

# GRUPPO ASTRONOMICOTRADATESE

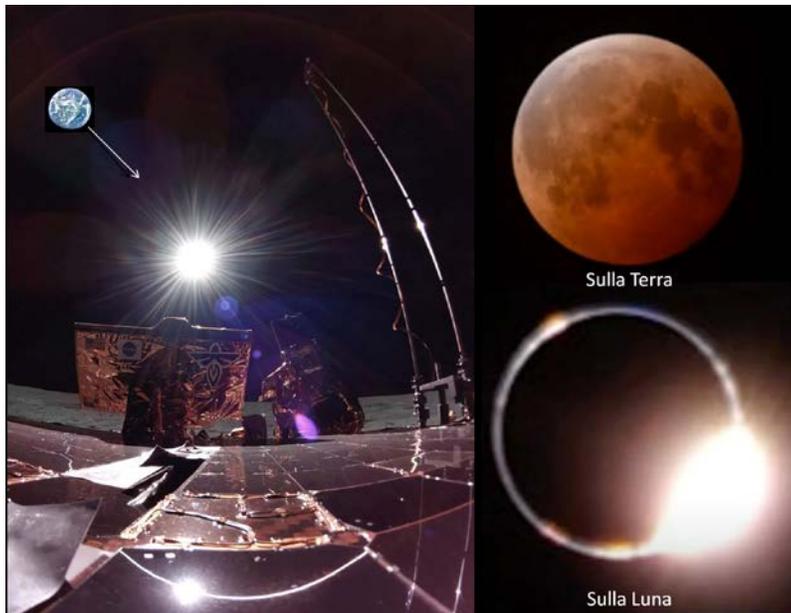
LETTERA N. 177

51° anno

Aprile-Giugno 2025

<http://www.gruppoastronomicotradatese.it>

A tutti i soci



14 Marzo 2025: il Lander Blue Ghost, due giorni prima di spegnersi in conseguenza della notte lunare, ha ripreso dalla Luna con la sua camera SCALPSS (Stereo CAmera for Lunar Plume-Surface Studies) il Sole eclissato totalmente per 2h16m dalla Terra, sulla quale si stava verificando un'eclisse totale di Luna. Durante la totalità 'lunare' la temperatura è scesa da +40° a -120°C!

Alla fine di Marzo 2025 erano stati individuati con certezza 5856 extrasolari, orbitanti attorno a 5091 stelle, e 984 sistemi planetari, ossia stelle con più di un pianeta (<https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu>). Inevitabile che vi dedicassimo gran parte di questa lettera ed anche una conferenza pubblica. Molto attuale anche la Luna, con il successo del **Lander Blue Ghost** della società privata Firefly Aerospace, disceso nel Mare Crisium il 2 Marzo 2025, e al quale abbiamo voluto dedicare tutto l'inserito ANews177. Anche perché la sonda è riuscito nell'impresa storica di riprendere il 14 Marzo, dalla Luna, una particolarissima eclisse totale di Sole (vedi qui a fianco).

Quasi contemporaneamente (12 Marzo) la sonda europea HERA, in viaggio verso l'incontro del 28 Dicembre 2026 con l'asteroide Didimos, ha ricevuto da Marte il necessario gravity assist, sfiorando il pianeta Rosso da 5000 km, e il nero satellite Deimos da soli 300km.

Sempre il 12 Marzo è stato lanciato **SPHERE** (Spectro-Photometer for the History of the Universe, Epoch of Reionization, and Ices Explorer), in orbita polare a 650 km di altezza, sincrona con il Sole. Il suo telescopio da 20 cm a grande campo, farà in infrarosso la migliore mappa tridimensionale di 450 milioni di galassie e cercherà Acqua e composti organici attorno a 100 milioni di stelle della Via Lattea. Pochi giorni dopo (19 Marzo) i responsabili dello strumento DESI (Dark Energy Spectroscopic Instrument) applicato al telescopio da 4 metri di Cerro Tololo) hanno pubblicato alcune mappe 3D su 20 milioni di galassie, derivate dai dati raccolti nei primi tre anni di lavoro (DR1), dalle quali sembra dedurre che la 'misteriosa' energia oscura è variabile nel tempo.

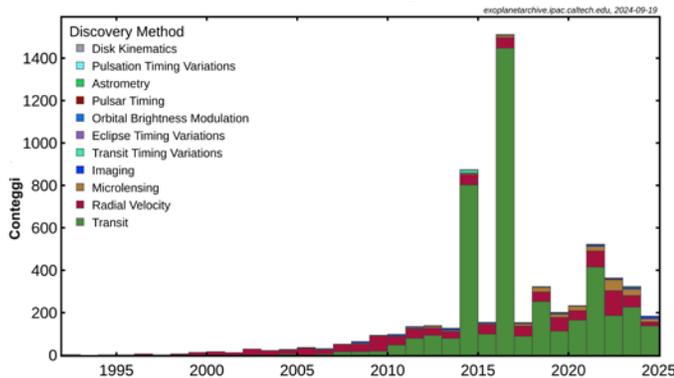
Intanto sta crescendo l'attesa per il sorvolo dell'asteroide 52246 Donaldjohanson, programmato dalla sonda Lucy per il 20 Aprile 2025, nell'ambito del suo complicato viaggio verso gli asteroidi troiani di Giove. E per finire (11 Marzo) una notizia sensazionale da parte della CNSA (China National Space Administration): l'offerta a collaborazioni internazionali (tempo fino al 30 Giugno e scelta entro Ottobre 2025) per la **missione Tianwen-3** che alla fine del 2028 verrà lanciata verso Marte con lo scopo di prelevare campioni (su Amazonis, Crise o Utopia Planitia) da portare a Terra due anni dopo. I campioni verranno scelti grazie allo strumento RaFAM (Raman and Fluorescence Analyzer for Mars) che cercherà materia organica in maniera simile allo strumento SHERLOC a bordo di Perseverance.

**Nei mesi primaverili del 2025 le scadenze della nostra attività sono inevitabilmente legate alla Pasqua molto alta del 20 Aprile. Come sempre saremo legati in parte alla grossa attualità, in parte ad importanti anniversari storico/astronomici.**

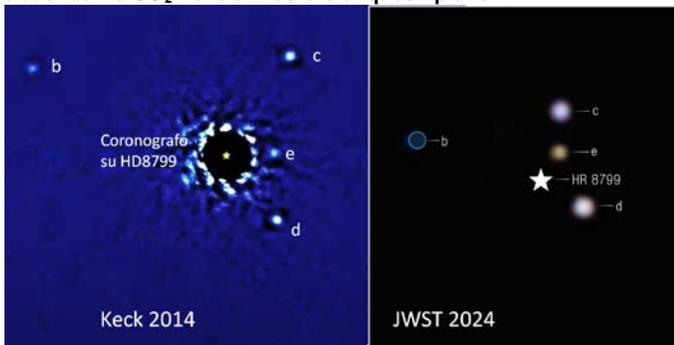
Lunedì 7 Aprile 2025 h 21 Cine GRASSI	Conferenza del dott. Paolo OSTINELLI sul tema <b><u>VIAGGIO AL PIC DU MIDI.</u></b> La storia e le scoperte scientifiche del leggendario osservatorio astronomico nato nel 1873 a 2877 sui Pirenei francesi e visitato direttamente dal relatore in una apposita spedizione scientifica.
Lunedì 28 Aprile 2025 h 21, Cine GRASSI	Conferenza del dott. Cesare GUAITA sul tema <b><u>SISTEMI PLANETARI EXTRASOLARI.</u></b> Alla fine di Marzo 2025 erano state scoperte quasi 1000 stelle ciascuna circondata da parecchi pianeti. Ne sono derivate scoperte talmente peculiari da rasentare l'incredibile.
Lunedì 12 Maggio 2025 h 21 Cine GRASSI	Conferenza del Prof. Marco ARCANI sul tema <b><u>NUOVI TELESCOPI PER RAGGI COSMICI.</u></b> Dal super-neutrino di recente scoperto (NATURE, Febbraio 2025) con un rivelatore italiano sottomarino, a tutta una serie di applicazioni PRATICHE rese possibili da rivelatori di muoni di ultima generazione.
Lunedì 26 Maggio 2025 h 21 Cine GRASSI	Conferenza dell' Ing. Lorenzo COMOLLI sul tema <b><u>ECLISSI TOTALI DI SOLE E RELATIVITA'.</u></b> Durante l'eclisse totale di Sole dell' 8 Aprile 2024 in USA il relatore ha ripetuto il famoso esperimento che nel 1919 diede fama imperitura ad Einstein e che ha avuto molteplici risvolti negli ultimi cento anni.
Lunedì 9 Giugno 2025 h 21 Cine GRASSI	Conferenza di Permario e Aurora ARDIZIO sul tema <b><u>UNA GIORNATA NELLO SPAZIO.</u></b> Dormire sul soffitto, lavorare a testa in giù, grande attenzione alla preparazione del cibo, prima poco appetitoso, adesso basato su menù personalizzati che rendono la vita nello spazio possibile e piacevole.
Lunedì 23 Giugno 2025 h 21 on line Cine GRASSI	Conferenza del dott. Lorenzo Silignaro sul tema <b><u>CASSINI, UNA VITA LEGGENDARIA INIZIATASI 400 ANNI FA.</u></b> Giandomenico Cassini nacque a Perinaldo (Imperia) l' 8 Giugno 1625. Lavorò a Bologna fino al 1669 (dove costruì la famosa meridiana di San Petronio), quindi si trasferì all' Oss. di Parigi dove fece scoperte epocali.

## 1) PIANETI EXTRASOLARI SPECIALI.

A tutto **Marzo 2025** sono stati scoperti **4401** pianeti col metodo dei transiti, **1111** pianeti col metodo dell'oscillazione radiale (RV) indotta sulla stella da uno o più pianeti, **235** pianeti in seguito a micro-lensing gravitazionale (del pianeta o della stella+pianeta) su una stella lontana, **82** pianeti per immagini dirette:



I pianeti scoperti in immagini dirette, sfruttano l'utilizzo di AO (Ottiche Adattive) e sono in genere pianeti molto distanti dalla loro stella quindi, per questo, più facilmente spettrografabili (vedi anche Lettera N. 152). Il caso più 'iconico' è quello di **HR8799**, una giovane (30 milioni di anni) stella di 1,56 masse solari a 129 a.l. in Pegaso. E' circondata (Keck 2010-2016), in visione perfettamente di piatto, da 4 pianeti (b, c, d, e) di taglia gioviana (orbite tra 16 e 71 u.a.) e da una larga fascia asteroidica (104-360 a.u.). 30 ore di osservazione JWST tra Novembre 2022 e Novembre 2023 (GTO 1194, NIRCcam + coronografo) hanno permesso la scoperta di abbondante CO<sub>2</sub> nelle atmosfere di questi pianeti:



Analogo risultato è stato ottenuto in Febbraio 2025 (GTO 1412) sul pianeta gassoso orbitante a 1,5 miliardi di km attorno alla stella 51 Eridani.

La maggior parte dei pianeti transitanti è stata scoperta non da Terra ma dallo spazio. Il satellite Kepler, nella missione primaria (2009-2012 ), ha scoperto 2779 pianeti (+1982 candidati) e nella missione secondaria K2 (2013-2018 ) 547 pianeti (+979 candidati). Il satellite TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite), lanciato in Aprile 2015, ha finora scoperto 613 pianeti (+7525 TOI, Tess Of Interest, ossia candidati). Il satellite sperimentale CoRoT (Convection, Rotation and planetary Transits ) scoperse, dal 2006 al 2013, 34 pianeti.

Il primo pianeta extrasolare fu scoperto nel 1995, col metodo RV (oscillazione radiale), attorno a **51Pegasi** (Helvetios), una stella di tipo G e 1,1 masse solari a 49 a.l. in Pegaso. Fu una sorpresa constatare che 51Pegasi-b (Dimidium) era un pianeta di 0,5 masse gioviane, orbitante in 4,2 giorni a soli 0,05 u.a. dalla stella centrale. Si tratta quindi di un gigante gassoso caldo (un 'giove caldo') con una temperatura di circa 800°C, che nessuna teoria aveva previsto in precedenza, perché sembrava impossibile l'esistenza di giganti gassosi molto vicini alla loro stella. La scoperta, negli anni seguenti, di molti altri 'giovi caldi' (per un evidente effetto di selezione dovuto alla sensibilità del metodo RV) ha alla fine condotto ad una ipotesi plausibile: i 'giovi caldi' si formerebbero correttamente lontano dalla stella centrale e poi migrerebbero verso il basso a causa dell'attrito con il materiale del disco planetario originale. Durante questo processo è possibile che vengano espulsi dal sistema pianeti minori, che finirebbero col vagare isolati nello spazio, senza alcuna stella di riferimento. Ad oggi, sfruttando l'effetto di microlente gravitazionale del pianeta su qualche stella lontana, si conoscono circa 20 pianeti 'vaganti'.

Uno di essi venne scoperto nel 2014 dal satellite WISE a solo 7 a.l. di distanza: denominato Wise 0855-0714 ha una massa di 3-10 masse gioviane ed una temperatura > -50°C.

Il 1000esimo esopianeta scoperto è stato chiamato **WASP-67b**. E' un gigante gassoso caldo (0,7 masse gioviane) che rivoluziona in 4,15 giorni a 0,047 u.a. da una stella di tipo K a 620 a.l. nel Sagittario. La sua scoperta è stata annunciata nell'ottobre del 2013 dal progetto SuperWASP (due complessi di 8 camere a grande angolo, una a La Palma ed una in Sud Africa).

Il 2000esimo esopianeta si chiama **Kepler 406b** e venne scoperto nel 2024 dal satellite Kepler. La stella centrale di tipo G si trova nella costellazione del Cigno a 1189 a.l. di distanza. Il pianeta è una 'super-Terra' (6,35 masse terrestri e diametro= 1,43 volte quello terrestre) che rivoluziona in 2,5 giorni a soli 0,036 u.a. dalla stella.

Nel Marzo 2022 gli esopianeti confermati hanno raggiunto il numero di 5000.

Tutte le stelle della sequenza principale (ossia quelle che emettono energia bruciando l'idrogeno in Elio) possono avere dei pianeti. Pianeti attorno a stelle evolute (giganti rosse, nane bianche o addirittura pulsar) sono invece una assoluta rarità. In ogni caso sono particolarmente interessanti i pianeti di massa terrestre all'interno della cosiddetta fascia di abitabilità HZ (Habitable Zone), ossia la fascia, a una certa distanza dalla stella, entro cui l'acqua eventualmente presente su un pianeta, può rimanere liquida. Bisogna però considerare che le stelle gialle simili al Sole, ossia quelle di tipo G, sono poco comuni, avendo una abbondanza del 5-7% e una stabilità (ossia una permanenza nella sequenza principale) massima di 10 miliardi di anni. Più numerose (10-15%) sono le stelle arancioni di tipo K (0,5-0,8 masse solari) che, essendo meno luminose del Sole (max 60%) hanno fasce di abitabilità un po' più vicine (0,4-0,8 u.a.). Sono anche più longeve del Sole (fino a 45 miliardi di anni) per cui eventuali pianeti 'abitabili' hanno a disposizione tempi di evoluzione nettamente più lunghi. Le stelle più numerose (70-75%) sono comunque le nane rosse M (0,1-0,6 masse solari) che hanno una luminosità del 2-8% rispetto al Sole e una longevità che può raggiungere i 100 miliardi di anni. Siccome le fasce di abitabilità delle nane rosse M sono molto prossime alla stella stessa (0,1-0,3 u.a.), eventuali pianeti pur 'abitabili' soffrirebbero parecchio la vicinanza alla loro stella, sia perché sarebbero costretti a mostrare sempre la stessa faccia, sia perché sarebbero soggetti agli intensi flussi X e UV dei brillamenti tipici di queste stelle. In definitiva quindi i pianeti in assoluto più interessanti sono quelli rocciosi all'interno della fascia di abitabilità di stelle arancioni di classe K. Ad oggi si conoscono 70 pianeti in fascia abitabile, dei quali 29 rocciosi. Se la massa è < 10 masse terrestri il pianeta è probabilmente solido, oppure ricoperto da acqua (pianeta 'oceano'). Con più la massa aumenta, con più aumenta la capacità di trattenere componenti gassosi: il pianeta diventa un gigante gassoso 'nettuniano' o 'gioviiano'. In realtà a determinare la precisa natura ultima di un esopianeta è la densità, calcolabile accoppiando il volume (da misure di transito) con la massa (da misure RV di oscillazione radiale). Se una di queste due quantità non è calcolabile (il pianeta non transita oppure la sua massa è troppo esigua per produrre oscillazione radiale) la classificazione rimane incerta. E' comunque assai probabile che per Raggi < 4 R<sub>T</sub> il pianeta mantenga una costituzione rocciosa (che si può trasformare in un pianeta 'oceano' all'interno di una fascia di abitabilità).

E' evidente che in una simile quantità di esemplari, è possibile trovare una ampia tipologia di pianeti, sia come composizione (35% rocciosi e 65% gassosi), sia come massa (da una frazione di massa terrestre fino a non superare 13 gioviane, il limite per una nana bruna), sia come densità (0,1-10 g/cm<sup>3</sup>) sia come distanza (vicini e caldissimi o lontani e freddissimi).

Una plausibile differenziazione in funzione della massa (in unità terrestri) è la seguente:

Pianeti TERRESTRI: 0,5-1,5 m<sub>T</sub> (20-30%)

Super-TERRE: 1,5-4 m<sub>T</sub> (30-40%)

Mini-NETTUNI: 4-10 m<sub>T</sub> (20-30%)

NETTUNI: 10-30 m<sub>T</sub> (10-15%)

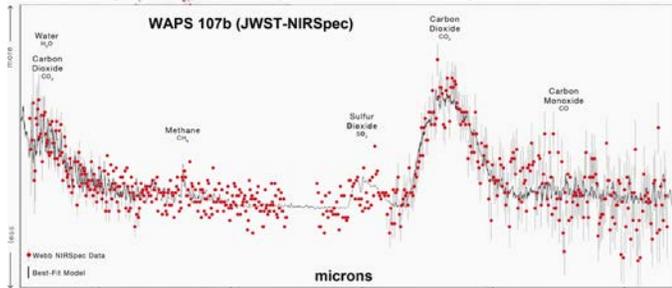
Giganti GASSOSI: 30 m<sub>T</sub>- 12 m<sub>G</sub> (masse gioviane) (5-10%)

Nane BRUNE: 13-80 m<sub>G</sub>

Il pianeta con massa minore conosciuto orbita attorno a **Kepler 1520**, una stella di tipo K di 0,76 masse solari a 2000 a.l. nel Cigno. Nel 2016 venne confermata la presenza di un pianeta transitante di 0,02 masse e mezzo diametro terrestre, orbitante

in 0,65 giorni ad una distanza di soli 0,013 u.a. Potrebbe trattarsi del nucleo metallico di un pianeta molto più massiccio, dal momento che la conseguente temperatura di circa 2000°C potrebbe avergli fatto perdere il 70% della massa originaria, mantenendo nel contempo fusa la massa di Ferro-Nickel rimanente.

Il record di minima densità spetta ad un pianeta scoperto attorno a **WAPS 107**, una stella di tipo K di 0,7 masse solari, a 200 a.l. dalla Terra nel Vergine. Nel 2017 venne confermata la presenza di un pianeta grande come Giove ma con una massa del 12% di quella gioviana. Si tratta quindi di una specie di Nettuno caldo con l'impalpabile densità di 0,13 g/cm<sup>3</sup>. Molto interessanti gli spettri in trasmissione effettuati nel Giugno 2023 dal telescopio JWST tra 0,8 e 12 micron: vi compaiono infatti gli assorbimenti di Acqua, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (Metano) e SO<sub>2</sub> (Anidride solforosa):



Il record di massima densità spetta al pianeta scoperto attorno a **TO1853**, una stella K di 0,85 masse solari situata 545 a.l. nella costellazione di Bootes. (NATURE, 622, 255-60 (2023)). Nel 2020 TESS individuò un pianeta di 3,5 raggi terrestri, orbitante in 1,2 giorni alla distanza di 0,02 u.a., con temperatura che sfiora i 1200°C. Misure RV di massa effettuate nel 2023 con lo spettrografo HARPN applicato al Telescopio nazionale Galileo delle Canarie hanno indicato una massa di ben 73 masse terrestri, quindi una incredibile densità di 9,7 g/cm<sup>3</sup>. Potrebbe trattarsi del nucleo metallico (in parte fuso) di un pianeta nettuniano cui è stato sottratto gran parte del mantello gassoso a causa di un incontro ravvicinato con un altro pianeta.

Il record di minima distanza dalla sua stella spetta ad un pianeta in orbita attorno a **K2-137**, una nana rossa M di 0,46 masse solari, a 320 a.l. nella Vergine. Alla fine del 2017 venne individuato un pianeta transitante grande come la Terra di 2 masse terrestri, orbitante in 4,3 ore all'incredibile distanza di soli 0,006 u.a. (837.668 km, il doppio della Luna dalla Terra!). La temperatura stimata di circa 1200°C ne fa un pianeta probabilmente ricoperto da lava perennemente incandescente.

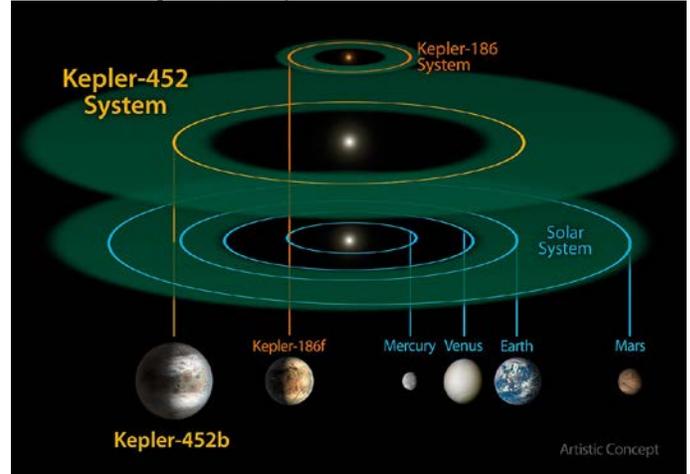
Il record di massima distanza dalla sua stella spetta invece ad un pianeta di 11 masse gioviane, che rivoluziona a ben 650 u.a. da **HD106906**, una giovane (13 milioni di anni) binaria spettroscopica di 2,1 masse solari, a 336 a.l. nella Croce. Il pianeta venne individuato fotograficamente nell'Aprile 2013 grazie all'ottica adattiva italiana MagAO, applicata al telescopio Magellano Clay da 6,5 m di Las Campanas.

Una attenzione particolare viene naturalmente riservata ai pianeti di tipo terrestre orbitanti attorno a stelle di classe G simili al Sole. Più di preciso i pianeti più interessanti sono i 'terrestri' orbitanti entro la fascia HZ di abitabilità.

Il PRIMO pianeta HZ (ossia in fascia di abitabilità) venne scoperto attorno a **Kepler 22**, una stella G di =0,97 masse solari (79% di luminosità) situata a 635 a.l. nel Cigno. Nel 2009-2010 Kepler ha osservato tre transiti di un pianeta di 2,4 diametri e 9 masse terrestri, orbitante in 290 giorni a 0,89 u.a. Si tratta probabilmente di un pianeta nettuniano o di un pianeta 'oceano'. Essendo la stella Kepler 22 un po' meno luminosa del Sole, la dimensione della sua fascia di abitabilità è 0,85-1,15: quindi il suo pianeta vi si colloca appena all'interno del limite inferiore. Ma le sue condizioni ambientali sono fortemente influenzate dall'eccentricità dell'orbita (0,75!).

Il PRIMO pianeta 'terrestre' in fascia HZ è stato invece trovato attorno a **Kepler 452**, una stella G di 1,04 masse solari e del 20% più luminosa del Sole, a 1830 a.l. nel Cigno. Quattro anni di dati raccolti da Kepler hanno evidenziato un pianeta di 1,5 diametri e 4 masse terrestri, orbitante in 385 giorni a 1 u.a. di distanza, quindi nel pieno della fascia di abitabilità (0,95-1,67 u.a.). Il pianeta Kepler 452b venne sbandierato nel 2015 (anno della conferma) come il primo pianeta gemello della Terra, con una temperatura

superficiale di circa -10°C che può salire a circa +20°C in presenza di una densa atmosfera (più che probabile data la massa elevata). Però la stessa massa stimata di circa 4 masse terrestri è poco compatibile con una 'abitabilità terrestre' in quanto dovrebbe indurre una attività geologica/vulcanica imparagonabile come intensità e longevità, con quella terrestre:



I PRIMO pianeta roccioso in fascia HZ (8 masse e 2,5 raggi terrestri, periodo di 33 giorni da 0,15 u.a. di distanza) dotato di una atmosfera molto 'promettente' orbita attorno a **K2-18**, una nana rossa M di 0,41 masse solari, a 111 a.l. nel Leone. Il telescopio Spaziale Hubble, dallo studio di una decina di transiti, individuò nel 2019 una atmosfera ricca di vapor d'acqua (NATURE Astronomy 3,1086-91 (2019) con l'aggiunta, nel 2022 di CH<sub>4</sub> (Metano), CO<sub>2</sub> e, forse, tracce di DMS (Dinitil solfuro), (una molecola, quest'ultima, normalmente prodotta da batteri...)

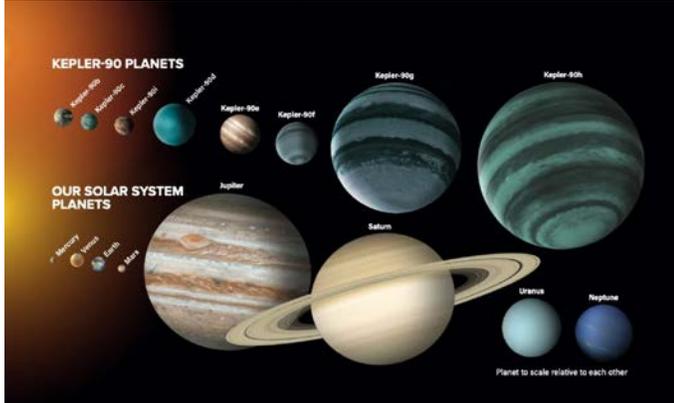
È comunque evidente che la ricerca di pianeti in fascia di abitabilità è favorita nel caso di sistemi eso-planetari multipli. Con la possibilità di utili confronti con il nostro Sistema Solare che, tra l'altro, è uno tra i più ricchi di pianeti tra i quasi 6000 finora. In sostanza sono stati identificate quattro tipologie di esopianeti planetari: 1) ordinati con pianeti piccoli interni e massicci all'esterno 2) Ad ordine invertito, ossia con pianeti massicci all'interno e di minor massa all'esterno 3) disordinati, ossia con pianeti di massa differente distribuiti casualmente 4) A pisello ossia con pianeti di massa sempre uguale (come i baccelli di un pisello...), che sono anche la maggioranza del totale. A determinare una di queste 4 tipologie è sostanzialmente la quantità di gas e polvere dei dischi proto-planetari precursori. Meno c'è gas più tendono a formarsi pianeti solidi simili. Più c'è gas più tendono a formarsi sistemi ordinati (come il nostro Sistema Solare) o anti-ordinati. Bisogna però dire che la tipologia del nostro Sistema Solare è comunque una delle più rare in assoluto!

## 2) SISTEMI PLANETARI EXTRASOLARI.

La PRIMA stella con più di un pianeta (**Kepler 9, ovvero KOI 277**) venne annunciata con molta enfasi nell'Ottobre 2010 [Science, 330, 51-54 (2010)]. Si tratta di una stella di tipo solare (1,07 masse solari e T=5500°C) che dista dalla Terra circa 2300 a.l. e che è stata osservata da Kepler per circa 220 giorni (13 Maggio-16 Dic. 2009) ogni 30 minuti. Dalle curve di luce si è dedotta la presenza di due pianeti di dimensioni gioviane (Kepler 9b e 9c), in orbita leggermente ellittica (e=0,13) rispettivamente a 0,14 u.a. (21 milioni di km) e 0,225 u.a. (34 milioni di km) di distanza dalla stella (quindi con temperature superficiali di 500-700°C). Il fatto che i due periodi di rivoluzione siano esattamente in rapporto 2:1, indica che tra i due pianeti c'è una stretta interazione gravitazionale. Questo fa sì che il momento dei minimi di luce mostri, ad ogni orbita, un incremento di 4 minuti per il pianeta più interno ed una diminuzione di 39 minuti per il pianeta più esterno. Da questi cosiddetti TTV (Time Transit Variations) è possibile ricavare direttamente la massa dei due pianeti, che risulta rispettivamente di 0,25 e 0,17 masse gioviane. Va aggiunto che lo studio approfondito della curva di luce sembra indicare anche la presenza di un terzo transito della durata di 1,9 h: si tratterebbe di un terzo pianeta (Kepler 9d), di dimensioni terrestri (diametro=1,6 volte la Terra), ruotante in 1,6 giorni a soli 0,0273 u.a. dalla stella.

Sono conosciuti due sistemi planetari extrasolari con 8 o più pianeti: Kepler 90 e HD10180

**Kepler 90** (KOI 351) è una stella di tipo F di 1,2 masse solari, situata a 2790 a.l. nel Drago. Possiede una successione di pianeti simile a quella del Sole. I primi tre pianeti (b, c, i) sono super-terre (masse da 2-2,5 masse terrestri). Seguono poi tre pianeti (d, e, f) di taglia nettuniana (masse di circa 8 masse terrestri). Più in là ci sono due pianeti (g, h) di taglia gioviana (70 e 300 masse terrestri). I primi 3 pianeti orbitano a distanze inferiori a quella di Mercurio (0,08-0,11 u.a. con periodi da 7 a 15 giorni). I successivi tre tra l'orbita di Venere e Mercurio (0,3-0,5 u.a. con periodi da 60 a 126 giorni). Gli ultimi due orbitano a distanze 'terrestri' (0,7- 1 u.a. con periodi di 210 e 330 giorni).



Si stima che la fascia di abitabilità si trovi tra 0,5 e 1 u.a., quindi coinvolga solo gli ultimi tre pianeti (f, g, h) che però sono tendenzialmente gassosi, quindi con possibile abitabilità solo a livello di eventuali satelliti.

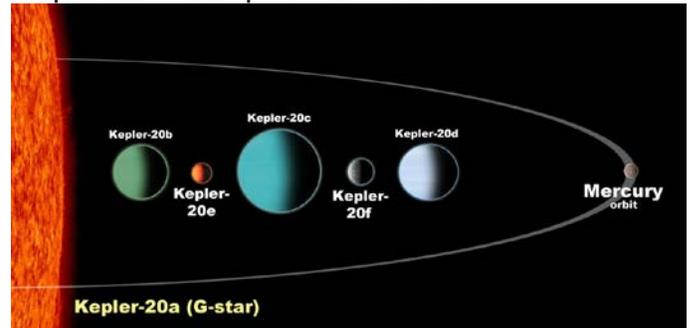
**HD10180** è una stella di classe G di 1,06 masse solari a 128 a.l. nella costellazione dell' Idra. Nel 2010 lo spettrometro HARPS applicato al telescopio 3,6 di La Silla individuò inizialmente 6 pianeti col metodo RV della oscillazione radiale. La cosa interessante è che le loro masse aumentano progressivamente con la distanza da 13 a 64 masse terrestri (come nel caso del Sistema Solare). I periodi orbitali vanno da 6 giorni ( pianeta c distante 0,06 u.a.) fino a 2200 giorni ( pianeta h distante 3,4 u.a.). Nel 2012, una revisione delle irregolarità sulle curve RV (M.Tuomi, A&A 543, A52 (2012)) ha (forse) permesso di individuare altri 2 o 3 pianeti: un pianeta interno (b) di 1,35 masse terrestri (a 0,02 u.a. con periodo di 1,17 giorni) e due pianeti intermedi (i e j) di 2 e 5 masse terrestri (a 0,09 e 0,3 u.a., con periodi di 9,6 e 67,5 giorni). Siccome la luminosità della stella centrale è 1,5 volte quella del Sole, anche la sua fascia di abitabilità sarà più lontana, coinvolgendo il pianeta g (che rivoluziona in 600 giorni ad una distanza media di 1,45 u.a.) Non è proprio il caso, però, di parlare di abitabilità 'terrestre'. Avendo una massa di 21 masse terrestri g è probabilmente di natura gassosa (ma sarebbero 'terrestri' eventuali suoi satelliti solidi). Inoltre l'orbita di g è molto eccentrica ( $e=0,19$ ), quindi il pianeta si viene a trovare alternativamente tra 1,3 e 1,78 u.a., ossia dentro e fuori dalla fascia di abitabilità ad ogni orbita, con temperature che variano da  $-21^{\circ}\text{C}$  a  $+26^{\circ}\text{C}$ : una situazione a dir poco 'scomoda' a livello esobiologico.

Naturalmente il sistema eso-planetario più interessante in assoluto è quello costituito dai 7 pianeti terrestri orbitanti e tutti transitanti attorno alla stella **Trappist-1**, una nana rossa di 0,08 masse solari a 39 a.l. nell' Acquario. Ne parliamo diffusamente in passato (vedi Cosmo40 di Giugno 2023 e nostra lettera N. 151)) per cui qui ci limitiamo a qualche cenno. Combinando i tempi dei transiti con le variazioni TTV dei periodi orbitali si è visto che i pianeti di Trappist-1 sono tutti di taglia e massa terrestre, orbitanti in 2-18 giorni a distanza di 0,02-0,06 u.a. Essendo la stella centrale una nana rossa, quattro di questi pianeti (periodi tra 4 e 12 giorni) si trovano nella fascia di abitabilità e vari progetti JWST vi stanno cercando indizi della presenza di atmosfera.

Il primo sistema extrasolare con 6 pianeti venne annunciato nel 2011 (Nature, 470, 53-58, 2011) ed è relativo alla stella **Kepler 11**, una stella G di 1,04 masse solari, situata a 2110 a.l. nel Cigno. Vi transitano sei pianeti con masse 'disordinate' (ossia senza successione regolare di massa) comprese tra 2,5 e 20 masse terrestri (super-Terre o eso-nettuni), orbitanti a distanza tra 0,09 e 0,46 u.a. con periodi tra 10 e 118 giorni. I primi 5 si pongono su

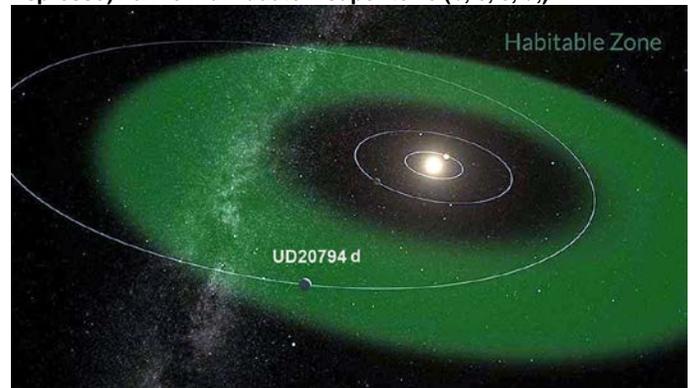
orbite inferiori a quella di Mercurio e l'ultimo ad una distanza inferiore a quella di Venere, quindi si tratta di corpi torridi e inabitabili. E' interessante notare che i primi 5 pianeti hanno distanze così vicine da perturbarsi a vicenda gravitazionalmente: questo fa sì che le masse siano state confermate anche per TTV, ossia dai ritardi/anticipi sui vari transiti.

Sei pianeti orbitano anche attorno alla stella **Kepler 20**, di 0,95 masse solari, situata a 922 a.l. nella Lira. 5 di questi pianeti sono stati scoperti nel 2011 da Kepler come transitanti. Il sesto (g) è stato scoperto nel 2016 col metodo RV. La cosa interessante è che due dei cinque pianeti transitanti (e ed f) sono i PRIMI eso-pianeti di taglia terrestre scoperti: diametro dell' 85% e massa di 2-3 masse terrestri, rivoluzione in 6- 19 giorni a 0,05-0,11 u.a. Gli altri 4 pianeti (b-e-c-d), con masse che vanno da 20 a 130 masse terrestri sono dei giganti gassosi con distanza massima di 0,35 u.a. Tutti i pianeti di Kepler 20 hanno dunque distanze inferiori a quella di Mercurio, sono quindi pianeti torridi, con una temperatura superficiale che va da 1000 a  $300^{\circ}\text{C}$ . E' comunque curioso osservare che i vari pianeti si susseguono in maniera alternata tra piccoli e grandi (b-e-c-f-g-d) in una configurazione che potremmo definire pseudo-mescolata:



Anche più interessante è il sistema di sei pianeti scoperti di recente dall' accoppiata TESS/Cheops attorno a **HD110067**, una stella G, di 0,8 masse solari, a 105 a.l. nella costellazione di Berenice. Nel 2020-22 TESS scoprì due pianeti 'nettuniani' in transito. Le irregolarità delle curve di luce stimolarono una ventina di osservazioni del satellite Cheops tra metà Aprile e metà Maggio 2022. Risultato: vennero scoperti altri quattro pianeti 'nettuniani'. Tutti questi sei pianeti 'nettuniani' mostrano orbite perfettamente risonanti (NATURE 623, 932-937, 2023), un fatto molto raro (max 1% !) che si verifica solo in sistemi planetari molto giovani, quindi ancora esenti da perturbazioni esterne. I sei pianeti hanno tutti circa 2 diametri e 8 masse terrestri, distanze da 0,08 a 0,25 u.a. e periodi di rivoluzione da 9 a 24 giorni e nessuno si trova nella fascia HZ.

Un caso particolare è relativo a **HD20794 (82 Eridani)**, una stella di tipo G, di 0,81 masse solari (66% di luminosità), leggermente più vecchia del Sole (5,8 miliardi di anni) situata a 19,8 a.l. in Eridano, con fascia di abitabilità di 0,7-1,5 u.a.. Misure RV (HARPS, Espresso) hanno individuato 4 super-terre (b, c, e, d):

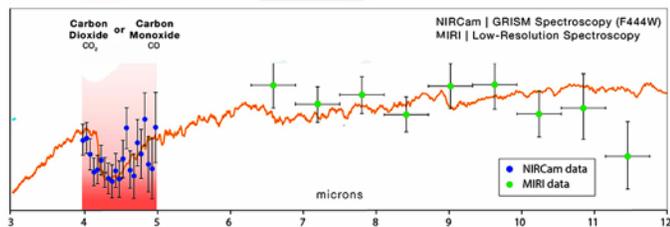


Le 2 super-terre b - c (2-5 masse terrestri) orbitano in 18 e 90 giorni a 0,12- 0,36 u.a. in orbite quasi circolari. Altre due super-terre e- d (5-6 masse terrestri) orbitano in 147 e 647 giorni in orbite molto ellittiche ( $e=0,25-0,45$ ). In particolare la distanza del pianeta d varia da 0,8 a 2 u.a., facendolo rimanere per il 60% del suo tempo all'interno della fascia di abitabilità. Nel Dicembre 2011 il satellite Herschel (70-100 micron) ha scoperto un disco di materiale (ghiaccio, gas, polvere) a 20-30 u.a. assimilabile alla fascia di Kuiper solare.

### 3) PIANERTI CIRCUM-BINARI.

Finora, però, abbiamo parlato di eso-sistemi planetari con pianeti orbitanti attorno ad una SOLA stella. Ma per quanto sembri incredibile, esistono alcune decine di extra-sistemi con uno o più pianeti orbitanti attorno a stelle multiple. Vediamone alcuni.

La **stella 55 Cancri** (distante 41 a.l.) possiede il PRIMO sistema con 5 pianeti 'dosordinati', scoperti in ben 10 anni di studi, dal 1997 al 2007. Quattro pianeti (b, c, d, f) vennero scoperti per oscillazione radiale. Il quarto pianeta (e) venne invece scoperto nel 2004 come transitante: si tratta di una 'super-terra' (2 Raggi e 8 masse terrestri) a 0,015 u.a. (periodo=0,74 giorni!), quindi caldissima. Nel Marzo 2023 il telescopio JWST (Progetto GO 1952, strumento MIRI) misurò, grazie al transito, una temperatura di 1250°C e, tra 4 e 5 micron, una debole atmosfera di CO e CO<sub>2</sub>, probabilmente degasati dalla crosta superficiale resa incandescente dall'estrema vicinanza alla stella centrale:



La super-Terra e è seguita da un pianeta 'gioviano' b (di 0,8 masse gioviane) a 0,11 u.a. (periodo=14,6 giorni), da due pianeti 'nettuniani' c, f (di circa 50 masse terrestri) a 0,24 e 0,77 u.a. (periodi=44 e 270 giorni), per finire con un'altra 'super-terra' d (di 3,2 masse terrestri) a 5,95 u.a. (periodo=5574 giorni). Tutto normale? Non proprio. La stella con i pianeti fa infatti parte di un sistema binario: una stella di classe K di 0,9 masse solari (55 Cancri A) ed una nana rossa di 0,26 masse solari (55 Cancri B) distante solo 1095 u.a. I cinque pianeti orbitano attorno alla componente A, ma è possibile che la 'vicina' compagna B eserciti qualche influsso gravitazionale sul pianeta più esterno d (spiegandone per esempio l'alta eccentricità di 0,13)

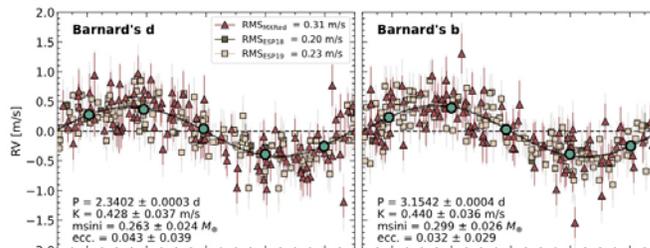
Qualcosa di simile coinvolge anche **Upsilon And**, una stella binaria distante 44 a.l. La componente A è una stella di tipo G di 1,28 masse solari (e 3,4 più luminosa), mentre la componente B è una nana rossa di 0,2 masse solari distate 750 u.a. Attorno alla componente A sono stati scoperti nel 1999, con misure RV, almeno tre pianeti gioviani (1,7-13-10 masse gioviane) a 0,06-0,8-2,53 u.a. con periodi di rivoluzione di 5-240-1281 giorni. Avendo la stella un HZ = 0,95-1,7, i due pianeti più interni (b e c) sono torridi, mentre il pianeta più esterno è un gigante gassoso gelido. Caratteristica di questi pianeti è una elevata eccentricità e inclinazione orbitale, probabilmente indotta dalla vicina Upsilon And B.

Il fatto che i pianeti di 55 Cancri e di Upsilon And orbitino attorno ad uno dei componenti di una stella binaria, NON è una peculiarità assoluta. Sono infatti stati scoperti eso-pianeti ancora più inverosimili.

Particolarmente interessante (e importante!) è il caso del sistema di **Alfa Centauri**, costituito da due stelle di 1,1 (A) e 0,9 (B) masse solari in orbita ellittica di 80 anni tra 9,5 e 40 u.a., attorno a cui rivoluziona, da 0,2 a.l. in circa 0,5 milioni di anni, una nana rossa di 0,12 masse solari (Proxima Cen), attualmente la stella più vicina al Sole (4,23 a.l.). Osservazioni RV intensive, effettuate dallo spettrometro HARPS nel 2016 hanno mostrato la presenza attorno a Proxima di un pianeta di 1,3 masse terrestri, orbitante in 11,2 giorni da una distanza di 0,05 u.a. (NATURE, 536,437-440 (2016)). Questo pianeta terrestre si trova nettamente all'interno della fascia di abitabilità (0,042-0,082 u.a.) di Proxima Cen: potrebbe quindi avere copiosa acqua liquida in superficie, che però potrebbe essere messa a rischio dalla ben nota intensa attività delle nane rosse. A meno che non faccia da schermo anche una densa atmosfera di Azoto e CO<sub>2</sub>. Si tratta forse dell'unico pianeta verso cui si potrà inviare qualche sonda automatica.

Altrettanto inaspettati e importanti sono i pianeti terrestri scoperti di recente (2024-2025) col metodo RV attorno alla **stella di Barnard**, la seconda stella più vicina al Sole. Si tratta di una nana rossa M di 0,16 masse solari, distante 5,96 a.l. in Ofiuco. Nell'Agosto 2024 (A&A, 690, A79 (2024)) venne annunciato (157 misure tra Maggio 2019 e Luglio 2023 al VLT-ESPRESSO) un primo pianeta di 0,3 masse terrestri, che rivoluziona in 3,15 giorni a soli 0,023 u.a. (3,4 milioni di km!). Nel Marzo 2025 (ApJ, 982, L1 (19pp), 2025), grazie a 112 notti di osservazione nel periodo 2021-

23, con lo spettrografo **Maroon-X** applicato al telescopio Gemini Nord delle Hawaii, sono stati annunciati altri tre pianeti terrestri (19-34% della massa terrestre) a distanze tra 0,018 e 0,033 u.a. con periodi di rivoluzione tra 2,3 e 6,7 giorni. Tutti questi pianeti sono caldissimi (Temperatura >100°C) e situati ad una distanza minore del bordo inferiore della fascia di abitabilità HZ della stella (0,06-0,16 u.a.). Qui sotto due misure di **Maroon-X**:

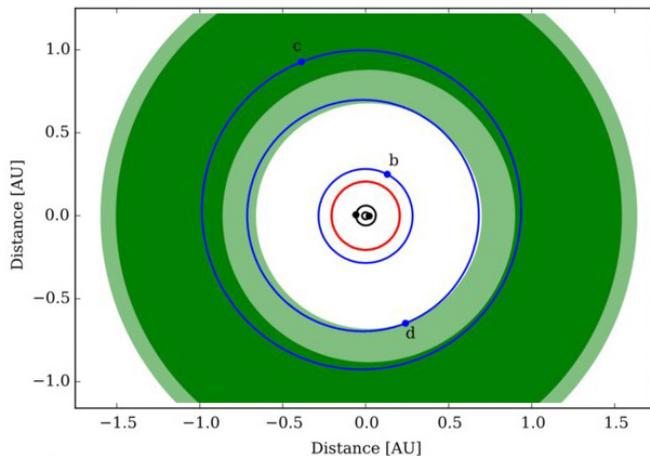


Ci sono anche casi in cui uno o più pianeti orbitano attorno a più di una stella contemporaneamente, tipo i **cosiddetti pianeti circum-binari**! Una cosa in fondo plausibile se si pensa che circa il 40% delle stelle è di natura binaria. Un lungo lavoro teorico di alcuni ricercatori italiani uscito alla fine del 2020 (ApJ, 903,141, 2020) dimostra comunque che trovare fasce HZ abitabili circumbinarie è una cosa molto rara (probabilità massima del 5%).

Nel 2016 venne annunciato il primo pianeta circumbinario 'abitabile'. Orbita attorno a **Kepler-1647**, una binaria stretta situata a 3700 a.l. nel Cigno e costituita da due stelle di 1,22 e 0,98 masse solari in reciproca rivoluzione ogni 11 giorni. Nel 2016, dopo quattro anni osservazioni, venne annunciata la presenza di un pianeta circumbinario di 1,2 masse gioviane straordinario: orbita infatti attorno a Kepler 1647 in 1107 anni (più di tre anni terrestri) a 2,7 u.a. di distanza, quindi quasi al centro della fascia di abitabilità. Il pianeta stesso, essendo un gigante gassoso, non è abitabile, ma lo possono certamente essere eventuali suoi satelliti.

Un esempio ancora più intrigante è stato scoperto dal satellite TESS nel 2020 attorno alla stella binaria **TOI 1338**, situata a 1300 a.l. nella costellazione del Pittore. Si tratta di una stella di 1,1 masse solari in orbita stretta (0,13 u.a.) di 14,3 giorni attorno ad una nana rossa di 0,3 masse solari. Attorno a questa binaria stretta orbitano non uno ma due pianeti! TESS vi ha visto transitare un pianeta 'saturniano' (gassoso di 21 masse terrestri) a 0,45 u.a. con periodo di 95,2 giorni. Nel 2023 venne scoperto da HARPS col metodo RV un secondo pianeta gassoso (c) di 65 masse terrestri orbitante in 215 giorni su un'orbita molto eccentrica ad una distanza media di 0,8 u.a. Si tratta di due pianeti comunque molto caldi (250-350 °C) essendo molto interni alla fascia HZ del sistema stimata nell'intervallo 1,3-2,3 u.a.,

Un altro eso-sistema 'circumbinario' coinvolge **Kepler 47**, una stella situata a 3420 a.l. nel Cigno:



Si tratta di una stella (A) di 0,95 masse solari e di una nana rossa di 0,34 masse solari, che si rivoluzionano reciprocamente in 7,45 giorni. Almeno tre pianeti sono stati visti transitare da Kepler. Si tratta di tre pianeti gassosi (densità da 0,26 a 0,68 g/cm<sup>3</sup>) di 2 (b), 19 (c) e 3(d) masse terrestri che rivoluzionano in 49, 187 e 303 giorni a 0,28, 0,7 e 0,96 u.a. E' interessante aggiungere che il secondo pianeta, (c) si trova nella fascia di abitabilità del sistema: essendo gassoso, si può pensare a condizioni adatte alla vita solo su eventuali satelliti.

## ASTRONAUTICA NEWS

A cura di P.Ardizio.

La **Luna** è una specie di avamposto per accedere al nostro sistema solare (la si considera una tappa obbligata per arrivare a Marte); è anche un utile banco di prova per imparare come sopravvivere e lavorare in condizioni in cui non ci siamo mai trovati prima. Siamo ormai nel 2025 e quindi il caso di cominciare a seguire le missioni che si alternano sulla Luna, nell'ottica del futuro sbarco umano previsto dal programma **Artemis** non prima del 2027. Ad oggi sono 5 le nazioni che hanno felicemente portato a termine missioni sulla superficie lunare, **USA**, **Russia(URSS)**, **Cina**, **India**, **Giappone**. Gli sforzi si stanno intensificando e lo scorso 15 gennaio un razzo **Falcon 9** di **SpaceX** alla 1:11 EST ha portato felicemente in orbita **Blue Ghost**, un lander lunare costruito dalla società **Firefly Aerospace** (con sede in Texas), con lo scopo di effettuare un atterraggio morbido sulla Luna, trasportando una serie di strumenti scientifici forniti dalla NASA. Si tratta della seconda missione USA ad effettuare un atterraggio morbido sulla luna dopo la fine del programma Apollo. Si prevede che l'intera missione durerà 60 giorni terrestri. Il viaggio è durato 46 giorni, prima di scendere sulla superficie vicino al picco Mons Crisium, nel *mare Crisium*. Durante la fase di transito sulla Terra, il team della missione ha continuato a garantire che il veicolo spaziale rimanesse in salute, inviando immagini dallo spazio, compreso un filmato della Terra che eclissa il Sole. Quattro giorni dopo l'inizio della missione, il lander lunare ha completato la prima accensione del motore principale, una delle numerose manovre che hanno posizionato il lander in una traiettoria verso la Luna. Nelle prime quattro settimane la Blue Ghost Mission 1 (che prende il nome da una specie particolare di lucciola chiamata *Blue Ghost* presente negli USA), ha visto la sua navicella spaziale orbitare attorno alla Terra a distanze sempre più lontane. Trascorsi 25 giorni nell'orbita terrestre, si è inserita nell'orbita translunare che quattro giorni dopo la portava in orbita attorno alla Luna. Blue Ghost ha trascorso 16 giorni in orbita lunare, intraprendendo gradualmente una traiettoria di discesa per atterrare sulla superficie della Luna dove resterà attiva per due settimane, 14 giorni terrestri che sulla Luna rappresentano un giorno lunare intero. La Blue Ghost è atterrata con successo sulla Luna il 2 marzo inviando il giorno dopo una spettacolare immagine dell'alba lunare, con un sole brillante ma il cielo buio. Il lander è atterrato autonomamente, utilizzando il software di navigazione visiva che ne ha guidato la discesa. La Blue Ghost nel suo viaggio ha trasportato 10 strumenti scientifici e tecnologici della NASA con una massa di 94 Kg che includono:

**RAC** - La *Regolith Adherence Characterization* per determinare come la regolite lunare si attacca o viene respinta da una gamma di materiali, ad esempio celle solari, sistemi ottici, rivestimenti e sensori; i diversi componenti derivano dalla struttura **MISSE-FF** attualmente sulla *Stazione Spaziale Internazionale (ISS)*.

**NGLR** - I *Next Generation Lunar Retroreflectors* che servono da bersaglio per i laser sulla Terra per misurare con precisione la distanza tra la Terra e la Luna. Il retroreflector che vola in questa missione fornirà anche dati che potrebbero essere utilizzati per comprendere vari aspetti dell'interno lunare e affrontare questioni fondamentali di fisica.

**LEXI** - Il *Lunar Environment Heliospheric X-ray Imager*, che catturerà immagini dell'interazione della magnetosfera terrestre con il flusso di particelle cariche provenienti dal Sole, chiamato vento solare.

**RadPC** - Il *Reconfigurable, Radiation Tolerant Computer System* che mira a sperimentare una tecnologia per computer tolleranti alle radiazioni. A causa della mancanza di atmosfera e campo magnetico della Luna, le radiazioni del Sole saranno una sfida per l'elettronica. Questa indagine caratterizzerà anche gli effetti delle radiazioni sulla superficie lunare.

**LMS** - Il *Lunar Magnetotelluric Sounder* è progettato per caratterizzare la struttura e la composizione del mantello lunare studiando i campi elettrici e magnetici. Per questo, prevede di posizionare elettrodi su circa 700 metri quadrati di terreno.

**LISTER** - Il *Lunar Instrumentation for Subsurface Thermal Exploration with Rapidity* è progettato per misurare il flusso di calore dall'interno della Luna. La sonda tenterà di perforare da 2,1 a 3,0 metri nella regolite lunare per studiare le proprietà termiche della Luna a diverse profondità.

**LPV** - Il *Lunar PlanetVac* è progettato per acquisire la regolite lunare dalla superficie e trasferirla ad altri strumenti che analizzerebbero il materiale o lo metterebbero in un contenitore che un altro veicolo spaziale potrebbe riportare sulla Terra.

**SCALPSS 1.1**- Le *Stereo CAMeras for Lunar Plume Surface Studies* per catturare video e immagini fisse dell'area sotto il lander da quando il pennacchio del motore disturba per la prima volta la superficie lunare fino allo spegnimento del motore. Le telecamere a lunga focale hanno caratterizzato la topografia della superficie prima dell'atterraggio. La fotogrammetria sarà utilizzata per ricostruire la superficie mutevole durante l'atterraggio. Comprendere la fisica dei gas di scarico dei razzi sulla regolite e lo spostamento di polvere, ghiaia e rocce è fondamentale per capire come evitare di sollevare materiali di superficie durante la fase terminale del volo/atterraggio sulla Luna e su altri corpi celesti.

**AstroVault**, sviluppato da *Quantum Aerospace e Space Ark Media*, è un archivio lunare progettato per preservare la cultura umana, l'arte, la musica e la conoscenza per le generazioni future. Codificato in un formato ultra-resistente, fungerà da deposito a lungo termine di

scoperte scientifiche e opere creative, garantendone la conservazione nell'ambiente lunare.

**EDS** - L'*Electrodynamic Dust Shield* col compito di generare un campo elettrico non uniforme utilizzando un voltaggio elevato variabile su più elettrodi. Questo campo mobile, a sua volta, trasporta via le particelle e ha potenziali applicazioni in radiatori termici, tessuti per tute spaziali, visiere, lenti per fotocamere, pannelli solari e molte altre tecnologie.

**LuGRE** - che ha ricevuto con successo segnali GPS e Galileo a distanze lunari (nello spazio cis-lunare e sulla superficie), dimostrando così la fattibilità del concetto per la navigazione lunare. Sviluppata congiuntamente dalla NASA e dall'Agenzia Spaziale Italiana, la dimostrazione tecnologica *Lunar GNSS Receiver Experiment* ha acquisito segnali **GNSS** (Global Navigation Satellite System) e ha calcolato una posizione di navigazione a quasi 52 raggi terrestri: più di 331.000 Km dalla superficie terrestre. Questo risultato suggerisce che le costellazioni GNSS basate sulla Terra possono essere utilizzate per la navigazione fino al 90% della distanza dalla Luna, un record di distanza del segnale Terra-Luna. Dimostra inoltre il potere di utilizzare più costellazioni GNSS insieme, come GPS e Galileo, per eseguire la navigazione. Durante il suo viaggio, LuGRE continuerà ad espandere la nostra conoscenza dei sistemi di navigazione terrestre nello spazio mentre acquisisce e traccia i segnali nel suo percorso verso la Luna, durante l'orbita lunare e per un massimo di due settimane sulla superficie lunare. Poco dopo l'atterraggio Blue Ghost ha dispiegato quattro elettrodi del *Lunar Magnetotelluric Sounder (LMS)*. L'atterraggio di domenica è apparso perfetto e il lander ha funzionato come previsto. Trascorsi poco più di 4 giorni sulla superficie della Luna Blue Ghost ha raggiunto i primi traguardi scientifici! 8 carichi utili su 10 NASA, tra cui LPV, EDS, NGLR, RAC, RadPC, LuGRE, LISTER e SCALPSS, hanno già raggiunto i loro obiettivi di missione e altri seguiranno, come per esempio Lunar PlanetVac che ha campionato la Luna con una tecnologia di raccolta dei campioni sviluppata e testata da *Honeybee Robotics*, con test chiave finanziati da membri e donatori della *Planetary Society*. Una volta calata l'oscurità, le batterie del lander dovrebbero durare circa cinque ore, ma prima che le luci di Blue Ghost si spengano completamente, avrà il compito finale di catturare il crepuscolo. Blue Ghost Mission 1 segna un nuovo capitolo per Firefly, che per la prima volta ha raggiunto la Luna. Blue Ghost è un veicolo spaziale lanciato sotto il programma **CLPS** della NASA che dal gennaio 2024 ha visto 4 lanci, considerati tutti successi anche se tre dei quattro non sono andati come previsto. Il **Peregrine** di *Astrobotics* non è mai arrivato sulla Luna nel gennaio 2024.

**L'IM-1** nel febbraio 2024 e **l'IM-2** sono riusciti a raggiungere la superficie, ma nessuno dei due è atterrato in posizione verticale e le loro batterie si sono presto esaurite perché i pannelli solari non erano puntati verso il Sole. La missione Blue Ghost Mission-1 di Firefly, è l'unica che è riuscita ad atterrare: una seconda missione M2 è prevista nel 2026 ed una terza M3 nel 2028. L'iniziativa **Commercial Lunar Payload Services (CLPS)** dell'agenzia spaziale statunitense, incoraggia aziende private a sostenere e realizzare queste missioni come parte dell'ambizioso programma lunare **Artemis**. Investendo fino a 2,6 miliardi di dollari con le aziende private per portare missioni sulla Luna La scienza di base usata in queste missioni CLPS ha applicazioni, non solo per Artemis ma anche per future missioni interplanetarie. La NASA auspica anche di veder aumentare la frequenza delle missioni lunari robotiche. La NASA spera così di risparmiare denaro attraverso il programma. Nel febbraio 2021 Firefly ha ricevuto un contratto dalla NASA per Blue Ghost Mission 1 che ora vale 101 milioni di dollari, meno di quanto l'agenzia avrebbe speso per costruire il proprio lander lunare, infatti un lander Lunare, realizzato in modo tradizionale, sarebbe costato più di mezzo miliardo di dollari. **Intuitive Machines Atena** partita il 27 febbraio è sbarcata sul *Mons Mouton*, un altipiano vicino al Polo Sud non lontano dal luogo di atterraggio previsto. Lo scorso 6 marzo. Athena è finita in un cratere dove la luce solare non riesce a raggiungere le celle solari per ricaricare le batterie e la missione si è conclusa in circa 13 ore. La missione sembrava procedere perfettamente quando ad un tratto si è iniziato a ricevere letture "rumorose" da uno degli altimetri laser che indicano alla navicella la sua posizione rispetto alla superficie. Un altimetro laser malfunzionante durante la prima missione IM dell'anno scorso ha contribuito all'atterraggio della navicella spaziale su un fianco dopo la rottura di una delle quattro gambe. Quel lander, **Odysseus**, fu in grado di operare brevemente ma, come Atena, i suoi principali pannelli solari puntarono lontano dal Sole e le batterie presto si esaurirono. A bordo vi era anche la missione **Lunar Trailblazer**, ma si sono persi i contatti con la sonda. La sonda giapponese **Resilience** con il rover **Tenacious** (con telecamera e una piccola pala) atterrerà nel mare Frigoris poco prima dell'estate. La NASA continua a cercare un partner per la sua missione **VIPER** (Volatile Investigating Polar Exploration Rover) dato che il rover è pronto ma mancano i soldi per lanciarlo. Non c'è quindi ancora la rinuncia definitiva alla speranza di realizzare la missione. La NASA sta anche cercando proposte dal settore privato per un partner che possa far atterrare e gestire il rover, progettato per cercare il ghiaccio sulla superficie lunare e raccogliere dati scientifici.