IL C.O.S.MO NEWS

IL LATO OSCURO DELL'UNIVERSO

Materia ed Energia Oscura

Arduo da vedere il Lato Oscuro è ...

Intelligenza Artificiale & Esplorazione Spaziale

Una colonia su Marte

CosmoStorie: Easy Moon

60
2024
www.ilcosmo.net

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" di Modena
Anno 16 Numero 60 Marzo 2024

Proprietà:

A.P.S. "Il C.O.S.Mo" (Circolo di Osservazione Scientifico-tecnologica di Modena)
C.F.:94144450361

Responsabile:

Davide Borghi

Redazione:

a cura del Consiglio Direttivo

Sito internet:

www.ilcosmo.net

Contatti:

info@cosmo.net

Costo:

Gratuito sul WEB

Consiglio Direttivo:

Leonardo Avella

Davide Borghi

Luigi Borghi

Roberto Castagnetti

Ciro Sacchetti

Questa rivista, le copie arretrate, i suoi articoli e le sue rubriche, non possono essere duplicati e commercializzati.

È vietata ogni forma di riproduzione, anche parziale, senza l'autorizzazione scritta del circolo "Il C.O.S.Mo".

La diffusione all'esterno del circolo è vietata.

Può essere utilizzata solo dai soci per scopi didattici.

SOMMARIO

IN QUESTO NUMERO:

Astrofisica

"*Arduo da vedere il Lato Oscuro è*": Materia ed Energia Oscura

di Roberto Castagnetti..... pag. 5

Astronautica

Intelligenza Artificiale & Esplorazione Spaziale

di Davide Borghi .....pag. 26

Astronautica

Una colonia su Marte

di Luigi Borghi .....pag. 35

COSMoStorie

Easy Moon

di Roberto Castagnetti.....pag. 52

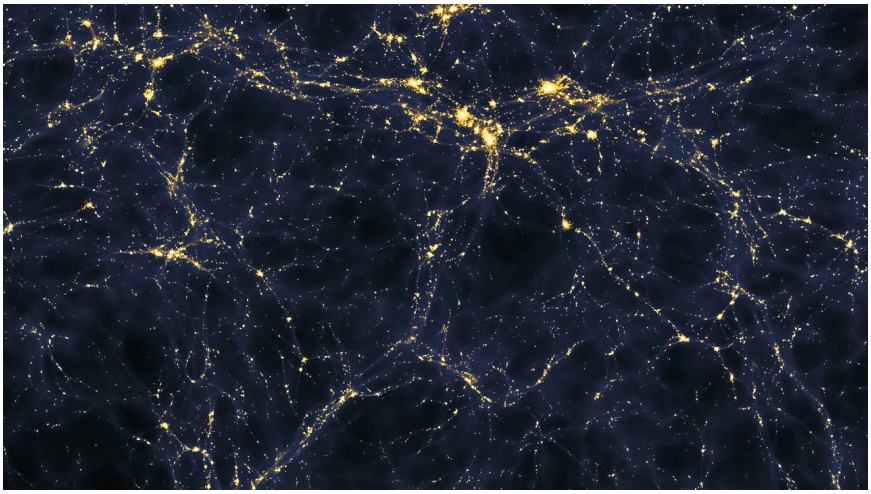
Gli Eventi del C.O.S.Mo

L'elenco dei prossimi eventi *.....pag. 55*

IN COPERTINA

Simulazione al computer che mostra la rete cosmica, una rete di filamenti che si estende tra le galassie, ritenuta da molti astronomi la base dell'Universo.

Credits: Andrea Pontzen e Fabio Governato- UCL



di Davide Borghi

LATO OSCURO, BASI SU MARTE E INTELLIGENZA ARTIFICIALE - E NON È FANTASCIENZA! ...

Siamo al secondo numero della nostra rivista con la nuova veste. In questo numero, ne sono certo, copriremo temi di sicuro interesse.

La **materia ed energia oscura**: recentemente, rabbrividendo, le ho viste citate come un altro aspetto del paranormale (!). Niente di piu' lontano dal vero in realtà: si tratta infatti di scienza, misurabile in diversi modi, ma non osservabile nel visibile e scarsamente interagente col resto delle particelle elementari (inclusi i fotoni), e quindi "oscura" (e "oscura" è anche la sua origine per ora) ma il cui effetto è evidente e misurabile su grande scala a livello di galassie e universo.

Parleremo di **basi abitabili su Marte** e delle sfide che questo comporta, ma anche le opportunita' collegate, come ad esempio i **tunnel lavici** marziani. In proposito recentemente abbiamo partecipato ad un webinar, invitati dagli amici di **SEDS (Students for the Exploration and Developmet of Space** *https://www.sedsita.org/*) dove si è discusso anche e in particolare di tunnel lavici non solo marziani ma anche lunari (dove si trovano con diametri enormi, fino ad un centinaio di metri – grazie alla bassa gravita' che non li fa collassare).

Infine parliamo di **Artificial Intelligence (AI)** e in particolare delle sue **applicazioni spaziali**. Si tratta di un tema alla ribalta, non solo per gli appassionati di tecnologia, ma direi proprio del grande pubblico, grazie al successo l'anno scorso di ChatGPT e in generale dei Large Language Models. In realtà la AI ha iniziato a cambiare le nostre vite e la nostra società da ben prima di ChatGPT, senza che ce ne accorgessimo troppo, lavorando dietro (*backend*) ai motori di ricerca, alle mappe interattive, ai siti per acquisti online, alla profilazione online per la pubblicità, e modificando profondamente le applicazioni finanziarie, governative e militari.

È notizia recente che il vertice internazionale mondiale **G7** sarà tenuto a **Bologna a Luglio 2024**, con particolare focus su Intelligenza Artificiale. Tema gia' al centro del summit a **Bletchley Park** in Inghilterra, sito dove Alan Turing durante la Seconda Guerra Mondiale aveva costruito i primi computer in senso moderno del termine, con lo scopo di decriptare il codice nazista Enigma. Il G7 di Luglio farà tappa al centro di calcolo (**HPC – High Performance Computing**) chiamato **Leonardo**, del **Cineca**. Il G7 è il gruppo intergovernativo che riunisce le principali sette economie dei paesi avanzati: Canada, Francia, Germania, Giappone, Italia, Regno Unito e Stati Uniti. (Era G8 con anche la Russia dal 1998 fino al 2014, quando con i primi interventi russi in Ucraina, in particolare in Crimea, è tornato ad essere G7...). La presidenza del G7 è italiana quest'anno.

A proposito di "AI e Spazio", si tratta di un argomento ampliamente coperto, dagli scenari distopici (tanti) a quelli positivistici (pochi) in tanti libri e film di **fantascienza**. Faccio notare se gli scenari distopici dominino la scena, rispetto a quelli positivistici, è forse dovuto al fatto che sono piu' spettacolari, piu' variegati e sorprendenti, semplicemente perchè l'entropia elevata ha queste proprieta' rispetto all'ordine. Si tratta d'altronde di una chiara interpretazione della Seconda Legge della Termodinamica da parte di Boltzmann, come abbiamo visto nella nostra conferenza sul Tempo, o, come avrebbe detto Tolstoj, "Le famiglie felici sono uguali, ogni famiglia infelice è infelice a modo suo" e quindi piu' interessante – cit. Tolstoj, Anna Karenina).

Vi invito anche a seguirci sui nostri canali social: siamo su Telegram, YouTube, Facebook, Twitter, Instagram, Whatsapp, oltre naturalmente al nostro sito web. Trovate tutti i link alla voce "Link ai social" nel nostro sito, e cliccando qui: *https://linktr.ee/il_cosmo*

Su YouTube in particolare stiamo pubblicando, grazie a Leonardo, delle brevi *clip* scientifiche di un minuto o due, che rispondono ad alcune curiosità, che a volte sembrano banali, ma spesso non lo sono. Ad esempio "come si forma la fiamma?".

Dimenticavo, dopo i nostri articoli scientifici troverete una delle nostre *CosmoStorie*: **Easy Moon** un racconto breve a tema ... "lunare"

Il Presidente

Davide Borghi

davide.borghi@ilcosmo.net

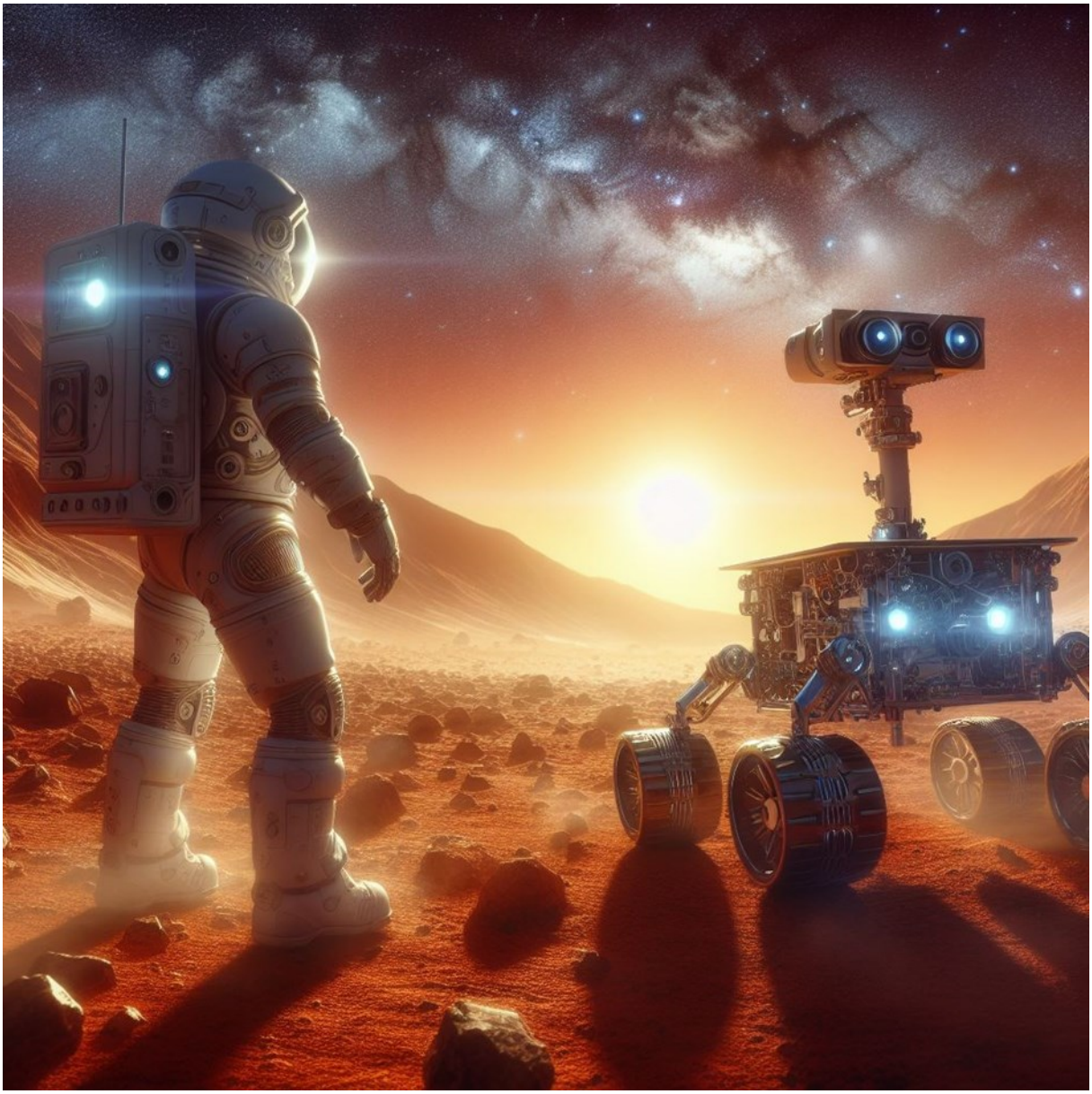
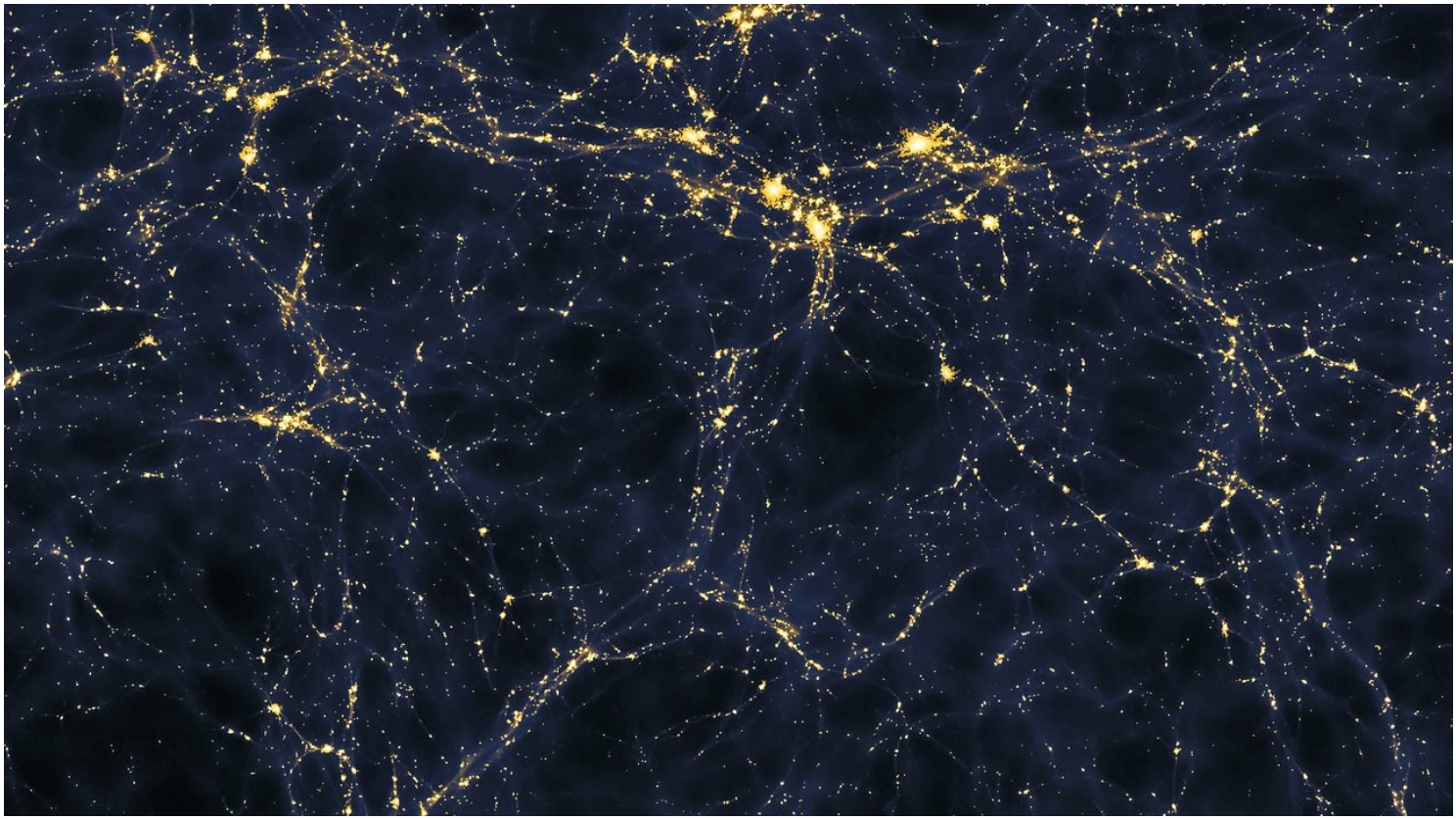


Immagine creata con Intelligenza Artificiale, tramite ***Bing Image Creator***

ARDUO DA VEDERE IL LATO OSCURO È ...

di Roberto Castagnetti



"*Arduo da vedere il Lato Oscuro è*" … gli appassionati di Star Wars avranno già individuato la citazione del Gran Maestro Yoda dell'ordine Jedi, ma in questo articolo non parleremo del "*Lato Oscuro della Forza*" quanto del **Lato Oscuro dell'Universo**, un concetto che si riferisce a due componenti misteriose e invisibili che insieme costituiscono la maggior parte della massa-energia totale dell'universo: la **Materia Oscura** e l'**Energia Oscura**.

La Materia Oscura

Nel 1933, Fritz Zwicky, un astronomo svizzero, studiando il movimento delle galassie all'interno dell'ammasso della **Chioma di Berenice** (noto anche come Coma Cluster), un grande gruppo di galassie situato a circa 300 milioni di anni luce dalla Terra. notò che le velocità relative delle galassie erano troppo elevate. Osservò che le galassie all'interno dell'ammasso si muovevano a velocità tali che l'ammasso avrebbe dovuto disperdersi se l'unica forza gravitazionale fosse stata quella prodotta dalla massa visibile delle galassie.

Zwicky effettuò due tipi di misure:

1) stimò la **massa totale** dell'ammasso dal numero delle galassie che poteva vedere e dalla sua luminosità totale;
2) mediante uno spettroscopio effettuò la misura dello spostamento Doppler della luce emessa, in questo modo, determinò la dispersione delle **velocità radiali** di alcune galassie, ovvero quanto velocemente si muovevano le galassie l'una rispetto alle altre .

Utilizzando il **metodo del viriale**, che permette di stimare la massa totale di un sistema di corpi celesti attraverso le loro velocità orbitali e le distanze relative, Zwicky calcolò che la massa totale dell'ammasso doveva essere molto più grande di quella che si poteva attribuire alle sole galassie visibili.

In altre parole, le galassie si muovevano così velo-

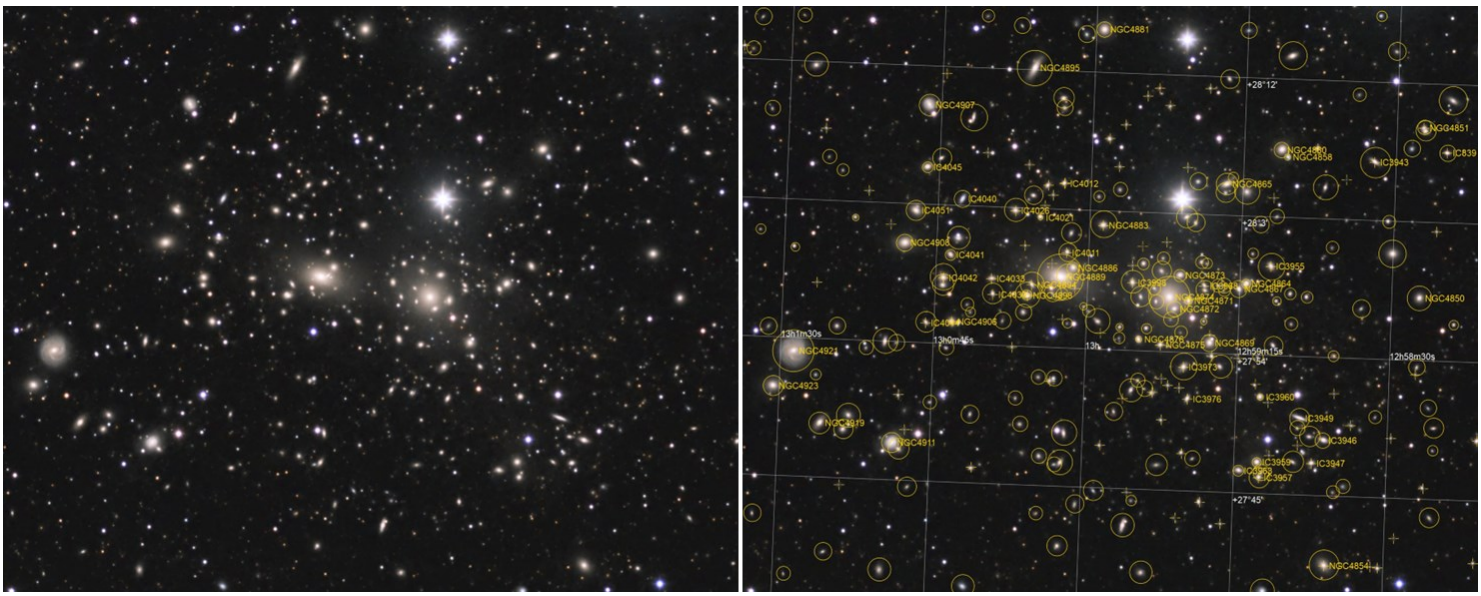


Figura 1: L'ammasso di galassie della Chioma (Coma Cluster o Abel 1656) si trova nella Costellazione della Chioma di Berenice dista 321 milioni di anni luce e contiene almeno 1.000 galassie. A destra sono evidenziate le galassie dell'ammasso. (Credit: Ron Brecher - https://astrodoc.ca/coma/)

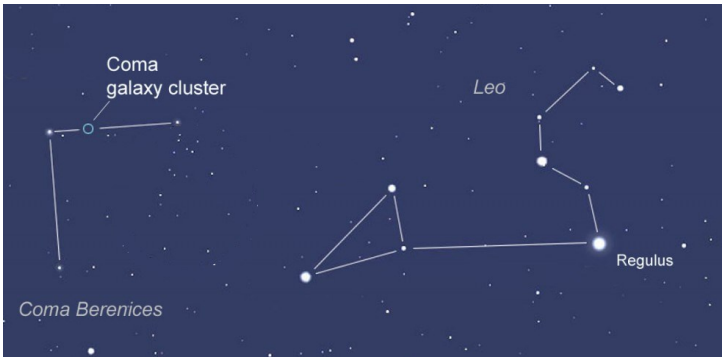


Figura 2: La posizione dell'ammasso galattico nella costellazione della Chioma di Berenice (Credit: Astro Bob)

cemente che, senza una massa aggiuntiva per trattenere l'ammasso insieme tramite la gravità, avrebbero dovuto allontanarsi l'una dall'altra

Da queste osservazioni, Zwicky dedusse l'esistenza di una forma di materia non rilevabile direttamente, in quanto non emetteva né assorbiva luce.

Concluse che doveva esistere una grandissima quantità di massa che non poteva essere vista dal suo telescopio (perché non emetteva radiazione) ma che teneva insieme l'ammasso.

Per questa forma di materia coniò il termine "**Materia Oscura**" (Dunkle Materie in tedesco e Dark Matter in inglese) per descrivere questa massa invisibile che doveva esistere per spiegare la forza gravitazionale necessaria per mantenere unite le galassie nell'ammasso.

Da allora sono state accumulate moltissime osservazioni e prove a supporto dell'esistenza della materia oscura.

È stato calcolato che essa costituisce circa il **26% dell'universo**. È chiamata "oscura" perché non interagisce con la luce o qualsiasi altra forma di radiazione elettromagnetica, rendendola invisibile ai nostri sensi e rilevabile solo attraverso i suoi effetti gravitazionali.

Il Metodo del Viriale

Cerchiamo di capire lo strumento che ha permesso a Zwicky di ipotizzare l'esistenza della Materia Oscura: il **Metodo del Viriale**, importantissimo in fisica e astronomia. È utilizzato per determinare le proprietà medie di sistemi estesi composti da N corpi, come le molecole in una nube interstellare le stelle in un ammasso stellare o le galassie in un ammasso di galassie.

Se questi N corpi (particelle, stelle, galassie) si muovono, in uno spazio delimitato, sotto l'effetto della gravità, che varia in modo ben noto con la distanza allora si può applicare un principio fondamentale noto come teorema del viriale, il quale stabilisce una relazione tra l'energia cinetica media e l'energia potenziale media di un sistema in equili-

brio stabile o stazionario.

Nel 1870 un fisico tedesco Rudolf Clausius formulò per la prima volta questo teorema estremamente semplice nella sua formulazione, chiamato del viriale, da "vis" latina, che significa forza, energia. Egli stabilì (e dimostrò) che, per ottenere l'equilibrio del sistema, l'energia cinetica media delle particelle deve essere uguale alla metà della loro energia potenziale.

$$2K + U = 0$$

dove **K** è l'**energia cinetica** media del sistema e **U** è l'**energia potenziale** media, e queste due energie contribuiscono in modo opposto all'equilibrio del sistema.

In contesti astronomici, questo teorema permette di dedurre la massa totale di un sistema, come un ammasso di galassie, osservando le velocità delle galassie (da cui si ricava l'energia cinetica) e la loro distribuzione spaziale (da cui si ricava l'energia potenziale gravitazionale).

L'applicazione del metodo del viriale consente di ottenere stime della massa totale di sistemi dove non è possibile misurare direttamente tutte le componenti, specialmente in presenza di materia oscura, la quale non emette luce e quindi non è direttamente osservabile. Attraverso l'uso di questo metodo, gli astronomi possono inferire la presenza e la quantità di materia oscura in ammassi galattici e altri sistemi cosmici, contribuendo significativamente alla nostra comprensione della struttura e della dinamica dell'universo.

Conferme sulla Materia Oscura

Vediamo ora, più nel dettaglio, quali sono le osservazioni sperimentali che hanno portato alla conferma della formulazione del problema della Materia Oscura.

Dalla **Legge di Gravitazione Universale** di Newton si ricava che in un sistema gravitazionale come quello di una galassia, la velocità delle stelle che si trovano nella regione esterna al nucleo deve decrescere all'aumentare della distanza.

In grande sintesi, le galassie sono costituite da un nucleo molto luminoso e massiccio attorno al quale ruotano le stelle, distribuite in maniera tale che la loro concentrazione diminuisce man mano che ci si allontana dal nucleo galattico, come si può vedere, ad esempio nell'immagine della galassia a spirale **NGC 1556** (Figura 4).

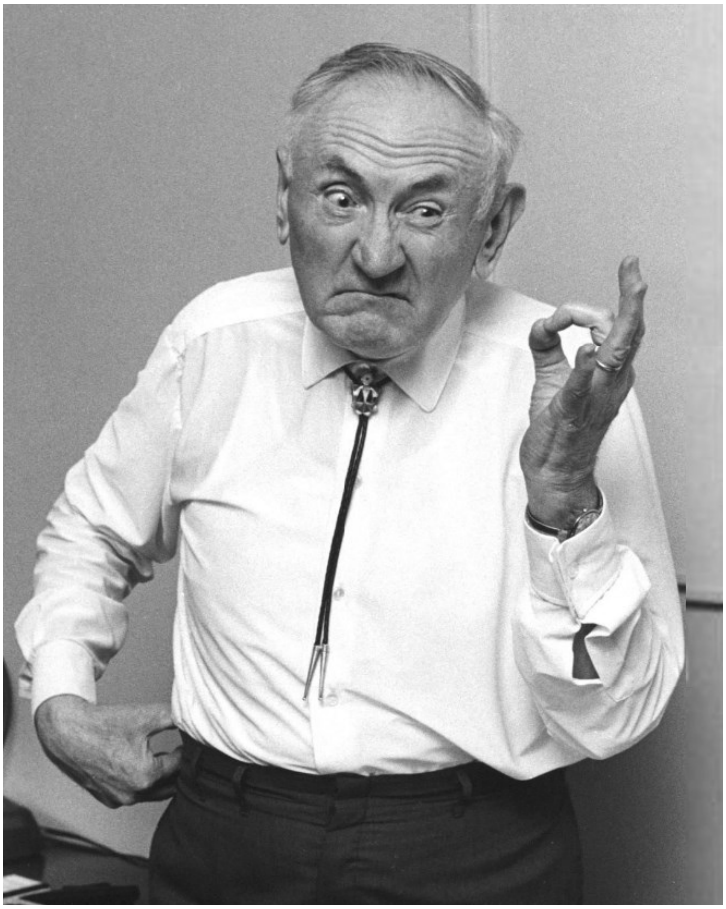


Figura 3: Fritz Zwicky (Credit: Caltech Archives)

"Il compito non è vedere quanto nessuno ha visto ancora, ma pensare quello che ancora nessuno ha pensato su ciò che tutti vedono" – Schopenhauer

Al contrario, le osservazioni effettuate su centinaia di galassie hanno dimostrato che **la velocità delle stelle anche lontane dal nucleo era molto maggiore di quella attesa** e inoltre non diminuiva con la distanza (Figura 5). Questo può essere spiegato solo se si assume che la galassia contenga della materia invisibile e non concentrata nel nucleo, la cui attrazione gravitazionale è responsabile del moto delle stelle.

All'inizio degli anni '70, **Vera Rubin**, insieme al suo collaboratore, **Kent Ford**, iniziò a studiare le cosiddette curve di rotazione delle galassie a spirale.

Figura 4: La splendida galassia a spirale NGC 1566, si trova a circa 40 milioni di anni luce di distanza nella costellazione del Dorado, nel cielo australe.
(Credit: ESA/Hubble e NASA)

Una **curva di rotazione** è l'andamento della velocità di rotazione all'interno di un sistema astronomico in funzione della distanza dal centro del sistema stesso. La prima curva di rotazione misurata è stata quella del Sistema Solare. Qui la velocità di rotazione intorno al Sole, come evidenziata dal moto dei pianeti, decresce con la radice quadrata della distanza dal Sole. La curva di rotazione del Sistema Solare è consistente con tutta la quasi totalità della massa del sistema localizzata nel centro, ovvero il Sole, e con la legge universale della gravità di Newton. Anzi, possiamo dire che questo accordo è la prima indicazione della validità di questa legge sulla scala di distanze del Sistema Solare.

A questo punto Vera Rubin studiò la curva di rotazione della galassia di Andromeda (M31) (Figura 5).

Ci si sarebbe, quindi, aspettato di trovare lo stesso risultato nelle galassie, ma, come si vede in figura, l'andamento predetto dalla legge di gravità di Newton, rappresentato dalla **curva rossa**, non coincideva con le misure effettuate ed evidenziate dalla **curva bianca**.

Come si può notare, la velocità di rotazione si mantiene praticamente costante anche a distanze molto grandi dal nucleo galattico.

Per la meccanica Newtoniana, la curva bianca di Figura 1 può essere compresa soltanto se la distribuzione di massa si estende ben oltre quella delle stelle visibili, questo significa che nelle regioni esterne della galassia esiste una grande quantità di ***massa oscura***.

Il fenomeno è risultato essere generalizzato: in tutte le galassie a disco, studiate con questo livello di dettaglio, la curva di rotazione rimane piatta anche oltre il disco visibile.

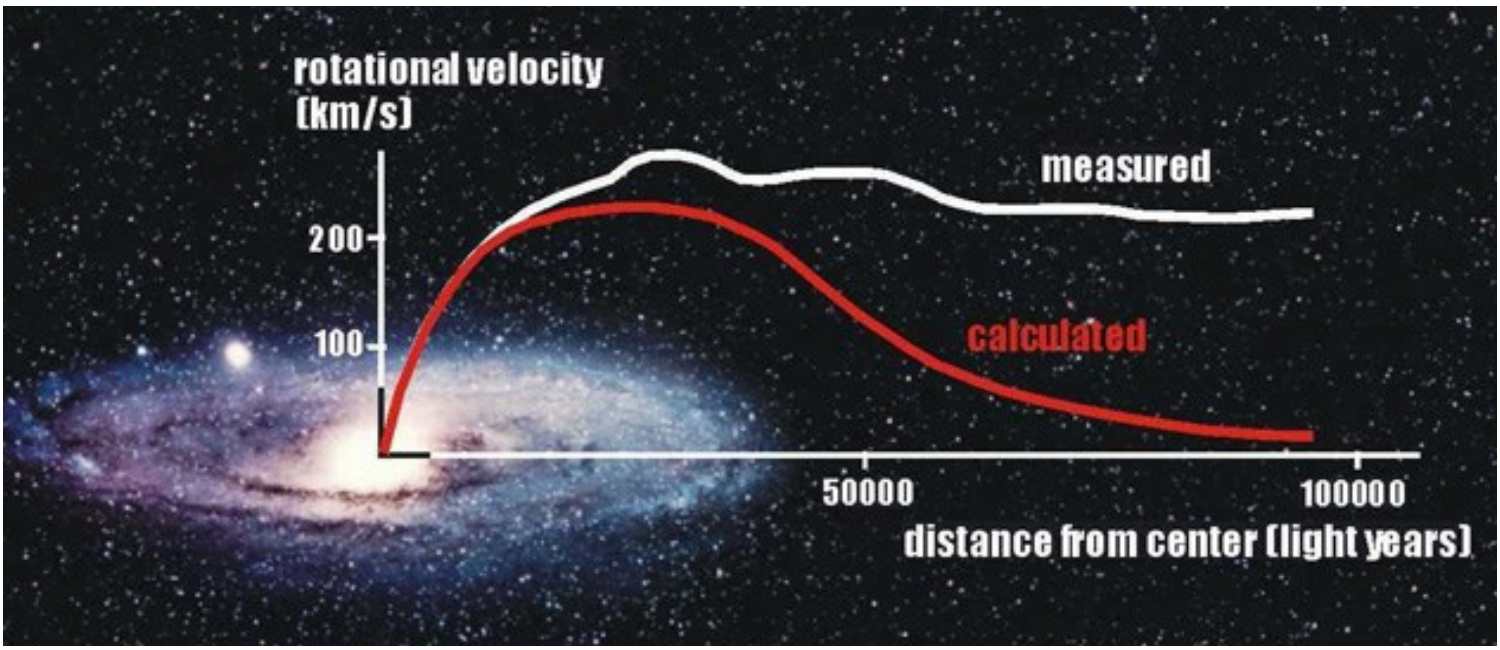


Figura 5: Le curve di rotazione di M31 (galassia di Andromeda). La curva rossa è la predizione della legge di gravità Newtoniana; quella bianca rappresenta l'andamento delle misure sperimentali.

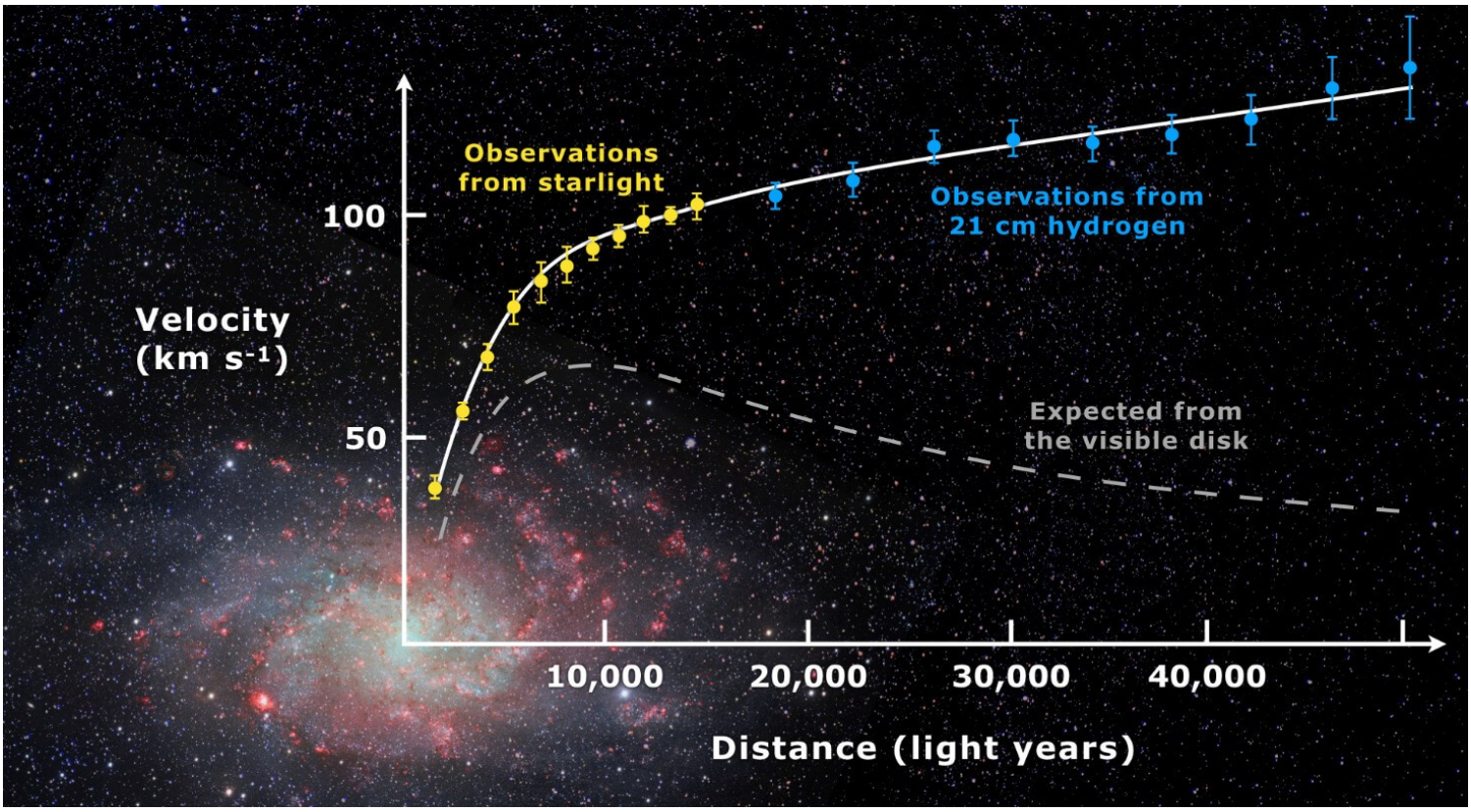


Figura 6: Le curve di rotazione osservate si estendono ben oltre la periferia estrema della galassia. Nelle regioni esterne le stelle sono sempre meno e la velocità di rotazione è quella delle enormi nubi di idrogeno ionizzato che ruotano intorno alla galassia. In tal caso per misurare le velocità delle masse visibili si analizzano le emissioni di radiazione di tali nubi. Tali emissioni hanno uno spettro ben riconoscibile attraverso la cosiddetta linea H_α caratterizzata da una lunghezza d'onda (λ) di 21 cm, pari a 1428,57 MHz, facile da rivelare. Dallo spostamento Doppler di questa linea è possibile determinare la velocità orbitale delle nubi periferiche.

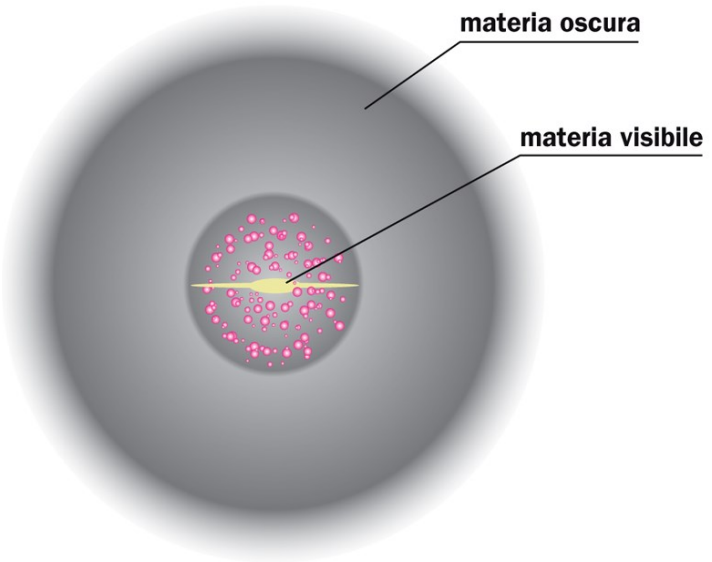


Figura 7: Rappresentazione dell'alone di materia oscura che circonda ogni galassia e che si estende molto oltre la parte visibile, formata dalla galassia stessa (in giallo) e dagli "ammassi globulari" (in rosa), i densi raggruppamenti di stelle al di sopra e di sotto del piano galattico (Credit: INFN)

Quindi, ogni galassia è immersa **in una estesa componente oscura**, una specie di alone all'interno del quale la materia oscura ha una distribuzione ben precisa: la sua densità deve decrescere con il quadrato della distanza dal centro galattico.

Anche la nostra Galassia, la Via Lattea, appare essere immersa in un "alone" di materia oscura di dimensioni molto maggiori della parte visibile della Galassia.

La quantità di materia oscura richiesta per giustificare le curve di rotazione osservate è enorme, arrivando a supporre che il 95% della materia di una galassia sia in tale forma.

Ci si potrebbe chiedere se una tale quantità di materia possa in qualche modo influenzare le dinamiche del nostro Sistema Solare

Il nostro Sistema Solare, e quindi noi stessi, si muove, infatti, attraverso l'alone di materia oscura

della nostra Galassia.

il Sistema Solare orbita intorno al centro della Via Lattea, compiendo una rivoluzione ogni 250 milioni di anni. Lungo il suo cammino, oscilla su e giù, attraversando ciclicamente il piano galattico ogni 32 milioni di anni circa

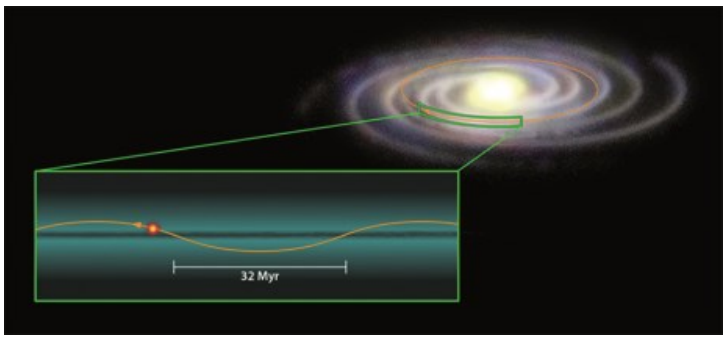


Figura 7: L'orbita del Sistema Solare: notare l'oscillazione sul piano galattico con periodo di 32 milioni di anni (Myr) (Credit: Lisa Randall e Matthew Reece - Harvard University).

Quindi, in questo momento stiamo attraversando la materia oscura che contiene la Via Lattea, ma non ce ne accorgiamo perché è composto da particelle che non interagiscono in modo con la materia ordinaria in modo "visibile" ai nostri sensi, non c'è interazione elettromagnetica ma solo gravitazionale.

Ma, la materia oscura influenza gravitazionalmente le dinamiche del nostro Sistema Solare?

La risposta è che il contributo della materia oscura nei **moti planetari locali** del nostro Sistema Solare è del tutto **trascurabile**.

Questo fatto dipende dalla **densità estremamente bassa** della materia oscura.

Un team di astronomi italiani(1) ha stimato che la densità della materia oscura alla distanza del Sole dal Centro Galattico è circa 0,43 Gev/cm^3 (è espressa in forma di energia, ma non è insolito … massa ed energia sono equivalenti: $E = mc^2$).

Considerato che la densità di una massa solare ($M_\odot$) in un volume di 1 parsec cubo (1 $M_\odot/pc^3$) corrisponde a 37.96 Gev/cm^3, otteniamo che la densità di materia oscura nel nostro Sistema Solare è pari a 0.011 $M_\odot/pc^3$.

(1) Salucci, P., Nesti, F., Gentile, G., & Martins, C. F. (2010). The dark matter density at the Sun's location. Astronomy & Astrophysics, 523, A83. 10.1051/0004-6361/201014385

Questo significa che **in ogni volume equivalente a un parsec cubo** (1 parsec = 3.26 anni luce) **ad una distanza dal centro della Via Lattea pari a quello del Sole**, abbiamo circa **un centesimo di massa solare dovuto alla materia oscura**. E questo valore è minore della massa minima necessaria per innescare le reazioni nucleari di una stella (0,08 $M_\odot$) e corrisponde a circa 10 volte quella di Giove che ha una massa di 0,001 $M_\odot$.

Vediamo ora al contributo di questa densità nel Sistema Solare.

Quando la Terra orbita attorno al Sole, tutta la massa che è compresa entro la sua orbita (supposta circolare) risulta come se fosse concentrata nel centro.

Quindi basta moltiplicare la densità della materia oscura per il volume della sfera compresa dentro l'orbita della Terra.

Alla distanza della Terra, la densità di materia oscura corrisponde ad una massa di circa 10^{13} kg che si va a sommare a quella del Sole di circa 10^{30} kg.

Alla distanza di Nettuno questo valore è circa 10^{17} kg, perché compresa entro tale orbita è ovviamente più grande.

Questi valori corrispondono a un asteroide di medie dimensioni.

In sintesi: tutta **la materia oscura presente nel sistema solare ha massa pari a quella di un asteroide** … un valore insignificante!

Il contributo della materia oscura inizia ad essere importante quando i volumi sono dell'ordine di grandezza di una galassia. In tal caso, il volume è enorme, la densità di stelle è piccolissima e a grandi distanze la massa calcolata per la materia oscura è più grande di quella delle stelle e del gas.

Inoltre, stelle e gas tendono a disporsi su un piano (nei bracci galattici), mentre la materia oscura sembra essere distribuirsi come una sfera, rendendo così il suo contributo in massa molto più grande (Figura 8).

Anche se, a livello locale, all'interno del nostro Sistema Solare, la Materia Oscura non influisce sulla meccanica celeste dei pianeti e dei loro satelliti, i

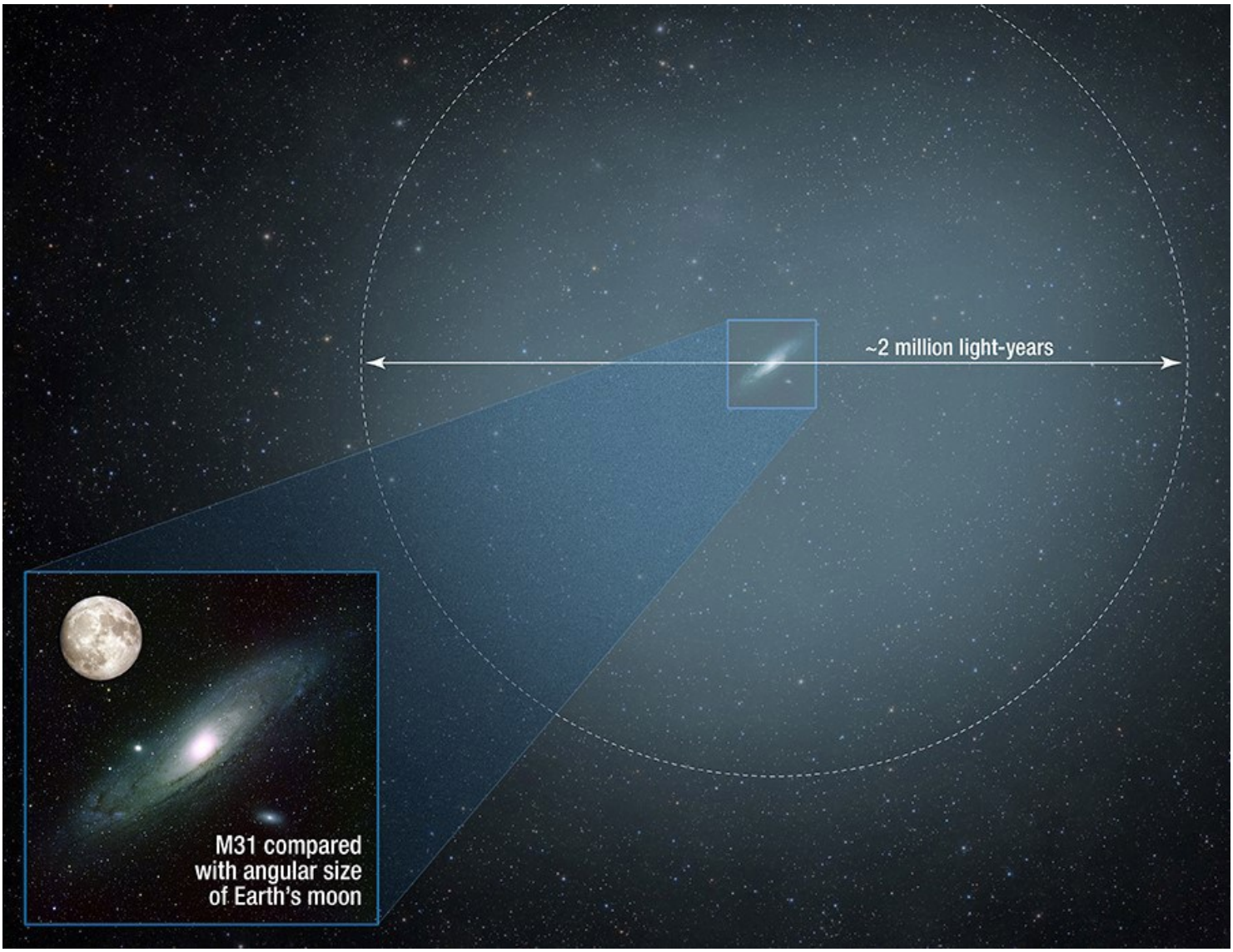


Figura 8: L'alone di Andromeda è gigantesco. Estendendosi per milioni di anni luce, se potessimo vedere nel nostro cielo notturno sarebbe 100 volte il diametro della Luna. Nel riquadro: la dimensione angolare di Andromeda comparata con quella della Luna (Credit: NASA).

moti delle stelle, tra cui il nostro Sole, in relazione al Sistema Galattico, sono spiegati e dipendono dalla presenza di questo sfuggente componente dell'Universo.

Nonostante la sua abbondanza, abbiamo visto che la materia oscura non emette, assorbe o riflette la luce, rendendola invisibile e rilevabile solo attraverso gli effetti gravitazionali sulla materia visibile, la radiazione e la struttura dello spazio-tempo su larga scala.

Ad esempio, e su scale ancora più grandi, le galassie, sotto l'influsso della gravità, e della mutua interazione gravitazionale, tendono a formare immensi agglomerati (ammassi e super ammassi di galassie.

Come abbiamo visto, utilizzando la legge di Newton siamo in grado di determinare quale deve essere il moto relativo di ciascuna galassia di un ammasso, mediante la conoscenza della massa totale del sistema, cioè la somma delle masse delle galassie che lo compongono.

Osservazioni sperimentali di un gran numero di ammassi hanno dimostrato che le velocità delle galassie risultano essere anche 400 volte maggiori di quelle calcolate, un dato che conferma che gli ammassi risultano essere molto più "pesanti" di quanto farebbe pensare la sola osservazione nel visibile.

Aggiungiamo anche un'altra evidenza: negli ultimi anni, i risultati di diversi esperimenti ci hanno fatto capire **che il nostro Universo è piatto**, ovvero la sua curvatura spazio-temporale è nulla.

Questo comporta che la densità di massa totale dell'Universo debba essere uguale a un valore noto, detto **Densità Critica** e pari circa a 10-30 g/cm^3. La massa "visibile" dell'Universo, però, non basta a spiegare questo valore di densità.

È nuovamente necessario ipotizzare che la maggior parte della massa dell'Universo sia invisibile e presente sotto forme diverse dalla materia ordinaria che siamo abituati a considerare.

Sembra proprio che la Materia Oscura sia un elemento costituente il nostro Universo.

Da cosa è costituita la Materia Oscura?

Barionica o non Barionica, questo è il problema… la natura della materia oscura è ancora sconosciuta.

È ipotizzato che essa possa avere varie componenti: una di tipo **barionico** (materia "ordinaria", cioè fatta da atomi) e una … più "**esotica**", di tipo **non barionico.**

La **componente barionica**, sarebbe costituita da oggetti massicci ma non luminosi, in altre parole per la loro natura emettono una quantità di luce troppo scarsa per poter essere rivelata. L'unico modo per rilevare questi oggetti, è basato su effetti gravitazionali come, ad esempio, le lenti gravitazionali.

Questa componente è quindi costituita da oggetti noti come pianeti, nane bianche (stelle che hanno terminato di "bruciare" il loro carburante nucleare), nane brune (stelle che non hanno mai cominciato a bruciarlo), stelle di neutroni e buchi neri.

Questi oggetti vanno sotto il nome di **MACHO** (**Massive Astrophysical Compact Halo Objects** Oggetti astrofisici massicci e compatti di alone). Il problema è che le più recenti osservazioni indicano che la *materia oscura barionica* presente nell'universo può contribuire solo per una piccolissima percentuale alla Materia Oscura.

La **Materia Oscura non barionica**, invece, non è costituita da oggetti compatti ma … **da particelle non ancora scoperte**. Si ipotizza che possa trattarsi di **particelle supersimmetriche** come i *neutralini*, i *neutrini massicci* o altre particelle mai osservate e soggette solo alla forza gravitazionale e all'interazione nucleare debole.

Le particelle supersimmetriche sono elementi teorici ipotizzati dall'estensione della teoria standard delle particelle elementari, conosciuta come **supersimmetria (SUSY)**.

La teoria standard è il modello fisico che descrive le particelle fondamentali e le loro interazioni, escludendo la gravità. Tuttavia, nonostante il suo successo, la teoria standard lascia irrisolti alcuni quesiti fondamentali, come, appunto, *l'identità* della materia oscura, il problema della gerarchia e l'unificazione delle forze fondamentali.

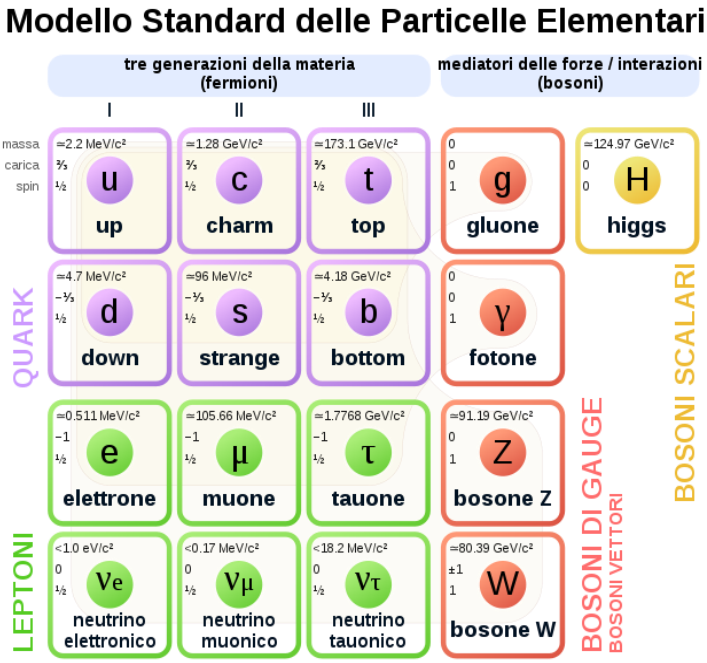


Figura 9: Modello standard delle particelle elementari: i 12 fermioni e i 4 bosoni fondamentali (Fonte: Wikipedia)

La *supersimmetria* tenta di risolvere questi problemi introducendo una **simmetria tra le due classi di particelle fondamentali**: i **fermioni**, che seguono il principio di esclusione di Pauli e costituiscono la materia (come elettroni e quark), e i **bosoni**, che seguono la statistica di Bose-Einstein e mediano (trasmettono) le forze (come fotoni e gluoni).

Secondo la SUSY, per ogni particella della teoria standard esiste una "**partner supersimmetrico**" che differisce di **mezzo unità di spin** (lo spin è una proprietà intrinseca delle particelle che determina il loro comportamento quantistico).

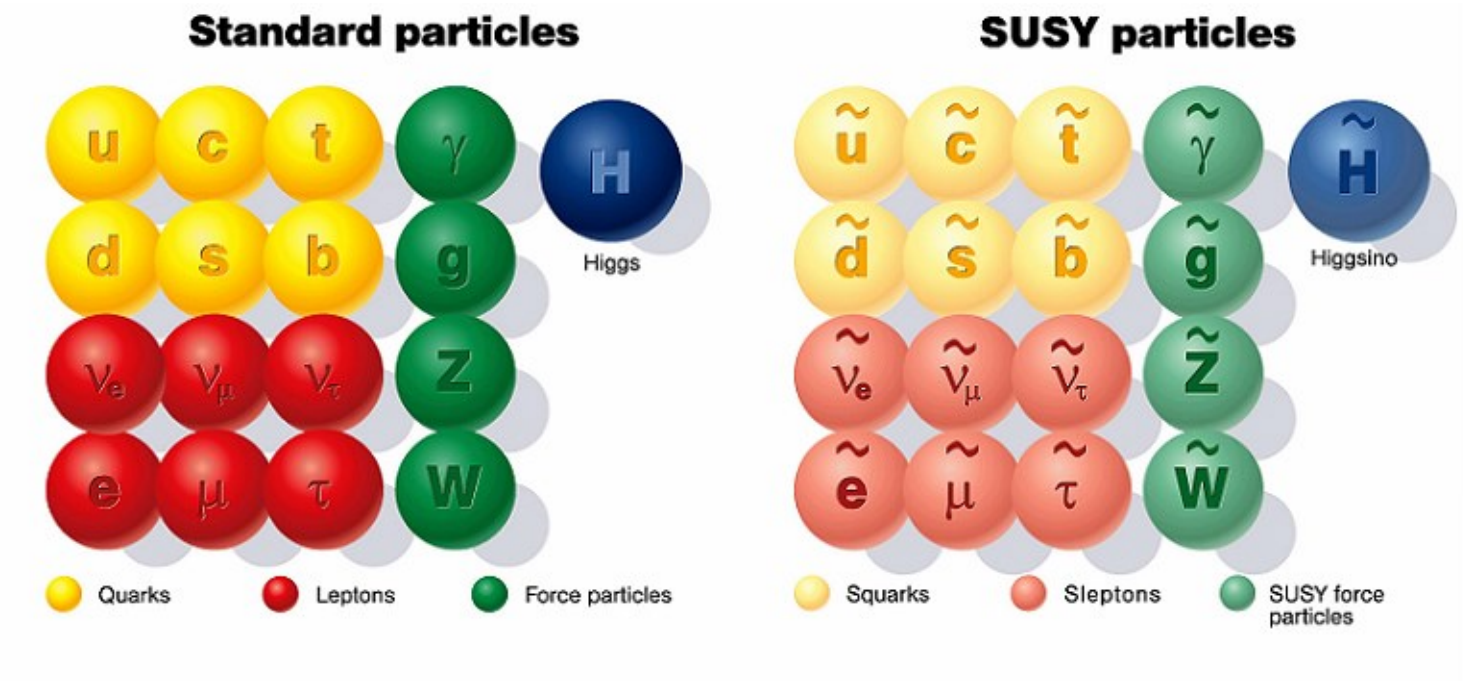


Figura 10: Le particelle supersimmetriche possono presentarsi come una sorta di "particelle specchio" delle già note particelle elementari. Ad esempio: per l'elettrone esiste dunque, un "selettrone" e per un quark uno "squark".

Ad esempio, i partner supersimmetrici dei fermioni sono bosoni e viceversa. Questi partner supersimmetrici sono spesso chiamati con nomi derivati aggiungendo il **prefisso "s-" ai fermioni** (ad esempio, il partner del quark è lo squark) **o il suffisso "-ino" ai bosoni** (ad esempio, il partner del fotone è il fotino).

Nonostante la bellezza e l'eleganza della teoria, finora non è stata trovata alcuna evidenza sperimentale diretta dell'esistenza delle particelle supersimmetriche, nonostante le intense ricerche, in particolare effettuate presso il **Large Hadron Collider** (LHC) del CERN.

Vediamo ora come altre ipotesi cercano di spiegare la natura della Materia oscura sulla base del suo comportamento.

Materia Oscura Fredda

In inglese **Cold Dark Matter (CDM)**

Questa ipotesi suggerisce che la materia oscura sia composta da **particelle che si muovono lentamente rispetto alla velocità della luce**, come i **WIMP** (Weakly Interacting Massive Particles) o gli **Assioni**.

I **WIMP** sono particelle massive dotate di di interazioni deboli, simili a quelle dei neutrini. Particelle con queste caratteristiche venivano prodotte facilmente nel plasma che componeva l'universo primordiale: con il raffreddarsi dell'universo a un certo punto si separano dal plasma e, se stabili, arrivano fino a noi. Il fatto che dovrebbero contribuire oggi a circa un quarto della densità di massa-energia totale dell'universo porta le WIMP ad avere un intervallo di massa compreso tra circa 1 GeV (la massa del protone) e qualche decina di TeV (decine di migliaia di volte la massa del protone). Si tratta proprio degli intervalli di energia che LHC sta esplorando al CERN.

Gli **Assioni** sono particelle elementari ipotetiche introdotte per la prima volta negli anni '70 per risolvere il cosiddetto "problema della CP forte" nella fisica delle particelle.

Il problema della CP forte è un problema irrisolto nella fisica delle particelle che riguarda la **simmetria di carica e parità** (**CP**) nella forza nucleare forte. La forza forte è una delle quattro interazioni fondamentali della natura e governa le interazioni tra quark e gluoni, che a loro volta formano protoni, neutroni e altre particelle subatomiche.

La simmetria CP è una legge della fisica che dice che: *le leggi della fisica dovrebbero rimanere inva-*

riate se una particella viene sostituita con la sua antiparticella (simmetria di carica C) e se le coordinate spaziali sono invertite come in uno specchio (simmetria di parità P).

Tuttavia, è stato osservato che la forza debole viola la simmetria CP, portando a fenomeni come l'asimmetria tra materia e antimateria nell'universo.

Il problema della CP forte emerge dal fatto che, nonostante la **Teoria della Cromodinamica Quantistica** (**QCD**), che descrive la forza forte, **permetta teoricamente violazioni della CP, tali violazioni non sono state osservate sperimentalmente nelle interazioni forti**. In particolare, la QCD prevede l'esistenza di un termine aggiuntivo nell'equazione che descrive la forza forte, noto come termine di θ (theta), che potrebbe causare violazioni della CP. Tuttavia, le misure sperimentali indicano che questo termine è estremamente piccolo o nullo, suggerendo che la CP è conservata nella forza forte, un risultato non previsto dalla teoria.

La questione di perché la CP sia conservata nella forza forte, nonostante non ci siano ragioni teoriche apparenti per cui debba essere così, è noto come il problema della CP forte.

Una soluzione proposta a questo problema è l'introduzione degli **Assioni**, particelle ipotetiche che potrebbero dinamicamente annullare l'effetto del termine di θ e spiegare la mancata osservazione di violazioni della CP nella forza forte. Questa soluzione è nota come meccanismo di **Peccei-Quinn**.

In questo complesso problema è stata quindi ipotizzata una particella che potrebbe essere candidata a costituire la nostra famigerata Materia Oscura.

Vediamo brevemente le differenze tra questi due candidati.

Assioni

Massa: Gli assioni sono ipotizzati essere estremamente leggeri, con masse che, potenzialmente, possono variare da 10^{-22} eV a 10^{-3} eV,

Interazioni: Interagiscono molto debolmente con la materia ordinaria e i campi elettromagnetici, infatti la loro rilevazione diretta si presenta estremamente difficile.

Ruolo nella fisica delle particelle: Sono stati introdotti originariamente per risolvere il problema della CP forte nella teoria della forza nucleare forte, indipendentemente dal problema della materia oscura.

Produzione nell'universo: Si pensa che gli assioni siano stati prodotti in grande quantità nelle prime fasi dell'universo attraverso processi **non termici**, come il raffreddamento di stelle o il decadimento di altri campi durante il raffreddamento dell'universo dopo il Big Bang.

WIMP

Massa: I WIMP sono teorizzati avere masse molto maggiori degli assioni, variando da 10 a 10^3 GeV. Quest'ordine di grandezza li rende simili (in termini di massa) ai quark o ai leptoni pesanti.

Interazioni: Come suggerisce il nome, i WIMP interagirebbero debolmente con la materia ordinaria, ma in modo significativamente più forte rispetto agli assioni.

Ruolo nella fisica delle particelle: I WIMP sono un'ipotesi generica che non è legata a una specifica problematica non risolta del Modello Standard, al contrario degli assioni. La loro esistenza è stata ipotizzata principalmente come soluzione alla natura della materia oscura.

Produzione nell'universo: Si ritiene che i WIMP siano stati prodotti termicamente nel caldo primordiale dell'Universo primordiale e che abbiano raggiunto l'equilibrio termico con la materia ordinaria prima di "congelarsi" quando l'espansione dell'universo ha ridotto la loro densità e tasso di interazione.

In sintesi, mentre gli assioni e i WIMP sono entrambi candidati per la materia oscura, differiscono in termini di **massa**, meccanismo di **interazione** e **fondamento teorico**. Queste differenze rendono bene l'idea di come la comunità scientifica stia valutando diverse strade per comprendere le leggi e la composizione dell'Universo.

Ma, vediamo ora altri … approcci.

Materia Oscura Calda

Che possiamo distinguere tra:

- **Hot Dark Matter (HDM)** e
- **Warm Dark Matter (WDM)**

La **Hot Dark Matter** (**HDM**) sarebbe composta da particelle che, all'inizio dell'Universo, si muovevano a velocità relativistiche, (prossime alla velocità della luce) come i **neutrini**. Considerando il fatto che avessero avuto una massa sufficiente per contribuire significativamente alla densità totale della materia oscura.

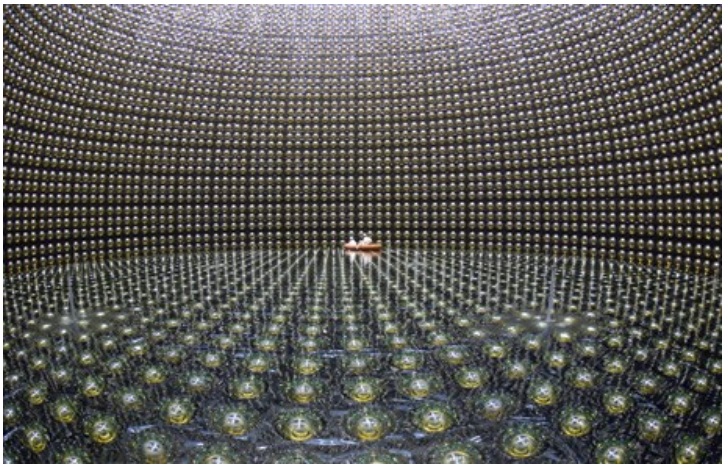


Figura 11: I neutrini sono particelle molto elusive con una massa molto piccola (non nulla… però); per rilevarli occorrono strumentazioni sofisticate e … voluminose. Ecco l'interno del rivelatore Super-Kamiokande: 50.000 tonnellate di acqua estremamente pura, circondata da 11.146 tubi fotomoltiplicatori (Credit: Kamioka Observatory/ICRR/Università di Tokyo))

Le particelle di HDM, sono "***calde***" nel senso che possiedono elevate energie cinetiche e quindi velocità prossime a quella della luce. Questo comportamento ha implicazioni dirette sulla formazione delle strutture nell'Universo, infatti, a causa delle loro alte velocità, le particelle di HDM possono spostarsi su grandi distanze prima di rallentare e aggregarsi sotto l'effetto della gravità (libero cammino).

Questo processo tende ad attenuare le fluttuazioni di densità su piccola scala nell'Universo primordiale, quindi, in un Universo dominato dalla HDM, le **strutture a grande scala** come ammassi e superammassi di galassie **si sarebbero formate per prime**.

Successivamente, queste strutture più grandi si sarebbero frammentate in unità più piccole, portando alla formazione delle galassie. Questo scenario è noto come **modello "*top-down*"**.

Tuttavia, le evidenze osservative suggeriscono che la formazione delle galassie e delle strutture a grande scala nell'Universo non abbia seguito il modello "top-down". Al contrario, sembra che le strutture più piccole come le galassie si siano formate prima e successivamente si siano aggregate in strutture più grandi come gruppi e ammassi di galassie, seguendo un **modello "*bottom-up*"**. Questo scenario è più coerente con un Universo in cui la Cold Dark Matter (CDM) domina, poiché le particelle di CDM si muovono più lentamente e possono aggregarsi facilmente su piccole scale.

Esiste poi un'altra incongruenza per il modello HDM, ed è la sua previsione che dovrebbero esistere pochissime strutture su piccola scala, come le galassie **nane**. Le osservazioni, invece, mostrano un Universo ricco di strutture su piccola scala.

Sebbene la HDM sia stata considerata un buon candidato per la materia oscura, le recenti osservazioni astronomiche e cosmologiche supportano maggiormente un modello in cui la Cold Dark Matter gioca il ruolo principale nella formazione delle strutture dell'Universo.

Questo non esclude la presenza di HDM, ma suggerisce che essa non può essere la componente dominante della materia oscura per spiegare la formazione delle galassie e delle strutture a grande scala osservate.

Vediamo cosa succede se "*raffreddiamo*" un po' la teoria ...

La **Warm Dark Matter** (**WDM**): La WDM è una via di mezzo tra CDM e HDM. Le sue particelle hanno velocità termiche che le rendono meno propense a raggrupparsi su piccole scale rispetto alla CDM, ma senza cancellare completamente le strutture su piccola scala come farebbe l'HDM.

Questo può aiutare a risolvere alcune delle discrepanze osservate tra le simulazioni basate sulla CDM e le osservazioni astronomiche. Ad esempio, la

WDM potrebbe adattarsi meglio al profilo di densità delle galassie a bassa luminosità.

La WDM è composta da particelle con velocità intermedie al momento del disaccoppiamento dalla radiazione primordiale. Queste particelle non sono così veloci come quelle della HDM per sfuggire alla gravità su piccole scale, né così lente come la CDM, che facilita l'aggregazione su tutte le scale.

Le implicazioni di sulla formazione delle galassie sono significative.

Come abbiamo visto, le particelle di WDM hanno velocità che sono minori rispetto a quelle della HDM, ma superiori a quelle delle particelle di CDM. Questo influisce sulla loro capacità di raggrupparsi su piccole scale. La lunghezza del libero cammino delle particelle di WDM sarebbe stata più corta rispetto a quella della HDM, ma comunque sufficiente a sopprimere la formazione di strutture su scala molto piccola.

La WDM permette, quindi, la formazione di strutture a grande scala in un modo simile alla CDM, ma con una differenza chiave: **le fluttuazioni di densità su piccola scala sono meno pronunciate**. Questo riduce il numero previsto di piccole galassie satelliti, potenzialmente in accordo con le osservazioni che mostrano meno galassie satelliti di quanto previsto dai modelli CDM puro.

Uno dei problemi con il modello CDM è che predice un numero eccessivo di piccole galassie satelliti rispetto a quelle osservate intorno alla Via Lattea. La WDM, avendo una *soppressione naturale delle piccole strutture*, potrebbe offrire una soluzione a questo problema.

Come nel caso della CDM, anche la WDM supporta un modello di formazione delle galassie "dal basso verso l'alto" (bottom-up), in cui le strutture più piccole si formano per prime. Tuttavia, il processo è moderato dalla massa e dalla velocità delle particelle di WDM, che limitano la formazione delle strutture più piccole.

Diversi studi hanno suggerito che la WDM possa essere compatibile con le osservazioni astronomiche della formazione delle strutture cosmiche, questo rende la WDM un candidato interessante per spiegare alcune delle discrepanze tra le osservazioni e le previsioni del modello CDM.

la Warm Dark Matter si propone come un compromesso tra i limiti osservativi del modello CDM e le sfide teoriche della HDM. Tuttavia, la natura esatta delle particelle di WDM rimane sconosciuta.

L'intervallo di massa delle particelle considerate come Warm Dark Matter (WDM) è tipicamente nell'ordine dei keV (kiloelettronvolt). Questo contrappone la WDM sia alla Cold Dark Matter (CDM), che si pensa sia composta da particelle con masse molto maggiori (come i WIMP, che abbiamo visto essere caratterizzati da masse da 10 a 10^3 GeV), sia alla Hot Dark Matter (HDM), composta da particelle con masse estremamente piccole, come i neutrini.

Tra le particelle candidate per la WDM sono inclusi i **neutrini sterili**.

I neutrini sterili sono una classe ipotetica di particelle che estenderebbe il modello standard della fisica delle particelle. A differenza dei **neutrini** ordinari, che **interagiscono tramite l'interazione debole e la gravità**, i **neutrini sterili interagirebbero solo tramite la gravità**, rendendoli estremamente difficili da rilevare.

Per capire il termine “difficile da rilevare” è utile sapere che un neutrino, in media, interagisce una sola volta con la materia barionica dopo aver percorso 100 miliardi di volte un diametro terrestre. E i neutrini sterili sarebbero ancora più … elusivi.

L’esistenza dei neutrini sterili è stata proposta per spiegare alcune anomalie osservate negli esperimenti sui neutrini, come le oscillazioni dei neutrini, che suggeriscono l'esistenza di più stati di massa dei neutrini rispetto a quelli che possono essere spiegati con i soli **tre tipi di neutrini** conosciuti (**elettronico**, **muonico** e **tauonico** - vedi Figura 9).

Nel modello standard della fisica delle particelle, i tre tipi (o "sapori") di neutrini, si trasformano l'uno nell'altro attraverso un fenomeno noto come oscillazione dei neutrini.

La scoperta delle oscillazioni dei neutrini ha fornito la prova che essi devono avere una massa, anche se estremamente piccola, la cui misura esatta è an-

cora oggetto di ricerca.

Alcuni esperimenti hanno rilevato più oscillazioni di neutrini di quelle previste, suggerendo la possibilità di una **quarta "*famiglia*"** di neutrini, che non interagisce con la materia ordinaria in modo significativo.

E questi neutrini sterili sarebbero caratterizzati da **masse molto più elevate rispetto ai neutrini ordinari**, rendendoli, così, candidati per la materia oscura WDM.

Materia Oscura Autointeragente

È una affascinante ipotesi che suggerisce che, oltre alla gravità, le particelle di materia oscura possano interagire tra di loro attraverso una **forza, o meglio una interazione, non gravitazionale**

L'ipotesi è nata per tentare di risolvere alcune discrepanze tra le simulazioni cosmologiche basate sulla CDM e le osservazioni astronomiche delle galassie.

In uno studio del 2015 una equipe di astronomi ha osservato quattro galassie interagenti, mediante il **MUSE** (**Multi Unit Spectroscopic Explorer**) uno strumento spettroscopico molto avanzato installato sul **VLT** (**Very Large Telescope**) dell'**ESO** (**European Southern Observatory**) situato all'Osservatorio del Paranal, nel deserto di Atacama in Cile, uno dei migliori siti al mondo per l'osservazione astronomica.

L'osservazione ha rilevato che un "grumo" di materia oscura era apparentemente rimasto indietro di circa 5.000 anni luce rispetto alla galassia che ingloba.

Un ritardo tra la materia oscura e la galassia ad essa associata è ipotizzabile, al verificarsi di tali "collisioni galattiche", se la materia oscura **interagisce con se stessa**, anche se debolmente, grazie a forze diverse dalla gravità. È stata la prima volta che la materia oscura è stata vista interagire in modo diverso dalla forza di gravità e questo avrebbe potuto essere la prima evidenza di una diversa fisica nella "zona oscura" dell'Universo.

Ma nuovi dati, provenienti da osservazioni più recenti e precise, condotte con **ALMA** (l'**Atacama**

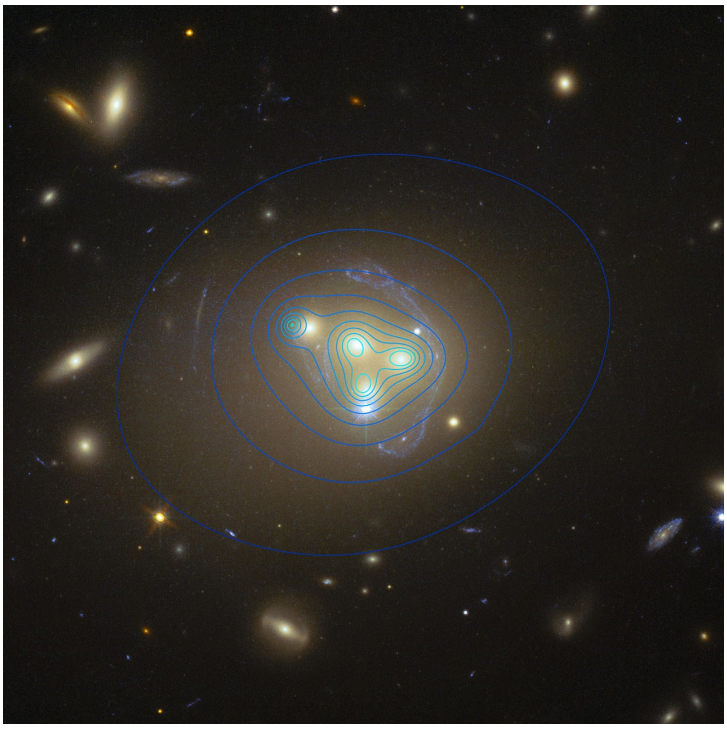


Figura 12: L'ammasso di galassie Abell 3827. Le strane strutture celesti che circondano le galassie centrali sono viste di una galassia molto più lontana prodotta dall'effetto della lente gravitazionale. La distribuzione della materia oscura nell'ammasso è mostrata con linee di colore blu. L'estremità di materia oscura per la galassia a sinistra è significativamente spostato dalla posizione della galassia stessa, uno spostamento che potrebbe essere prodotto da una prolungata interazione tra materia oscura. (Credit: ASA/ESA Hubble Space Telescope)

Large Millimetre Array), mostrano che la materia oscura nell'ammasso Abell 3827 **non si è affatto separata dalla sua galassia**. Le nuove misure appaiono coerenti con un tipo di materia oscura "classico", ovvero che interagisca solo tramite la forza di gravità.

La vera posizione della materia oscura è diventata più chiara rispetto alle precedenti osservazioni.

Questo mostra la difficoltà nel misurare e comprendere la vera natura e le leggi che regolano una cosa così "sfuggente" come la Materia oscura.

Gli scienziati hanno un compito davvero arduo e alcuni propongono, addirittura, **Teorie Alternative alla Materia Oscura**: in cui è ipotizzato che non ci sia bisogno di materia oscura per spiegare le osservazioni.

Ad esempio, le teorie della gravità modificata, come

MOND (**MO**dified **N**ewtonian **D**ynamics), suggeriscono modifiche alle leggi della fisica a scale cosmiche che potrebbero spiegare le anomalie gravitazionali senza invocare materia oscura.

La teoria MOND – introdotta dal fisico Mordehai Milgrom del Weizmann Institute (Israele) all'inizio degli anni '80 – afferma che l'eccesso di attrazione gravitazionale tra le galassie esiste perché le leggi che governano la gravità sono leggermente diverse.

Anziché attribuire l'attrazione gravitazionale in eccesso a una materia oscura, invisibile e non rilevabile, MOND suggerisce che **la gravità a basse accelerazioni è più forte di quanto sarebbe previsto dalla Teoria Newtoniana classica**.

In pratica, la teoria MOND modifica le leggi della dinamica newtoniana a scale di accelerazione molto basse, tipiche delle regioni periferiche delle galassie.

L'idea è che al di sotto di una certa soglia di accelerazione, la forza di gravità non segua più la legge dell'inverso del quadrato di Newton, ma assume una forma diversa che può spiegare le velocità orbitali osservate senza la necessità di introdurre materia oscura addizionale.

In sintesi nella teoria MOND la dinamica newtoniana è modificata ad accelerazioni estremamente basse, circa 100 miliardi di volte più basse dell'accelerazione sulla superficie della Terra, con cui abbiamo esperienza diretta tutti i giorni.

E nelle zone esterne delle galassie e degli ammassi di galassie le accelerazioni tipiche sono di quell'ordine di grandezza. Al di sotto di queste accelerazioni riveliamo le anomalie dinamiche che hanno portato all'ipotesi della materia oscura. L'ipotesi alternativa alla materia oscura, dunque, è che vi sia un'accelerazione caratteristica (chiamata a_0) al di sotto della quale le equazioni di Newton non possono più essere applicate e vanno modificate.

Inoltre, MOND fa una previsione molto audace: i moti interni a un oggetto nel cosmo non dovrebbero dipendere solo dalla massa dell'oggetto stesso, ma anche dall'attrazione gravitazionale da parte di tutte le altre masse presenti nell'universo.

Recenti ricerche dimostrerebbero la capacità di prevedere in modo molto accurato alcuni aspetti che riguardano la rotazione delle galassie che sembrano sfidare le classiche regole della gravità.

Quindi, per quanto riguarda la rotazione delle galassie a spirale, la teoria MOND sembra funzionare molto bene.

I problemi per questa teoria alternativa subentrano in contesti astrofisici diversi, come gli ammassi di galassie e la struttura su larga scala dell'universo. In questi casi c'è ancora molto lavoro da fare per testare MOND a queste scale cosmologiche.

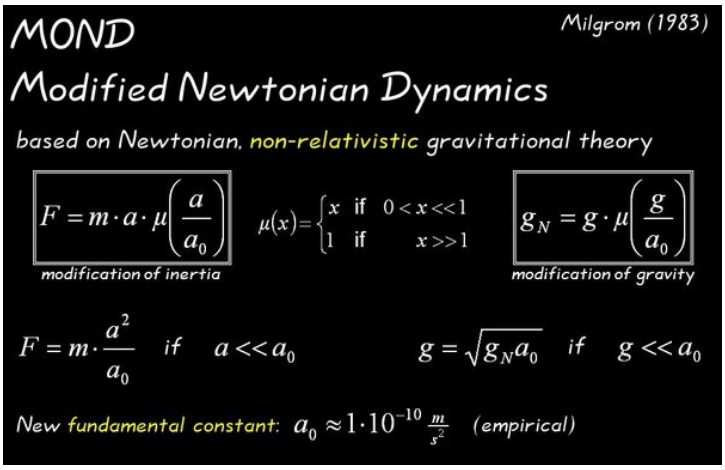


Figura 13: In MOND viene introdotta una costante a_o che deve essere estremamente piccola in modo che MOND differisca da Newton solo sulle enormi distanze. Ai fisici, però, non piace molto questo tipo di modifica delle equazioni solo per adattarle ai dati osservati. (Credit: Slideserve)

Infine esistono **teorie esotiche**, ad esempio: derivate dalla teoria delle stringhe, che suggeriscono che la materia oscura potrebbe essere composta da particelle che esistono in **dimensioni spaziali extra** non percepite direttamente dagli esseri umani.

Un esempio, è l'introduzione di una quinta dimensione oltre alle quattro convenzionali (tre dimensioni spaziali ed una temporale) che deriva dalle teorie del matematico e fisico tedesco *Theodor Kaluza* e dal fisico svedese *Oskar Klein* nei primi anni del XX secolo.

Essi proposero di estendere la teoria della relatività generale di Einstein includendo una quinta dimensione al fine di unificare la gravità con l'elettromagnetismo.

In questo contesto, si è ipotizzata l'esistenza delle

le **particelle di Kaluza-Klein** non sono altro che le manifestazioni quantistiche di campi che si propagano attraverso dimensioni extra. A causa della presenza di dimensioni aggiuntive, compatte e spesso arrotolate su se stesse a scale estremamente piccole (al di sotto della scala di Planck), le particelle sdel modello standard acquisirebbero "modi di vibrazione" aggiuntivi. Questi modi di vibrazione corrispondono a stati energetici più elevati che si manifestano come particelle con masse maggiori, appunto le particelle di Kaluza-Klein. Tali particelle non sarebbero altro che versioni più pesanti delle particelle conosciute, dovute alla loro interazione con le dimensioni extra. Un fatto che le rende automaticamente candidati per la materia oscura.

La loro esistenza, tuttavia è tutta da dimostrare, e questo potrebbe avvenire attraverso gli esperimenti ad alte energie, come quelli condotti al **Large Hadron Collider** (**LHC**).

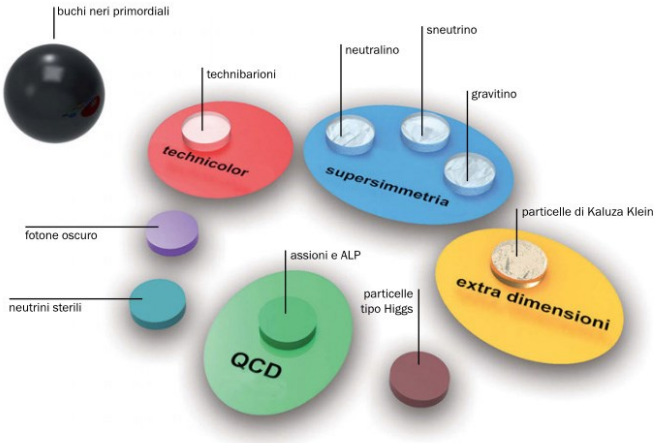


Figura 14: Alcune delle particelle candidate per la materia oscura e le teorie che le prevedono. Una possibilità alternativa è che la massa mancante dell'universo sia costituita da buchi neri primordiali. (Credit: INFN)

Nonostante la varietà di queste ipotesi, **la natura esatta della materia oscura rimane sconosciuta**, e la sua identificazione è uno degli obiettivi principali della ricerca in fisica e astronomia.

Gli sforzi attuali includono esperimenti di rilevamento diretto, ricerche indirette attraverso la rilevazione di prodotti di decadimento o annichilazione delle particelle di materia oscura, e ulteriori studi teorici per sviluppare nuovi modelli o affinare quelli esistenti.

Non solo Materia Oscura: l'Energia Oscura

Se il concetto di Materia Oscura può sembrare un'idea strana e la sua comprensione può apparire elusiva, quello di **Energia Oscura** è ancora più … esotico.

L'Energia Oscura è un termine usato in cosmologia per descrivere una forma **misteriosa di energia** che permea tutto lo spazio e che esercita una pressione negativa, **agendo in contrasto con la gravità**.

Questa forza repulsiva è considerata responsabile dell'accelerazione dell'espansione dell'universo, un fenomeno osservato per la prima volta negli anni '90 attraverso lo studio di supernove distanti.

L'idea di energia oscura ha iniziato a prendere forma alla **fine del XX secolo**, ma le sue radici concettuali possono essere fatte risalire alle teorie di **Albert Einstein** del primo Novecento.

Nel 1917 Albert Einstein introdusse la costante **cosmologica** (denotata con la lettera *Lambda*: Λ) nelle sue equazioni della relatività generale per permettere un modello di universo statico ed eterno, che era la visione prevalente che al tempo si aveva del cosmo .

L'idea era che la costante cosmologica agisse come una forza repulsiva per bilanciare l'attrazione gravitazionale della materia e **mantenere l'universo statico**

Negli anni '20 le osservazioni di **Edwin Hubble** dimostrarono che l'universo è in espansione, e, a quel punto, Einstein rimosse la costante cosmologica dalle sue equazioni, descrivendola come la "*più grande cantonata*" della sua vita.

Questa cosa rimase nel cassetto dei fisici per lungo tempo, finché, alla fine degli anni '90, l'osservazione di **supernove di tipo Ia** distanti, effettuata da due gruppi indipendenti di astronomi (il **Supernova Cosmology Project** e il **High-Z Supernova Search Team**), fornì sorprendenti evidenze che l'universo non solo si sta espandendo, ma che la sua **espan-**

sione sta accelerando.

Queste scoperte erano inaspettate perché la convinzione diffusa tra gli scienziati era cha la gravità avrebbe dovuto rallentare l'espansione dell'universo nel tempo … Un bel rompicapo!

La spiegazione più plausibile per questa osservazione era che esistesse una forma di energia sconosciuta, che venne chiamata, appunto, "**Energia Oscura**". Un'energia che permeava tutto lo spazio e che aveva una forte pressione negativa e che, quindi sarebbe stata la responsabile dell'accelerazione dell'espansione dell'universo.

A partire dai primi anni 2000, ulteriori osservazioni e studi, inclusi quelli sulla **radiazione cosmica di fondo** (**CMB**: **C**osmic **M**icrowave **B**ackground) e sulla distribuzione delle galassie, hanno rafforzato l'evidenza dell'energia oscura come una **componente dominante dell'universo**.

Non solo, le stime ed i calcoli che scaturiscono dalle evidenze osservative, indicano che l'Energia Oscura costituisce il **68% dell'energia totale dell'Universo**, diventandone, così, la componente dominante.

Costante Cosmologica o Quintessenza?

L'idea di energia oscura ha portato a nuovi modelli cosmologici, come quelli che reintroducono la **Costante Cosmologica** (ora interpretata come una forma di energia oscura) e modelli dinamici come la **Quintessenza**, ossia un campo scalare dinamico che varia nello spazio e nel tempo.

Nella cosmologia moderna, la costante cosmologica Λ rappresenta una **densità di energia uniforme e costante che permea tutto lo spazio**, contribuendo alla repulsione gravitazionale su larga scala che accelera l'espansione dell'universo.

Questa energia è associata al vuoto dello spazio stesso, infatti la costante cosmologica è interpretata come l'**energia del vuoto**, ovvero l'energia minima dello spazio vuoto, che non scompare nemmeno quando lo spazio è liberato da tutte le particelle materiali.

La costante cosmologica Λ produce una pressione negativa che ha l'effetto di accelerare l'espansione dell'universo, contrariamente all'attrazione gravitazionale della materia che tenderebbe a rallentarla.

La costante cosmologica solleva notevoli sfide teoriche, come il "**problema del fine-tuning**", ovvero la questione su perché il valore osservato di Λ sia così incredibilmente piccolo, **ma non zero**. Se fosse leggermente maggiore, l'Universo si sarebbe espanso troppo rapidamente per permettere la formazione di galassie e stelle; se fosse stata negativa o troppo piccola, l'Universo sarebbe collassato su se stesso poco dopo il Big Bang.

Esiste, inoltre, il "**problema della coincidenza**", una questione sempre collegata all'apparente "sintonizzazione fine" delle condizioni iniziali dell'Universo, che ha permesso l'emergere e lo sviluppo della vita come la conosciamo. Nello specifico, il problema della coincidenza riguarda il fatto sorprendente che la **densità di energia oscura** e la **densità di materia** nell'Universo **sembrano essere dello stesso ordine di grandezza proprio in questa era cosmica**, un fatto che appare sorprendente perché, secondo i modelli cosmologici, l'evoluzione nel tempo delle densità di materia e di energia oscura avviene in modo significativamente di-

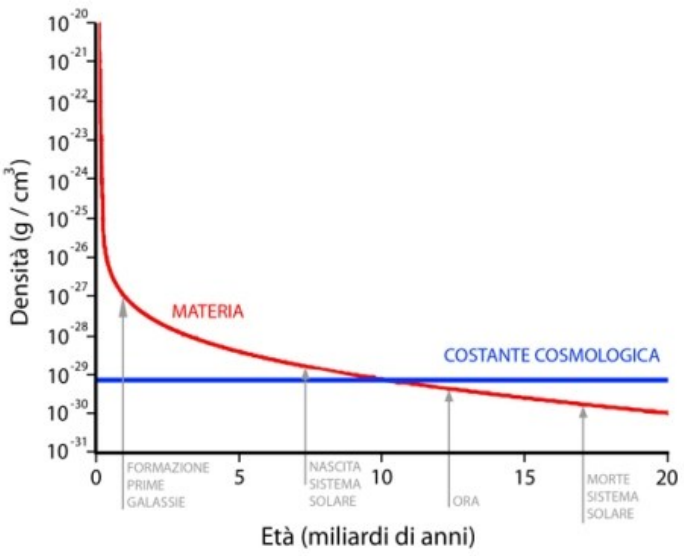


Figura 15: Problema della coincidenza: uno dei misteri legati alla costante cosmologica. Come mai, dato il diverso comportamento, i due valori quasi coincidono proprio nel periodo in cui lo stiamo osservando? (Credit: C. Ruscica/Idee sull'Universo/Macro)

verso (Figura 15).

La densità della materia (che include sia la materia barionica ordinaria sia la materia oscura) diminuisce con l'espansione dell'universo, poiché il volume dell'universo aumenta, mentre la quantità di materia rimane costante.

La densità di energia oscura, se identificata con la costante cosmologica Λ, rimane costante nel tempo, dato che è una proprietà intrinseca del vuoto dello spazio stesso.

Nelle fasi iniziali dell'universo, la densità di materia era molto più grande della densità di energia oscura. Tuttavia, con l'espansione dell'universo, la densità di materia è diminuita, mentre quella di energia oscura è rimasta invariata. Di conseguenza, c'è un momento in cui le due densità sono comparabili, e questo momento **coincide sorprendentemente con l'epoca attuale**.

Ed è a questo punto che sorge la domanda sul perché viviamo in un'epoca in cui la densità di energia oscura e la densità di materia sono simili. In un universo che ha miliardi di anni, sembra improbabile che questa coincidenza avvenga proprio durante l'epoca in cui siamo in grado di osservarla.

Esiste davvero un principio antropico oppure esiste un meccanismo fisico che ancora non conosciamo?

Il **principio antropico** è un concetto filosofico e cosmologico che cerca di fornire una spiegazione al perché le leggi fisiche dell'universo e le costanti fondamentali sembrano finemente regolate per consentire l'esistenza della vita, e in particolare della vita intelligente.

Quindi si tratta di un problema che solleva interrogativi sulla natura dell'energia oscura e sulla possibile esistenza di meccanismi che potrebbero naturalmente portare a una tale coincidenza.

Nessuna teoria ha fornito finora una spiegazione completamente soddisfacente, e il problema della coincidenza rimane uno dei più grandi misteri della cosmologia.

Alcune teorie suggeriscono che l'energia oscura potrebbe non essere una costante cosmologica vera e propria, ma piuttosto qualcosa di più dinamico, come i modelli di quintessenza, i quali prevedono che la densità di energia oscura possa cambiare nel tempo.

La **Quintessenza** è un costrutto concettuale cosmologico che si propone come alternativa alla costante cosmologica per spiegare l'accelerazione dell'espansione dell'universo. A differenza della costante cosmologica, che assume una densità di energia del vuoto costante nello spazio e nel tempo, la quintessenza prevede l'esistenza di un **Campo Scalare Dinamico**, denotato solitamente con ϕ che pervade tutto l'universo, il cui potenziale $V(\phi)$, varia nel tempo e nello spazio.

Ma **cos'è un Campo Scalare**? È un campo che assegna un singolo valore numerico (o scalare) ad ogni punto nello spazio e nel tempo. Questi valori possono rappresentare proprietà fisiche variabili, come la temperatura in un ambiente o il potenziale gravitazionale in diversi punti dello spazio.

A differenza dei campi vettoriali, che associano un vettore a ogni punto dello spazio, indicando lunghezza (l'intensità), direzione e verso , i campi scalari hanno solo una grandezza e nessuna direzione in ogni punto dello spazio-tempo. Un esempio quotidiano di campo scalare è il "campo di temperatura" in una stanza, dove ad ogni punto nello spazio è associato un valore di temperatura.

In un campo scalare il **valore** del campo in un dato punto fornisce una misura diretta della grandezza fisica interessata (es: la temperatura in un dato punto) Il **potenziale** associato a un campo scalare, invece, descrive come l'energia potenziale si distribuisce nello spazio, influenzando la dinamica degli oggetti attraverso forze che agiscono in base alla variazione del potenziale stesso. In sintesi, un campo scalare fornisce una mappa di valori che descrivono una proprietà fisica specifica, mentre il potenziale associato offre un quadro di come questa proprietà influisce sull'ambiente circostante.

Tornando alla Quintessenza, gli scienziati cercano di spiegare la natura dell'energia oscura attraverso l'introduzione di un campo scalare che varia nel tempo e nello spazio. Esistono diversi modelli specifici, ciascuno caratterizzato da diverse proprie-

tà del campo scalare e del suo potenziale.

I modelli **Slow-Roll Quintessence** (Letteralmente: *Quintessenza a Lento Rotolamento*) sono caratterizzati da un campo scalare che evolve molto lentamente lungo un potenziale piatto. L'evoluzione lenta permette al campo di rimanere in uno stato di energia quasi costante per lunghi periodi, simulando gli effetti di una costante cosmologica ma con la possibilità di variazioni nel tempo.

In altri modelli, il campo scalare ha un comportamento dinamico, in cui il potenziale "insegue" un percorso evolutivo (da cui la definizione **Tracker Quintessence**) che converge verso una soluzione comune indipendentemente dalle condizioni iniziali. Questo comportamento di "*tracking*" permette al campo di adattarsi alle condizioni cosmiche dominanti attraverso l'evoluzione dell'universo, offrendo, così, una possibile spiegazione ai problemi del "*fine-tuning*" e della "coincidenza".

Alcuni modelli propongono che il campo scalare oscilli intorno a un minimo del suo potenziale (**Quintessenza Oscillante**). Le oscillazioni possono portare a variazioni periodiche o quasi periodiche nella densità energetica dell'energia oscura, potenzialmente osservabili attraverso precise misurazioni cosmologiche

In altre modellazioni è ipotizzato un campo scalare il cui potenziale ha una forma esponenziale (**Quintessenza con Potenziale Esponenziale**). In tal caso si spiegherebbe un'espansione accelerata dell'universo.

E così via, esistono molte ipotesi e poche certezze. Ogni modello di quintessenza cerca di affrontare specifiche questioni aperte nella cosmologia, come l'origine dell'energia oscura, il problema della coincidenza cosmica, e le proprietà dettagliate dell'espansione accelerata dell'universo. Le differenze tra i modelli risiedono principalmente nella forma del potenziale del campo scalare e nelle proprietà dinamiche che ne derivano, rendendo cruciali le osservazioni astronomiche e cosmologiche per distinguere tra questi scenari.

La determinazione della natura dell'energia oscura è, quindi, fondamentale per comprendere il destino finale dell'universo. Se l'energia oscura rimane costante o aumenta di intensità, l'universo potrebbe espandersi all'infinito accelerando sempre di più. Se invece la sua densità dovesse diminuire, l'espansione potrebbe rallentare, fermarsi o addirittura invertirsi, portando a un collasso finale dell'universo.

La materia è complicata ed … evanescente.

Facciamo, ora, una breve sintesi sul ... Lato Oscuro dell'Universo

Materia Oscura: costituisce circa il 27% dell'universo. È chiamata "oscura" perché non interagisce con la luce o qualsiasi altra forma di radiazione elettromagnetica, rendendola invisibile ai nostri sensi e rilevabile solo attraverso i suoi effetti gravitazionali. La materia oscura è cruciale per spiegare come le galassie si mantengono unite nonostante le alte velocità di rotazione osservate e per comprendere come si formano le strutture su larga scala nell'universo.

Energia Oscura: Rappresenta circa il 68% dell'universo. È ancora più misteriosa della materia oscura. L'energia oscura è responsabile dell'accelerazione dell'espansione dell'universo, un fenomeno scoperto negli anni '90 attraverso l'osservazione di supernove lontane. A differenza della materia oscura, che attrae la materia a causa della sua gravità, l'energia oscura sembra avere un effetto repulsivo, spingendo le galassie l'una dall'altra.

Questi due concetti sono fondamentali nella cosmologia moderna e sono oggetto di intensa ricerca scientifica. Nonostante i progressi, la natura esatta sia della materia oscura che dell'energia oscura rimane uno dei più grandi enigmi della scienza.

Le **percentuali relative alla composizione dell'universo**, ovvero il **27% per la materia oscura** e il **68% per l'energia oscura**, provengono dai risultati di varie osservazioni astronomiche e misurazioni cosmologiche.

Una delle fonti più importanti e ampiamente citate è la **Planck Mission** dell'**Agenzia Spaziale Europea** (ESA), che ha fornito una mappatura dettagliata della radiazione cosmica di fondo a microonde. Questi dati, combinati con altre osservazioni come quel-

le delle supernove di Tipo Ia e le indagini sulle strutture su larga scala dell'universo, hanno permesso agli scienziati di calcolare una stima precisa della composizione dell'universo.

Altri dati ed osservazioni cruciali stanno pervenendo dalla missione **Euclid**, sempre dell'ESA, di cui abbiamo parlato in un articolo nel numero 59 (qui il link per la rivista)

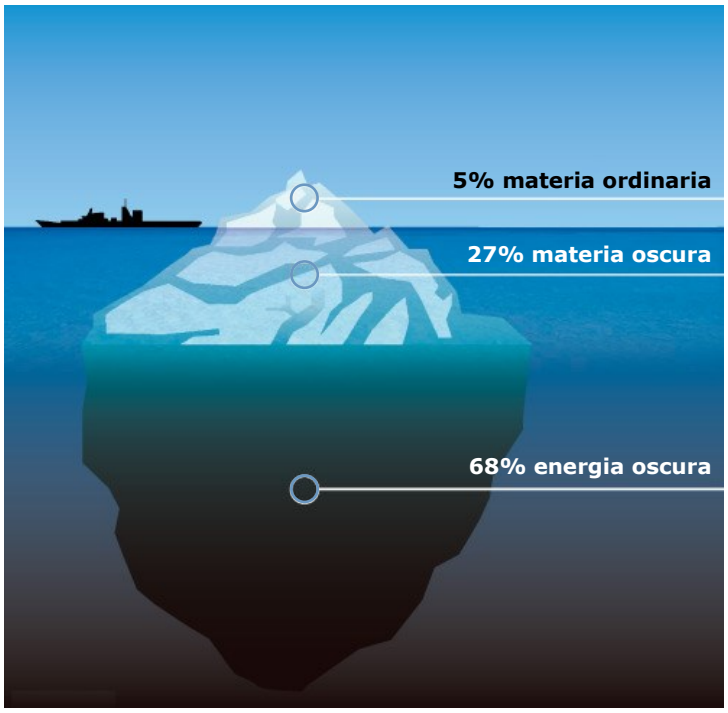


Figura 16: Una nuova "Rivoluzione Copernicana" … la materia ordinaria, di cui noi siamo costituiti costituisce solo il 5% dell'iceberg cosmologico. (Credit:INFN)

Il Modello Lambda-CDM

Queste percentuali sono diventate parte del modello standard della cosmologia, noto come il **Modello Lambda-CDM** (**Lambda Cold Dark Matter - LCDM**), che è attualmente il modello più accettato per spiegare l'evoluzione dell'universo e la sua attuale struttura osservata.

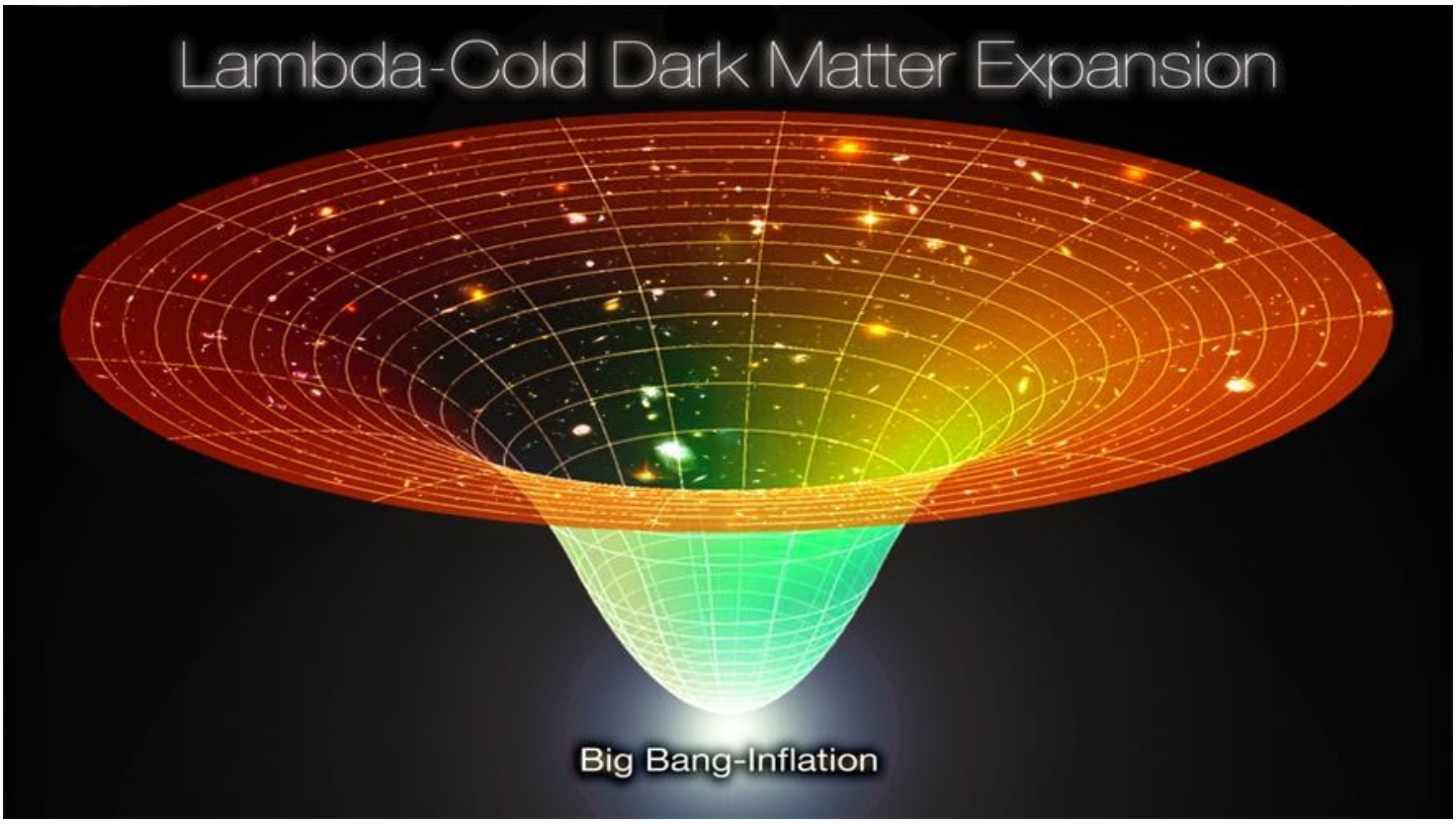
Tuttavia, è importante notare che queste percentuali sono soggette a revisioni man mano che vengono sviluppati nuovi strumenti osservativi e metodi di analisi.

Il Modello Lambda-CDM (Lambda-Cold Dark Matter) è il modello cosmologico standard che descrive l'evoluzione dell'universo dalle sue prime fasi fino al presente.

Il modello combina la teoria della **Relatività Generale** di Einstein con l'esistenza di **Materia Oscura**, ipotizzata nella versione "fredda", **Cold Dark Matter (CDM)** e l'**Energia Oscura**, rappresentata dalla costante cosmologica Lambda, Λ), da qui il nome.

Ecco le caratteristiche principali del modello:

- **Espansione dell'Universo**: Il modello assume che l'universo sia in espansione, come descritto dalla legge di Hubble. L'espansione è accelerata a causa dell'energia oscura.
- **Energia Oscura** (Λ): Rappresenta la componente dominante nell'universo attuale, costituendo circa il 68% della sua energia totale e, come abbiamo compreso, è responsabile per l'accelerazione dell'espansione dell'universo.
- **Materia Oscura Fredda**: Costituisce circa il 27% dell'universo. È chiamata "fredda" (Cold) perché si muove a velocità relativamente basse rispetto alla velocità della luce. Come abbiamo visto, la materia oscura è essenziale per spiegare la formazione delle strutture nell'universo, come galassie e ammassi di galassie, e per mantenere l'integrità gravitazionale delle galassie.
- **Materia Barionica**: È la materia "normale", costituita da protoni, neutroni ed elettroni, e rappresenta circa il 5% dell'universo. Comprende stelle, pianeti, gas e tutto ciò che possiamo osservare direttamente.
- **Radiazione Cosmica di Fondo a Microonde (CMB)**: Il modello spiega la radiazione cosmica di fondo, il residuo termico del Big Bang, distribuito uniformemente in tutto l'universo.
- **Formazione delle Strutture**: Il Modello Lambda -CDM descrive come le piccole fluttuazioni primordiali nella densità di materia hanno portato alla formazione delle strutture cosmiche osservate oggi.
- **Parametri Cosmologici**: Il modello dipende da diversi parametri chiave, come la costante di Hubble, la densità di materia oscura e la densità di energia oscura, che sono stati misurati con sempre maggior precisione negli anni.



Il Modello LCDM è ampiamente supportato dalle osservazioni astronomiche e cosmologiche, ma presenta ancora alcuni problemi irrisolti, come la natura esatta dell'energia oscura e della materia oscura.

Nonostante ciò, rimane il **modello più completo e accurato** per descrivere l'universo su larga scala.

L'universo LCDM è omogeneo e isotropo.

La dilatazione del tempo e lo spostamento verso il rosso (z) sono attribuiti a uno spostamento simile a quello Doppler che interessa la radiazione elettromagnetica mentre viaggia attraverso lo spazio in espansione. In altri termini, le onde luminose vengono "allungate" dall'espansione dello spazio in funzione del tempo.

Questo modello presuppone che l'Universo sia "piatto", cioè con una geometria spaziale quasi "piatta", e la luce che viaggia in questo modello in espansione si muove lungo geodetiche nulle.

L'espressione "Universo piatto" si riferisce a un modello cosmologico nel quale l'universo ha una geometria tale che la sua curvatura spaziale è zero o estremamente vicina a zero su larga scala. In termini semplici, significa che se si viaggiasse indefinitamente in linea retta nello spazio, non si finirebbe mai per tornare al punto di partenza, come invece accadrebbe in un universo con curvatura positiva (simile alla superficie di una sfera) oppure non ci si allontanerebbe sempre più velocemente da un punto di partenza in un universo con curvatura negativa (simile alla superficie di una sella). NB: quest'ultimo è un concetto geometrico, differente da quello dell'espansione accelerata dovuta all'energia oscura.

È originato da un singolo evento originante di Big Bang , o singolarità iniziale, che costituisce un'apparizione improvvisa di spazio in espansione contenente radiazione. Un evento, il Big Bang, che è stato immediatamente seguito da un'espansione esponenziale dello spazio (inflazione). Un'espansione che ha rallentato per lungo tempo per poi accelerare a causa dell'energia oscura insita nello spazio vuoto.

In conclusione, materia oscura ed energia oscura rimangono tra i più **affascinanti e inspiegabili misteri dell'universo** moderno. Nonostante decenni di osservazioni astronomiche e progressi nella fisica teorica, la loro vera natura elude ancora una loro completa comprensione.

La materia oscura, invisibile ma rilevabile attraverso la sua influenza gravitazionale, e l'energia oscura, misteriosa forza che si cela dietro l'accelerazione dell'espansione dell'universo, insieme compongono la stragrande maggioranza dell'Universo, sfidando le nostre attuali conoscenze fisiche.

La ricerca di risposte ci spinge ai confini della scienza, della tecnologia e della filosofia, invitandoci a riconsiderare ciò che crediamo di sapere sull'Universo e il nostro posto in esso.

Ogni nuova scoperta ci avvicina a una comprensione più profonda, anche se ciò significa accettare quanto poco sappiamo.

La materia oscura e l'energia oscura non sono solo sfide scientifiche; sono il simbolo della nostra eterna ricerca di conoscenza, un viaggio che ci porta attraverso le vaste e inesplorate distese di un Universo che ci appare sconfinato.

Mentre continuiamo a scrutare il cielo con telescopi sempre più potenti e a raffinare le nostre teorie con strumenti matematici sempre più avanzati, restiamo umili di fronte all'immensità dell'ignoto.

La ricerca di materia oscura ed energia oscura è più di una caccia scientifica; è un richiamo alla nostra innata curiosità e al nostro desiderio incessante di esplorare i confini dell'esistenza.

In questo viaggio cosmico, ogni intuizione e scoperta ci avvicina un passo alla risposta di una delle domande più profonde ed intriganti: che cosa è veramente l'universo e, che ruolo giochiamo in questo vasto e misterioso cosmo?

Arduo da vedere il Lato Oscuro è

INTELLIGENZA ARTIFICIALE & ESPLORAZIONE SPAZIALE

di Davide Borghi

L'esplorazione spaziale è nata ben prima dell'Intelligenza Artificiale (Artificial Intelligence – **AI**), verrebbe da pensare. È vero, anche se l'idea di Intelligenza Artificiale è molto vecchia.

Una delle prime a chiederselo, se le macchine possano arrivare a pensare, è stata **Ada Lovelace**, un secolo e mezzo fa, arrivando alla conclusione che non fosse possibile (e con i mezzi di allora credo la deduzione fosse comprensibile...).

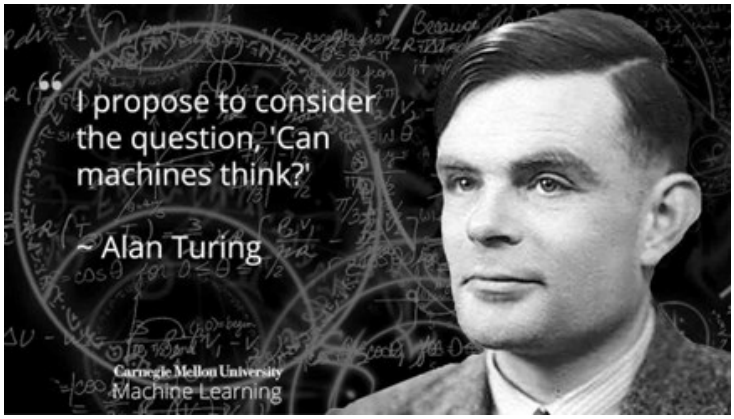
Poi, durante la Seconda Guerra Mondiale e negli anni immediatamente successivi, fu il turno di **Alan Turing** porsi la domanda "Can machines think?" e stavolta, forte dei primi computers da lui ideati (per decriptare il codice nazista Enigma), la risposta è piu' possibilista.

Turing ha proposto la Child **Programme Idea**, che spiega «Invece di provare a produrre un programma per simulare la mente dell'adulto (Imitation Game), perché non provare piuttosto a produrne uno che simulasse quello del bambino?».

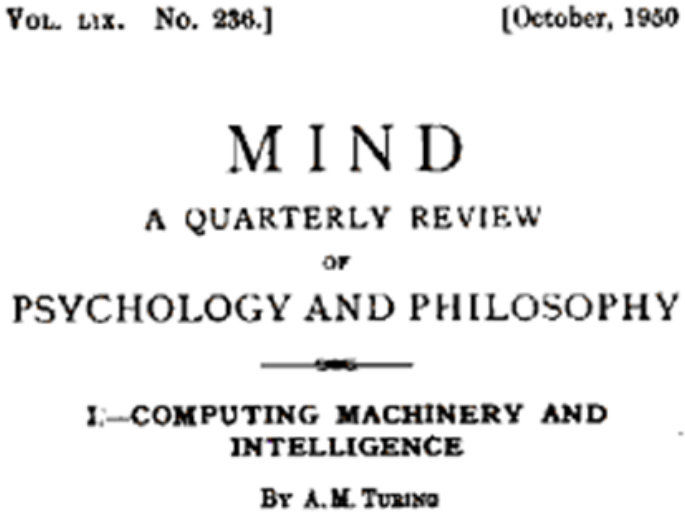
Ma L'AI è andata attraverso diversi momenti di entusiasmo (hype) e seguenti delusioni, che sono ricordati come i **due inverni dell'AI.** A causa di cio' l'adozione dell'AI nelle applicazioni pratiche, soprattutto quelle spaziali, che richiedevano e richiedono affidabilita' e miniaturizzazione, è stato rimandato

Ada Lovelace

per diversi decenni.



Alan Turing



VOL. LIX. No. 236.] [October, 1950

MIND

A QUARTERLY REVIEW

OF

PSYCHOLOGY AND PHILOSOPHY

I.—COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE

BY A. M. TURING

L'articolo del 1950 di Turing su AI

L'esplorazione spaziale è quindi andata avanti con la tecnologia elettronica su binari paralleli all'AI. È partita con i semplici (ma numerosi) **circuiti integrati** della **Texas Instruments** e **Fairchild** negli anni'60 usati per la prima volta nel Apollo Guidance Computer – **AGC** – che ci ha portati sulla Luna sei volte – e nei missili ICBM **Minuteman**.

L'AGC, di un piede cubico, è stato sviluppato da un team guidato da **Laning**, **Hopkins**, **Alonso** e **Blair-Smith** al M.I.T. sotto la direzione di Charles Stark **Draper**.

È fra i primi usi di circuiti integrati: in tutto 4100 nella prima versione.

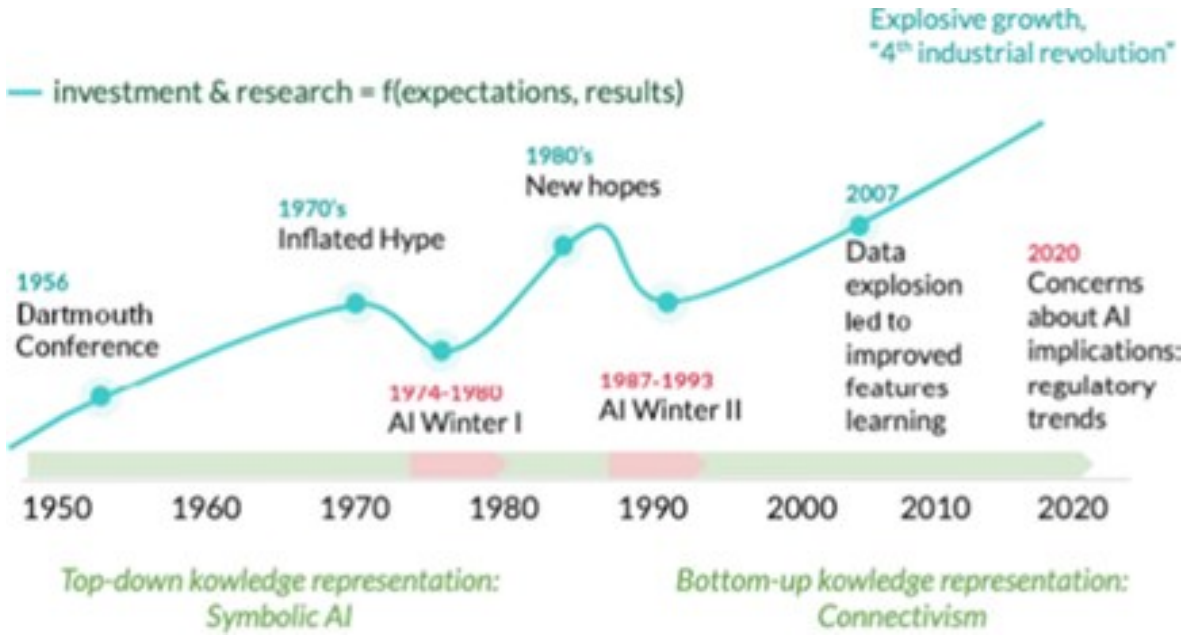
La memoria era di 4K word di RAM (magnetic core) e 32K word di ROM (core rope). Il Clock era di 2MHz...

I linguaggi software come il C devono ancora essere inventati per cui si usa assembly-language e interpreter-language fatti ad-hoc.

Per gli appassionati, il codice si trova al link: *https://github.com/chrislgarry/Apollo-11*

E le differenti versioni di software avevano un nome: ad esempio la versione per Apollo V è la SUNBURST V120, quella di Apollo XI è la LUMINARY V99, scritte al Draper Lab.

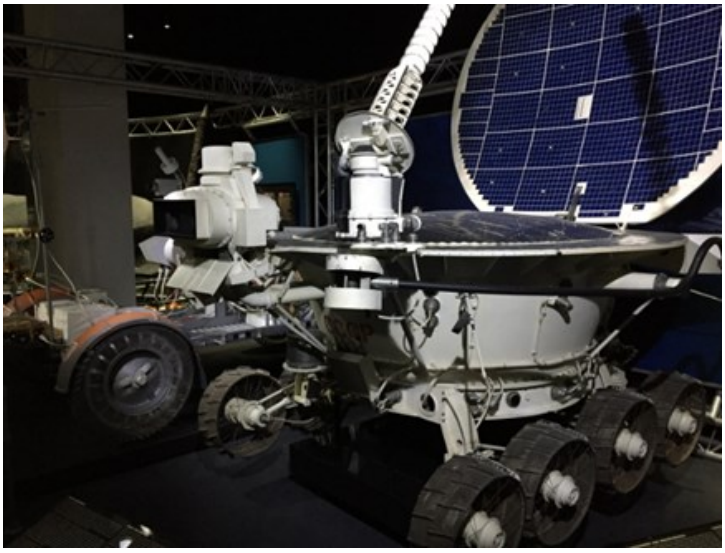
E poi coi microprocessori (inventati da un piccolo team alla Intel che comprendeva l'italiano Federico



I due inverni dell'AI

Faggin). Il microprocessore RCA COSMAC (il primo basato su tecnologia CMOS) è il primo ad andare nello spazio con le Viking, poi le Voyager, e infine la Galileo. E poi i microprocessori Texas Instruments (TSC691/692/693) per l'ESA europea.

Finché le missioni erano in **orbita LEO** (Low Earth Orbit), ovvero a poche centinaia di chilometri dalla Terra, non c'erano grossi problemi di tempo di risposta. Ma quando abbiamo iniziato ad inoltrarci nello spazio profondo, il discorso è cambiato. Le missioni Apollo ci hanno portato sulla Luna, e là i **Lunar Rover** delle ultime missioni Apollo (XV, XVI, XVII) hanno esplorato decine di chilometri di suolo selenico. Ciò è stato reso possibile dalla guida da parte degli astronauti americani in loco. Gli analoghi rover sovietici **Lunokhod**, erano invece automatici, e funzionavano guidati da Terra tramite un segnale radio che gli permetteva di sterzare a destra o sinistra e quindi evitare gli ostacoli.



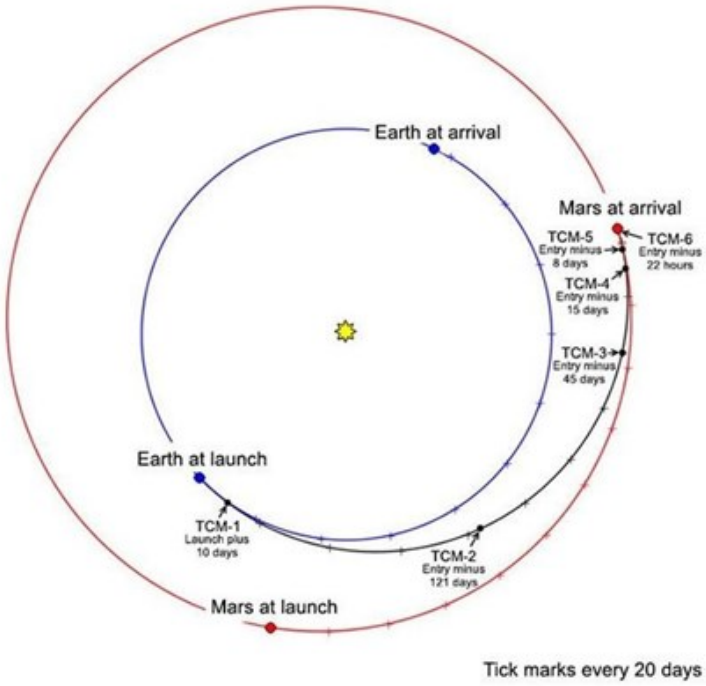
Lunokhod (in primo piano) e Apollo Lunar Rover dietro, fotografati a Milano ad una mostra NASA itinerante

Ma il tempo di volo dalla Luna a Terra e ritorno sulla Luna era di almeno un paio di secondi. Ciò riduceva di parecchio la velocità massima dei Lunokhod. I Lunokhod avevano infatti due velocita' impostabili: **1 e 2 Km/h**. Mentre i Lunar Rover delle missioni Apollo raggiungevano i **15 Km/h**, grazie alla guida umana.

Con l'arrivo delle missioni su Marte, del tutto automatiche, il problema del tempo di volo si fa drammatico. Il tempo di volo andata-ritorno (Marte-Terra -Marte) va da **9 minuti a ben 42 minuti** a seconda della posizione relativa dei due pianeti.

Apollo Lunar Rover sulla superficie lunare

Si consideri anche che usando una traiettoria classica a minima energia (Hohmann Transfer) la Terra non si troverebbe fin dall'inizio nella posizione piu' vicina a Marte e man mano si allontanerebbe. E, comunque, per missioni di durata di diversi anni (come gli ultimi rover marziani americani alimentati da RTG al Plutonio), si presenterebbero tutte le configurazioni mutue Terra - Marte, compreso il caso peggiore di 42 minuti di tempo di volo.

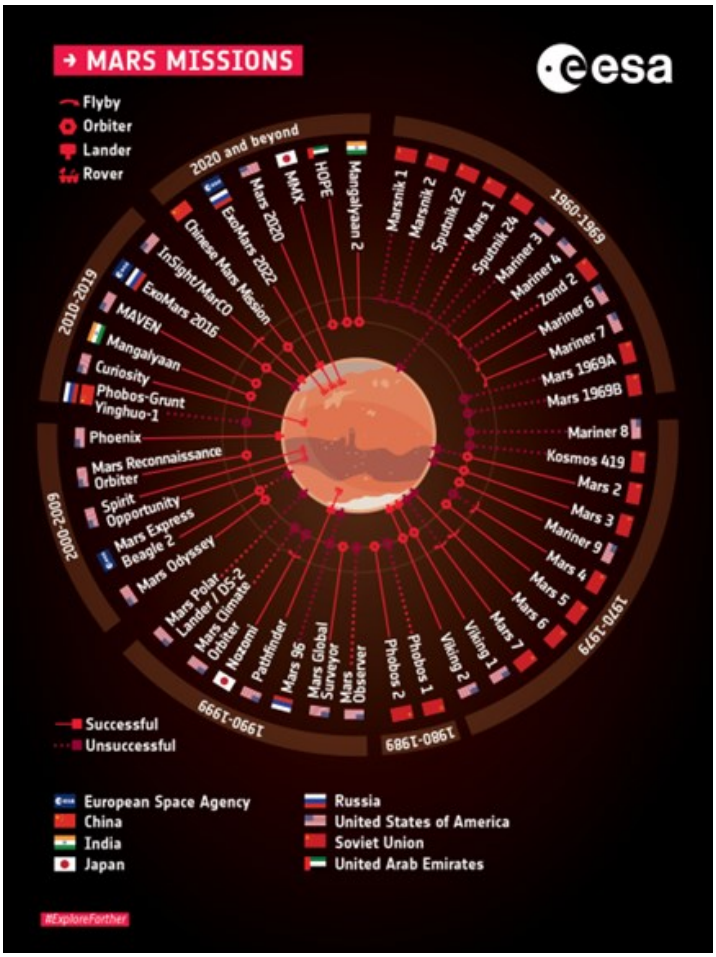


Trasferimento alla Hohmann fra Terra e Marte e rispettive posizioni orbitali

Questo ha portato allo sviluppo di algoritmi per **sistemi di guida autonomi**, che potessero cioè decidere in loco se sterzare, accelerare o fermarsi, senza dipendere da Terra.

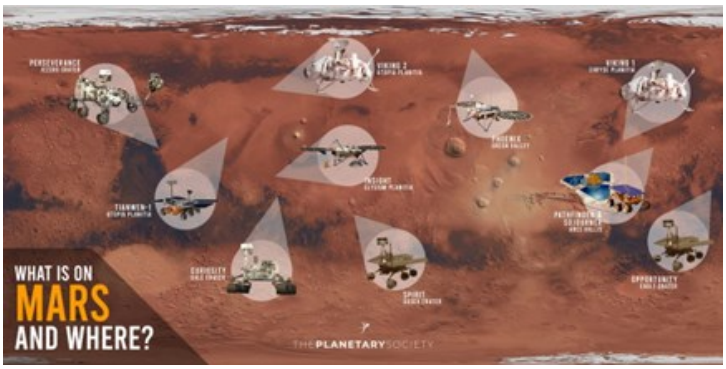
L'esplorazione di Marte non è stata tutta discesa. Per niente. Ma oggi possiamo fieramente affermare che **Marte, al momento, è l'unico pianeta che conosciamo abitato solo da robot**. **Alcuni con intelligenza artificiale**. Questo naturalmente finchè non scopriremo eventuale vita di qualche tipo su Marte...

Oggi ci sono infatti diversi rover automatici sulla superficie rossiccia di Marte, alcuni non piu' attivi come gli americani Sojourner, Opportunity, Spirit, ed altri ancora attivi come Curiosity e Perseverance (spesso con partecipazioni di altri paesi occidentali fra cui l'Italia, come nel caso di Perseverance. E poi c'è **Tianwen-1**, cinese, l'unico non della NASA, sulla superficie di **Utopia Planitia**.



Missioni verso Marte e tentativi di arrivare sulla sua superficie

Spirit e Opportunity, rover che erano parte di missioni arrivate nel 2004, avevano già AI per evitare gli ostacoli con telecamere stereo per creare una mappa 3D.



Rover attualmente sulla superficie lunare

Poi, il rover **Curiosity** (2012) ha utilizzato una suite di strumenti denominata **Sample Analysis at Mars** (SAM) in grado di analizzare con AI la composizione chimica delle rocce e del suolo.

Curiosity

Il 18 Maggio 2022, il rover **Perseverance** ha utilizzato AI tramite il **Autonomous Exploration for Gathering Increased Science – AEGIS**, per selezionare e mirare alla roccia da ispezionare, senza la direzione del team da Terra.

Il Rover Perseverance si avvantaggia anche di altri sistemi che fanno uso di AI:

- **Terrain Related Navigation (TRN)** è un Landing Vision System (LVS). Assiste il rover per atterrare con precisione ed evitare terreni

pericolosi.

- Le immagini sono correlate, grazie ai LIDAR (**Light Detection and Ranging**) alla mappa del sito. Precisione: 40 metri.

Perseverance

La robustezza del sistema AI di Perseverance mantiene le prestazioni in tutte le circostanze (geografiche, fisiche, meteorologiche ecc.) durante la discesa del rover.

Importante è stata quindi la **capacità di generalizzazione** consentita dai sistemi AI.

E poi Perseverance ha rilasciato, da sotto la propria "pancia", **l'elicottero Ingenuity**, il primo elicottero a volare su un pianeta extraterrestre.

Ingenuity ha un processore Snapdragon 801, usato in tanti smartphones (molto più potente dei processori sul rover).

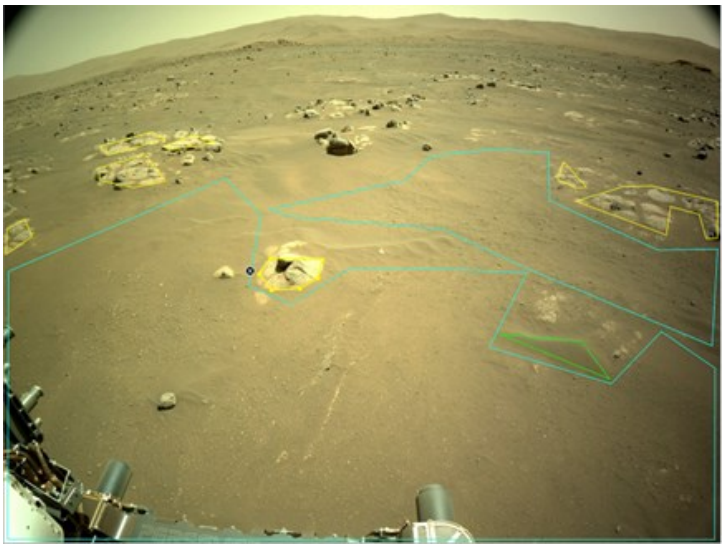
È inoltre il primo a portare **Linux e open source software** su Marte. Si tratta infatti di una missione ausiliaria rispetto alla missione principale di Perseverance, per cui hanno potuto provare diverse nuove tecnologie ("nuove" per le applicazioni spaziali si intende).

Una curiosità: nel volo #6 un'immagine "persa" provoca *timestamp* imprecisi e confusione nel pilota autonomo con oscillazioni nel controllo rendendo il sistema vicino all'instabilità (nella Teoria del Controllo si dice che i poli si sono spostati a destra verso la zona instabile nel Luogo delle Radici).

Poi, con la discesa, la *navcam* non viene più usata per la polvere, e l'elicottero torna stabile. (La situazione ricorda una frase gergale di origine militare: "Snafu" ovvero "Situation normal: all fucked up", trad. *Situazione Normale: Tutto Fottutamente Incasinato*).

Il problema è stato poi risolto a Terra e un aggiornamento software lo ha sistemato anche su Ingenuity che ha poi fatto altre decine di voli, battendo record su record.

L'elicottero Ingenuity fa ovviamente anch'esso uso di AI, altrimenti, come detto, non potrebbe avere l'autonomia resa necessaria dalla sua dinamicità.



Mappatura del superficie marziana realizzata con algoritmi AI di segmentazione

Il sistema AI su Ingenuity è responsabile dell'elaborazione dei dati provenienti dai sensori (come sensori inerziali e altimetri laser) e produce come output le decisioni relative ai movimenti dell'elicottero. Il sistema è progettato per aiutare l'elicottero a evitare gli ostacoli e a mantenere la sua posizione in aria.

L'elicottero Ingenuity

L'uso dell'AI su Ingenuity ha dimostrato il potenziale dei robot aerei autonomi per l'esplorazione planetaria.

Questa conoscenza potra' poi essere usata, possibil-

Il team di Terra del JPL che segue Ingenuity

mente, su altri corpi planetari dotati di atmosfera abbastanza densa, come ad esempio **Titano**. Anche Venere potrebbe essere un candidato, ma sul nostro pianeta "gemello" (come taglia) ci sono condizioni davvero aliene in termini di pressione, atmosfera corrosiva e temperatura.

L'AI fa già e potrà, ancor piu' in futuro, fare la differenza, anche per l'**esplorazione degli asteroidi**.

Nelle future missioni spaziali, l'AI diventerà sempre più importante. Offre infatti la flessibilità per **adattarsi a condizioni impreviste o mutevoli**.

L'analisi di una grande mole di dati e compiti tecnicamente irrealizzabili per l'uomo ne testimoniano l'importanza.

Rappresentazione artistica di robot autonomi per sfruttamento minerario degli asteroidi

In sostanza, l'AI sarà indispensabile per gestire diversi aspetti dell'Esplorazione del Sistema Solare:

- **Resource Utilization**: estrazione mineraria su asteroidi
- **Planetary Exploration**: rover (ed elicotteri) come quelli che abbiamo visto su Marte
- **Moon Village e Moon Gateway**: Sistemi autonomi per gestire installazioni lunari che non sono abitate in modo continuativo
- **Satellite Repair**: riparazione automatica di satelliti in orbita bassa (LEO), media (ad esempio i GPS) o alta (GEO).
- **Space Debris Removal**: fare pulizia in orbita, un compito lungo e tedioso che puo' essere eseguito in modo efficiente e continuativo solo da un sistema autonomo e automatico.

Gli asteroidi, in particolare, sono una meta molto interessante, per le possibili ricadute economiche di lungo termine. Si tratta di corpi planetari presenti in diverse parti del Sistema Solare. In primis nella **Fascia Principale degli Asteroidi** fra Marte e Giove. Ma corpi simili sono anche i **Troiani** e i **Greci** che seguono e anticipano Giove nei rispettivi punti di Lagrange situati sull'orbita gioviana.

E poi ci sono gli asteroidi **Near Earth** (appunto che arrivano in prossimità dell'orbita terrestre), quelli

della **Fascia di Kuiper** (che sono chiamati a volte "**objects**" per distinguerli da quelli della fascia degli Asteroidi) oltre l'orbita di Nettuno, le comete e gli asteroidi della **Nube di Oort**, ancora piu' lontana. La lista non è comunque esaustiva e le categorie non sono necessariamente esclusive, essendo difficile spesso capire a quale categoria assegnare ogni corpo.

Rappresentazione artistica di robot autonomi per sfruttamento minerario degli asteroidi

La **superficie totale** di tutti i corpi della Fascia Principale degli Asteroidi è mooolto inferiore rispetto a quella terrestre o di altri corpi simili come Venere, ma di alto interesse minerario, potendo essere considerati in pratica **un nucleo planetario non aggregato**, e quindi molto ricco di metalli pesanti. Mentre sulla superficie terrestre, abbiamo solo le briciole di questa ricchezza, che è invece abbondante nei nuclei planetari, compreso quello terrestre, migliaia di chilometri sotto i nostri piedi.

Si tratta quindi di un **nuovo Eldorado** di risorse da sfruttare sul lungo termine.

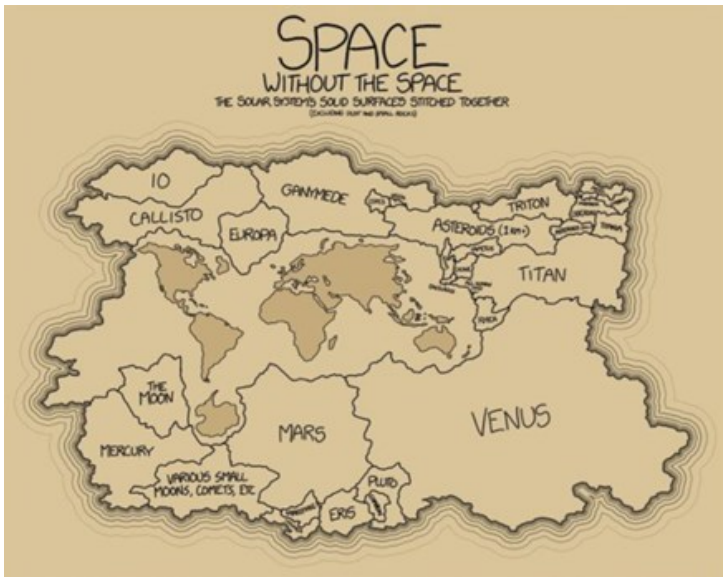
La corsa è gia' iniziata: varie missioni giapponesi e americane hanno avuto come meta diversi asteroidi, e alcune europee (la **Giotto** e la **Rosetta**) hanno invece puntato alle comete (**Halley e 67P Churyumov–Gerasimenko** rispettivamente).

Le sonde giapponesi sono la **Hayabusa-1** e **2**. La prima è stata poco fortunata, anche se il sistema autonomo di guida, appunto, ha tentato egregiamente di fare comunque il suo lavoro. Partita nel 2003, ha raggiunto nel Settembre 2005 l'asteroide *Near Earth* **Itokawa**, del gruppo Apollo.

La sonda Hayabusa-1, con gestione automatica autonoma, a causa dell'enorme distanza dalla Terra e dal relativo ritardo in secondi, affronta la discesa sull'asteroide Itokawa per toccarlo e prelevarne un campione. Ma le cose non vanno nel verso giusto, gli ingegneri giapponesi da Terra decidono di abortire la manovra, la sonda va in safe mode, si perdono i contatti, che verranno ristabiliti ore dopo.

Si scoprirà poi che la sonda è in effetti arrivata sulla superficie dell'asteroide, e ci è persino rimasta per trenta interi minuti! Ed è poi ripartita posizionandosi a 100Km di distanza in ***safe mode***, in attesa di ordini.

Il sistema di cattura di un campione non si è mai attivato, a causa del safe mode. Per una serie di altri rocamboleschi eventi, non si riuscirà ad effettuare un secondo tentativo, e la sonda sigillera' quei pochi granelli di polvere asteroidale raccolti per caso



Vista 2D della superficie dei corpi rocciosi del Sistema Solare (entro l'orbita di Nettuno)

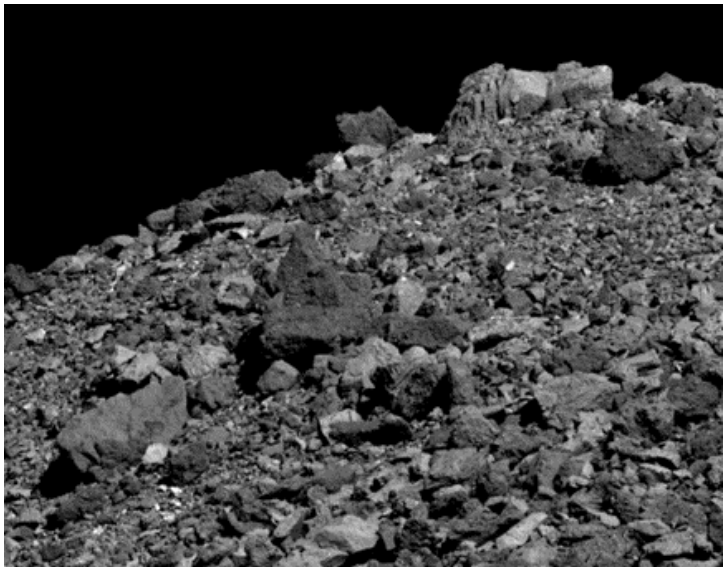
quando era sulla superficie, e farà ritorno a Terra.

Incoraggiati da questo parziale successo, i giapponesi ci riprovano con Hayabusa-2, che preleva due campioni di Ryugu nel Marzo 2018 e Luglio 2019, dopo averlo colpito con proiettili, per alzare polvere e detriti dalla superficie. I sostanziosi (stavolta) campioni tornano a Terra con successo nel Dicembre 2020.

Il prezioso carico di ritorno di Hayabusa-2, dall'asteroide Ryugu

Recentemente la sonda americana **DART** ha colpito **Dimorphos**, satellite dell'asteroide Didymos. Il tutto ripreso dalle camere automatiche **Leia** e **Luke** del microsatellite italiano **LiciaCube**.

E prima di lei la missione **Osiris Rex** è andata e tornata da poco (Settembre 2023) da **Bennu** con un enorme campione asteroidale, ora in analisi da parte degli scienziati, anche in Italia.



La superficie di Bennu

La missione Osiris Rex ha utilizzato AI per identificare la posizione migliore per raccogliere un campione dall'asteroide Bennu.

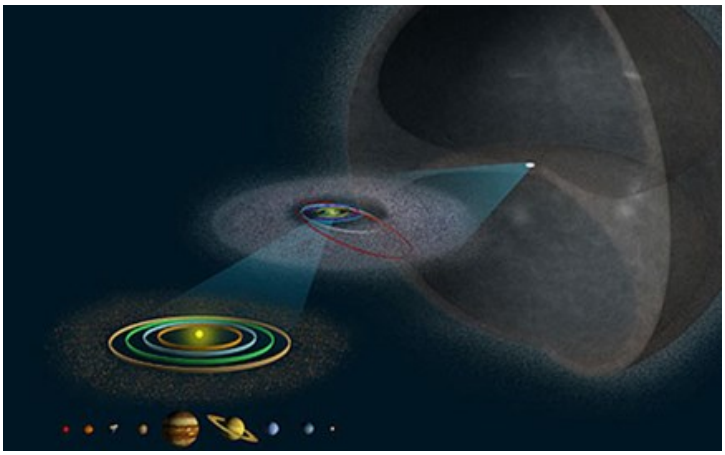
Il sistema di intelligenza artificiale della navicella spaziale ha analizzato le immagini della superficie dell'asteroide identificare il luogo più sicuro e scientificamente interessante per raccogliere il campione.

La sonda Osiris Rex di ritorno da Bennu

Ma non è finita qui...

Prima di queste missioni, con la **New Horizons**, sonda della NASA, abbiamo raggiunto e fotografato nel 2019 un corpo della lontanissima **Fascia di Kuiper**, dopo aver passato Plutone nel 2015. Si tratta di **Arrokoth** (inizialmente chiamato **Ultima Thule**).

Arrokoth fotografato dalla sonda americana New Horizons



La Fascia di Kuiper e la Nube di Oort

Ora abbiamo la sonda **Lucy** in viaggio verso i **Greci** e **Troiani** di Giove, dove arriverà nel 2027 e 2033 rispettivamente.

E nell'Ottobre scorso è partita la missione **Psyche** verso l'omonimo asteroide **16 Psyche** dove arriverà nel 2029. È un asteroide di Tipo M scoperto da **Annibale De Gasparis** nel 1852 (il numero 16 si riferisce al sedicesimo corpo asteroidale scoperto) ovvero composto in grande parte di metalli.

Psyche attualmente vale circa 10 quinitilioni $ (l'economia mondiale ora vale "solo" 110 trillioni $).

L'AI è usata in modo pervasivo in queste missioni e lo sara' ancora di piu' in quelle future.

Ad esempio, la navicella spaziale Psyche utilizza **Deep Space Optical Communications (DSOC)**, un sistema di comunicazione basato sull'intelligenza artificiale che trasmette dati dallo spazio profondo utilizzando un raggio laser. L'esperimento DSOC mira a dimostrare velocità di trasmissione dei dati da 10 a 100 volte superiori ai sistemi di radiofrequenza all'avanguardia utilizzati oggi dalle navicelle spaziali.

Per quanto riguarda l'uso di AI nella futura esplorazione del Sistema Solare e oltre, la **fantascienza** ha esplorato diversi scenari, molti distopici e alcuni positivistici.

Alcuni degli scenari si sono avverati, almeno in parte, altri per niente e altri ancora si avvereranno nel futuro.

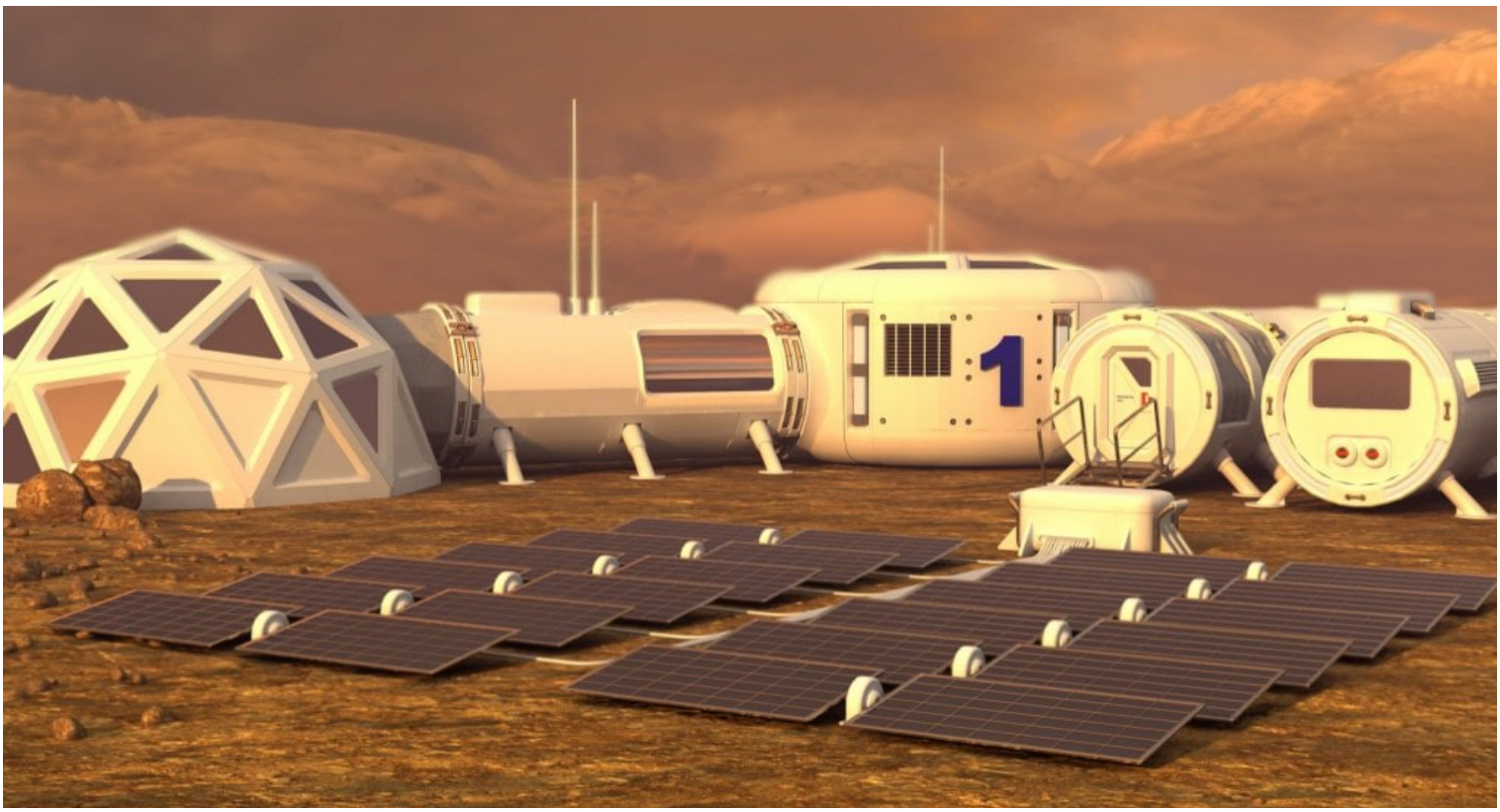
Ma questa è un'altra storia che preferisco coprire in uno dei prossimi numeri...

Bibliografia:

- https://vocal.media/history/the-enchantress-of-numbers-ada-lovelace-s-trailblazing-legacy
- https://www.nasa.gov/
- https://www.esa.int/
- https://www.jpl.nasa.gov/
- https://vividmaps.com/space-without-space-solar-systems-solid/

UNA COLONIA SU MARTE

di Luigi Borghi



Colonia Marziana (rendering) - Credit: https://www.focus.it/scienza/spazio/marte-colonie-fotovoltaico-meglio-nucleare

Abbiamo abbondantemente discusso su queste pagine di come andare e tornare da Marte, quali mezzi usare, quali razzi, motori e quali sono i rischi di un viaggio così lungo.

In questo articolo vorrei che ci mettessimo tutto questo alle spalle e provassimo a considerare l'idea di dover realizzare una vera e propria colonia permanente su Marte. Cosa significa esattamente "colonizzare" Marte, qual è la *road map* da seguire per ottenere questo obiettivo e perché.

Parlando di questo argomento con il pubblico in tante conferenze al Planetario o allievi dei corsi di astrofisica ed astronautica all'Università della Terza Età, ho accumulato una serie di domande, ricorrenti, a cui dovevo produrre e motivare delle risposte. Pertanto, ho scelto questo metodo per produrre questo articolo: mi faccio delle domande (quelle piu ricorrenti da parte del pubblico) e produco delle risposte, spero soddisfacenti. Dico "spero" perchè al contrario di una conferenza o di una lezione, qui non ho un feedback immediato, ma vi prego di utilizzare i nostri canali di comunicazione che trovate sul nostro sito ***www.ilcosmo.net*** per regalarmi le vostre osservazioni. Sarà un piacere per me cercare di rispondervi.

Partiamo con le domande.

1) Perché colonizzare un altro pianeta?

Per almeno tre ragioni:

A) Sviluppo scientifico e tecnologico: una missione umana su Marte richiederà di superare numerosi ostacoli e problemi, che stimolerà la ricerca e l'innovazione in vari campi, come l'ingegneria spaziale, la biologia, la medicina, la psicologia, la robotica, l'intelligenza artificiale e altri. Inoltre, Marte offrirà l'opportunità di studiare da vicino un altro mondo, con la sua geologia, clima, storia e potenziale biologico.

B) Sopravvivenza e diversificazione: una colonia su Marte sarà un modo di garantire la continuità della specie umana in caso di catastrofi globali che potrebbero minacciare la vita sulla Terra, come

guerre nucleari, **impatti asteroidali**, **pandemie, cambiamenti climatici** e altro. Inoltre, una colonia su Marte sarà un'occasione per **creare una nuova società,** con le sue regole, valori, culture e tradizioni, che potrebbe **arricchire e diversificare il patrimonio umano.**

C) Sfida e avventura: una colonia su Marte sarà anche una delle imprese più audaci e avvincenti mai tentate dall'uomo, che richiederà coraggio, determinazione, creatività e spirito di squadra. Una colonia su Marte sarà il luogo ideale per coloro che cercano di superare i propri limiti, di esplorare l'ignoto, di vivere esperienze uniche e di contribuire a un progetto storico e trascendente .

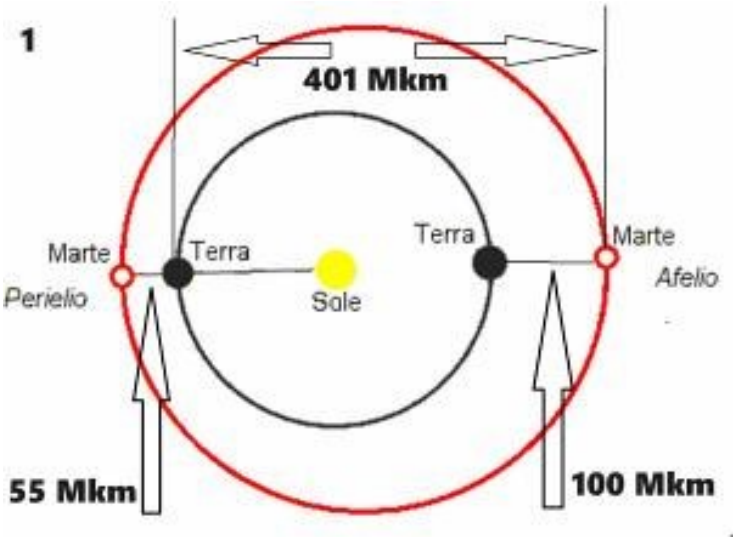


Figura 1

2) Perché scegliere Marte?

A. **Perché è relativamente vicino** (fig.1). Le distanze cambiano in base all'orbita reciproca.

B. **Ha un ciclo giorno / notte simile alla terra** di 24 h 37 min 23 s .

C. **Ha un anno lungo il doppio** di quello terrestre (1,88 anni terrestri) ed ha l'asse inclinato (25°) simile alla Terra, quindi ha le stagioni.

D. **Ha una debolissima atmosfera** che aiuta a mitigare la differenza tra sole e ombra, oltre che a garantire un minimo di protezione da micrometeoriti.

E. **C'è acqua liquida nel sottosuolo** e ghiacciata ai poli, utile per alimentare le colonie. Ha infatti una superficie solida e plasmata dall'antica presenza di mari e fiumi. (Fig.2)

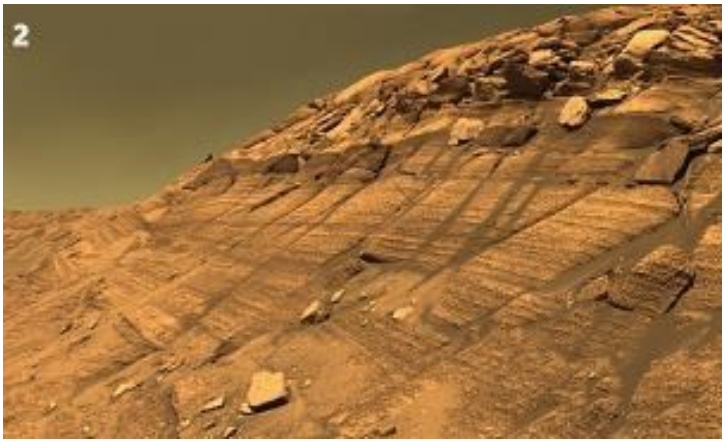


Figura 2 (credit Wikipedia)

F. **Ha una gravità di un terzo** rispetto alla Terra ma utile per camminare, costruire, lavorare e vivere.

G. **Potrebbe essere la via di fuga** in un futuro non molto lontano per l'umanità, in caso di catastrofi naturali o antropologiche.

3) Qual è la «road map» da seguire per arrivare a vivere su Marte?

È molto complessa:

A. Selezione dei coloni. È un processo cruciale che deve tenere conto di diversi fattori tra cui: competenze, salute, personalità e, soprattutto, motivazione! È una selezione che richiederà molto tempo ed allenamento.

I coloni devono saper svolgere compiti scientifici, tecnici, medici e di manutenzione.

Devono adattarsi ad un ambiente ostile, isolato e a bassa gravità.

Devono essere disposti a vivere in una comunità ristretta e multiculturale, condividendo risorse limitate e affrontando sfide psicologiche e sociali… **per sempre!**

Devono avere un alto livello di istruzione, esperienza in missioni spaziali o ambienti estremi, buone capacità di comunicazione e *problem-solving* e una forte passione per l'esplorazione.

E' altamente improbabile una «rotazione» dei coloni su Marte per diversi motivi:

- Un tecnico specializzato o uno scienziato può essere indispensabile per un intervento di un paio di anni, quindi è giustificato il suo costoso rientro ed il conseguente periodo di riabilitazione.
- Un colono che passa diversi anni su Marte ne risulterà pesantemente condizionato e dovrebbe sottoporsi ad un costoso e lungo periodo di riabilitazione senza garanzia di ritrovarsi poi nella forma fisica pre-partenza.
- I viaggi costeranno parecchio quindi si privilegeranno coloro che intendono restare.
- La vita su Marte «trasforma» il colono.

B. Trovare i mezzi adatti per andarci. Questo argomento, pur essendo essenziale per poter realizzare una colonia e per garantire eventuali canali di emergenza e rifornimento strategico, l'abbiamo già ampiamente trattato su questa rivista. È in effetti una delle sfide da affrontare e, ad oggi, direi che la soluzione per affrontare viaggi relativamente brevi Terra—Marte non può che essere quella dei razzi a propulsione nucleare (**Nuclear Thermal Rocket**, **NTR**, o **Nuclear Thermal Propulsion**, **NTP**, o **Nuclear Electric Propulsion**, **NEP**.

Figura 3 immagine artistica di una astronave a propulsione NTP, con equipaggio (Credit NASA)

Razzi che saranno operativi dall'orbita terrestre bassa (LEO) o dall'orbita lunare da Gateway, fino all'orbita marziana. Da Terra alla LEO si utilizzeranno ancora razzi chimici come chimici saranno anche quelli dall'orbita marziana al suolo di Marte.

C) Sarà possibile la riproduzione umana su Marte? La NASA sta attualmente studiando la possibilità di riproduzione umana nello spazio, ma ci sono molte sfide tecniche e scientifiche che devono essere superate per rendere la riproduzione umana nello spazio una realtà. Ad esempio, la microgravità e l'esposizione alle radiazioni. Inoltre, non ci sono ancora studi sufficienti per determinare gli effetti a lungo termine dell'esposizione allo spazio sulla salute riproduttiva umana.

Ma una cosa è certa: se non sarà possibile la riproduzione su Marte non ci potrà mai essere nessuna colonizzazione.

Egbert Edelbroek, è un imprenditore olandese, CEO di *SpaceBorn United*, una startup biotech che si dedica allo studio della riproduzione umana nello spazio. **L'obiettivo di Edelbroek è di condurre esperimenti di fecondazione in vitro (FIV) nello spazio, in microgravità, al fine di comprendere meglio l'effetto delle condizioni spaziali sulla riproduzione umana** e di contribuire alla futura colonizzazione dello spazio. Marte è in condizioni decisamente migliori rispetto allo spazio vuoto, se non altro per il fatto che una gravità c'è. Ma è evidente che l'esplorazione dello spazio, **oltre l'orbita di Marte, richiederà tempi di transito talmente elevati che non è esclusa la necessità di procreare anche durante il viaggio**.

La mancanza di ricerca sulla riproduzione umana nello spazio è evidenziata da un rapporto delle *National Academies of Science, Engineering e Medicine* degli Stati Uniti, pubblicato a settembre. Questo rapporto sottolinea l'importanza di comprendere come la riproduzione sia influenzata dallo spazio. Fino a oggi, gli studi sugli animali hanno dato risultati misti, con alcune evidenze di potenziali complicazioni durante la gravidanza e il parto nello spazio.

SpaceBorn United sta sviluppando un mini-laboratorio che può essere inviato nello spazio e utilizzato per esperimenti di FIV in microgravità. Il laboratorio è in grado di replicare l'ambiente gravitazionale della Terra, della Luna e di Marte.

Dopo la fecondazione in vitro, gli embrioni risultanti saranno congelati criogenicamente per il ritorno sulla Terra. Tuttavia, prima di condurre esperimenti con embrioni umani, l'azienda deve dimostrare che il dispositivo funzioni nello spazio.

L'obiettivo a lungo termine di SpaceBorn United è quello di studiare la possibilità di insediamenti spaziali multigenerazionali, indispensabili in un futuro non lontano dove si voglia andare oltre il sistema solare.

Tuttavia, ci sono preoccupazioni etiche riguardo agli esperimenti di FIV nello spazio, in particolare quelli con embrioni umani. Questo solleva la necessità di linee guida etiche più rigorose per la ricerca spaziale commerciale.

La sicurezza degli embrioni durante il ritorno sulla Terra è un altro problema importante da risolvere.

SpaceBorn United vede la sua ricerca come una parte importante dell'esplorazione spaziale e sostiene che spingere i limiti sia cruciale per l'umanità. Il futuro dell'esplorazione spaziale e della riproduzione nello spazio rimane una sfida complessa, ma queste ricerche rappresentano un passo avanti nel nostro tentativo di capire e conquistare nuovi orizzonti nello spazio.

Link: https://www.spacebornunited.com/

A questo punto diventa spontaneo chiedersi:

D. È possibile fare sesso nello spazio? Un team di cinque accademici canadesi ha presentato una proposta per un nuovo campo di studi sul sesso spaziale, pubblicata su *The Journal of Sex Research*.

Gli accademici della Concordia University di Montreal hanno infatti spiegato che capire il sesso e come potrebbe funzionare la riproduzione umana in un ambiente a bassa gravità, è essenziale per il successo delle missioni nello spazio profondo e per la costruzione di insediamenti umani al di fuori del nostro Pianeta.

Al momento non esistono progetti concreti per esplorare l'argomento della riproduzione umana al di fuori del nostro pianeta ed in condizioni diverse da quella della Terra.

Un portavoce della NASA ha affermato che al momento vi sono stati solo alcuni studi sulla scienza di base della fisiologia riproduttiva in diverse specie sulla ISS. Sono stati infatti realizzati studi sui **moscerini della frutta, sui vermi, le lumache, le meduse, alcuni pesci, le rane, su uova di gallina e roditori**, inclusi alcuni studi sullo sperma di toro e quello umano.

Ma al momento però i dati raccolti tramite questi studi sono scarsi, spesso contrastanti e non forniscono informazioni sufficienti per dire definitivamente se i processi fisiologici e riproduttivi umani potrebbero effettivamente avere luogo, ed in modo sicuro, nello spazio.

Maria Santaguida, coautrice di una proposta per lo "studio del sesso spaziale", afferma che al momento non è chiaro se sarebbe possibile per gli esseri umani accoppiarsi nello spazio perché si possono presentare diverse difficoltà tecniche (azione e reazione, Fig.4), psicologiche e di circolazione sanguigna (difficoltà tipicamente maschile).

Figura 3: immagine generata da AI legata alla necessita di punti di reazione.

E. Quanto deve essere ampia la comunità di coloni per garantire autosufficienza?

Viene spontaneo pensare a migliaia di persone o

almeno qualche centinaio. L'autonomia di una società moderna in un ambito così ostile come Marte richiede tante specializzazioni, tanta ridondanza di personale, oltre che un minino per garantire la riproduzione ed il mantenimento della specie. Ma sembra che questo "minimo" sia molto più basso del previsto: per mantenere una presenza umana autosufficiente **sul Pianeta Rosso fino a quasi tre decenni, bastano 22 coloni iniziali**. A confermarlo è una ricerca condotta dalla George **Mason University** di Fairfax, in Virginia. Questo riscontro è stato ottenuto grazie a simulazioni al computer che hanno indagato le condizioni necessarie per mantenere in modo stabile un futuro avamposto su Marte. Lo studio, ancora in fase di pubblicazione, ha individuato, oltre al numero minimo della popolazione, anche la **personalità più adatta per gli astronauti** che dovranno superare, collettivamente, la sfida della prima permanenza a lungo termine sul Pianeta Rosso. La migliore opzione, secondo gli autori, è che questi siano **individui con il più basso grado di competitività, non aggressivi e non bloccati da routine rigorose**.

Il team di ricercatori si è affidato alle simulazioni al computer chiamate **Agent-Based Modeling (ABM)**. Un approccio di indagine utilizzato per studiare le interazioni sociali partendo dalle azioni degli individui, quindi come i diversi soggetti si comportano con altre persone in specifici ambienti. La ricerca ha incluso anche i dati ottenuti dagli studi su gruppi di persone analizzati in **situazioni remote e ad alto stress**: tra questi non solo ambienti dello spazio, come la Stazione Spaziale Internazionale (ISS), ma altri luoghi estremi quali sottomarini o condizioni complesse tra cui le spedizioni nell'**Artico** o **ambienti di guerra**.

Variando il numero di popolazione della colonia da 10 fino a 170 individui, le simulazioni hanno indagato **4 profili psicologici diversi** etichettati come **gradevole**, **socievole**, **reattivo** e **nevrotico**.

Questi si distinguono partendo, nel caso di un soggetto gradevole, da un basso grado di competitività, una grande capacità di adattamento e l'assenza di routine rigorose, fino ad arrivare, nel caso del **soggetto nevrotico**, a una personalità competitiva e aggressiva con poca predisposizione al cambiamento.

Dall'analisi, **il profilo gradevole è emerso come l'identikit migliore** affinché, in una popolazione di coloni, stabilita di almeno 22 persone, il team possa ottimizzare le proprie capacità sia nelle operazioni ordinarie, come l'estrazione di risorse fondamentali, sia nel superare eventi radicali, quali incidenti o ritardi delle navette per i rifornimenti terrestri o ipotetici disastri dell'habitat.

«*Lo stress causato dagli incidenti e dall'interazione*

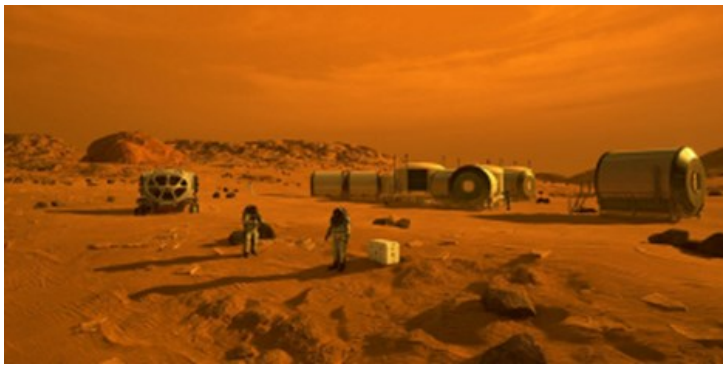


Figura 5: illustrazione di una colonia marziana. Credit: Nasa .

con gli altri coloni ha un costo, e i tipi di personalità gradevoli sono stati valutati come i più resistenti a lungo termine, mentre i nevrotici hanno mostrato una minore capacità di adattamento», sostengono gli autori nell'articolo.

Link:

https://www.globalscience.it/45515/basteranno-22-persone-per-il-primo-insediamento-stabile-su-marte/#:~:text=A%20confermarlo%20%C3%A8%20una%20ricerca,fino%20a%20quasi%20tre%20decenni

F. Occorre inventare un modello di gestione della società.

La gestione della società è un aspetto altrettanto importante che riguarda le norme, i valori, le relazioni e le decisioni che regolano la vita dei coloni.

La Convenzione delle Nazioni Unite sul diritto dello spazio esterno del 1967 stabilisce che lo spazio esterno e i corpi celesti non possono essere oggetto di appropriazione nazionale e che gli stati sono re-

sponsabili delle attività svolte dalle loro agenzie spaziali.

La NASA ha pubblicato principi guida per la colonizzazione di Marte, che include la protezione dell'ambiente marziano, la prevenzione della contaminazione biologica e la promozione della cooperazione internazionale.

La società marziana deve essere basata su principi di democrazia, uguaglianza, solidarietà e rispetto per la diversità culturale.

I coloni devono avere diritti e doveri chiari e condivisi, come la partecipazione alle attività comuni, il rispetto delle regole di convivenza, la protezione dell'ambiente marziano e la collaborazione con le altre nazioni o organizzazioni coinvolte nella colonizzazione.

Figura 6: : rappresentazione artistica di un colono che dipinge (realizzato da AI)

Inoltre, i coloni devono avere opportunità di espressione artistica (Fig.6), culturale e spirituale, nonché accesso a servizi educativi, sanitari e ricreativi.

Infine, i coloni devono essere in grado di affrontare i conflitti, le emergenze e le crisi che potrebbero insorgere in modo pacifico e democratico.

Come potrebbe avvenire lo scambio di beni tra i coloni?

Figura 7: : Bancomat su Marte?
Rappresentazione artistica realizzata da AI

L'uso di contanti potrebbe non essere pratico in un ambiente in cui le risorse sono limitate e il riciclaggio è essenziale per la sopravvivenza. Sarà più conveniente utilizzare un sistema di pagamento digitale o basato sul credito. (Fig.7)

Non abbiamo esempi concreti qui sulla Terra di tale necessità. Gli astronauti sulla ISS non hanno certo bisogno di "pagare" i servizi offerti a bordo ed il loro stipendio è usufruibile solo sulla Terra. Un sistema di pagamento digitale potrebbe avere numerosi vantaggi in un ambiente come Marte. Ad esempio, potrebbe ridurre la necessità di stampare, trasportare e conservare denaro fisico, il che potrebbe essere particolarmente utile in un ambiente con risorse limitate. Inoltre, i pagamenti digitali possono essere più rapidi, più efficienti e più sicuri rispetto ai pagamenti in contanti.

4) Sono già in corso allenamenti e test sulla Terra di come vivere su Marte?

Sì, sono operativi diversi esperimenti in ambienti simulati dove alcune persone vivono senza contatti con l'esterno, in ambienti molto simili a ciò che sarà

una colonia su Marte.

Tutto, tranne la gravità, sarà emulato incluso l'isolamento, la reazione su richiesta di aiuto, le comunicazioni ritardate come se avvenissero da Marte. I più noti sono:

Project Sirius (Russian Academy of Sciences): 17 simulazioni di vita su Marte. Diversi gruppi sono stati costretti a vivere in isolamento, per un periodo di 120 giorni. Quasi tutti i gruppi con il tempo hanno sviluppato un indole "ribelle", riducendo le comunicazioni al minimo.

AMADEE-20 (Austrian Space Forum in Israele): 6 astronauti hanno vissuto per un mese nel cratere Ramon in Israele, cercando di risolvere tutti quei problemi che potrebbero sorgere a dei futuri (e veri) coloni del Pianeta Rosso. https://oewf.org/en/amadee-20/

CHAPEA (NASA Crew Health and Performance Exploration Analog): 4 volontari rinchiusi in un habitat marziano simulato, da cui non emergeranno per oltre un anno. Obiettivo? Conoscere meglio la logistica, la psicologia umana. È la prima di tre simulazioni pianificate da qui al 2026. CHAPEA ha sede presso il Johnson Space Center della NASA a Houston, in Texas. Spazio abitativo stampato in 3D di 1700 piedi quadrati (circa 158 mq).

5) Quali sono i problemi fisici a cui vanno incontro i coloni?

Gli astronauti sperimentano la microgravità, una maggiore esposizione alle radiazioni e schemi di sonno alterati che possono indurre cambiamenti fisiologici ed influire sulla lunghezza dei **telomeri** e sulla salute generale delle cellule. Un viaggio andata e ritorno esporrebbe l'equipaggio a 600 millisievert.

Un soggiorno medio di 18 mesi altri 400-600 millisievert. Totale: 1,2 sievert.

Da 1 sievert in poi, si innesca un processo di cancerogenesi in una persona su venti.

I telomeri (Fig.8) sono strutture proteiche protettive che ricoprono le estremità dei cromosomi.

Ruolo principale: prevenire la degradazione cromosomica.

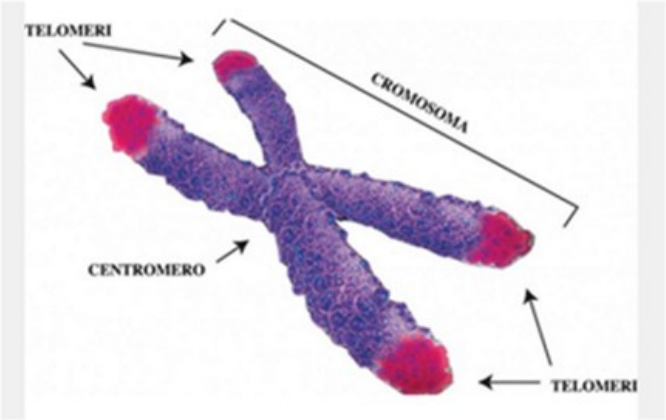


Figura 8: : telomeri su cromosomi umani.

6) Quali sono i rimedi?

Tutti i rimedi sono tesi a mitigare l'effetto delle radiazioni o a ridurne le conseguenze, ma sarà comunque il problema fondamentale dei coloni.

Le strategie sono sostanzialmente 4:

1. **Strategie mediche e dietetiche.**
2. **Schermature attive e passive mobili.**
3. **Rifugi antiradiazioni. Habitat e veicoli marziani.** (Fig.9)
4. **Sistemi di supporto vitale:** La Boeing ha progettato sistemi di supporto vitale che includono schermature contro le radiazioni cosmiche galattiche.

Figura 9: Semoventi climatizzati e base provvisoria (credit NASA)

7) Cosa serve su Marte prima di inviare umani?

A) Occorre avere la conferma della posizione delle risorse idriche da cui estrarre acqua dal suolo, dall'atmosfera (Fig.10) e dai ghiacci polari. Indagine che puo essere effettuata con missioni robotiche. I coloni al loro arrivo devono trovarsi queste incognite già risolte.

B) identificare gli eventuali pericoli legati al territorio occupato legati a fenomeni sismici, consistenza e conformazione del suolo.

C) Installare e rendere operative delle infrastrutture iniziali necessarie alla vita (habitat, attrezzature, collegamenti, serre per produrre cibo (Fig. 11).

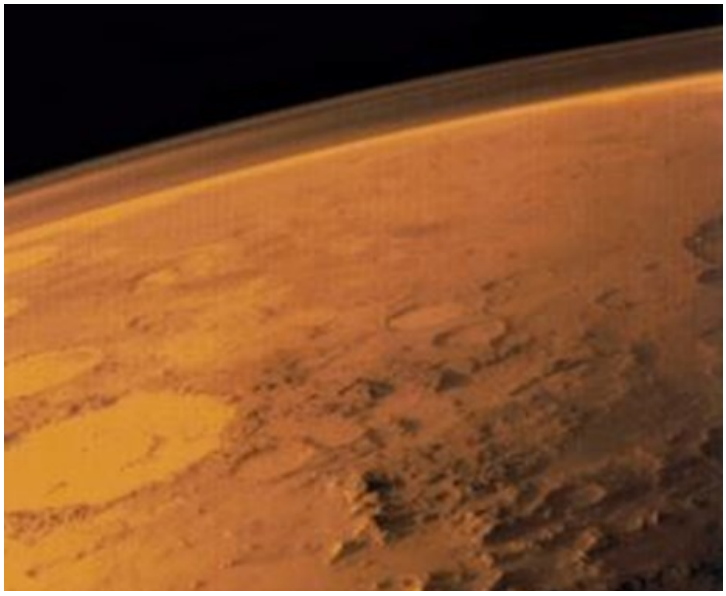


Figura 10: Atmosfera marziano (credit: NASA)

Figura 11: Serra per la produzione di cibo e laboratorio per carne coltivata (in basso a destra)

D) alimentazione energetica (pannelli solari e SMR nucleari). Essenzialmente serve calore (per le serre e per gli habitat) ed energia elettrica per tutto il resto, cioè: **alimentazione attrezzature, produzione di acqua, di cibo, di metano, di ossigeno, comunicazioni e carica batteria per i mezzi su ruote.**

La implementazione di pannelli solari aiuterà in parte e potrebbe essere una soluzione di backup (l'irradiazione solare su Marte è meno della metà che sulla Terra), ma quasi certamente saranno i generatori a fissione nucleare modulari (SMR) a risolvere il problema, perché sono in grado di fornire con il loro funzionamento sia una grande quantità di calore (il raffreddamento del nocciolo) che può essere direttamente utilizzato, con opportuni scambiatori, per riscaldare serre e habitat, sia l'energia elettrica necessaria in qualsiasi condizione esterna (h24; 7giorni su 7) (fig.12).

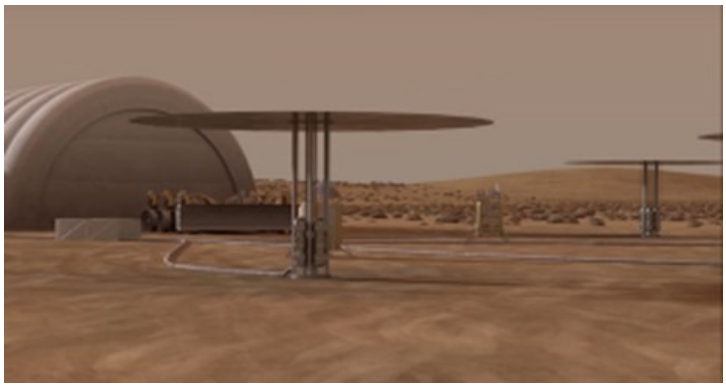


Figura 12: Immagine futurista del network di reattori Kilopower che garantirebbero l'alimentazione di una postazione su Marte. (credit: NASA)

La NASA ha già sperimentato con successo generatori di questo tipo, tra questi il **Kilopower Reactor Using Stirling Technology (KRUSTY)** nel marzo 2018. Sono moduli da 10 kW elettrici ed altrettanti termici.

E) estrazione mineraria. La priorità andrà alla estrazione di tutti quei minerali necessari alla sopravvivenza della colonia quindi: minerali che serviranno per costruire strutture attraverso la stampa 3D, altri da cui estrarre ossigeno, acqua e metano, elementi indispensabili per vivere ed alimentare i razzi ed i sistemi di trasporto. Infine, anche quei

matalli che potranno servire per le infrastrutture ed i pezzi di ricambio, quindi ferro, alluminio, terre rare, rame, silicio. La logica è semplice: tutto ciò che si troverà sulla superficie di Marte o poco sotto la superficie, **non si deve portare da Terra!**

F) costruire un deposito di propellenti. Tutto il processo di produzione e stoccaggio di metano e ossigeno dovrà essere reso operativo prima della istaurazione di una colonia permanente. Quindi, attraverso missioni mirate con astronauti e con sistemi automatici tutto questo dovrà essere reso efficiente e sicuro, perché sarà l'unico modo per garantire il carburante per eventuale ritorno sulla terra di tecnici o scienziati non residenti.

G) produzione di aria respirabile tramite l'elettrolisi dell'acqua o la reazione di Sabatier:

$$\mathbf{CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O}$$

I generatori di ossigeno a bordo della ISS producono ossigeno dall'acqua utilizzando l'elettrolisi; l'idrogeno prodotto veniva precedentemente scartato nello spazio. Man mano che gli astronauti consumano ossigeno viene prodotta **anidride carbonica**, che deve poi essere rimossa dall'aria e anch'essa scartata. Questo approccio richiedeva il trasporto regolare di abbondanti quantità di acqua alla stazione spaziale per la generazione di ossigeno oltre a quella utilizzata per il consumo umano, l'igiene e altri usi: un lusso che non sarà disponibile per le future missioni di lunga durata o su una colonia marziana. .

La NASA sta utilizzando la reazione Sabatier per recuperare l'acqua dall'anidride carbonica espirata e dall'idrogeno precedentemente scartato dall'elettrolisi sulla Stazione Spaziale Internazionale e possibilmente per missioni future. L'altra sostanza chimica risultante, il metano (che sulla ISS viene rilasciata nello spazio) su Marte potrà essere immagazzinato come combustibile per i razzi. Il nuovo motore della SpaceX (**Raptor 2**) che spinge la Starship destinata appunto alla esplorazione di Marte, funzionano a ossigeno e metano.

Vi è poi un altro modo di produrre ossigeno, dalla atmosfera marziana già sperimentato dalla NASA (Fig. 13)

Figura 13: Il Mars Oxygen Experiment (MOXIE) che ora si trova su Perseverance. Foto: NASA (Credit: NASA)

Lo strumento MOXIE montato sul rover Perseverance operativo su Marte insieme al piccolo elicottero Ingenuity, ha dimensioni ridotte, di 30 centimetri circa, e ha prodotto ossigeno per un test di 2 ore a un ritmo di 10 grammi all'ora usando una potenza di 300 W. La produzione avviene direttamente dall'anidride carbonica dell'atmosfera di Marte, per elettrolisi, alla temperatura di 800 °C e alla pressione di un'atmosfera. L'ossigeno prodotto da MOXIE viene ora analizzato per verificarne la purezza e poi espulso. Ovviamente su Marte verrà immagazzinato per poi essere "consumato" dai coloni. Un adulto consuma con il respiro circa 11 g di aria al minuto (8 litri) di cui solo il 20% è ossigeno. Pertanto, è evidente che un MOXIE, da solo, non sarebbe in grado di generare ossigeno a sufficienza neanche per un solo colono, ma il fattore chiave è l'energia a disposizione per attivare questi processi di conversione perché la materia prima, atmosfera marziana e anidride carbonica, ci sono in abbondanza.

Lo sviluppo dell'infrastruttura è un elemento fondamentale per garantire la sopravvivenza e il benessere dei coloni. L'infrastruttura deve fornire e garantire energia, acqua, aria, cibo, protezione dalle radiazioni e dal clima marziano, possibilità di trasporto, rifornimento e comunicazione con la Terra.

H) sistemi di comunicazione affidabili e veloci.

Tutte le comunicazioni a grande distanza (e non solo) oggi avvengono utilizzando fotoni, cioè onde elettromagnetiche, siano esse nello spettro delle

onde radio che in quello luminoso ed ultravioletto. Qualunque sia lo spettro, la velocità di propagazione della portante è sempre la stessa, cioè la velocità della luce "c", che vale poco meno di 300 milioni di metri al secondo. Quindi quando si parla di velocità di comunicazione non ci si riferisce a quella di propagazione del mezzo, detta anche "portante", cioè la forza elettromagnetica, ma alla velocità di modulazione dei dati su quella portante (baud-rate). Mentre qui sulla terra siamo abituati a trasferire dati con internet a baud-rate di Gb al secondo, quando la distanza si allunga di parecchio ecco che l'attenuazione della portante è tale che la modulazione del messaggio si confonde con quella inevitabile del disturbo (*noise*). Un disturbo elettromagnetico che, nello spettro radio, è intensissimo in tutto l'universo. Anche nello spettro della luce i disturbi sono parecchi ma utilizzando come portante un fascio LASER si riesce ad ottenere una direzionalità molto stretta quindi chi riceve ha avrà un segnale con scarsissima presenza di noise a vantaggio di un notevole incremento del baud-rate. Ecco perché da Terra a Marte e viceversa per trasmettere tv streaming è necessari alla comunicazione LASER.

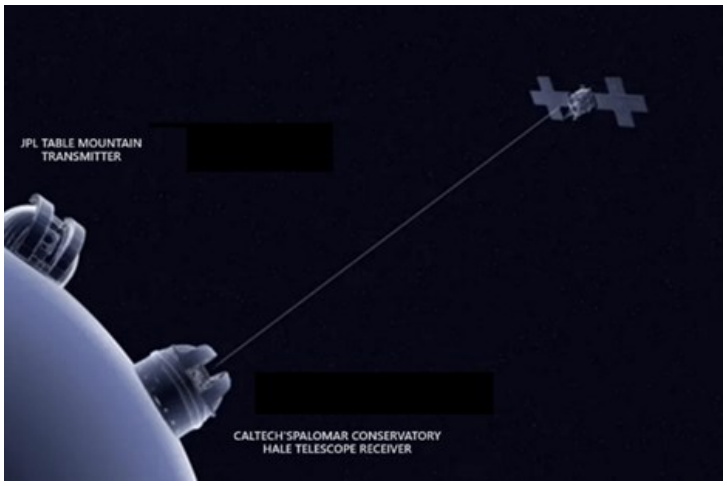


Figura 14: Il 23 novembre 2023 la NASA ha ricevuto a terra un segnale inviato da 16 milioni di km.

Primo test di comunicazione laser nello spazio profondo condotto dalla Nasa nell'ambito dell'esperimento **Deep Space Optical Communications** (**DSOC**). (Fig.14).

La comunicazione si è stabilita tra un ricetrasmettitore LASER a bordo della missione Psyche lanciata a ottobre e diretta verso un asteroide metallico e l'osservatorio di Monte Palomar.

il ricetrasmettitore laser di volo (uno strumento LASER che opera nel vicino infrarosso) si è agganciato a un potente collegamento laser trasmesso dalla struttura del Table Mountain del Jpl in California. Questo uplink ha aiutato il ricetrasmettitore a puntare il suo laser di downlink verso l'Osservatorio di Palomar (che si trova 130 chilometri a sud di Table Mountain). I dati dei test sono stati inviati simultaneamente tramite i laser di uplink e downlink come chiusura del collegamento. Il file video trasmesso da Psyche (un gatto che gioca) era stato precaricato sula sonda prima della partenza.

La comunicazione tra i coloni e la terra sarà in questo modo molto più veloce.

Faccio un esempio: la latenza (cioè il tempo di volo) di una comunicazione LASER sarà identica a quella di un sistema radio tradizionale. Quindi se Marte si trova a 10 minuti luce dalla Terra tra una domanda ed una risposta serviranno sempre 20 minuti. Ma se un messaggio contiene un video ecco che nello spettro delle onde radio sarei costretto a trasmettere il video con un baud-rate talmente basso da richiedere minuti o anche ore per trasmetterlo tutto (e altrettanti per vederlo). Con il sistema LASER la latenza del video rimane sempre di 20 minuti. Lo si può capire considerando per esempio che la sonda New Horizons, che usa onde radio per comunicare, ha impiegato oltre un anno dopo aver superato Plutone per inviare a terra i dati fotografici.

9) Come saranno costruiti gli habitat della colonia?

Con tutti i pericoli, le difficoltà, l'isolamento che rappresenta il vivere su Marte sembrerebbe difficile trovare dei coloni volontari. Eppure, sono molti disposti a fare il viaggio e diventare la prima generazione di "*marziani*". Parte del fascino deriva dalla sfida che si presenta su un nuovo pianeta, in particolare il duro lavoro richiesto per creare ambienti vivibili.

In effetti, sul breve termine, sembrano esserci molte possibilità per far funzionare la vita su Marte.

Chiunque scelga di viverci sarà costretto ad appoggiarsi notevolmente alla tecnologia e dovrà essere il più autosufficiente possibile. Ciò significa che anche i materiali da costruzione, oltre al cibo, l'acqua, l'aria, l'energia, il combustibile per i razzi e tutte le necessità della vita, dovranno essere prodotti localmente o ciò che è noto come **utilizzo delle risorse locali** (In Situ Resource Utilization ISRU).

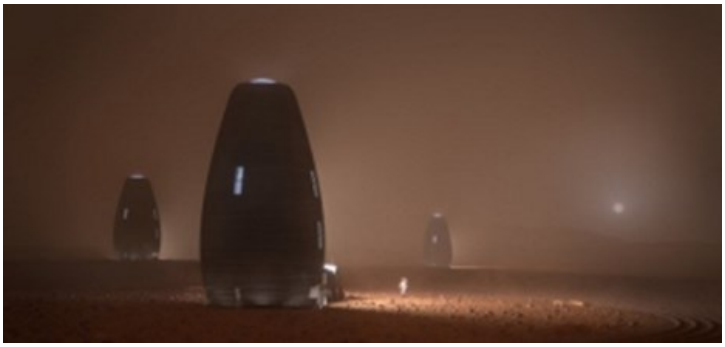


Figure 15 e 16: stampa 3D (in alto) e rendering su Marte di un habitat finito realizzato con modalità ISRU.

Il **3D-Printed Habitat Challenge**, è ospitato dal programma *Centennial Challenges* della NASA.

Negli ultimi anni, la NASA ha sponsorizzato un concorso di design destinato a stimolare idee innovative su come utilizzare le risorse locali per costruire insediamenti su Marte.

Per la sfida, iniziata nel 2015, a più team è stato affidato il compito di utilizzare i recenti progressi nella stampa 3D, la robotica, il software di modellazione e lo sviluppo dei materiali per **progettare e costruire strutture su larga scala utilizzando materiali riciclabili e/o materiali reperibili su Marte**.

Le proposte vanno dalle strutture stampate con la regolite a quelle con il ghiaccio, che offrirebbero una protezione naturale contro gli elementi e le radiazioni.

I Lava tube. Altre proposte prevedono l'utilizzo dei tunnel di lava stabili (Fig.17)

Figura 17: un tunnel lavico (Lava tube) terrestre (Hawaii)

Sono gallerie, generate da primordiali colate laviche sia sulla Marte che su Luna e Terra, che scorrono sotto la superficie e che offrirebbero una straordinaria protezione snaturale sia alle radiazioni che ai micrometeoriti. Fondamentalmente, se la superficie è esposta a livelli pericolosi di radiazioni, allora gli habitat dovrebbero essere costruiti sottoterra. (fig.18).

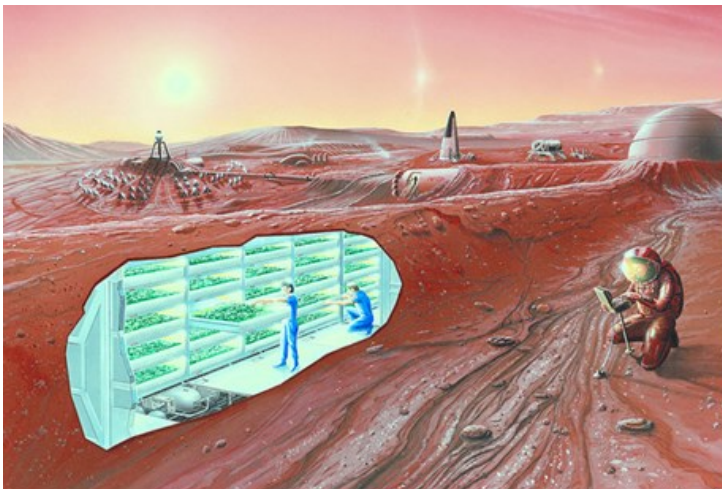


Figura 18: un habitat (in questo caso una serra) costruito in superficie ma simile a ciò che sarebbe all'interno di Lava tube)

Sono strutture presenti anche sulla Terra (fig. 17) e sulla Luna.

Gli sforzi per sviluppare questa idea prevedono di individuare dei Lava tube con ingressi che facilitino l'accesso. Ad esempio, come in figura 19, dove un crollo della struttura (il tetto della galleria) ha creato un piano inclinato di accesso che faciliterebbe lo sviluppo della colonia.

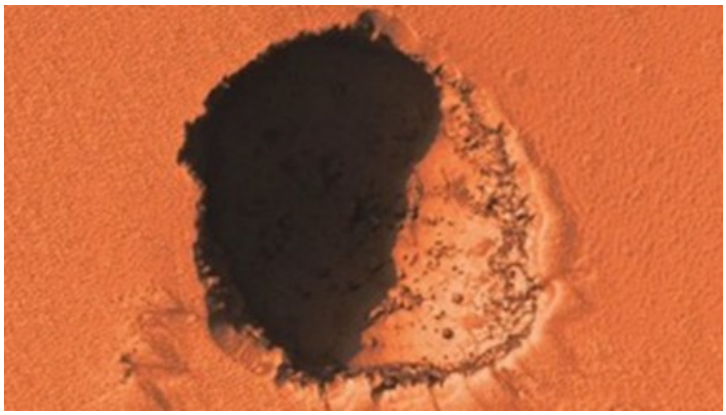


Figura 19: "Lava tube" fotografato su Marte (Credit: NASA)

Poi si tratterà di capire se tutto il Lava tube è pressurizzabile, il che renderebbe molto più spazioso l'habitat, o se tale ambiente è utilizzabile solo per la protezione a radiazioni e micrometeoriti quindi utilizzabile solo per costruirvi internamente habitat pressurizzati stampati in 3D, ma al solo scopo di resistere alla pressurizzazione e non a micrometeoriti.

Fonti:

Hawai'i Space Exploration Analog and Simulation finanziato dalla NASA (Hi-SEAS).

https://www.nasa.gov/mission/in-situ-resource-utilization-isru/

https://youtu.be/-HT_MhzYkus

https://youtu.be/pNpvKfbuK3Q

10) come sarà garantito il sistema di trasporto da e per la Terra?

Nonostante la missione della colonia preveda il **non ritorno** sulla Terra, un sistema di trasporto efficace con il pianeta di origine è indispensabile per garantire l'approvvigionamento di tutto ciò che, almeno nei primi decenni, comunque mancherà o sarà irrealizzabile su Marte, oltre che ad un flusso di nuovi coloni.

Pertanto, occorre che prima di istaurare una colonia stabile, vi sia questo "servizio" attivo, sicuro ed economicamente accessibile.

Per ora posso citare in merito solo il piano della SpaceX. Il "visionario" Elon Musk ha ben chiaro ciò che vuole.

Magari è un tantino ottimista sulle tempistiche ma di certo prima o poi l'obiettivo lo raggiungerà, con lo sviluppo del:

Interplanetary Transport System o ITS

Gli esperimenti che sta facendo con il super heavy e la Starship sono l'anticamera di questo sistema di trasporto che mira a portare avanti e indietro da Marte 100 tonnellate di carico utile che può essere misto tra passeggeri e attrezzature. (Fig. 20).

I nuovi motori Raptor alimenteranno il cosiddetto "Starship" che rappresenta il vettore dell'**ITS** insieme al booster "super heavy". ITS avrà bisogno di una spinta di 13.000 tonnellate alla partenza e quindi un totale di 40 razzi Raptor per arrivare in orbita a gravità zero. Una volta in orbita la ITS riceverà un rifornimento di carburante (Fig.20) con il quale inizierà il percorso verso Marte, aiutato infine da un gruppo di pannelli solari che genereranno 200kW di potenza fino all'approdo sul Pianeta Rosso. (Fig. 21).

Utilizzando metodi di trasporto tradizionali il viaggio su Marte costerebbe circa 10 miliardi di dollari a persona, ma **SpaceX si è posta l'obiettivo di abbassare la cifra a circa 200 mila dollari**.

Come?

Sfruttando parti riutilizzabili per i razzi, elemento su cui la compagnia studia da parecchio tempo. Il rifornimento in orbita è cruciale in tal senso: **i booster utilizzati dal ITS possono sopravvivere per circa 1000 viaggi, i tanker 100 viaggi, le navicelle circa 12 viaggi**.

Inizialmente ogni viaggio trasporterà circa 100 persone, numero che aumenterà nel corso del tempo.

Per i passeggeri la ITS sarà un luogo ospitale e divertente, secondo le parole di Musk.

Figura 20: Carico dei passeggeri (Credit: SpaceX)

Figura 21: estensione dei pannelli solari durante il viaggio (Credit: SpaceX)

Figura 22 (in basso): schema di funzionamento del ITS Credit: SoaceX). Notare il rifornimento in orbita (fase3)

Ci saranno **sale a gravità zero, aree cinema, bar e altre opzioni di intrattenimento**. Ci vorranno solamente pochi giorni per preparare un altro viaggio su Marte.

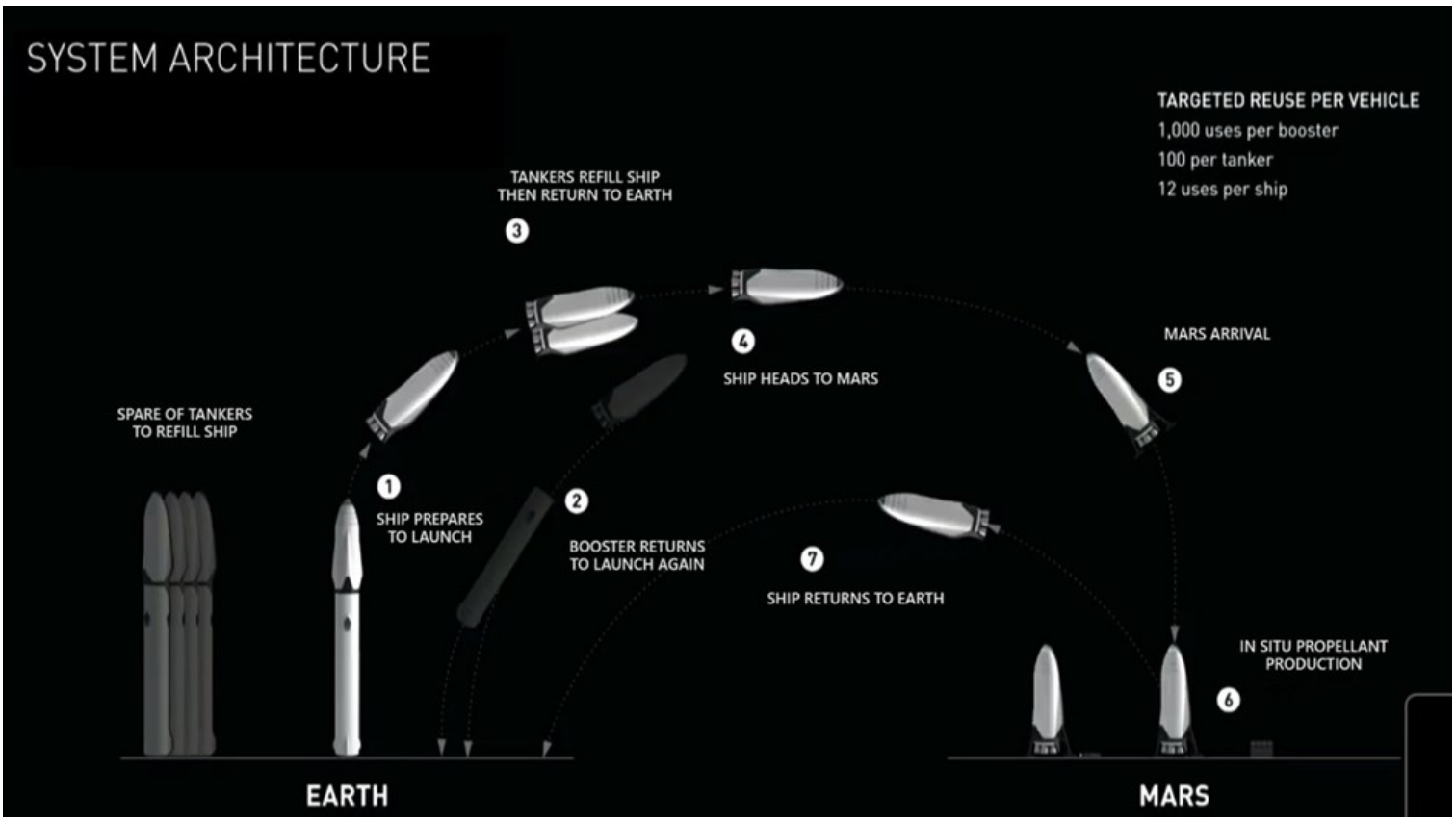
Una volta sul Pianeta i coloni saranno in grado di produrre il propellente basato sul metano per riportare la navicella sulla Terra, altro elemento che potrebbe supportare un abbassamento dei costi di viaggio.

L'habitat della Starship di SpaceX per le missioni su Marte è ancora in fase di sviluppo e i dettagli specifici potrebbero cambiare nel tempo.

Lo sviluppo di una missione di rifornimento o di invio coloni potrebbe essere sviluppata cosi:

Traiettoria: La Starship potrebbe seguire una *traiettoria di trasferimento eliocentrica di Hohmann*, che impiegherebbe circa 9 mesi per raggiungere Marte (Figura 23).

Lancio e Volo: La Starship sarà montata sul Super Heavy e lanciata dal Kennedy Space Center in Florida o dalla "Starbase" a Boca Chica in Texas. Durante il distacco dal Super Heavy con la nuova procedura chiamata "**hot stage**", la Starship accenderà i



suoi motori per raggiungere l'orbita terrestre.

Rifornimento in Orbita: Una volta in orbita, la Starship esaurirà il suo carburante durante la seconda fase di combustione. SpaceX ha previsto un piano per rifornire la Starship in orbita, che consiste nell'aver inviato precedentemente in orbita un'altra Starship carica di carburante che farà da rifornimento dopo un "docking" con quella destinata a Marte con il carico utile.

Transito verso Marte. In questo lungo periodo (9 mesi) gli eventuali passeggeri potranno usufruire di un ampio habitat a gravità zero e con l'energia dei pannelli fotovoltaici. (la propulsione nucleare in questa fase farebbe la differenza riducendo drasticamente il tempo di volo ad un paio di mesi o poco più).

Arrivo su Marte. Questa fase non è ancora ben definita, ma potrebbe svilupparsi con una sosta su una base in orbita marziana ed un trasbordo su un mezzo di discesa ma potrebbe essere anche la stessa Starship provvista di piedi a rientrare in atmosfera marziana ed atterrare.

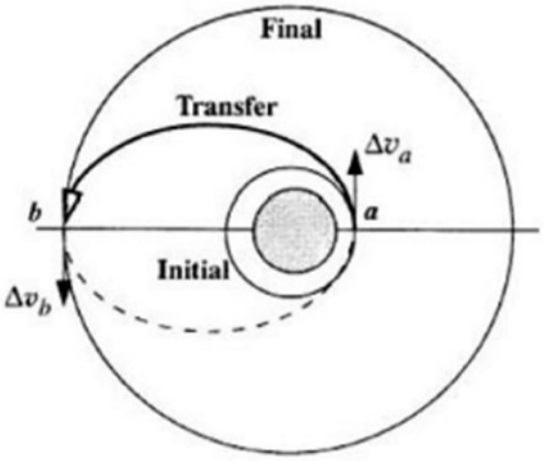


Figura 23: la traiettoria Hohmann

All'arrivo su Marte la nave verrà rifornita con ossigeno e metano prodotto in loco.

Questo che vi ho descritto è il "piano" di Elon Musk, ma non è l'unico ovviamente.

La NASA ha un suo piano che prevede anche l'utilizzo di mezzi di SpaceX e l'agenzia spaziale cinese ne ha sicuramente un altro, non noto, che ha buone probabilità di anticipare sia quello di Elon Musk che quello della NASA.

È una corsa legata agli investimenti. Infatti, le tecnologie già ci sono oggi. Le soluzioni dei problemi che ho elencato prima ci sono già sulla carta ed anche in fase prototipale. Servono solo finanziamenti per realizzarli e quelli alla Cina non mancano. Non deve chiede il consenso del congresso o del parlamento, come accade in USA o agli stati membri come in Europa..

11) Diventeremo marziani?

I coloni saranno sottoposti per anni e per generazioni ad una gravità ridotta ad 1/3, un'atmosfera artificiale ed un tasso di radiazioni diverso da quello terrestre. Una situazione che indubbiamente con il tempo, peserà sul loro corpo che ne risentirà e che quindi reagirà.

La gravità ridotta potrebbe trasformare il corpo dei coloni e delle generazioni successive facendolo diventare più alto e più magro, perché le nostre ossa e i nostri muscoli non avrebbero più bisogno di essere così robusti per sostenere il nostro peso che ora è un terzo. (fig. 24)

Figura 24: Ipotesi di un colono di ennesima generazione (Rappresentazione artistica prodotta da AI)

Le radiazioni solari: potrebbero sviluppare una pelle più spessa e più scura, per proteggerli, almeno nel viso, visto che attraverso il casco della tuta sarà

l'unica parte del corpo esposta, almeno all'esterno degli habitat.

Aspetti psicologici e sociali. Vivere su un altro pianeta comporterebbe una serie di sfide emotive, cognitive e relazionali, che potrebbero influenzare il nostro benessere mentale e la nostra identità.

Se vivessimo su Marte, dovremmo sviluppare nuove strategie di adattamento psicologico e sociale, e forse anche una nuova cultura e una nuova visione del mondo.

Sì, diventeremo marziani! I futuri marziani per tornare sulla terra avranno enormi problemi e non torneranno più se non in "missione", con grandi sacrifici fisici,

12) Terraformazione

La terraformazione di Marte è un processo ipotetico che prevede la modifica del clima, della superficie e delle caratteristiche note del pianeta rosso per renderlo abitabile per gli esseri umani e altre forme di vita terrestre. Questo processo potrebbe fornire la possibilità di una colonizzazione sicura e sostenibile di vaste aree del pianeta. Tuttavia, la terraformazione di Marte presenta diverse sfide:

A) **La gravità di superficie** marziana non potrà mai essere modificata.

B) **La pressione atmosferica** su Marte ora è solo l'1% della pressione terrestre al livello del mare. Alcuni metodi proposti per la terraformazione includono il rilascio di gas serra nell'atmosfera marziana per aumentare la temperatura del pianeta e sciogliere le calotte polari (noi "terrestri" siamo super esperti in surriscaldamento), o l'uso di grandi specchi nello spazio per reindirizzare la luce solare sulle calotte polari. Ciò provocherebbe anche un aumento dello "spessore" dell'atmosfera marziana ed un conseguente aumento della pressione.

C) **L'aumento delle temperature** produrrebbe lo scioglimento dell'acqua con conseguente avvio del ciclo dell'acqua (evaporazione, pioggia, fiumi e mari).

È necessario puntualizzare che, nonostante l'argomento sia di grande interesse per gli scienziati, molti dei metodi attualmente proposti per la terraformazione di Marte sono al di là delle risorse che qualsiasi governo o azienda sarebbe in grado di stanziare a tale scopo. (Fig. 25)

Figura 25: la lenta trasformazione del clima di Marte durante la terraformazione. Dalla situazione attuale in alto a sinistra a quella definitiva in basso a destra)

Pertanto, sebbene la terraformazione di Marte sia un concetto affascinante, la sua realizzazione pratica è ancora lontana, richiederebbe comunque secoli per arrivare ad una metamorfosi significativa del clima marziano ed infine dovrebbe essere "manutenuta" perchè la bassa gravità, l'assenza di una magnetosfera forte (Fig.26) ed il vento solare tenderebbero a disperdere l'aumento di atmosfera.

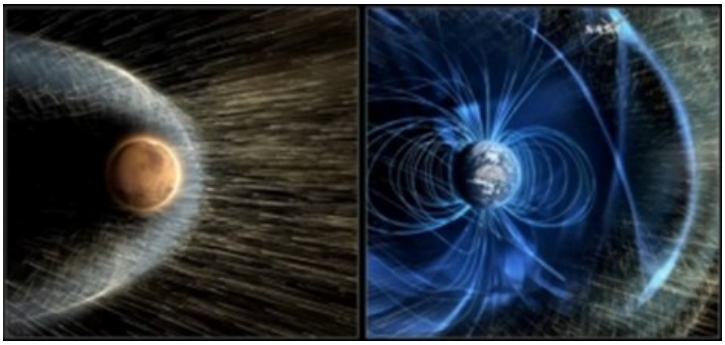


Figura 26: comparazione degli effetti del vento solare sullo scudo magnetico di Marte (sinistra) e della terra (destra)

13) "Aresforming"

Tutto ciò solleva un punto importante: perché impegnarsi nel lungo e costoso processo di modifica di Marte? Perché non alterare gli organismi terrestri per renderli più compatibili con le condizioni marziane? Inevitabilmente, la vita cambierà una volta introdotta su Marte, quindi perché non aiutarla?

La chiave per questo è individuare quali forme di vita terrestri possono sopravvivere alle condizioni difficili su Marte e intervenire geneticamente renderci più simili a loro.

Queste forme di vita dovrebbero essere, probabilmente, **licheni** e **metanogeni**, due tipi di organismi terrestri che sono in grado di sopportare condizioni all'interno di certi ambienti di nicchia su Marte. Con alcune modifiche genetiche, le specie di queste piante potrebbero sopravvivere all'aperto. Lo stesso vale per i cianobatteri, organismi fotosintetici che potrebbero convertire la CO_2 atmosferica in ossigeno.

Le piante potrebbero anche essere modificate in modo da poter resistere ai perclorati (che sono comuni nel suolo marziano) e rimuoverli, in modo che le future generazioni di piante sarebbero in grado di prosperare.

Ma la sfida più grande sarebbe quella di trovare modifiche genetiche che permettano all'uomo e agli animali di prosperare nella gravità marziana.

Ad esempio, potrebbero esserci modifiche genetiche per consentire agli esseri umani di crescere e rimanere in salute nella gravità marziana, o di essere in grado di sopportare i livelli più alti di radiazioni marziane.

Inutile dire che siamo ancora lontani da queste tecnologie. Al momento, non possiamo ancora sapere quali saranno gli effetti a lungo termine della vita su Marte sulle forme di vita terrestri.

Per i coloni le conseguenze saranno significative e nebulose:

A) gli animali e gli esseri umani saranno in grado di portare a termine una gestazione in 0,38 g, o ci saranno delle complicazioni?

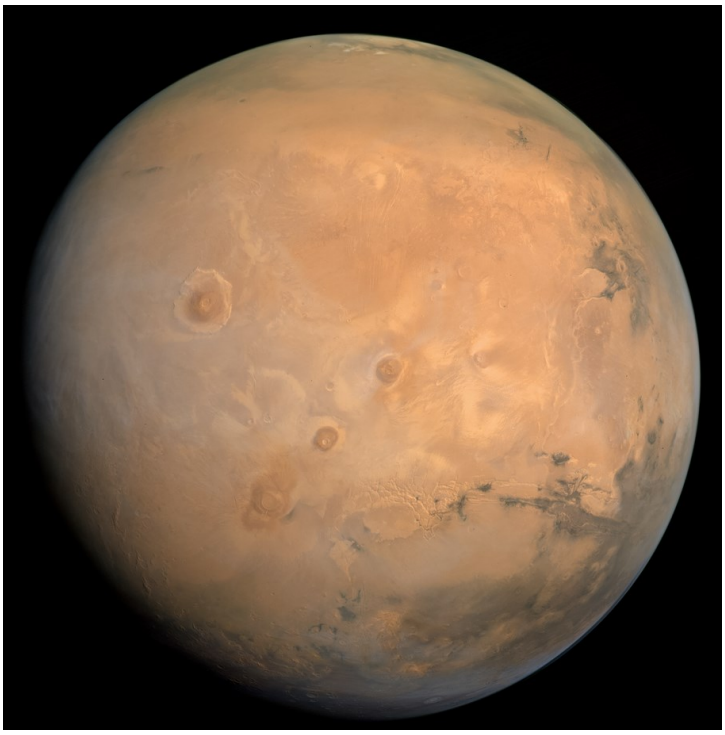
B) I bambini marziani soffriranno di mutazioni o cambiamenti a livello genetico?

C) Alcune modifiche genetiche permetteranno loro di vivere una vita piena e sana o richiederanno un intervento medico regolare?

Per questo motivo, sono ancora necessarie ricerche approfondite, ma sono già state affrontate le opzioni di trattamento/modificazione genetica.

Alla fine, tuttavia, è chiaro che sarà necessaria qualche forma di adattamento prima che gli esseri umani e le forme di vita terrestri possano colonizzare completamente Marte. Ciò potrebbe comportare la modifica dell'ambiente marziano per adattarla a noi stessi, ma anche a noi stessi per soddisfare Marte.

Credo che potremo fare molto ma sarà, come sempre, la natura ad avere l'ultima parola.



Marte nei colori reali, scattata dalla Emirates Mars Mission il 30 agosto 2021

Fonti:

https://www.passioneastronomia.it/estratto-ossigeno-su-marte-i-risultati-dellesperimento-della-nasa/

https://www.hwupgrade.it/news/scienza-tecnologia/verso-la-colonizzazione-di-marte-creato-un-robot-in-grado-di-produrre-ossigeno-sul-pianeta-rosso_121797.html

https://www.globalscience.it/45515/basteranno-22-persone-per-il-primo-insediamento-stabile-su-marte/#:~:text=A%20confermarlo%20%C3%A8%20una%20ricerca,fino%20a%20quasi%20tre%20decenni.

https://aerospacecue.it/marte-2030-lockheed-martin-prepara-limpresa/9161/

https://aerospacecue.it/colonizzazione-marte-ci-vorranno-22-persone/40984/

https://www.hwupgrade.it/news/scienza-tecnologia/l-uomo-alla-conquista-di-marte-nel-2025-100-persone-alla-volta_64821.html

https://youtu.be/0qo78R_yYFA

Wikipedia – Colonizzazione di Marte

Wikipedia – Terraforming di Marte

NASA – Il corpo umano nello spazio

NASA – Twins Study / The Research

James Lovelock – The Greening of Mars

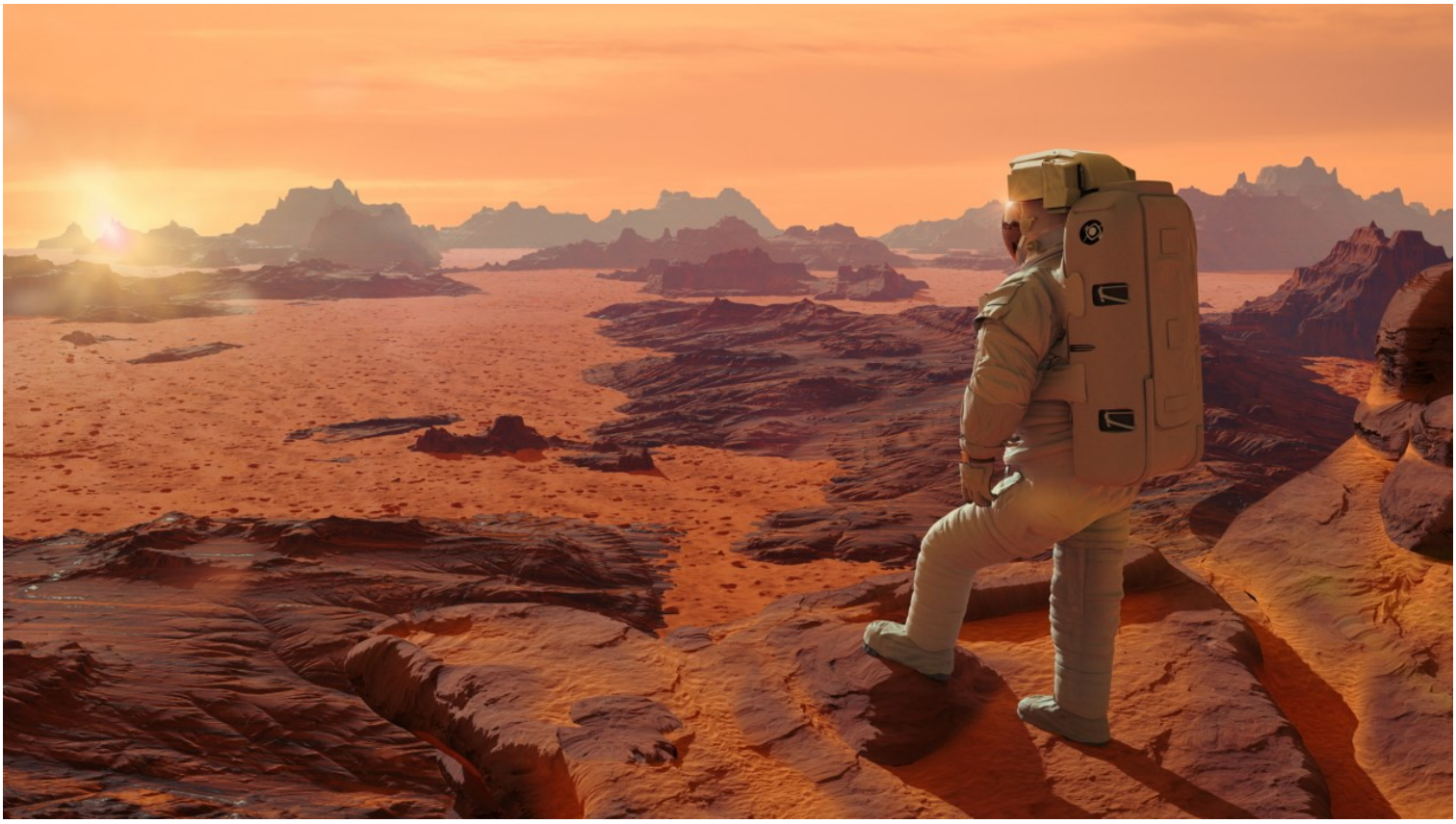
NASA – Come proteggere gli astronauti dalle radiazioni spaziali su Marte

National Space Society – The Case for Colonizing Mars (Robert Zubrin)

Rivista sulla sicurezza spaziale: come vivrà su Marte il nostro corpo umano?

NASA – Sull'abitabilità di Marte: un approccio all'ecosintesi planetaria

https://interestingengineering.com/what-will-it-take-to-create-the-first-martians



Rappresentazione artistica di un astronauta su Marte. (Credito immagine: dottedhippo tramite Getty Images)

EASY MOON

Racconto breve

di Roberto Castagnetti

Il gran giorno era arrivato.

20 luglio 2029

I componenti del direttivo del COSMo erano nella grande sala della casa di Davide, magneticamente attratti dalle immagini trasmesse dalla nuova smart TV 4k da 120 pollici appena acquistata per assaporare degnamente l'evento.

Il silenzio era rotto solo dai discreti movimenti delle mandibole che, meccanicamente, trituravano i biscotti portati poco prima da Savina.

"Ragazziii!!"

"Ecco qua i miei tortelli!!"

"Ho usato la tradizionale marmellata di mele cotogne di Modena che ho trovato … "

"SShhhhhh!!!" Senza voltarsi tutti gli spettatori sibilarono a Savina la loro richiesta di silenzio.

"Ops … scusate! … ma è già il momento?"

"Si" fu la laconica risposta di suo marito Davide

"Lo sgancio dalla stazione è stato perfetto" Sentenziò Luigi.

"La manovra di allontanamento richiederà almeno una ventina di minuti" Osservò Leonardo.

"Guardate che spettacolo il sistema di aggancio!" Esclamò, eccitato, Gabriele

"Che meraviglia vedere la Terra stagliarsi dietro alla stazione Gateway … " disse, sognante, Roberto.

"Mi piacerebbe vedere in diretta i dati della telemetria … magari li trasmettono" dichiarò Alessandro.

...

"Lunar module undocked".

"Telemetry ok".

"Parameters within tolerances"

Dichiarò con calma Ciro, girandosi verso gli altri tre membri dell'equipaggio del modulo lunare "Amerigo Vespucci"

Era molto emozionato per avere avuto l'onore di poter fare una lettura dati utile alla missione.

La missione Easy Moon stava, ora, per entrare nel vivo.

Ciro ripensò agli incredibili due anni precedenti, a

quando si era iscritto nel 2027, quasi per scherzo, al bando per la selezione di un componente "particolare" del la missione Easy Moon.

La missione doveva dimostrare che anche un normale cittadino poteva essere mandato sulla Luna, allo scopo di iniziare la nuova fase di colonizzazione del nostro satellite e degli altri habitat extraterrestri.

La passione di Ciro era stata uno schiacciasassi e gli altri concorrenti per quel posto vennero agevolmente sbaragliati.

Ora era lì, a bordo del modulo lunare realizzato da Blue Origin mentre iniziava la procedura di immissione della traiettoria di allunaggio.

Ancora rimaneva stupito dagli spazi di quel mezzo.

Erano lontani i tempi dei LEM delle missioni Apollo e viaggiare nello spazio era ormai diventata una esperienza quasi … comoda.

...

Un breve intermezzo pubblicitario interruppe la diretta su YouTube e i compagni di Ciro, a più di 380.000 chilometri di distanza, si buttarono sul vassoio appena portato da Savina e ripristinarono le scorte dei propri piattini.

Sorridente, Savina, ritornò in cucina.

"Mi raccomando!!! Chiamatemi quando stanno per allunare!"

"mmmhhh … si ... si" bofonchiò Davide mentre i suoi occhi, insieme a quelli degli altri spettatori, si risintonizzarono sulla diretta video appena riapparsa.

...

"Ciro … it's all OK?" Chiese il comandante Legweak.

"YES, SIR. IT'S ALL OK! … VA TUTTO BENISSIMO!!!" Esclamò entusiasticamente Ciro.

Il comandante sorrise e riprese a controllare i dati sullo schermo.

"Gmpfgn … ormai ... gnaf gnaf … ormai ci … sghnmmm scrunch gnaf … siamo … Savina!!! Sono buonissimi questi tortelli!!!"

"Grazie Robby!!!" rispose Savina dalla cucina.

"Accensione motore principale tra … cinque, quattro, tre, due, uno … " contò solennemente Leonardo

La voce del comandante Legweak scandì: "Five, four, three, two, one … "

Ma, anziché la rassicurante vibrazione del motore acceso si udì, improvviso, l'angosciante ululato di un segnale d'allarme.

"Ok, Houston, we've had a problem here"

La frase raggelò Ciro.

Mai avrebbe voluto ri-sentirla.

Ripensò all'incubo dell'Apollo 13 e osservò, impotente, l'equipaggio mentre cercava di reperire tutte le informazioni possibili per gestire quella che sembrava una grave emergenza.

Nelle simulazioni era l'allarme peggiore e quando si presentava il risultato era spesso l'aborto missione.

"Main engine is gone"

All'udire questa frase, Ciro trasalì … "Il motore principale? … oddio …" pensò, guardandosi bene dal dire qualsiasi cosa in quanto era addestrato a non interferire assolutamente con l'equipaggio durante situazioni di quel tipo.

"Restart procedure activated"

Ma non accadde nulla …

Le comunicazioni con la stazione Gateway e la sala controllo sulla Terra si fecero più fitte.

La Luna iniziò ad ingrandirsi.

Ciro iniziò a mordersi nervosamente il labbro.

…

"Qualcosa non va!!!" Gridò Luigi.

"Hanno staccato la diretta … oddio! … Ma che succede?" Domandò, angosciato, Roberto

"Non si è acceso il motore principale!!!" Gridò Gabriele

"Ehm … ehm … staranno … ehm … attivando … ehm … le procedure … ehm … di … ehm … aborto missione." Disse, preoccupato, Davide

"La vedo male…" Osservò, cupo, Leonardo

"Si … anch'io" Confermò Alessandro.

"Oddio … ma che è successo?" Fu la domanda di Savina che si era precipitata dalla cucina

"… un casino" Fu la risposta corale.

...

A Houston, Susanna e Sofia osservavano impietrite il loro schermo televisivo improvvisamente oscurato.

Cercarono qualche spiegazione negli occhi degli altri famigliari degli astronauti con cui condividevano la sala tv accanto alla sala controllo missione… ma ottennero solamente un analogo sguardo di smarrimento.

...

Luci, voci e suoni echeggiavano nel modulo lunare in sequenze e significati ormai incomprensibili per la mente di Ciro ormai nel panico.

Riuscì comunque a mantenere una calma apparente e a non interferire con l'equipaggio … ma era dura continuare a farlo.

Si fece coraggio e guardò verso uno degli oblò.

La Luna era ormai enorme.

Vedeva monti, crateri e valli con un dettaglio angosciante.

"Mamma mia!" Pensò "… ma … allora … è finita"

Il terreno lunare era ormai troppo vicino.

Le voci ormai tradivano paura e angoscia.

"Our Father, who art in heaven, …" sussurrava il comandante.

"Si" … pensò Ciro "Se recita il Padre Nostro … è proprio finita"

Pochi istanti ancora …

Tra il risuonare degli allarmi ormai assordanti strinse forte gli occhi, e …

...

"Ciro … Ciro … Ci sei?"

"Tra un attimo iniziamo"

Ciro si rese conto che era stato tutto un vorticoso sogno ad occhi aperti mentre Roberto lo stava chiamando.

"Quando parli, stai un po' più spostato a destra, così ti riprendo con una luce migliore …"

"Uh … ehm … si … si …"

"Certo Robby … Grazie come sempre!"

E si avviò, un po' scosso, ma contento, ad iniziare la sua conferenza per celebrare il 60° anniversario sul primo sbarco sulla Luna.

COSMOStorie

Gli Eventi del C.O.S.Mo

Di seguito l'elenco (parziale) dei prossimi eventi del C.O.S.Mo. Sono quelli che sono già organizzati, ma altri potrebbero essere realizzati, per questo restate sintonizzati con i nostri social (trovate i link in fondo a questa pagina).

2024: UN ALTRO EQUINOZIO CON IL C.O.S.Mo

Ad ogni equinozio, il C.O.S.Mo, in collaborazione con il Civico Planetario "F. Martino" di Modena, presenta una serie di conferenze presso l'Aula Magna del Planetario di Modena. Di seguito il calendario delle conferenze di Marzo-Aprile:

1) Martedì 5 marzo 2023. Ore 21

Aggiornamento su Starship.

Relatori Ciro Sacchetti e Leonardo Avella

2) Martedì 12 marzo 2023. Ore 21

Intelligenza Artificiale.

Relatori Davide Borghi e Leonardo Avella

3) Martedì 19 marzo 2023. Ore 21.

Base su Marte

I requisiti per una base stabile e operativa e preparazione dei coloni. Diventeremo "marziani"?

Relatore Luigi Borghi

4) Martedì 24/10/2023. Ore 21

Carne Artificiale (o meglio: Coltivata)

… evento da confermare …

5) Martedì 2 aprile 2023. Ore 21

"Arduo da vedere il Lato Oscuro è"
(*Yoda, gran maestro dell'ordine Jedi*)

La missione Euclid e l'esplorazione dell'Universo Oscuro. Comprendendo Materia ed Energia Oscura comprenderemo la Gravità?

Relatore Roberto Castagnetti

6) Martedì 9 aprile 2023. Ore 21

Energia: Sole vs Atomo

COP28, e riscaldamento globale: confrontiamo l'energia da fonti rinnovabili con l'atomo

Relatore Luigi Borghi

Restate aggiornati!

Seguiteci sui nostri social

Clicca qui per l'elenco

Per Info e contatti

Sito: *www.ilcosmo.net*

Email: *info@cosmo.net*

Uscita del prossimo numero:

GIUGNO 2024