

GRUPPO ASTRONOMICO TRADATESE

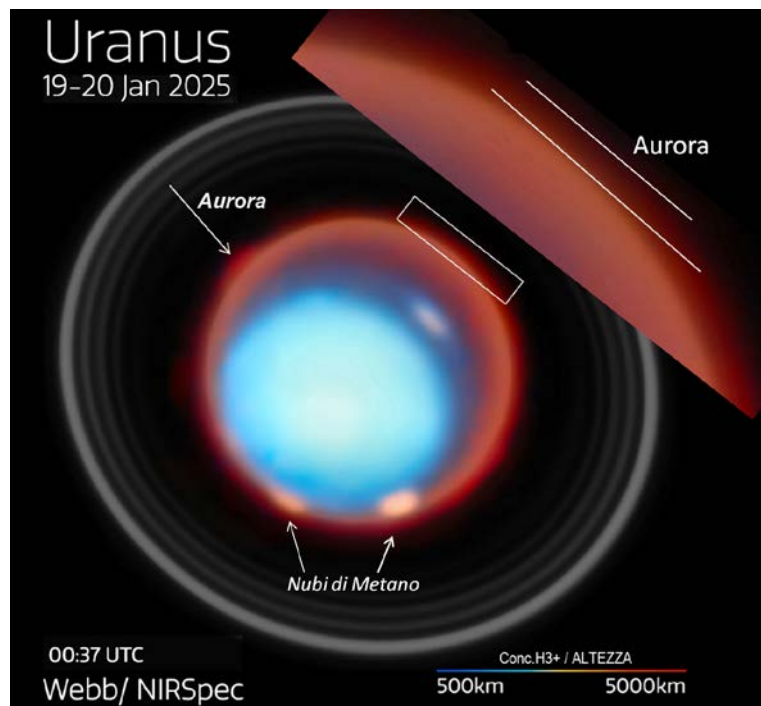
LETTERA N. 180

52° anno

Aprile-Giugno 2026

<http://www.gruppoastronomicotradatese.it>

A tutti i soci



Protagonista spaziale degli ultimi mesi non è stata una persona fisica bensì una molecola bizzarra e diffusissima: lo ione H_3^+ (Idrogenonio). Come spieghiamo bene in questa lettera, questo ione si forma in abbondanza negli spazi inter-stellari dove H_2 ed energia sono ampiamente disponibili. Si tratta di una specie facilmente rilevabile, perché presenta un assorbimento infrarosso attorno a 3,4 micron, ideale come tracciante di aurore laddove i campi magnetici planetari veicolano e intensificano l'energia particellare solare. Questo ha permesso al super-telescopio JWST di evidenziare aurore anche su Urano e Nettuno (vedi qui a fianco e il resto di questa lettera) ma anche di dimostrare che la cometa inter-stellare 3I/ATLAS proviene da un luogo lontanissimo e freddissimo. A bassissima temperatura e per molto tempo lo ione H_3^+ reagisce col D (Deuterio) diventando soprattutto H_2D^+ , che diventa (reagendo con O) HDO (acqua deuterata) con alto rapporto D/H: questo spiega perché nella 3I/ATLAS il rapporto D/H sia ben 30 volte superiore a quello delle comete solari.

Adesso una notizia assolutamente POSITIVA: all'inizio di Gennaio 2026, dopo più di un anno di controversie tecniche e dibattiti pubblici, AES Andes ha deciso di sospendere a tempo INDETERMINATO il suo megaprogetto INNA (Proyecto Integrado de Infraestructura Energética para la Generación de Hidrógeno y Amoníaco Verde), pensato per produrre idrogeno e ammoniaca verde su larga scala nel comune di Taltal (circa 80 km a Sud di Paranal, nella regione cilena di Antofagasta). In caso contrario il cielo incantato di Paranal sarebbe stato compromesso in modo irreversibile!

Per finire una notizia assolutamente NEGATIVA: quella secondo cui il presidente americano Trump ha negato alla NASA gli 11 miliardi di \$ necessari per la importantissima missione Mars Sample Return, studiata per portare a Terra, assieme all'ESA, i campioni che Perseverance sta raccogliendo su Marte. Salvo poi investire 100 (cento) miliardi di \$ in una guerra inutile e distruttiva.

La nostra attività primaverile è obbligatoriamente centrata sia ad alcune importanti scoperte astronomiche (lontane e vicine) sia alla ripresa delle attività spaziali con obiettivo Luna. Senza trascurare la fondamentale lotta contro l'inquinamento luminoso.

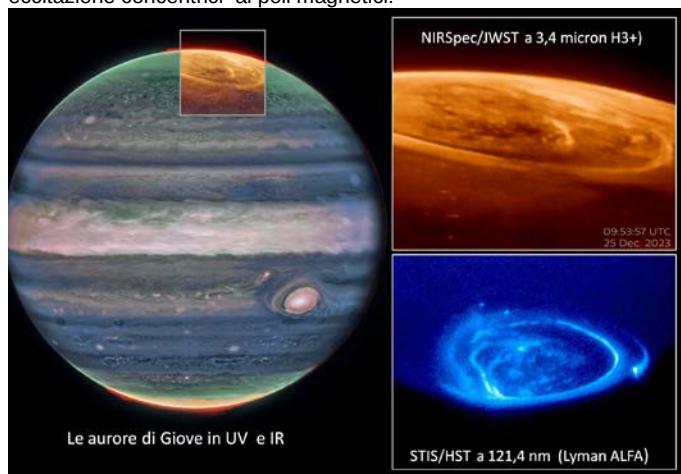
Lunedì 13 Aprile 2026 h 21 ONLINE Cine GRASSI	Conferenza della dott.ssa Roberta TRIPODI (INAF/Roma) sul tema sul tema <u>IL MISTERO DEI BUCHI NERI PRIMORDIALI.</u> Il punto sulle scoperte del JWST relative alle prime galassie ed ai misteriosi buchi neri primordiali, con un focus particolare sulla natura e proprietà dei quasars e dei misteriosi LRD (Little Red Dots).
Lunedì 27 Aprile 2026 h 21, ONLINE Cine GRASSI	Conferenza della dott.ssa Federica BIANCHI (INAF/IAPS) sul tema <u>LA NUOVA ASTRONOMIA DELL' OSSERVATORIO CILENO VERA RUBIN.</u> Da Giugno 2025 questo strumento rivoluzionario di 8,4 metri realizzato in Cile sul Cerro Pachon, sta ri-fotografando tutto il cielo australe ogni 4 giorni, permettendo di cogliere migliaia di eventi celesti prima inosservabili.
Lunedì 11 Maggio 2026 h 21 Cine GRASSI	Conferenza del dott. Cesare GUAITA sul tema <u>DALLO SPAZIO I MATTONI PER LA VITA: LE PROVE DEFINITIVE.</u> La incredibile scoperta di ammino-acidi, basi nucleiche e zuccheri nei materiali prelevati da due asteroidi carboniosi dimostra che è lo spazio interstellare a produrre queste sostanze basilari per la vita.
Lunedì 25 Maggio 2026 h 21, ONLINE Cine GRASSI	Conferenza della dott.ssa Chiara MAZZUCHELLI (Università cilena UDP) <u>LA BATTAGLIA VINTA DA PARANAL CONTRO L'INQUINAMENTO LUMINOSO.</u> La relatrice, da un anno alla presidenza della Società astronomica cilena, ci racconterà come il Cile sia riuscito ad evitare un gravissimo attentato industriale all'integrità del cielo magico di Paranal.
Lunedì 8 Giugno 2026 h 21 Cine GRASSI	Conferenza dell'ing. Lorenzo COMOLLI sul tema <u>L'ERA DI SPACE X.</u> Fondata nel 2002 da Elon Musk con l'obiettivo di ridurre i costi dell'accesso allo spazio, l'azienda ha sviluppato i lanciatori Falcon 1, 9 e Heavy e le capsule Dragon 1 e 2 per il trasporto di carico e astronauti da e verso la ISS.
Lunedì 22 Giugno 2026 h 21 Cine GRASSI	Conferenza di Piermario ARDIZIO sul tema <u>PROGETTO ARTEMIS: RITORNO ALLA LUNA.</u> Con la circum-navigazione della Luna di 4 astronauti a bordo della missione Artemis 2 è iniziato ufficialmente la riconquista del nostro satellite, che nel 1968 venne introdotta dalla missione curcum-lunare di Apollo 8.

La Segreteria del G.A.T

1) ENIGMATICI CAMPI MAGNETICI PLANETARI.

E' ben noto che nei pianeti terrestri un campo magnetico viene prodotto da una specie di effetto dinamo innescato dalla presenza di un nucleo metallico conduttivo (Ferro-Nichel) e in parte ionizzato da temperature molto alte (6000°C nel caso terrestre). Il campo magnetico è una conseguenza dalla movimentazione di questo materiale in parte ionizzato, sia per convezione interna, sia per la rotazione del pianeta. Se però il pianeta ruota molto lentamente (Venere) oppure il nucleo interno è in fase di raffreddamento (Marte) il magnetismo planetario si attenua fino a scomparire. Il debole campo magnetico residuo di Mercurio (1% di quello terrestre) sembra legato al fatto che il nucleo, molto grande (85% del raggio) e particolarmente ricco di Zolfo, è tuttora parzialmente fuso nonostante la modesta massa del pianeta (1/18 rispetto alla massa Terrestre) e la sua rotazione di ben 59 giorni. Una caratteristica del campo magnetico di un pianeta terrestre è quella di un allineamento prossimo alla direzione dell'asse di rotazione (<1° nel caso di Mercurio, 11° nel caso terrestre). Nel caso (come quello terrestre) che il pianeta possieda una atmosfera, le linee di forza del campo magnetico in entrata su un polo e in uscita sull'altro polo, veicolano particelle solari energetiche (soprattutto elettroni) contro le molecole atmosferiche eccitandole a produrre ciambelle aurorali concentriche ai poli magnetici: da qui le famose colorazioni (rosse/verdi dovute all'Ossigeno, blu/magenta dovute all'Azoto) nei cieli del circolo polare in occasione di episodi di intensa attività solare. Nel caso dei pianeti esterni gassosi (Giove, Saturno, Urano e Nettuno), composti soprattutto da Idrogeno ed elio, il meccanismo sopra descritto non può ovviamente funzionare. Eppure tutti presentano un importante campo magnetico, sistematicamente maggiore di quello terrestre. Impressionante il caso di Giove. Il campo gioviano è inclinato di circa 10° rispetto all'asse di rotazione e solo grossolanamente dipolare, nel senso che le linee magnetiche escono dal polo Nord ma rientrano a Sud in due posizioni, una polare e l'altra equatoriale (!). L'intensità sui poli alla superficie delle nuvole è di 10-14 Gauss, quindi quasi 20 volte il valore corrispondente terrestre (0,6-0,7 Gauss). Ci sono voluti esperimenti di laboratorio per capire come faccia Giove a produrre un simile campo magnetico. Si è così dimostrato che l'idrogeno del nucleo gioviano, compresso dalla massa del pianeta fino a 3 milioni di Atmosfere, assume la caratteristica di un metallo superconduttore: la veloce rotazione di Giove (9h56min) fa il resto. Qualcosa di simile avviene anche per Saturno, che presenta un campo magnetico coincidente con l'asse di rotazione e intenso ai poli come quello terrestre (0,7-0,8 Gauss). Anche per Saturno il magnetismo deriva dalla presenza nel nucleo di Idrogeno metallico e la sua minore massa rispetto a Giove (90 contro 318 masse terrestri) ne giustifica un'intensità 20 volte inferiore.

In ogni caso sia Giove che Saturno sono soggetti ad imponenti fenomeni aurorali, costituiti (come nel caso terrestre) da anelli di eccitazione concentrici ai poli magnetici:



Con una differenza sostanziale rispetto alla Terra: quella secondo cui le particelle energetiche solari, eccitando una atmosfera costituita essenzialmente di Idrogeno, NON producono emissioni luminose nel visibile. Le aurore gioviane e saturniane sono infatti rilevabili solo in Ultravioletto e in infrarosso.

2) LE PROPRIETA' SPECIALI DELLO IONE H3+.

Il comportamento dell' H2 investito da particelle energetiche (solari o interstellari) è molto interessante. Vediamolo in sintesi.

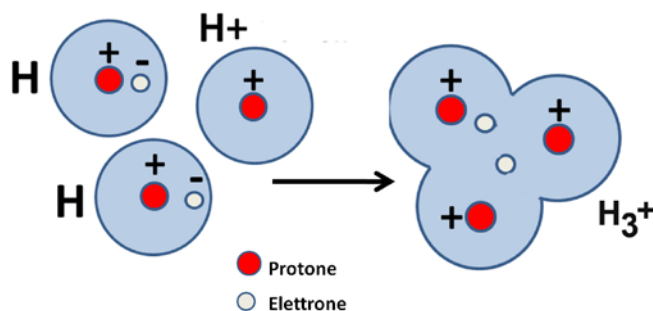
Se energia è sufficiente (diciamo 11-14 eV) l' idrogeno molecolare H2 può subire vari processi:

- 1) si eccita emettendo in UV le cosiddette bande di Lyman e Werner (80-165 nm)
- 2) si dissocia in idrogeno atomico H che emette la classica forte riga Lyman Alfa a 121,56 nm.
- 3) Prima si ionizza come $H_2 + e^- \rightarrow H_2^+$ e poi, reagendo con altro H₂, dà luogo alla specie ionica H₃⁺, oltre che ad altro idrogeno atomico H $H_2^+ + H_2 \rightarrow H_3^+ + H$

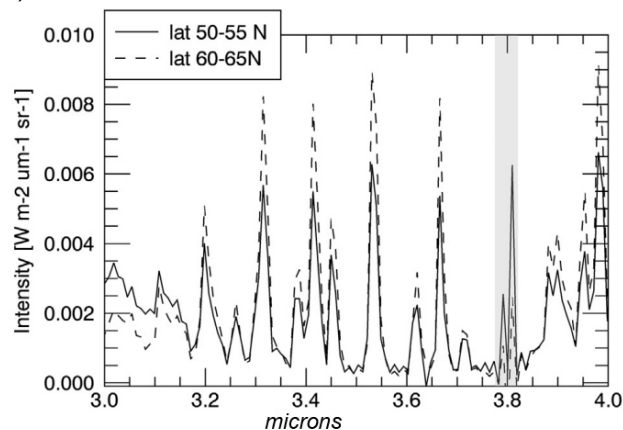
La specie ionica H₃⁺ (Idrogenonio) è MOLTO importante perché è dotata di un forte assorbimento in IR a 3-4 micron. Data l'abbondanza di idrogeno e la disponibilità di energia (stellare) nello spazio interstellare, lo ione H₃⁺ è una delle più diffuse nello spazio ed anche una delle più facili da rivelare grazie all' accennato forte assorbimento roto-vibrazionale in infrarosso.

Le aurore di Giove possono essere normalmente evidenziate in UV tra 115 e 170 micron (lo ha fatto lo strumento STIS a bordo dello Space Telescope) se si vuole sommare il contributo di H₂ + H (vedi ad esempio vari progetti HST/Juno come GO 14634 del 2019 o GO15638 del 2025). Ma la sensibilità aurorale gioviana migliora di molto nella banda IR dello ione H₃⁺: lo dimostrano le bellissime immagini riprese dallo strumento Juno/JIRAM a 3,3-3,6 micron (vedi figura precedente).

La prima osservazione di H₃⁺ sulla regione aurorale Sud di Giove venne fatta nel 1989 dal telescopio CFHT delle Hawaii e nella regione polare sud di Saturno nel 1992 dal telescopio UKIRT sempre alle Hawaii. In realtà lo ione idrogenonio H₃⁺ ha caratteristiche molto speciali. I tre atomi di H sono disposti sui vertici di un perfetto triangolo equilatero e la cosa straordinaria è che vengono tenuti assieme da soli due elettroni. Non è facile capire come questo possa succedere. Spieghiamolo in maniera intuitiva. Nello ione H₃⁺ ci sono 3 protoni e 2 elettroni (da qui la carica positiva). Ogni protone ha un orbitale sferico per accogliere un elettrone. Quando i tre H si avvicinano, le tre sfere orbitali si miscelano in un solo 'orbitale' comune entro cui si muovono liberamente i due elettroni di legame: potremmo parlare di una specie di 'pseudo-aromaticità' (!):

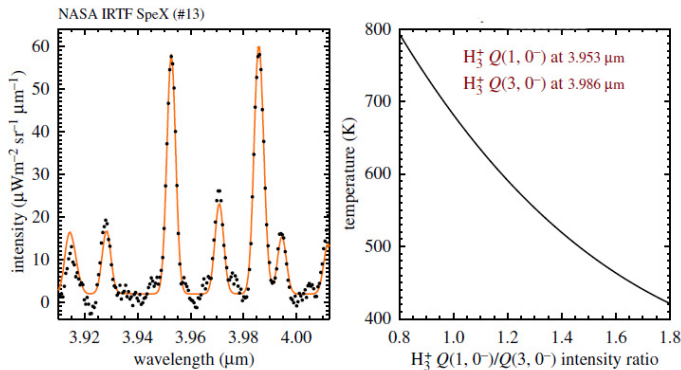


Questa tripletta è sottoposta ad una molteplicità di movimenti che le fanno assorbire energia nella zona infrarossa tra 3 e 4 micron: in sostanza lo spettro dello ione H₃⁺ è costituito quindi da tutta una serie di bande più o meno intense (Review of Modern Physics, 64, 1141, 1992):



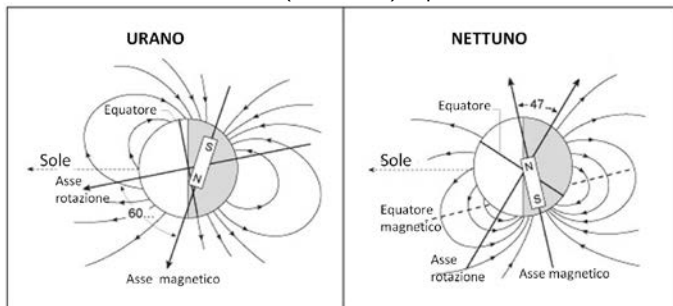
Una cosa molto interessante (e importante) è che dal rapporto tra le varie bande è possibile risalire con buona precisione alla temperatura

ambiente. Per esempio Melin H et al. (*The H₃⁺ ionosphere of Uranus: decades-long cooling and local-time morphology*), Phil.Trans.R. Soc. A 377, (2019) hanno trovato una progressiva diminuzione della temperatura di Urano (2012-2018) dalla misura del rapporto tra due delle bande principali dello ione H₃⁺:



La forma delle righe è inoltre una indicazione della pressione locale (ovvero della quota a cui si riferisce la misurazione): righe allargate indicano pressione elevata, quindi quota ridotta, righe più strette indicano pressione minore, quindi quota maggiore.

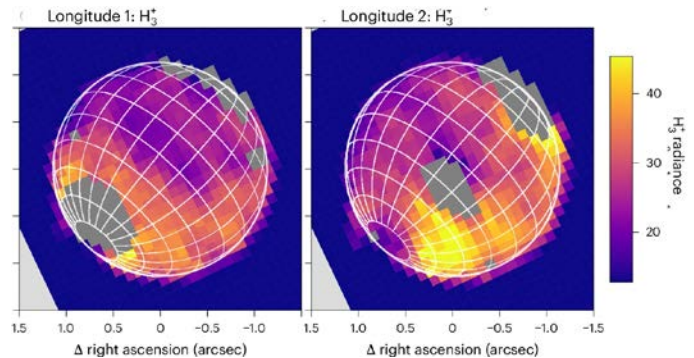
Urano e Nettuno hanno una massa molto inferiore a quella di Giove e Saturno (14 e 17 volte quella terrestre). Se fossero fatti solo di Idrogeno ed elio la pressione interna sarebbe insufficiente a produrre idrogeno metallico, quindi dar luogo ad un campo magnetico. In realtà lo spessore 'atmosferico' costituito da H ed He è di circa 5000 km (+ 2-3% di Metano, che ne rende blu l'aspetto esteriore). Al di sotto c'è poi un 'mantello' di circa 10.000 km costituito da H₂O, CH₄ e NH₃. Da qui la definizione di giganti 'ghiacciati' e l'idea (fino all'esplorazione spaziale del Voyager 2) dell'impossibilità di un campo magnetico. Questa idea era supportata anche da una rotazione più 'lenta' rispetto a Giove e Saturno (17,2 h per Urano e 16 h per Nettuno) e anche da una elevata inclinazione dell'asse di rotazione (28° per Nettuno e addirittura 98° per Urano). Con le osservazioni del magnetometro del Voyager 2 (Gennaio 1986 per Urano e Agosto 1989 per Nettuno) tutto è cambiato, nel senso che entrambi i pianeti hanno mostrato un dipolo del tipo OTD (Offset Tilted Dipole) ossia un dipolo inclinato e spostato. Urano ha mostrato un campo magnetico complesso col dipolo inclinato di 59° rispetto all'asse di rotazione e decentrato (ossia spostato dal centro del pianeta) del 30% (7.700 km). Anche Nettuno ha mostrato un campo magnetico complesso (o meglio multipolare) col dipolo principale inclinato di 47° rispetto all'asse di rotazione e decentrato addirittura del 55° (13.500 km) rispetto al centro:



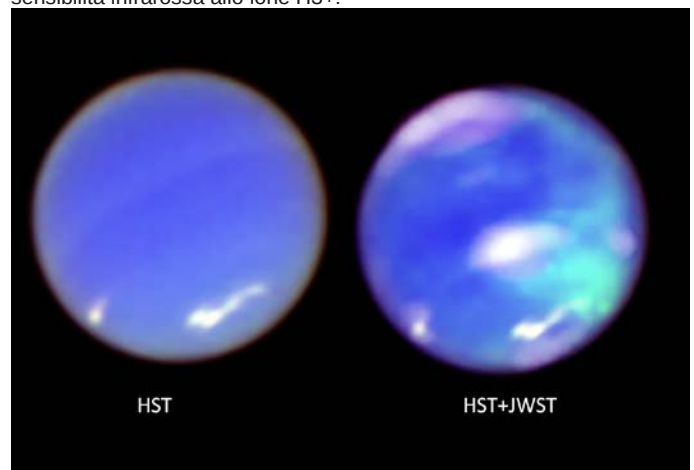
La genesi di questi campi magnetici così anomali è un vero enigma. L'idea che va per la maggiore è quella della cosiddetta 'acqua superionica'. In sostanza si pensa che a circa 4000 km di profondità esista uno strato di 5-6000 km di acqua ad una pressione di 1-2 milioni di Atm ed una temperatura di 2-5.000°C. In queste condizioni gli atomi di H tendono a perdere il loro legame con l'Ossigeno, diventando p⁺ (protoni carichi positivamente) che mescolandosi nell'acqua la rendono conduttiva. Alla fine tutti gli atomi di H diventano p⁺ e si mettono a scorrere come una corrente elettrica all'interno di un reticolo 'rigido' fatto di atomi di Ossigeno: l'ambiente può quindi generare un qualche tipo di magnetismo. Sembra 'fanta-fisica', ma opportuni esperimenti di laboratorio ne dimostrano la possibilità (NATURE Com.17, 374 (2025)). Durante la rotazione di Urano e Nettuno l'emergere in superficie di eventuali fenomeni aurorali si sposta di continuo e sente in maniera netta (specialmente per Urano) anche le fortissime differenze stagionali. In più, trattandosi di campi magnetici tendenzialmente multi-polari, eventuali aurore dovrebbero mostrare addensamenti localizzati piuttosto che zone circolari e stabili come nel caso di Giove e Saturno.

3) LE AURORE DI NETTUNO.

Le prime immagini di fenomeni aurorali su Nettuno vennero realizzate il 22 Giugno 2023 dal super telescopio JWST con lo spettrometro NIRSpec che rilevò la distribuzione sul pianeta dell'emissione dello ione H₃⁺ in spettri realizzati tra 2,87 e 5,27 micron (progetto GTO 1249). Due osservazioni a 7,7 h di distanza (ovvero a due longitudini L1 e L2, separate di 172°) permisero di coprire tutto il disco (NATURE Astronomy, 9, 666-671, 9Maggio 2025):



Il telescopio spaziale Hubble (HST) non era in grado (in UV) di vedere aurore su Nettuno. Una cosa invece agevole al JWST grazie alla sua sensibilità infrarossa allo ione H₃⁺:



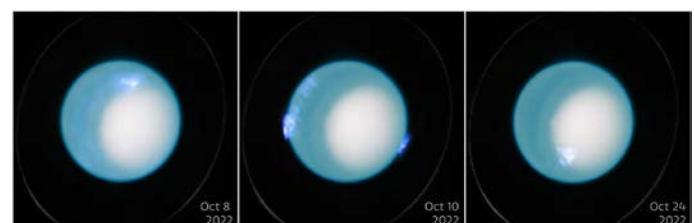
Dall'intensità misurata dello ione H₃⁺ è stato anche possibile fare una misura accurata della temperatura della ionosfera, ossia dell'alta atmosfera del pianeta a circa 1000-2000 km sopra la superficie visibile. Con una sorpresa notevole: quella secondo cui la temperatura attuale di circa 90°C risulta praticamente dimezzata dai tempi del passaggio Del Voyager 2 nel 1989.

4) LE AURORE DI URANO.

Un po' diverso è il caso di Urano il cui campo magnetico multipolare non è solo inclinato di 60° rispetto all'asse di rotazione, ma è soggetto anche a cicli stagionali estremi.

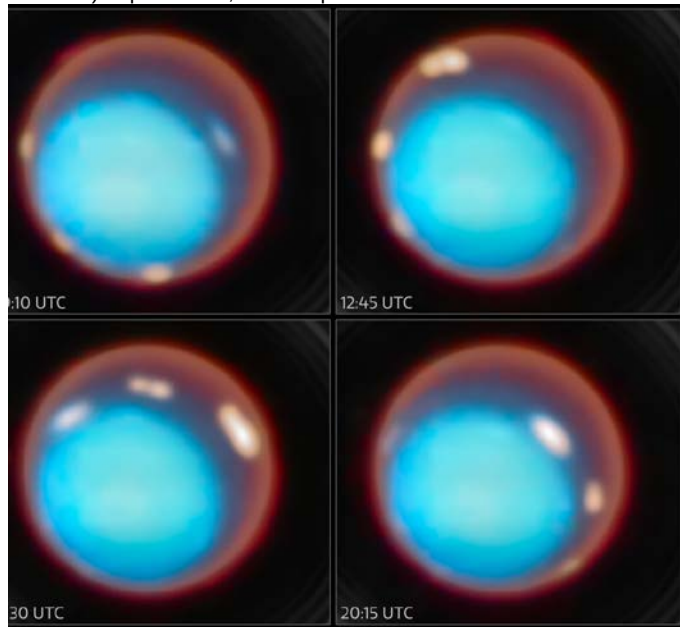
Grazie a molti progetti dedicati (GO #12601, 13012, 14036, 16313 e DDT #15380), le prime immagini di fenomeni aurorali su Urano vennero realizzate da HST (Il Telescopio Spaziale Hubble) soprattutto nell'Ottobre 2022 con un filtro allargato (110-180 nm) massimamente sensibile alla riga H LymanALFA a 121,6 nm (NATURE Astronomy, 9, 658-665, 2025).

Le prime emissioni aurorali discrete sovrapposte ad immagini della camera ACS, permisero anche di meglio definire il periodo di rotazione del pianeta (17,24 h):



La prima rilevazione dello ione H_3^+ su Urano risale all'1 Aprile 1992, quando lo spettrometro GCS4 applicato al telescopio UKIRT delle Hawaii, lavorando nella banda L (3,89-4,01 micron) evidenziò 11 bande di assorbimento relativa a questo ione (la più intensa a 3,89 micron). La risoluzione di allora, però non permise nessuna chiara localizzazione. (ApJ, 405, 761-766, 1993)). Il primo chiaro indizio che poteva trattarsi di una emissione aurorale venne raccolto il 5 Settembre 2006 dal telescopio Keck 2 della Hawaii, grazie a 216 spettri realizzati dallo spettrometro NIRSPEC in 6 h nel campo 3,3-5 micron. Siccome Urano era prossimo all'equinozio (equatore verticale verso Terra e latitudine Nord-Sud orizzontale) fu possibile spettrografare la superficie lungo tutta la latitudine, allineando lo spettrografo con l'asse di rotazione del pianeta: apparve così evidente che l'emissione dello ione H_3^+ era massimizzata a cavallo dell'equatore, ossia nella zona dove il Voyager 2 aveva scoperto attività magnetica (NATURE Astronomy, 7, 1473-1480, Dic. 2023).

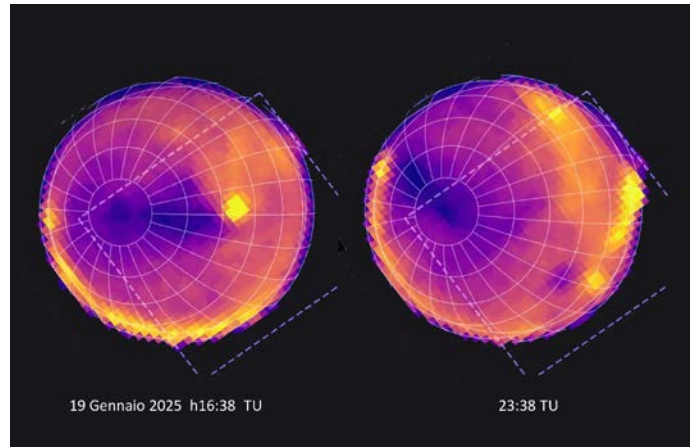
Ma le osservazioni più risolutive sono state eseguite dal super-telescopio JWST, grazie al programma dedicato GO 5073. Il 19 Gennaio 2025 venne puntato verso Urano lo spettrografo NIRSpec per 15,4 ore, quindi per una rotazione quasi completa (J. Res. Letters, 3, issue4, JWST Discovers the Vertical Structure of Uranus' Ionosphere, 19 Febbraio 2026). Venne utilizzato un filtro centrato nella regione infrarossa 3,3-4,10 micron, dove lo ione H_3^+ presenta ben 30 bande di assorbimento. Sono state osservate due regioni di forte emissione di H_3^+ a 50° - 110° e 220° - 290° Ovest, corrispondenti alla posizione dei poli magnetici, quindi interpretabili come emissioni aurorali. Dal momento che il polo Sud di Urano puntava quasi direttamente verso Terra l'emissione aurorale appare come un 'impalpabile' alone appena sopra il bordo del pianeta, quindi ad alta quota, con saltuari aumenti e diminuzioni durante una intera rotazione. Alcune macchie CHIARE ruotanti in maniera regolare col pianeta sono invece nuvole (di metano?) troposferiche, ossia a quote relativamente basse:



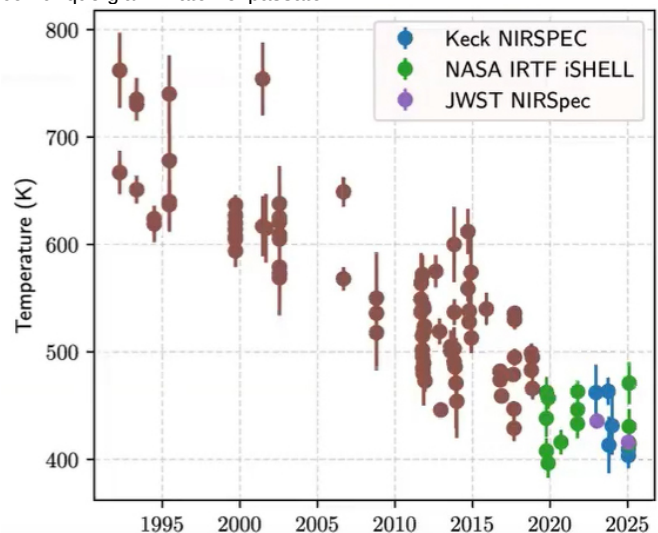
Per capire bene le immagini sopra (in realtà spiegate male anche nei comunicati ufficiali ESA) bisogna considerare che i colori (non reali) si riferiscono alla variazione della concentrazione dello ione H_3^+ misurata nella banda (3,3-4,1 micron), che, come spiegato in precedenza, dipende dall'altezza: questa concentrazione è minima (colore azzurro) in superficie e massima (colore rosso intenso) tra 2 e 5000 km di altezza: qui si vede 'chiaramente', appena oltre il bordo del pianeta, una diffusa emissione aurorale, con alcune zone di maggiore intensità (vedi due immagini superiori).

A differenza che su Giove e Saturno dove le aurore sono cerchi continui, su Urano le aurore presentano emissioni 'spezzettate', variabili in tempi brevi e di diversa intensità tra Nord e Sud. Il fatto poi che l'asse aurorale sia inclinato di ben 60° rispetto ad un asse di rotazione a sua volta inclinato di 98° , rende le osservazioni ulteriormente difficili da interpretare.

Le aurore si vedono bene in queste mappature globali di Urano realizzate dallo strumento NIRSpec a bordo di JWST il 19 Gennaio 2025, nello spazio di circa 7 ore:



Sfruttando la ricordata relazione tra il rapporto di intensità di alcune bande dello ione H_3^+ con la temperatura, è stato anche possibile per la ionosfera di Urano (circa 1000-2000 km sopra la pressione di 1 Atm) misurare una temperatura media di circa 150°C , ossia circa 300°C inferiore (!) alle misure di 30 anni fa. Si tratta di un autentico 'collasso' termico, ben superiore a quello riscontrato anche su Nettuno, che era comunque già iniziato nel passato:



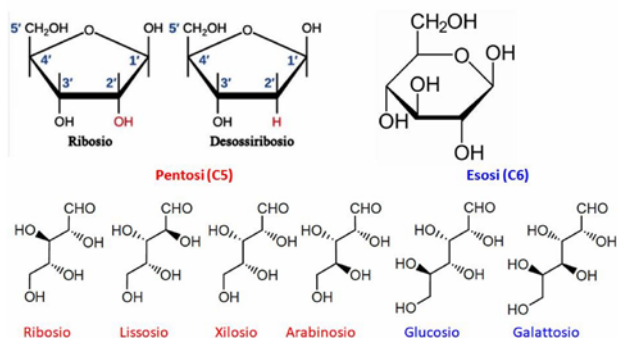
Le ragioni di questo fenomeno sono al momento ignote, anche se c'è il sospetto di qualche influsso stagionale (più marcato su Urano, dato che qui le stagioni sono estremizzate dall'inclinazione di 98° dell'asse di rotazione).

In ogni caso questi primi studi approfonditi sul magnetismo aurorale di Urano e Nettuno non servono solo a farci chiarire i misteri di questi pianeti: servono più in generale per farci capire il comportamento dei pianeti extrasolari, dal momento che la statistica attuale ci dice che sono dominanti quelli di massa nettuniana.

Il primo tentativo su un eso-pianeta venne fatto nel 2010 su HD 209458 b, con lo spettrometro CRIRES (VT1 di Paranal) (A&A 589, A99, 2016). Si tratta del primo eso-pianeta rilevato sia col metodo di oscillazione radiale (da cui la massa di 0,65 masse gioviane) che col metodo del transito (da cui un diametro di 1,4 volte quello di Giove). La conseguente densità di $0,37 \text{ g/cm}^3$ dimostrava che era un pianeta gassoso, che ruotava in soli 3,5 giorni a 7 milioni di km dalla sua stella (1,13 masse solari e 1,7 volte più luminosa, a 154 a.l. in Pegaso). Durante il transito vennero ricercate nello spettro della stella+pianeta le emissioni H_3^+ a 3953.0 nm [Q(1, 0)] e a 3985.5 nm [Q(3, 0)]. L'elevata luminosità della stella rese però molto incerto il risultato, nonostante le condizioni apparentemente molto favorevoli: sicuramente presente (per ragioni simili a quelle di Giove) un notevole campo magnetico e, data la vicinanza, una importante energia stellare, che ne riscalda l'atmosfera ad oltre 1000°C (quindi una ipotetica emissione H_3^+ anche 1000 volte maggiore di Giove). In generale tutti i cosiddetti 'Giovi caldi' ossia i pianeti gassosi orbitanti a pochi milioni di km dalla loro stella, sono candidati ottimali. Non però per gli attuali telescopi terrestri, ma per il JWST e per l'ormai prossimo ELT da 39 m di Paranal.

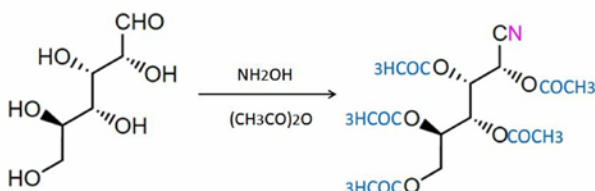
ZUCCHERI NELLO SPAZIO: UNA SCOPERTA EPOCALE.

Come noto, il 24 Settembre 2023 la missione Osiris-REX è riuscita a portare a terra 121,6 gr di materiale prelevato dall'asteroide carbonioso Bennu. Un team di ricercatori dall'Università di Tohoku, in Giappone, ha ricevuto un campione di 0,603,4 mg di questo materiale (IDOREX-800107-108) che è stato sottoposto alla ricerca della eventuale presenza di zuccheri sia a 5 atomi di C (Pentosi) che a 6 atomi di C (esosi). Gli zuccheri possono presentarsi in forma 'aldolica' aperta (formula di Fisher) oppure, in presenza di acqua, in forma ciclica chiusa:



Su Bennu, essendoci solo tracce di acqua (che invece fu abbondante in passato apportando Sali e argille) gli eventuali zuccheri devono trovarsi in forma aperta. Un importante articolo pubblicato all'inizio di Dicembre 2025 su NATURE Geoscience rivendica la scoperta di ben 6 zuccheri differenti, grazie ad una procedura analitica complessa e delicatissima che cerchiamo qui di riassumere. Il campione è stato inizialmente estratto ripetutamente prima con acqua + HCl al 2%, e poi con metanolo. Sul residuo portato a secco è stata effettuata un'analisi gas-cromatografica (GC) accoppiata con uno spettrometro di massa (MS). Essendo però gli zuccheri composti facilmente degradabili come tali in GC (a causa del fatto che qui le temperature richieste arrivano attorno a 300°C) è stato necessario sottoporli ad una preventiva e classica derivatizzazione trasformandoli in nitrile acetato:

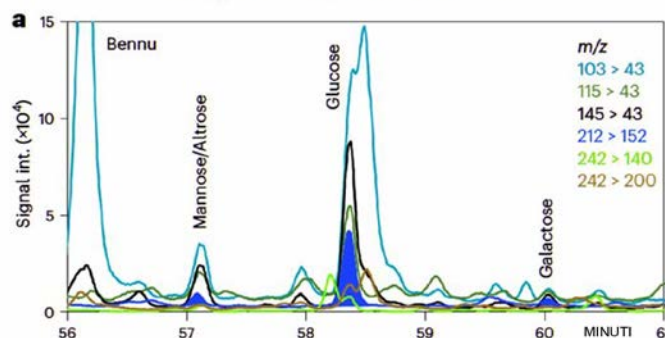
La derivatizzazione degli zuccheri per analisi GCMS



Questa derivatizzazione avviene in due steps: 1) reazione a 70-80°C con cloridrato di idrossilammina ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$) in piridina per trasformare il gruppo CHO (aldeidico) dello zucchero in ossima ($\text{CH}=\text{NOH}$) 2) trattamento sempre a caldo con anidride acetica ($(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$) per acetilare tutti i gruppi OH dello zucchero e trasformare l'ossima in CN (nitrile). La derivatizzazione è stata condotta dopo aver aggiunto, come standard interno (riferimento per valutare le concentrazioni)

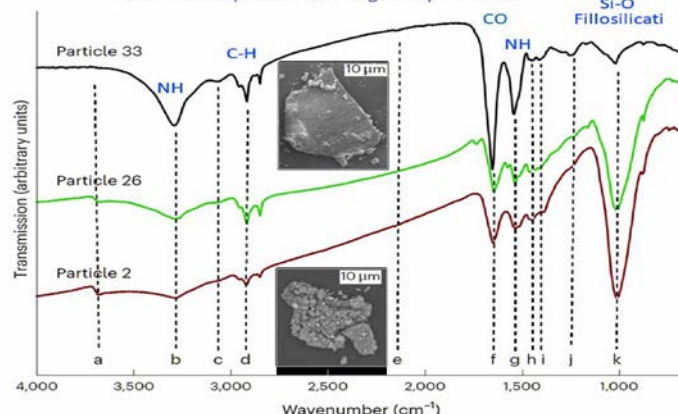
2-desossi-Fluoro 2-desossi-Fluoro-glucosio. I derivati sono stati sciolti in una miscela di esano/etil-acetato ed iniettati preferibilmente in una colonna GC capillare (diametro= 0,25 mm) da 60 metri a media polarità (DB-17). Ad un tempo di ritenzione tra 30 e 50 min sono stati individuati 4 pentosi (Ribosio, lissosio, arabinosio, xilosio) e tra 50 e 60 min due esosi (glucosio e Galattosio):

Bennu: zuccheri a 6 atomi di Carbonio



In totale sono stati individuati 0,668 nmoli di zuccheri con netta predominanza del glucosio (0,34 nmoli/g). Presenti sono anche piccole porzioni di zuccheri acidi e alcolici ($-\text{COOH}$ e OH al posto del gruppo CHO). È molto interessante far notare che tra i pentosi è presente il ribosio (0,097 nmoli/g) ma NON il desossi-ribosio, verosimilmente meno stabile nell'ambiente primordiale che diede origine agli zuccheri. Conseguenza: forse furono questi zuccheri, assieme a sali di Fosforo, amminoacidi e basi nucleiche presenti su asteroidi come Bennu, ad innescare la nascita della vita sulla Terra, inizialmente a base RNA e solo successivamente a base DNA. Il meccanismo di formazione più probabile dei vari zuccheri è legata alla scoperta, nel materiale di Bennu, di formaldeide (HCHO) riportata in un altro importante articolo (NATURE Astronomy del 29 Gennaio 2025). Lo stesso articolo rivendica anche la scoperta di 33 Amminoacidi di cui 19 'biologici' e di NH_3 (ammoniaca) cui compete il 40% dell'N totale e che giustifica il $\text{pH}=8,23$ (ossia alcalino) misurato nell'acqua di estrazione. Una porzione di N è inglobata anche in un enigmatico materiale polimerico (NATURE Astronomy, 2 Dicembre 2025) caratterizzato (come nelle proteine...) da forti legami amidici ($\text{CO}-\text{NH}$).

Bennu: esempi di materia organica polimerica.



Ammoniaca (13,6 $\mu\text{mol/g}$) e Formaldeide (5-6 $\mu\text{mol/g}$) sono stati individuati e misurati con la metodologia speciale $\mu\text{-L2 MS}$ (micro Spettrometria di Massa ad attivazione laser, che si utilizza per la ricerca di micro quantità). La formaldeide condenserebbe progressivamente in zuccheri secondo la cosiddetta reazione di Butlerov (dal nome del chimico russo Aleksandr Butlerov che la scoprì già nel 1861) in presenza di un ambiente alcalino (vedi il $\text{pH}=8,23$) e l'azione catalitica di Ca e Mg (presenti su Bennu come carbonati).

Cento miliardi di \$, una cifra enorme per tornare sulla Luna, progettare, realizzare, pagare gli stipendi delle decine di migliaia di persone che lavorano per realizzare il progetto più ambizioso dell' uomo a qualcuno sembra eccessivo, chissà cosa ne pensano quando vedono mercati finanziari e borse mondiali fumarsi dai 100 ai 400 miliardi di \$ al giorno, perchè invece di mandare un missile sulla Luna, vengono invece lanciati sulla Terra. Gli eventi di queste settimane non possono che ricordarmi quando da bambino andavo dai vicini per guardare la televisione; allora avevo 8 anni e prima di Carosello c'era il telegiornale: bombe molotov sui carri armati russi, soldati americani in guerra, e malgrado tutto qualcuno tentava di raggiungere la Luna. Era il 1968 e, anche se le armi non hanno smesso di suonare la loro musica mortale, quel Natale gli astronauti di **Apollo8** volavano intorno alla Luna. Ad aprile vedremo se ci ritroveremo nella fotocopia di quel tempo. Da quando l'**Apollo 17** tornò dalla Luna nel 1972 gli esseri umani non hanno più lasciato l'orbita terrestre; in un discorso del 26 marzo 2019 qualcuno chiedeva alla NASA di raggiungere la Luna entro il 2024, non è successo e non succederà prima del 2028, però oggi abbiamo una certezza: sarà il progetto **Artemis** a riportare l'uomo sulla Luna, anche se non sappiamo "quando". Per questo cerchiamo di fare il punto sullo stato dell'arte del progetto. La prima missione **Artemis I** è stata un test di volo senza equipaggio, partita il 16 novembre 2022 dal K.S.C. della NASA in Florida. L'SLS ha lanciato Orion verso l'orbita lunare ed ha infine sorvolato la Luna per poi tornare di nuovo a Terra, diventando un test cruciale per mettere a punto la configurazione necessaria al trasporto di astronauti. Il rientro ha evidenziato un problema allo **scudo termico** di Orion, successivamente corretto dalla NASA. **Artemis II** in partenza, sarà la prima missione con equipaggio del programma, inviando esseri umani oltre l'orbita terrestre per la prima volta in oltre 50 anni. Un equipaggio di quattro persone: Reid Wiseman, Victor Glover e Kristina Koch (NASA), Jeremy Hansen (Agenzia Spaziale Canadese), porteranno Orion in orbita attorno alla Luna. La missione successiva **Artemis III**, originariamente avrebbe dovuto atterrare sulla Luna. Tuttavia all'inizio del 2026, la NASA ha affidato questo compito ad **Artemis IV**, suddividendo di fatto il programma lunare in più missioni per ridurne i rischi e testare nuove procedure e tecnologie lungo il percorso. Ora, Artemis III prevede un lancio con equipaggio in orbita terrestre bassa, dove Orion si aggancerà a un futuro lander lunare costruito da **SpaceX o Blue Origin**. Una sorta di replica di **Apollo9**, poi Artemis IV sarà il vero fiore all'occhiello del nuovo programma lunare con lancio nel 2028 (ma la data di lancio dipende da diversi fattori), e tentativo di atterrare a bordo della Starship di SpaceX vicino al polo sud della Luna. Gli attuali piani della missione sono un po' complicati: gli astronauti partiranno con SLS e Orion, mentre la **Starship** li raggiungerà attorno alla Luna. Due astronauti rimarranno in orbita attorno alla Luna a bordo di Orion, mentre due saliranno a bordo della Starship e si dirigeranno verso la superficie lunare. Dopo Artemis IV, ulteriori missioni potrebbero allestire e ampliare la stazione lunare **Gateway** (il modulo **Halo** dovrebbe essere in orbita lunare dalla fine 2027), portare rover e moduli abitativi sulla superficie lunare e iniziare ad estrarre risorse come acqua e ossigeno. **Lo Space Launch System** (SLS) è un razzo di grandi dimensioni basato sulla tecnologia derivata dallo **Space Shuttle** (solo una versione più grande dello stack di STS), che di fatto sostituisce l'orbiter con la capsula **Orion**. Lo stadio centrale del veicolo è il serbatoio di carburante esterno (il vecchio **ET**) più allungato rispetto allo Shuttle, alimentato da quattro motori **RS-25** (i vecchi **SSME** dello Space Shuttle) ricondizionati che verranno abbandonati nell'oceano. Nella fase iniziale del volo una coppia modificata di razzi a propellente solido a cinque segmenti (i vecchi **SRB** dello Shuttle ne avevano solo 4), supporta lo stadio centrale (Core). Orion è una capsula spaziale in grado di supportare fino a quattro astronauti per viaggi nello spazio profondo, simile nel concetto, ma con un interno più ampio rispetto alle capsule Apollo. La differenza rispetto alle capsule progettate per l'orbita terrestre è nello scudo termico che deve resistere al rientro ad alta velocità necessario per lo spazio profondo, con temperature molto più elevate. La Orion è composta da due componenti principali: una capsula pressurizzata per l'equipaggio ed un modulo di servizio. Nella fase iniziale del decollo vi è anche la torre LAS (Launch Abort System) che, se tutto va bene, viene sganciata durante la salita. Un altro importante componente del progetto è **Gateway**, una piccola stazione spaziale in orbita lunare che fungerebbe da supporto logistico e avamposto scientifico, in pratica un punto di riferimento per le missioni da e per la superficie lunare. La NASA ha chiesto ad aziende commerciali di fornire servizi di trasporto merci verso Gateway, in modo simile a quanto avviene per la ISS. La NASA ha chiesto ad aziende commerciali di costruire lander lunari che alla fine si aggancino al Gateway. Nell'aprile 2021, l'agenzia spaziale ha annunciato di aver selezionato la Starship di SpaceX per aiutare l'uomo a sbarcare sulla Luna. La NASA nel maggio 2023 ha selezionato un secondo sistema di atterraggio, il lander **Blue Moon** di Blue Origin. Un equipaggio Orion in visita a Gateway entrerebbe nel lander, scenderebbe sulla superficie rientrando con il modulo di risalita o con l'intero veicolo. I primi lander sarebbero in grado di rimanere sulla superficie solo per brevi periodi, mentre i veicoli futuri potrebbero rimanervi per tutta la notte lunare (un periodo di circa due settimane). Artemis IV nel 2028 si sforzerà di includere un rendezvous e un attracco con uno o entrambi i lander commerciali di

SpaceX e Blue Origin, completando i test nello spazio sui veicoli attraccati, dal controllo integrato dei sistemi di supporto vitale, a quelli di comunicazione e di propulsione, nonché i test sulle nuove tute per attività extraveicolari (EVA). La NASA ricostruirà le competenze chiave della forza lavoro al suo interno, continuando naturalmente a collaborare con tutti i partner Artemis, al fine di garantire una cadenza di lancio costante, sicura e affidabile. Una gara spaziale con un nuovo grande avversario geopolitico che si fa pressante di giorno in giorno, "*dobbiamo muoverci più velocemente, eliminare i ritardi e raggiungere i nostri obiettivi*", ha affermato il nuovo amministratore della NASA Jared Isaacman: "Standardizzare la configurazione del veicolo, aumentare la frequenza dei voli e progredire attraverso gli obiettivi con un approccio logico e graduale: è così che abbiamo raggiunto l'impossibile nel 1969 ed è così che lo faremo di nuovo". "C'è ancora troppo da imparare e troppi rischi nello sviluppo e nella produzione davanti a noi. Dobbiamo guardare indietro alla saggezza di coloro che hanno progettato Apollo. Dobbiamo procedere per piccoli passi ed ogni passo deve essere abbastanza grande da fare progressi, ma non così grande da correre rischi inutili, dati gli insegnamenti precedenti. Anche Boeing si allinea alle direttive confermando che: "Lo stadio centrale dell'SLS rimane lo stadio del razzo più potente al mondo e l'unico in grado di trasportare gli astronauti direttamente sulla Luna e oltre con un unico lancio. Mentre la NASA definisce un programma di lanci impegnativo, la nostra forza lavoro e la nostra catena di fornitori sono pronte a soddisfare le crescenti esigenze di produzione ". A gennaio il razzo SLS aveva subito una serie di contrattempi: problemi con l'idrogeno liquido durante un test di rifornimento iniziale. L'idrogeno è facilmente infiammabile, con il rischio di un'esplosione, se ne accumula una quantità eccessiva in un'unica area. Proprio quando la NASA sembrava aver risolto il problema delle perdite di carburante, tuttavia, a fine febbraio si è imbattuta in un nuovo problema: l'elio non fluiva correttamente verso la parte superiore del razzo. L'elio è fondamentale perché viene utilizzato per pulire le condotte del propellente e per pressurizzare i serbatoi di carburante. Questo problema ha fatto saltare le possibili date di lancio di marzo e ha costretto la NASA lo scorso 25 febbraio a riportare il razzo nel VAB dove sono state completate le necessarie riparazioni. NASA ha confermato di essere riuscita a risolvere il problema del flusso di elio riparando una guarnizione ostruita all'interno di un cavo che collega il razzo ai sistemi di terra. La NASA ha dichiarato di aver scelto di non effettuare un'altra prova generale con carico di carburante, un test in cui i controllori di lancio riempiono il razzo di propellente ed eseguono una simulazione completa in preparazione al lancio, per preservare i serbatoi: ogni volta che la NASA li riempie di propellente, "si riduce un po' la loro durata utile". L'ultima prova generale con carico di carburante, a fine febbraio, si era conclusa con successo, ma poco prima che la NASA individuasse il problema del flusso di elio. NASA ha impiegato più di un anno per capire perché lo **scudo termico** di Orion non si fosse comportato come previsto durante il volo di Artemis I del 2022, rientrando sulla Terra con ammaccature e crepe. Non è così che dovrebbe comportarsi lo scudo termico. Lo strato **Avcoat** (non presente in questo scudo) dovrebbe erodersi in modo controllato con il calore, il materiale stesso cambia ogni 20 secondi circa durante il rientro dove viene sottoposto ad una temperatura di 2200°C". Gli scudi termici prodotti per le capsule Apollo della NASA avevano tutti uno strato protettivo di Avcoat, considerato un materiale ben conosciuto con decenni di dati a supporto della sua efficacia. Per un volo di prova senza equipaggio nel 2014, chiamato EFT-1, il team della missione ha equipaggiato una capsula Orion con uno scudo termico applicato nello stesso modo dell'era Apollo: in una complessa struttura a nido d'ape. Ma questo approccio richiedeva un processo di produzione laborioso che la NASA sperava di evitare. Lockheed Martin Space ha dichiarato che la struttura Avcoat è stata modificata "per aumentare l'efficienza di produzione e installazione". Le capsule Orion costruite per le missioni Artemis hanno abbandonato la struttura a nido d'ape Avcoat a favore di uno scudo termico realizzato utilizzando grandi blocchi di questo materiale con i risultati che abbiamo visto. La capsula Orion destinata ad ArtemisII aveva già il suo scudo termico installato ancor prima del volo di Artemis I, quindi era troppo tardi per sostituire lo scudo termico con uno nuovo. Per far volare Artemis II e mitigare i rischi si è allora deciso di modificare la traiettoria di rientro della capsula, una valutazione che alcuni critici hanno giudicato inadeguata. All'interno della NASA c'è consenso sul fatto che lo scudo termico sia sicuro e che Artemis II sia pronta per il volo. A quando scriviamo gli astronauti sono in quarantena e Artemis è tornato alla rampa 39B dopo un viaggio di 12 ore dal VAB. La NASA ha completato una cruciale valutazione dei rischi, la **Flight Readiness Review** (FRR), in vista della sua prossima missione di sorvolo lunare e ha rivelato la nuova data di lancio per Artemis II che sarà il 1° aprile alle 18:24 ET. In caso di ritardo, sono previste altre sei finestre di lancio: 2, 3, 4, 5, 6 e 30 aprile. Finalmente nelle scorse settimane la Commissione Commercio del Senato ha approvato all'unanimità il NASA Authorization Act del 2026, sostenendo le modifiche proposte al programma Artemis, estendendo la permanenza della Stazione Spaziale Internazionale fino al 2032 e incaricando la NASA di stabilire una base lunare. Riecheggia comunque un monito: "A volte siamo fortunati. E quando siamo fortunati, a volte barattiamo la fortuna con l'essere bravi, e poi ci convinciamo di essere migliori di quanto non siamo in realtà".