ricorda il primo allunaggio del 1969 ma non è stato il solo. Negli anni successivi dodici astronauti hanno calcato il suolo lunare ma tutti nel giro di pochi anni. L'ultimo è stato nel 1972 e da allora nessun essere umano ha più camminato sulla Luna.

18. La Luna si allontana dalla Terra

La distanza tra la Luna e la Terra aumenta di 3,8 cm l'anno e ciò è dovuto all'interazione tra moto relativo e attrazione gravitazionale.

19. La più potente esplosione sulla Luna è stata visibile ad occhio nudo

La più grande esplosione sulla Luna è avvenuta l'11 settembre 2013 ed è stata causata dall'impatto di un meteorite.

20. The Dark Side of the Moon in realtà non esiste

Nonostante i Pink Floyd siano convinti del contrario – avendo così intitolato uno dei loro album più celebri – il lato oscuro della Luna in realtà non esiste. Entrambe le facce del satellite ricevono infatti la stessa quantità di luce solare. Dalla Terra si vede solo uno dei due lati perché la Luna compie una rotazione intorno al suo asse esattamente nello stesso tempo che impiega per completare un'orbita intorno alla Terra. Per questo ci mostra sempre la stessa faccia mentre l'altra è stata osservata solo dagli astronauti: niente paura, non è molto diversa da quella visibile.

21. Terra abbandonata se la Luna se ne va

Il matrimonio fra Luna e Terra non è destinato a durare in eterno. Il nostro satellite infatti si allontana di circa 3,8 centimetri all'anno. Una separazione che dovrebbe proseguire per i prossimi 50 miliardi di anni. Allora la Luna impiegherà 47 giorni circa per completare la sua orbita intorno alla Terra, contro gli attuali 27,3. Chissà se l'essere umano sarà ancora lì per osservarla!

22. Maschilismo spaziale

La Luna è, per il momento, il satellite dell'uomo. Ad oggi, 12 persone l'hanno calcata, tutte di sesso maschile e tutti, tranne uno, ex boy scout. Il primo è stato Neil Armstrong nel 1969 a bordo della missione Apollo 11, l'ultimo Gene Cernan con l'Apollo 17 nel 1972. Sono passati quindi 45 anni dall'ultima incursione umana; da allora la Luna ha accolto solo visitatori artificiali.

23. Anche la Luna a volte trema

I terremoti non sono un'esclusiva della Terra, anche la Luna ha i suoi tremori. A causarli, però, non è il movimento delle placche ma l'attrazione della Terra sul suo satellite. Il fenomeno è stato rivelato dagli astronauti che durante alcune missioni hanno portato con sé sismografi.

24. Il cielo è nero sopra la Luna

A differenza della Terra, la Luna non è protetta dall'atmosfera ed è quindi esposta a raggi cosmici, venti solari ed enormi variazioni di temperatura. Inoltre la mancanza di atmosfera fa sì che il cielo sopra la Luna appaia sempre nero.

25. È il satellite muto!

La Luna è un satellite muto. Il suono, infatti, non è altro che la propagazione nell'aria (o nell'acqua) di una vibrazione. In mancanza di questi mezzi di trasmissione, il suono non va da nessuna parte: ciò accade sulla Luna ed in generale nello spazio. Dimenticate le esplosioni fragorose delle astronavi di Hollywood: sono una bufala.

26. Il boom della Luna

Nel 1950 gli Stati Uniti erano indietro nella corsa alla Luna rispetto all'Unione Sovietica. Per evitare lo smacco diplomatico e dare una dimostrazione di forza militare, i generali americani concepirono in segreto un'idea folle: il progetto A119 prevedeva di far detonare una bomba nucleare sulla Luna.

27. Autostop spaziale

Per percorrere i 384.400 chilometri che separano Terra e Luna, viaggiando a una media di 95 km/h un'automobile impiegherebbe sei mesi, circa 10 volte il tempo necessario a fare un viaggio intorno al mondo. Tanto, poco? Comunque la pensiate, prima di offrire un passaggio lunare su Blablacar considerate che nello spazio manca l'ossigeno necessario alla combustione e che, in ogni caso, servirebbe un'enorme quantità di carburante.

28. Sul satellite sventola bandiera bianca

Delle sei bandiere americane piantate sulla Luna, cinque ancora garriscono al vento solare; solo la prima, issata da Buzz Aldrin e Neil Armstrong, è andata distrutta. Lo ha rivelato la Nasa dopo aver analizzato immagini satellitari che mostrano l'ombra proiettata sulla crosta lunare dal vessillo a stelle e strisce. Ma c'è un problema: le condizioni climatiche e ambientali estreme – e soprattutto le radiazioni solari – le hanno completamente scolorite. Insomma, sulla Luna l'uomo ha alzato non una ma ben cinque bandiere bianche.

29. Dieta lunare

Il peso sulla Luna è il 16,5% di quello sulla Terra, grazie alla minore gravità del satellite (circa

un sesto di quella che ci tiene ancorati al nostro pianeta). Quindi un uomo di 100 chili terrestri improvvisamente si troverebbe a pesare 16,5 chili lunari. Una dieta dimagrante che permetterebbe di spiccare salti di sei metri o di saltare dal tetto di una casa senza farsi male. Meglio ancora su Plutone, dove un uomo di 100 chili si troverebbe a pesarne solo 6,7; Giove, invece, lo metterebbe all'ingrasso: un quintale terrestre diventerebbe 252 chili.

30. Incontinenza astronomica

Tutti sanno che Neil Armstrong è il primo uomo ad avere messo piede sulla Luna. Ma Buzz Aldrin, il suo compagno di missione allunato 15 secondi dopo, può vantare un primato meno romantico. Come da lui stesso ammesso in un'intervista, Aldrin è il primo uomo ad aver fatto pipì sulla Luna. Ma non è l'unico: si calcola che sul satellite siano state abbandonate 96 sacche di urina, feci e vomito.

31. Cosa c'entra il terrorista più ricercato di sempre con la Luna?

Spedire un uomo sulla Luna e catturare Osama bin Laden: due "imprese" americane apparentemente senza alcun collegamento. In realtà, alcune ricerche hanno rivelato che gli Stati Uniti hanno speso per compierle circa la stessa quantità di tempo e denaro: 10 anni e 100 milioni di dollari.

32. Fake moon

Un sondaggio del 2013 ha rivelato che il 7% degli americani crede che il primo allunaggio sia stato una messinscena in stile Hollywood. Alcuni registi, però, hanno affermato che nel 1969 l'industria cinematografica non aveva a disposizione gli strumenti necessari per una finzione credibile della missione Apollo 11. Gli Stati Uniti, insomma, avevano la tecnologia per organizzare una spedizione sulla Luna ma non quella necessaria a simularla.

33. Che odore ha la polvere lunare?

Secondo gli astronauti protagonisti delle missioni sul satellite, l'odore della polvere lunare è simile a quello della polvere da sparo. Al tatto, invece, sembra neve ma è molto più abrasiva. John Young, membro della spedizione Apollo 16, l'ha addirittura assaporata: «Non è niente male», ha detto dopo un assaggio di polvere di Luna.

34. La scommessa con Oriana Fallaci

Pete Conrad, astronauta della missione Apollo 12, è stato il terzo uomo sulla Luna dopo Aldrin e Armstrong. Le prime parole di Conrad dopo aver messo piede sul satellite furono: «Evviva! Sarà stato un piccolo passo per Neil ma è stato uno lungo per me», scherzando sulla sua bassa statura. In seguito, Conrad ha rivelato di aver pronunciato questa frase per vincere una scommessa da 500 dollari con Oriana Fallaci: la scrittrice italiana sosteneva infatti che fosse la Nasa a scrivere i commenti lunari degli astronauti (compresa la celeberrima frase di Armstrong: «un piccolo passo per l'uomo, un grande balzo per l'umanità»).

35. L'uomo sulla Luna o un uomo sulla Luna?

A proposito delle parole iconiche di Neil Armstrong: l'astronauta ha sostenuto per tutta la vita di essere stato frainteso. Nella citazione attribuitagli manca infatti una "a" – articolo indeterminativo inglese – prima del termine "man"; la famosa frase quindi suonerebbe così: «Un piccolo passo per un uomo [e non per l'uomo], un grande balzo per l'umanità». Nella registrazione l'articolo, pronunciato troppo velocemente, è inudibile, ma nel 2006 un software ha analizzato le onde sonore del messaggio, rintracciandone una che è effettivamente compatibile con la pronuncia di una "a".

36. Il green della Luna

Alan Shepard, astronauta della missione Apollo 14, è stato il primo giocatore di golf lunare. Nel suo viaggio spaziale del 1971 l'uomo ha portato con sé una mazza costruita in casa e due palline. Nonostante la pesante tuta spaziale e l'impaccio dei guanti, Shepard è riuscito a colpirle entrambe. Il primo tiro è stato molto fiacco: solo un metro percorso. Il secondo, invece, decisamente più riuscito: a detta dell'astronauta, grazie alla scarsa gravità lunare la pallina ha viaggiato per chilometri e chilometri prima di atterrare.

37. Sulla Luna a bordo di una chiavetta Usb

L'allunaggio del 1969, fra le altre cose, ha dimostrato che l'uomo può fidarsi delle macchine. Nella loro missione, infatti, gli astronauti dell'Apollo 11 si sono avvalsi delle tecnologie più avanzate dell'epoca. Soprattutto i computer hanno giocato un ruolo fondamentale, consentendo di calcolare e aggiornare la traiettoria dell'astronave, nonché di monitorare a distanza i parametri biomedici degli astronauti. Così facile? Neanche per idea: i computer che hanno portato l'uomo sulla Luna sono meno potenti di una chiavetta Usb dei giorni nostri.

38. Luna e religione

Buzz Aldrin è stato anche il primo e finora unico uomo a fare la comunione sulla Luna. L'astronauta dell'Apollo 11 aveva portato con sé un piccolo calice e alcuni pezzetti di pane. Dopo aver chiesto qualche momento di silenzio «per contemplare gli eventi delle ultime ore e rendere grazie ciascuno a suo modo», Aldrin lesse un passaggio della Bibbia, bevve un sorso di vino dal calice e mangiò un tozzo di pane, rievocando l'ultima cena di Gesù. La Nasa, temendo polemiche e volendo fare dell'allunaggio un'impresa di tutti gli uomini, decise di non mostrare il gesto in mondovisione. La comunione lunare è stata rivelata solo molti anni dopo da Aldrin: l'astronauta ha dichiarato che, se dovesse tornare sulla Luna, sceglierebbe una cerimonia universale per celebrare l'evento.

LA LUNA DEGLI ANTICHI: CALLANISH E HOCHDORF

Adriano Gaspani

I.N.A.F. - Osservatorio Astronomico di Brera - Milano

adriano.gaspani@brera.inaf.it

La Luna, come del resto il Sole e le stelle più luminose, ebbe un'importanza fondamentale per l'astronomia degli antichi popoli europei. Ci riferiamo, in particolare, alla preistoria e protostoria dell'Europa centro-settentrionale, nella quale i pianeti non svolsero un ruolo determinante. Volendo dare esempi dell'importanza degli allineamenti lunari per l'astronomia preistorica e protostorica europea, ci concentreremo sul sito megalitico di Callanish (Scozia) e sul tumulo sepolcrale celtico di Hochdorf (Germania).

IL SITO MEGALITICO DI CALLANISH

Il sito di Callanish è posto sull'Isola di Lewis, nell'arcipelago delle Ebridi, a nord della costa scozzese. La costruzione del monumento risale grosso modo al 2900 a.C. ma è ancora molto difficile sia datarlo con precisione sia definire le reali funzioni che esso ebbe quando fu in uso. In questa sede prenderemo in esame Callanish I, un sito molto significativo non tanto per gli allineamenti verso i punti di levata e di tramonto della Luna ai lunistizi (il monumento ne mostra solo uno e nemmeno sicuro), quanto per la sua posizione geografica che fa sì che quando la Luna raggiunge la massima declinazione negativa essa percorra una particolare traiettoria nel cielo, come illustrato in Fig.1. Lo storico greco Strabone fu il primo studioso a menzionare il fenomeno. Callanish I consiste in un circolo ellittico di pietre di 13.1 x 11.3 metri, formato da 13 monoliti alti e sottili in gneiss di Lewis. Al centro del circolo ellittico è posto un altro monolite il quale è il più alto di tutti, raggiungendo i 4.75 metri di altezza. Dalla struttura ellittica si dipartono quattro viali, delimitati da file incomplete di grosse pietre erette, diretti verso est, sud e ovest e una doppia fila nella direzione nord-nord-est. I loro allineamenti si incrociano in corrispondenza del menhir posto al centro della struttura ellittica. All'interno del circolo di pietre sono stati ritrovati i resti di un tumulo circolare a camera di epoca neolitica, eretto dopo che il circolo centrale e gli allineamenti di pietre furono posti in opera. Nell'area circostante esistono altri circoli di pietre (Callanish II, III e IV).

Il professor Alexander Thom, nel suo accurato studio eseguito negli anni '60, propose che guardando verso sud lungo il viale di pietre allineate si trovi il punto nel quale tramontava la Luna al lunistizio estremo inferiore, quando essa raggiungeva la sua minima declinazione. A ciò si aggiunge la peculiare traiettoria della Luna in quel periodo, notata già da Strabone (presumibilmente riportando il racconto di marinai e/o commercianti che visitarono il sito).

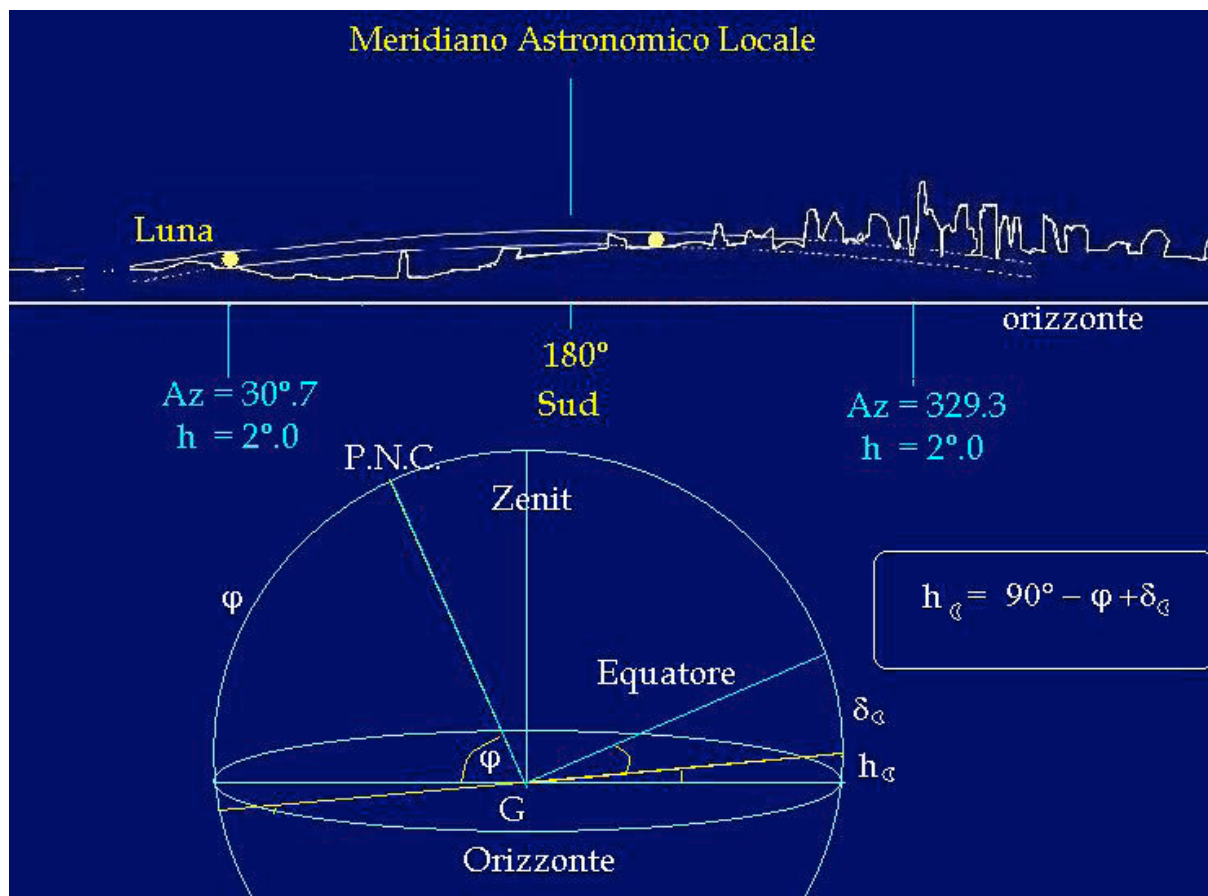


Fig.1 Traiettoria apparente della Luna dietro il profilo del sito di Callanish I durante il lunistizio estremo inferiore. A causa della elevata latitudine del sito, la Luna rimane molto bassa sull'orizzonte e si muove parallelamente ad esso per circa 300 gradi di azimut. Questo fenomeno avviene solo alcune volte nell'anno di lunistizio, una volta al mese a cavallo del giorno effettivo di minima declinazione. Il fenomeno è avvenuto l'ultima volta alla fine dell'estate/inizio autunno 2006. In basso è riportata la spiegazione del fenomeno: l'altezza massima raggiunta dalla Luna al meridiano è pari a 90 gradi meno la latitudine del luogo più la sua declinazione che, nel caso del lunistizio estremo inferiore, raggiunge il suo estremo negativo. Questo fa sì che l'altezza massima raggiunta dalla Luna rispetto all'orizzonte astronomico locale sia molto ridotta e che quindi la Luna transiti solo qualche grado sopra il profilo dell'orizzonte naturale locale.

Secondo una tradizione locale, le pietre sarebbero giganti che in tempi antichissimi vivevano sull'isola e che vennero tramutati in pietra da San Kieran quando rifiutarono il Cristianesimo. Per un'altra credenza della locale comunità, ancora di lingua gaelica scozzese, quando il Sole sorge il giorno del solstizio d'estate una "entità splendente" si incamminerebbe per il viale di pietre allineate, annunciata dal canto del cuculo; questo potrebbe rappresentare una reminiscenza dell'antichissimo significato astronomico delle pietre di Callanish I.



Fig.2 Il sorgere del Sole tra le pietre dell'anello centrale di Callanish I

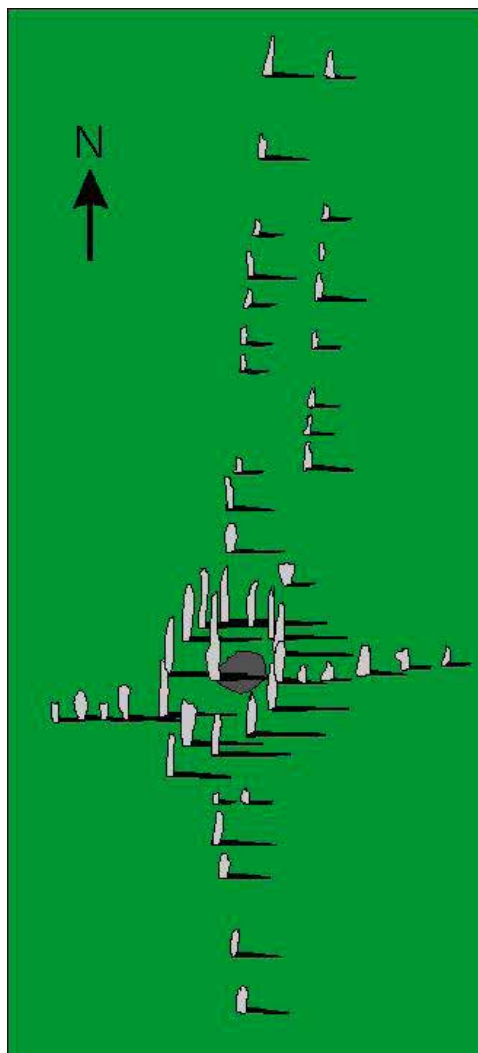


Fig.3 Struttura del monumento megalitico Callanish I

IL TUMULO CELTICO DI HOCHDORF

Nel 1978/79, presso Eberdingen-Hochdorf nella regione del Baden-Württemberg (Germania Meridionale), fu scavato un tumulo celtico di forma circolare, in terra e pietre, risalente al periodo Hallstattiano recente, cioè intorno al VI secolo a.C. All'interno del tumulo fu rinvenuta una camera sepolcrale intatta, contenente le spoglie di un aristocratico celtico appartenente alla cosiddetta Età dei Principi, durante il quale il Centro Europa era dominato da nobili guerrieri che risiedevano in piccoli nuclei abitativi fortificati, costruiti generalmente sulla cima delle alture e cinti da tre, quattro o cinque ordini di mura in pietra. Il dominio del territorio e il controllo delle vie di comunicazione, che prevedeva tra l'altro la riscossione dei pedaggi per il transito attraverso la regione, resero questi nobili molto ricchi e potenti.

Il defunto, alto 183 cm e morto all'apparente età di 40 anni, riccamente vestito e deposto su un lussuoso letto in bronzo (tra l'altro di probabile produzione golasecchiana, opera quindi dei Celti di Lombardia), era seppellito con tutte le sue armi, il suo carro da guerra, il tipico calderone celtico in bronzo, un servizio da libagione composto da otto corni potori in osso più uno in ferro, un servizio di piatti in bronzo con tutto il necessario corredo per un banchetto per otto commensali. Il tutto era posto all'interno di una doppia camera di forma quadrangolare, di cui quella esterna misurava circa 7.5 metri di lato e quella interna circa 4.7 metri di lato, con pavimento, soffitto e pareti in legno, posta in corrispondenza del centro del tumulo.

La camera interna, il cui soffitto era alto circa 1.5 metri, era riccamente addobbata e separata dalla camera esterna da un'intercapedine spessa oltre un metro e colma di breccie, in modo tale che essa potesse risultare al sicuro dagli attacchi dei saccheggiatori. La chiusura ermetica impedì non solo i tentativi di profanazione ma anche le infiltrazioni d'acqua, in modo che anche i materiali più deperibili quali il legno, il cuoio e i tessuti si conservarono in maniera sorprendente fino al momento dello scavo. Il processo di conservazione fu favorito anche dall'abbondanza di oggetti metallici, i cui ossidi fortemente tossici ostacolarono l'azione demolitrice dei batteri.

Le dimensioni del tumulo erano 60 metri di diametro e 6 metri di altezza nel suo punto centrale, il che richiese l'impiego di circa 7000 metri cubi di terra e 280 tonnellate di pietre per la sua edificazione. Il tumulo è posto in posizione isolata in mezzo alla campagna. Gli archeologi, mediante datazione al carbonio 14 dei reperti organici, hanno collocato la fase costruttiva alla transizione tra la fase D1 e quella D2 del periodo di Hallstatt, cioè intorno al 530 a.C.

L'analisi del tumulo e della camera sepolcrale ha messo in evidenza che la sua progettazione fu eseguita utilizzando alcuni criteri astronomici, basati sull'osservazione del sorgere e del tramonto della Luna oltre che sulla visibilità della costellazione di Orione. In particolare è stato possibile mettere in evidenza che le diagonali del quadrilatero della camera sepolcrale interna sono dirette verso punti dell'orizzonte astronomico locale correlati alla traiettoria apparente descritta dai punti di levata e tramonto della Luna durante il VI secolo a.C. Questi quattro punti dell'orizzonte sono raggiunti dalla Luna quando essa si trova in corrispondenza dei punti di stazione estremi ai lunistizi, cioè quando il nostro satellite raggiunge la massima o minima declinazione geocentrica, ovvero le estreme distanze angolari dall'equatore celeste (Fig.4).

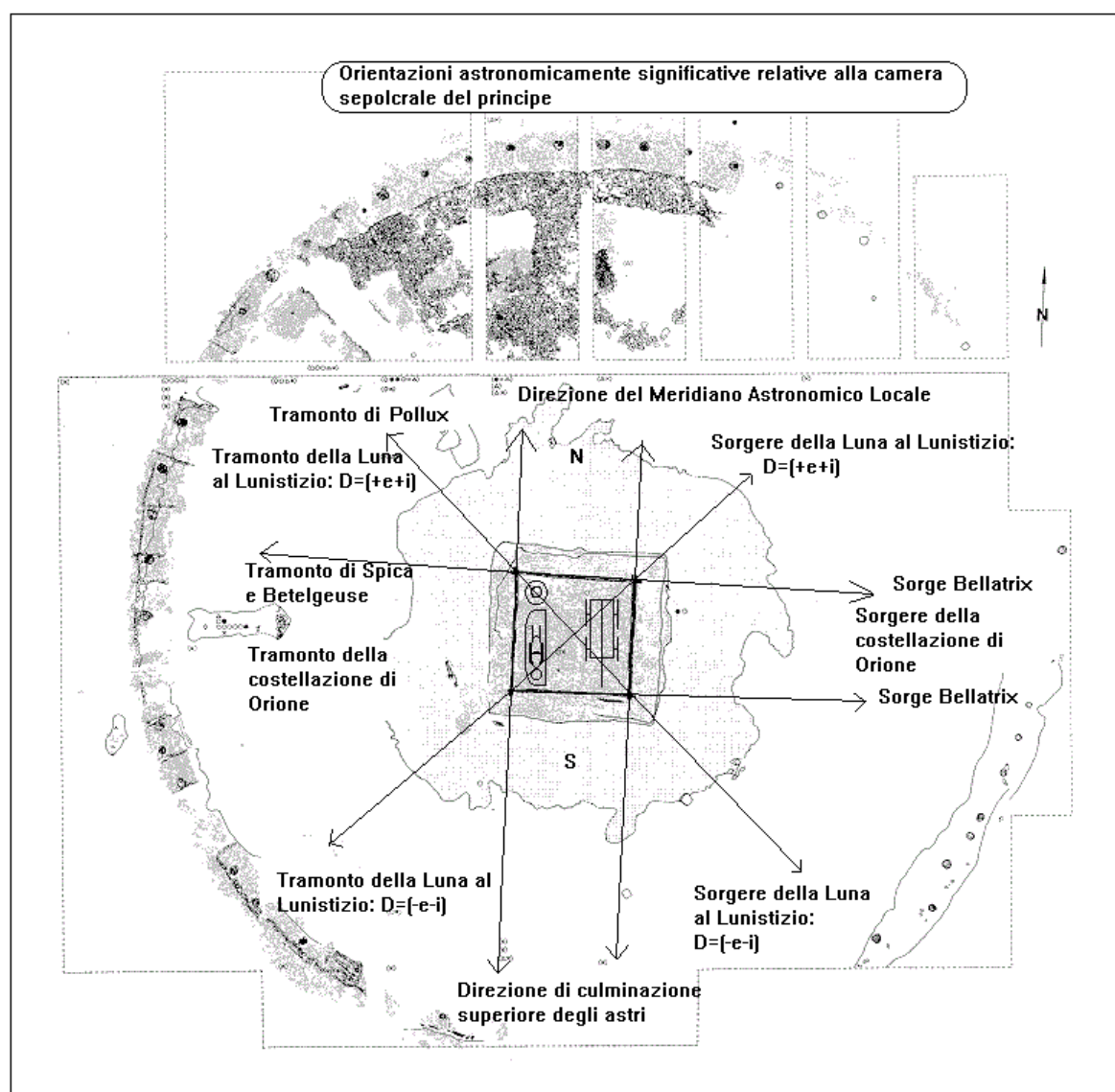


Fig.4 Allineamenti astronomici del tumulo funerario celtico di Hochdorf

La particolare disposizione della camera sepolcrale suggerisce che i druidi conoscessero il periodo di retrogradazione dei nodi dell'orbita lunare pari a 18.6 anni, anche se per loro tale periodo doveva rappresentare solo l'intervallo temporale tra due levate o due tramonti estremi della Luna all'orizzonte. Va però osservato che i punti estremi settentrionali e meridionali di levata e tramonto della Luna all'orizzonte locale del tumulo nel VI secolo a.C. erano spostati rispettivamente più a nord e più a sud di quanto non lo siano ai giorni nostri, di una distanza pari grosso modo alla dimensione angolare del disco lunare.

La particolare orientazione rilevata per la camera sepolcrale del principe di Hochdorf non può essere considerata un fatto casuale in quanto, ammettendo un intervallo di incertezza nella rilevazione dell'azimut pari a 2 gradi, la probabilità che gli angoli siano stati realizzati azzeccando casualmente le direzioni lunistiziali estreme è pari ad $1/32400$. Possiamo quindi affermare, almeno con un notevole margine di sicurezza, che l'orientazione rilevata fu deliberatamente disposta dai costruttori del tumulo nel VI sec. a.C.

Dopo alcuni calcoli siamo in grado di affermare che la Luna ritornò al lunistizio nel 528

a.C., data quasi coincidente con la collocazione cronologica del tumulo. Non è da escludere che il decesso del principe sia coinciso proprio con un anno di lunistizio e che questa sia stata una possibile ragione della peculiare orientazione della sua ultima dimora. Un altro fatto importante è che la conoscenza del ciclo lunare poneva in mano ai druidi lo strumento per prevedere efficacemente le eclissi, soprattutto quelle di Luna. Infatti, qualora la Luna si trovi alla massima o minima declinazione possibile e contemporaneamente al primo o all'ultimo quarto, allora sette giorni dopo è possibile il verificarsi di un'eclissi di Sole o di Luna. Tutto ciò ha ovvie implicazioni riguardo alla sofisticatezza delle conoscenze astronomiche degli antichi Celti.

La peculiare orientazione lunare della camera sepolcrale non fu il solo criterio astronomico seguito nella costruzione del tumulo. Infatti la forma della camera sepolcrale interna non è quadrata ma leggermente trapezoidale, rastremata in direzione orientale in modo tale da non deviare troppo dalla linea equinoziale. Questo fatto implica che i lati nord e sud di essa fossero collimati verso i punti di levata eliaca di Spica e Betelgeuse nel caso del lato settentrionale e di Altair e Spica nel caso del lato meridionale, concordi anche con la levata ad est e il tramonto ad ovest della costellazione di Orione che, nei secoli successivi, costituirà un riferimento frequente nell'orientazione dei luoghi sacri dei Celti.

Tenendo presente che la camera esterna è un quadrato praticamente perfetto, si ritiene che le deviazioni dalla forma quadrata della camera interna siano intenzionali. Per ultimo, è possibile rilevare che il principe fu deposto lungo la direzione meridiana con un errore inferiore ad 1 grado, con il capo appoggiato su un cuscino riempito di erbe e sollevato in modo tale che potesse virtualmente guardare il polo nord celeste che nel VI secolo a.C. era posizionato in prossimità della stella Kochab (β Ursae Minoris) e non della Polare.

COSMOLOGIA PER ASTROFILI

PARTE III: LA COSMOLOGIA MODERNA (1980-2019)

Stefano Spagocci

Con questo numero si conclude la pubblicazione di un Corso di Cosmologia per Astrofili in tre parti. Scopo del corso era quello di fornire al lettore una conoscenza di base della cosmologia. La prima parte del corso riguardava la cosmologia classica (1915-1980). La seconda parte del corso trae origine da una fortunata conferenza dell'autore: "Cosmologia con le Quattro Operazioni". Nella terza ed ultima parte del corso trattiamo invece della cosmologia moderna (1980-2019). Buona lettura!

Nella prima e seconda parte di questo lavoro, avevamo affrontato il tema della cosmologia classica, i sessant'anni circa che intercorrono tra la relatività di Einstein e l'Universo inflazionario di Guth e Linde. Proseguendo il nostro discorso, in questa terza parte affronteremo gli sviluppi della cosmologia posteriori al 1980.

LA COSMOLOGIA QUANTISTICA

La più ovvia domanda che la teoria del Big Bang pone è quale sia stata la causa del Big Bang stesso (si intende causa fisica: alle problematiche più filosofiche accenneremo nelle riflessioni finali). Sorprendentemente, lo statunitense Tryon (1973) con i suoi calcoli dimostrò che l'Universo può legittimamente scaturire dal nulla, secondo le leggi della meccanica quantistica. In particolare, il famoso principio di indeterminazione di Heisenberg stabilisce che una particella (o un grumo di materia/energia) può apparire dal nulla, purchè esista per un tempo brevissimo (inversamente proporzionale alla sua massa/energia).

Se poi la massa/energia del grumo fosse pari a zero, il grumo potrebbe esistere per un tempo infinito, quindi divenire reale! Un mini-universo sferico può avere energia complessiva nulla, quindi può essere creato dal nulla in maniera perfettamente legittima. Vedremo che l'Universo è oggi piatto (almeno in ottima approssimazione) ma l'inflazione, innescatasi dopo il Big Bang, può rendere l'Universo piatto in una infinitesima frazione di secondo!

L'INFLAZIONE COSMICA

L'Universo, in media, ha la stessa densità in ogni punto e direzione. Perciò il gas primordiale doveva essere altrettanto omogeneo ma le particelle elementari che lo componevano non avevano il tempo di collidere e uniformare la densità, perchè l'espansione cosmica era troppo rapida, secondo i calcoli della teoria del Big Bang.

Ricordiamo infatti che la temperatura di un gas è una misura dell'energia cinetica (equivalentemente, della velocità) delle molecole o atomi del gas. Quando due molecole (o atomi)

si scontrano,

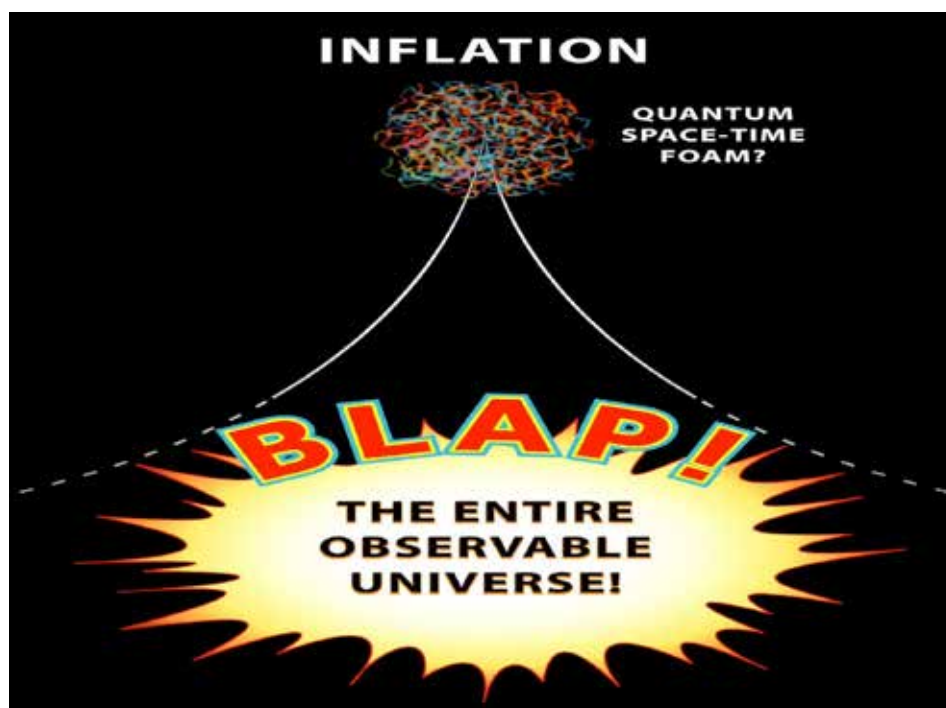


Fig. 1 Una visione umoristica ma efficace dell'inflazione cosmica e della cosmologia quantistica. A partire da uno stato non ancora esattamente definibile (probabilmente coincidente con lo spaziotempo ribollente, la schiuma spaziotemporale, previsto dallo statunitense Wheeler) si genera l'intero Universo osservabile, in un tempo infinitesimo.

tendono a dividere equamente la loro energia cinetica (quindi, nel caso di molecole o atomi identici, la loro velocità). D'altra parte, l'Universo deve essere piatto (densità pari a quella critica). Infatti, se la sua densità al Big Bang fosse stata anche di pochissimo diversa da quella critica, oggi sarebbe defunto per diluizione o per contrazione (Big Crunch). La teoria del Big Bang caldo prevede la possibile formazione (tra gli altri oggetti strani) dei monopoli magnetici (una sorta di calamite subatomiche ad un solo polo), mai osservati sperimentalmente nonostante decenni di ricerche.

Questi problemi furono risolti dalla teoria dell'inflazione, sviluppata dal 1980 ad opera dello statunitense Guth (indipendentemente, in forma diversa, dal russo Linde) e perfezionata poi da studiosi quali il russo Starobinski e gli statunitensi Steinhardt e Albrecht. Secondo la teoria dell'inflazione, l'Universo (nei suoi primi istanti) passò da uno stato di vuoto quantistico a una certa energia a uno stato di vuoto quantistico a energia minore, a causa di fluttuazioni quantistiche. Il salto di energia si tradusse nell'energia di espansione dell'Universo e nella formazione di materia, con una dilatazione esponenziale delle sue dimensioni.

Riguardo alla soluzione dei problemi posti dalla teoria del Big Bang nella sua forma classica, secondo la teoria dell'inflazione l'Universo, inizialmente, si espandeva a velocità tanto lenta da permettere al gas primordiale di uniformare la propria densità. L'inflazione lo portò poi, rapidamente, ad avere dimensioni compatibili con quelle attuali. Riguardo alla forma dell'Universo (piatto o curvo), ricordiamo che una piccola area di un palloncino, quando il palloncino è gonfiato,

diventa praticamente piatta. Analogamente, l'inflazione rese rapidamente l'Universo piatto. D'altra parte, la drastica espansione dell'Universo diluì grandemente la densità di oggetti quali i monopoli magnetici e ne rese estremamente improbabile l'osservazione. In tale modo, se anche i monopoli magnetici esistessero, sarebbe molto improbabile la loro rilevazione con gli attuali e futuri apparati sperimentali.



Fig. 2 Alan Guth, il padre della teoria dell'inflazione cosmica.

L'ENERGIA OSCURA

Attorno alla fine del '900, la costruzione di diagrammi di Hubble più precisi (da parte dello statunitense Perlmutter, recente Nobel per la fisica, e altri), portò alla determinazione della velocità di espansione dell'Universo a vari tempi dopo il Big Bang. Si scoprì che l'Universo non solo è piatto e si diluirà indefinitamente, ma sta accelerando la propria espansione!

Per spiegare l'accelerazione, è stata riportata in auge la famosa costante cosmologica di Einstein. La costante cosmologica è una sorta di gravità repulsiva, introdotta da Einstein per giustificare la sua pregiudiziale preferenza per un Universo statico (l'antigravità avrebbe infatti compensato la gravità) e riusata, con tante scuse, dopo le scoperte di Hubble sull'espansione dell'Universo. Nel nostro Universo l'antigravità agisce nel senso di vincere la gravità (e, dopo circa cinque miliardi di anni dal Big Bang, è divenuta prevalente), provocando un'espansione accelerata che lo porterà alla morte per diluizione. Ciò, però, avverrà in un tempo stimato in 10^{100} anni (un numero pari ad uno seguito da cento zeri)!

Fisici e cosmologi, oggi, non sanno pienamente spiegare l'origine di una tale energia oscura

che permea tutto l'Universo, agendo da antigravità e provocandone l'espansione accelerata. Si tratta, però, di un mistero squisitamente scientifico e non, come molti nemici della scienza (in buona o cattiva fede) sostengono, di un fallimento della cosmologia moderna o (peggio ancora) del metodo scientifico.

In ogni caso, oggi si pensa che l'energia oscura derivi dalla presenza di campi quantistici (in meccanica quantistica, ogni particella ha associato un campo analogo al campo elettromagnetico). Si dimostra, infatti, che la presenza di campi quantistici provoca un effetto antigravitazionale, descritto dalla costante cosmologica.

IL PRINCIPIO ANTROPICO

E' facile calcolare il valore della costante cosmologica derivante dalla presenza dei campi quantistici. Il valore calcolato, però, è 10^{120} (uno seguito da centoventi zeri) volte superiore al valore effettivamente osservato: la previsione più sbagliata nella storia della fisica!

Non è questa la sede per approfondire i contenuti del principio antropico, invocato da molti fisici per risolvere il problema. Qui diremo che tale principio, introdotto dall'australiano/britannico Carter (1973) parte dalla constatazione del fatto che, se le varie costanti naturali (ad esempio le masse di elettrone, protone, neutrone e l'intensità delle quattro forze fondamentali: la gravitazionale, l'elettromagnetica, le nucleari debole e forte) variassero anche di poco, non sarebbe possibile la vita nell'Universo.

Nella versione cosmologica del principio antropico (di solito, ma non necessariamente, basata sull'applicazione della teoria delle stringhe), si suppone che in realtà esista una moltitudine di universi (il cosiddetto Multiverso, di cui tratteremo più avanti), in ognuno dei quali le costanti naturali (e forse anche le leggi fisiche) siano diverse, in conseguenza delle inevitabili fluttuazioni della meccanica quantistica.

Nella maggior parte degli universi la vita sarà impossibile (e spesso nemmeno l'esistenza di materia aggregata). Nei pochi universi nei quali la vita è possibile, si troveranno esseri (forse) come noi che non dovrebbero stupirsi del fatto che le costanti di natura siano congegnate in modo da permetterne l'esistenza. Semplicemente (con un processo analogo all'evoluzione darwiniana), negli universi nei quali le fluttuazioni hanno portato a valori delle costanti naturali non compatibili con la vita, la vita non esiste.

Era quindi estremamente improbabile che la costante cosmologica assumesse un valore così piccolo. Nella maggior parte degli universi, quindi, la costante cosmologica ha assunto il valore più probabile, di 10^{120} volte maggiore rispetto a quello osservato nel nostro Universo. Quegli universi, però, hanno violentemente accelerato l'espansione e sarebbero da tempo defunti per diluizione, cosa ovviamente non capitata a noi. Semplice ma geniale!

COSMOLOGIA DI PRECISIONE

Nella prima parte di questo lavoro abbiamo trattato della radiazione cosmica di fondo. Qui ricorderemo solamente che tale radiazione, oggi nel campo delle microonde, permea tutto l'Universo ed è la cosa più lontana che possiamo osservare, risalendo a 380.000 anni dopo il Big

Bang. Compongono la radiazione di fondo i fotoni che allora smisero di interagire con elettroni, protoni e neutroni, precedentemente aggregati in atomi e molecole.

Dai primi anni '90 (su impulso, tra gli altri, degli statunitensi Smoot e Mather, recenti Nobel per la fisica) è iniziato lo studio di dettaglio della radiazione cosmica di fondo, mediante i satelliti COBE, WMAP e il recente Planck, preceduti dagli esperimenti da pallone sonda come MAXIMA e BOOMERANG.

Si è trovato che la radiazione di fondo è uniforme entro una parte su centomila! Quelle fluttuazioni di densità sono state i semi per la formazione di galassie, stelle e pianeti. Infatti, la distribuzione dei fotoni della radiazione di fondo ricalca quella del gas primordiale (all'epoca composto da elettroni, protoni e neutroni). Le fluttuazioni di densità funzionarono appunto da semi di aggregazione, per attrazione gravitazionale. Le fluttuazioni misurate sono esattamente quelle previste dalla teoria dell'inflazione che così ha ricevuto una brillante conferma.

Dalla dimensione media delle macchie calde e fredde della radiazione cosmica di fondo, si è determinato che l'Universo è effettivamente piatto. Secondo le misure effettuate, l'Universo consiste di: 5% materia ordinaria, 27% materia oscura, 68% energia oscura. La materia oscura (della quale qui non tratteremo) è materia di cui conosciamo l'esistenza, grazie all'attrazione gravitazionale, ma che non è rivelabile mediante onde elettromagnetiche.

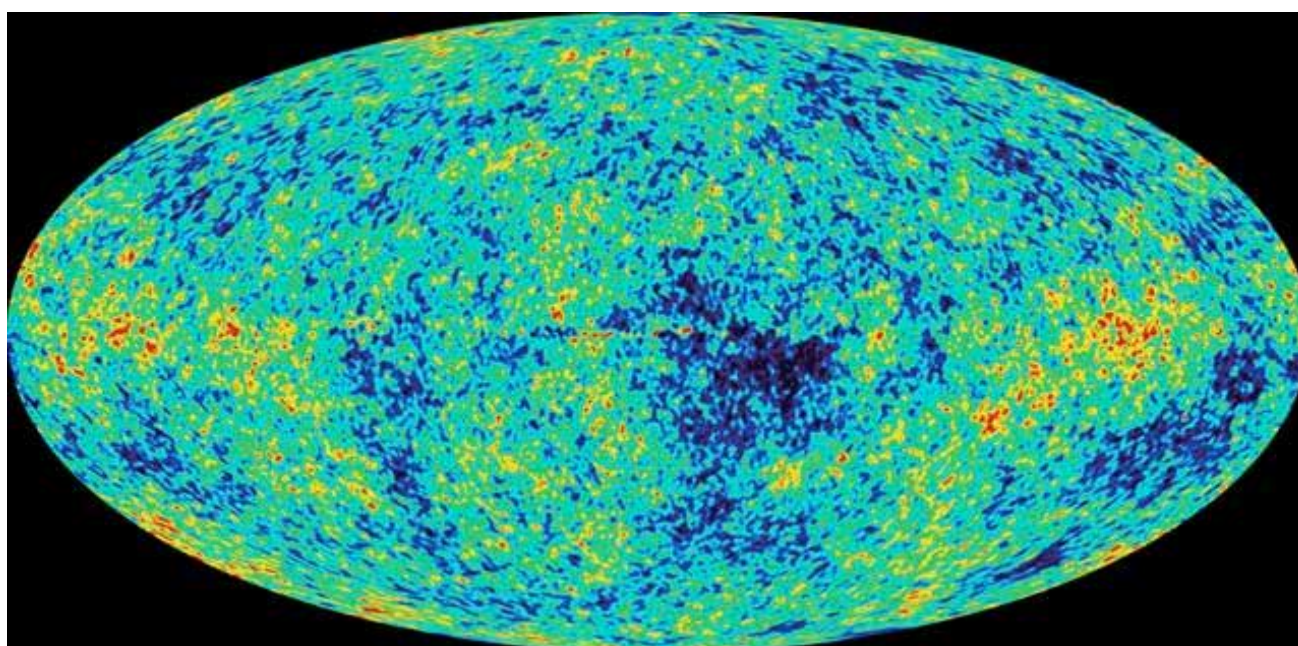


Fig. 3 Mappa della radiazione cosmica di fondo, realizzata dal satellite WMAP.

In ogni caso, sappiamo ormai che solo il 5% dell'Universo è composto da materia ordinaria. Il 95% è composto di materia/energia la cui origine ancora non conosciamo esattamente! Questo, come già sottolineato, è un avvincente mistero scientifico che, però, non ha nulla a che vedere con le fantasie di un certo mondo amante dei misteri (per noi degni del massimo interesse, purchè di veri misteri si tratti).

Infine, lo studio della radiazione cosmica di fondo ha portato alla prima determinazione precisa dell'età dell'Universo che risulta avere 13.8 miliardi di anni. Per dare un'idea del rapido

progresso nella cosmologia degli ultimi due decenni (e della sua trasformazione in scienza di precisione), diremo che, fino a pochi anni or sono, l'età dell'Universo risultava pari a 13.7 miliardi anni. Peraltro, fino a due decenni fa l'incertezza sulla sua età era di ± 5 miliardi di anni!

IL MULTIVERSO

Molti modelli prevedono che l'inflazione generi universi figli che a loro volta generano universi nipoti e così via all'infinito. Come già sottolineato, potrebbero esistere infiniti universi, con diverse leggi fisiche o quantomeno diverse costanti fisiche. Il principio antropico permetterebbe di discriminare tra questi universi, la maggioranza dei quali, probabilmente, non sarebbe adatta non solo alla vita ma anche a qualunque aggregazione di materia!

L'ipotesi del Multiverso è stata spesso criticata perchè non permetterebbe una verifica sperimentale. Nessuno, purtroppo, ha stabilito che tutte le leggi di natura debbano essere alla portata della nostra verifica sperimentale e questa è un'osservazione che si applica anche alla teoria delle stringhe, spesso accusata del medesimo delitto. La situazione, però, potrebbe non essere disperata come sembra. Secondo alcuni cosmologi, infatti, nella fase iniziale della separazione tra due universi sarebbe possibile una collisione (periferica) tra gli stessi. Tale collisione lascerebbe una sorta di macchia circolare nella radiazione cosmica di fondo. Simili tracce non sono state ancora trovate ma il lavoro, teorico e sperimentale, è ancora agli inizi.

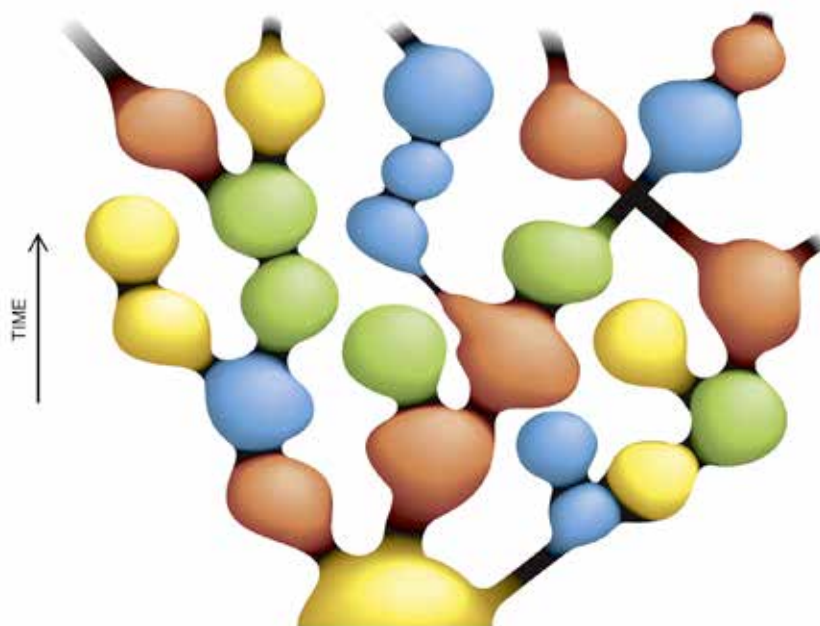


Fig. 4 Una rappresentazione del Multiverso, come generato dall'inflazione cosmica. Man mano che il tempo (rappresentato in verticale) evolve, gli universi figli generano a loro volta altri figli e così via, potenzialmente all'infinito.

RIFLESSIONI FILOSOFICHE

La cosmologia, da scienza con poche previsioni da verificare e senza grandi prospettive di sviluppo, negli ultimi due decenni si è trasformata in scienza in impetuoso sviluppo e, soprattutto, di precisione. Ciò non deve far dimenticare che molti problemi sono ancora da risolvere, come è normale che sia. Ma non deve nemmeno indurci ad etichettare i misteri che ancora circondano

l'origine dell'Universo come risolubili solo all'esterno del metodo scientifico.

Accenniamo infine (anche se brevemente) alle problematiche filosofiche che la cosmologia implica. La cosmologia, oggi, ha un'idea abbastanza precisa delle cause del Big Bang ma si tratta di cause fisiche. Altra cosa è chiedersi chi (o cosa) abbia ispirato le leggi fisiche. La risposta, però, dipende dalla fede (o mancanza di fede) del lettore.

D'altra parte, la cosmologia moderna (soprattutto quella fondata sulla teoria delle stringhe) lascia intravedere un Multiverso nel quale le stesse leggi di natura, oltre alle costanti naturali, possono variare in maniera casuale tra (sub) universi diversi nel tempo e nello spazio. Di ciò abbiamo già trattato accennando al principio antropico. Qui aggiungeremo solo che tali teorie, allo stato attuale, sono solo abbozzate a livello qualitativo ed è presto per esprimere giudizi perentori, peraltro comprensibili quando si toccano argomenti così delicati.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

A beneficio del lettore che non abbia avuto accesso alla prima parte del lavoro, riportiamo innanzitutto due testi dei quali avevamo già parlato. Il miglior testo divulgativo sulla cosmologia classica, ancora valido dopo più di un quarantennio, è: S. Weinberg, *I Primi Tre Minuti*, Mondadori, Milano, 1986 (I edizione 1973). Il libro non è più in catalogo ma consigliamo il lettore di reperirne una copia sul mercato dell'usato. In alternativa, il lettore che conosca la lingua inglese può riferirsi all'edizione originale, ancora in stampa.

Per chi legge l'inglese, consigliamo poi: A. Liddle, *An Introduction to Modern Cosmology*, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2015. Si tratta di un testo di livello universitario, consigliabile quindi a chi abbia una preparazione equivalente a una laurea scientifica breve ma, nella tradizione divulgativa anglosassone, leggibilissimo.

Per quanto riguarda la cosmologia moderna, consigliamo vivamente la lettura di: A. Balbi, *La Musica del Big Bang*, Springer Verlag Italia, Milano, 2007. Si tratta di un testo divulgativo ma rigoroso e godibile. Un'altra perla della divulgazione scientifica, una volta tanto da un autore di lingua italiana.

Riguardo alla visione di un Universo generato dal nulla, con leggi fisiche generate dal caso, la lettura d'obbligo è: L.M. Krauss, *A Universe from Nothing*, Simon & Schuster, London, 2012 (ne esiste anche un'edizione italiana ma la sconsigliamo). Si tratta di un libro che può suscitare reazioni contrastanti ma invitiamo il lettore a considerarlo come un testo del tutto scientifico (quale è), anche se (come il suo autore onestamente sottolinea) alcune delle teorie citate sono ancora a un livello embrionale e qualitativo e nonostante la professione di ateismo da parte dell'autore (professione che si può condividere, non condividere o condividere con riserva).

Molto materiale può essere reperito in rete. Al lettore/navigatore che, come già detto, abbia una formazione equivalente a una laurea breve scientifica consigliamo, su YouTube, le lezioni di fisica di Leonard Susskind (uno dei padri della teoria delle stringhe) e, in particolare, i cicli di lezioni sulla relatività generale e la cosmologia. Si tratta di lezioni di livello universitario ma di una chiarezza esemplare. L'impegno richiesto per seguirle è veramente minimo, in proporzione ai risultati che si possono raggiungere.

PICCOLA ENCICLOPEDIA ASTRONOMICA

BUCHI NERI, SINGOLARITÀ E CENSURA COSMICA

Franco Vruna

Sembra proprio che nell'Universo non possano esistere singolarità spazio-temporali nude, cioè non accompagnate dall'orizzonte degli eventi di un buco nero che ne nasconde l'implicito orrore. La necessità di questo vestito è resa esplicita dal principio di censura cosmica che proibisce la nudità, il principio dell'esistenza di un censore cosmico, una specie di talebano della natura.

Dopo un anno dalla pubblicazione della teoria della relatività generale di Einstein, il fisico tedesco Karl Schwarzschild la applicò a un caso particolarmente semplice, quello di un corpo dotato di simmetria perfettamente sferica. Il suo lavoro rese felice Einstein che in precedenza aveva trovato solo una soluzione approssimativa alle sue equazioni, soluzione che lo aveva portato a predire la curvatura della luce delle stelle vicine al Sole.

Dal punto di vista matematico, lo studio dei buchi neri e delle loro caratteristiche equivale alla ricerca di soluzioni delle equazioni che descrivono il collasso gravitazionale. Si tratta di equazioni complesse che non si possono risolvere in condizioni realistiche. Occorre quindi introdurre ipotesi semplificative che consentono l'analisi del problema in considerazione.



Simulazione al computer, secondo le equazioni della relatività generale, di un buco nero circondato da materia che cade verso il suo orizzonte degli eventi. Si noti il disco di accrescimento che circonda l'oggetto.

LA NASCITA DI UN BUCO NERO

La situazione presa in esame da Schwarzschild è la più semplice che si possa immaginare, quella del collasso gravitazionale di un corpo perfettamente sferico. Questa condizione non è mai verificata esattamente in natura ma ipotizzarla permette di comprendere le caratteristiche essenziali della geometria dei buchi neri.

Ecco come secondo Schwarzschild si può descrivere la formazione di ciò che oggi sappiamo

essere un buco nero. Man mano che la massa sferica in esame si contrae sotto l'azione della sua stessa gravità, il raggio del corpo diminuisce progressivamente sino a raggiungere un valore che rappresenta l'orizzonte degli eventi. La massa continua a contrarsi ma resta l'orizzonte degli eventi, il cui raggio dipende solo dalla massa racchiusa in esso.

L'orizzonte degli eventi è paragonabile ad una membrana semipermeabile che può essere attraversata solo verso l'interno. Attraversato l'orizzonte degli eventi, nulla di ciò che succede al corpo che sta collassando è visibile dall'esterno. Per comprendere come ciò accada, consideriamo un piccolo volume di materia del corpo che collassa, visto da un osservatore esterno.

Al progredire del collasso, e all'aumentare della curvatura dello spazio-tempo, la luce emessa dalla materia impiega tempi sempre più lunghi per raggiungere l'osservatore, tanto che all'orizzonte degli eventi il tempo impiegato tende all'infinito. D'altra parte, per sfuggire al campo gravitazionale i fotoni della luce perdono energia, aumentando la propria lunghezza d'onda. L'osservatore vedrebbe quindi il collasso rallentare man mano che ci si avvicina al raggio di Schwarzschild e la luminosità diminuire fino a zero.

In realtà ciò che è visto dall'esterno non corrisponde a quanto succede alla materia componente il corpo collassato, una volta che abbia sorpassato l'orizzonte degli eventi. In una frazione di secondo, infatti, si forma una singolarità spazio-temporale. Queste considerazioni valgono per il caso di buchi neri derivanti dal collasso di una stella, mentre i tempi sono più lunghi, ma pur sempre brevissimi su scala cosmica, per la materia che cade verso la singolarità dei buchi neri super-massivi che si trovano al centro di molte galassie, tra cui la nostra.

LA SINGOLARITA' NUDA

In fisica per singolarità si intende un punto in cui determinate grandezze fisiche assumono valore infinito o zero: è il caso del raggio zero e della densità infinita di un buco nero. La singolarità, però, è circondata da una regione sferica che ha per raggio quello di Schwarzschild, in cui il campo gravitazionale è talmente intenso che nulla di ciò che si trova all'interno può più uscire: questa regione è detta buco nero di Schwarzschild.

La caratteristica principale del processo sopra descritto è che la singolarità è contenuta all'interno di un buco nero, il cui confine è l'orizzonte degli eventi. Nella realtà, i collassi non sono mai perfettamente sferici, quindi i fisici teorici si sono sbizzarriti nel cercare di dimostrare se questa proprietà è valida in generale per tutti i tipi di collasso.

I fisici, in particolare, erano curiosi di sapere se potevano esistere delle singolarità non circondate da orizzonti degli eventi. Alcuni teoremi e considerazioni teoriche meno rigorose rendono plausibile l'ipotesi che le singolarità spazio-temporali che si formano nei collassi gravitazionali non siano mai nude ma debbano essere sempre "vestite", cioè contenute all'interno di un orizzonte degli eventi.

L'interno inaccessibile e insondabile della sfera di Schwarzschild è noto col nome di censore cosmico. Questo censore universale proibirebbe la nudità del buco nero. Cosa ci sia all'interno della sfera di Schwarzschild nessuno potrà raccontarlo perché, come abbiamo visto, il passaggio attraverso la sua superficie è senza ritorno.

ASTRO NEWS

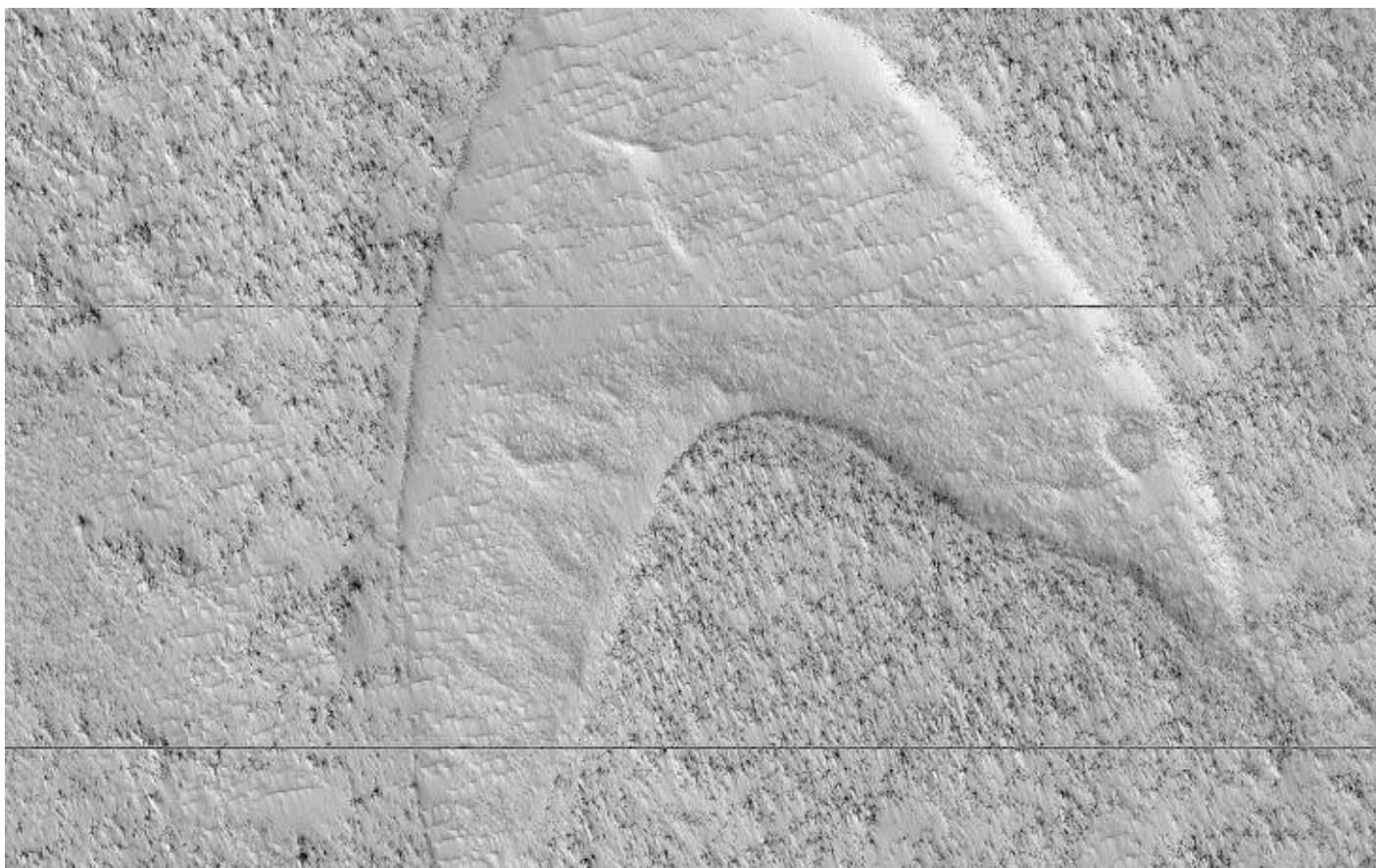
Cristiano Fumagalli

STAR TREK SU MARTE!

Dune, lava e vento sono responsabili di questa curiosa forma su Hellas Planitia, Marte. Assomiglia proprio al logo di Star Trek!

Maggiori info al link:

<https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA23288?fbclid=IwAR0VjtcSGr-zAUr9leK-C1QrhXhbUT72sdtjS1XIENK0ZUSPwXiC2I54ePk>



DA DOVE VIENE LA NOSTRA ACQUA?

Da dove viene l'acqua della terra? Nuove osservazioni rafforzano l'idea che le comete avrebbero potuto svolgere un ruolo chiave nel portare l'acqua sul nostro pianeta

Maggiori info al link:

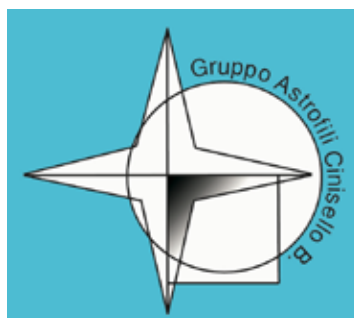
https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=7409&fbclid=IwAR0oleaBiHEJ0cNt-Bn1v1oK_Ae8mpFUhstiCM-gVgkMbwJaO7_aQSaAQmk

VOLARE SU MARTE È QUASI IMPOSSIBILE? LA NASA ACCETTA LA SFIDA.

Con Mars 2020 arriverà il primo elicottero marziano. Molti pensavano non fosse possibile ma gli ultimi test alle stesse condizioni del pianeta rosso (atmosfera 1/100 di quella terrestre e gravità del 40%) hanno avuto successo.

Maggiori info al link:

https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=7417&utm_source=post&utm_medium=facebook&utm_campaign=marshelicopter&fbclid=IwAR285sdBbzsAdEwMKVqO4GeXXB971sgRtWGLfNrvG0irPV3QgyDTzNKpZo



G.A.C.B.

Gruppo Astrofili Cinisello Balsamo

Sede riunioni Ex scuola Manzoni Via Beato Carino 4 20092 Cinisello Balsamo (MI)

c/o dott. Fumagalli Cristiano via Trieste 20 20092 Cinisello Balsamo (MI)

e-mail: fumagallic@tiscali.it - Cell. 347 4268868 - Cell. 349 5116302 (Ven 21-23)

Sito: <http://gacb.astrofili.org>

Yahoo: /group/GACB_Informa

FaceBook: Gruppo Astrofili Cinisello Balsamo

FaceBook: Osservatorio Astronomico Presolana

Osservatorio: Castione della Presolana - Località Lantana

Planetario: Via De Amicis 3/A - Muggiò (MB)

Delegazione UAI per la provincia di Milano

GACB e membro di CieloBuio - Coordinamento per la protezione del Cielo Notturno

CONSIGLIO DIRETTIVO

Presidente - *Cristiano Fumagalli*

Vicepresidente - *Stefano Spagocci*

Segretario - *Mauro Nardi*

Tesoriere - *Franco Vruna*

Consiglieri:

Nino Ragusi

Sergio Brighel

SEZIONI

Astrofotografia

Cristiano Fumagalli - Matteo Morelli

Planetario

Nino Ragusi

Stelle variabili

Stefano Spagocci - Cristiano Fumagalli

Tecnica autocostruzione

Leonardo "Gianni" Vismara

Responsabile Bollettino - *Stefano Spagocci*

Impaginazione - *Nino Ragusi*
