Politecnico di Milano

Facoltà di Ingegneria Fisica

Corso di Statistica - Prof. Alessandro Toigo

Anno accademico 2020/2021

Esopianeti: studio statistico delle proprietà determinanti per lo sviluppo di vita

**Introduzione**

Il seguente studio statistico è volto all’analisi astronomica di tutti gli esopianeti finora scoperti.

Ci interesseremo soprattutto a come si dispongono i parametri planetari rispetto a quelli della terra e in base alle somiglianze studieremo la possibilità che vi sia la presenza di acqua e che l'esopianeta sia un buon candidato per ospitare la vita.

**Cos’è un esopianeta?**

Un pianeta extrasolare o esopianeta è un pianeta non appartenente al sistema solare, orbitante cioè attorno a una stella diversa dal Sole.

Al 25 marzo 2021 risultano conosciuti 4700 pianeti extrasolari in 3472 sistemi planetari diversi

inoltre 2487 è il numero di pianeti candidati e altri 209 possibili pianeti sono in attesa di conferma o controversi

La scoperta degli esopianeti è resa possibile da metodi di osservazione indiretta o da osservazioni al telescopio. A causa dei limiti delle tecniche di osservazione attuali, la maggior parte dei pianeti individuati sono giganti gassosi come Giove e, solo in misura minore, pianeti rocciosi massicci del tipo Super Terra (da 14 a 17 volte la grandezza della terra). La frazione di pianeti più piccoli in costante crescita, soprattutto grazie alla missione Kepler, consente già di definire un abbozzo di classificazione esoplanetaria in base alle loro dimensioni.

Gli esopianeti conosciuti appartengono a sistemi planetari che orbitano attorno a una stella. Esistono tuttavia numerose osservazioni non confermate di oggetti di massa planetaria non legati a vincoli gravitazionali con alcuna stella (i cosiddetti pianeti interstellari): tali corpi celesti non sono definibili come "pianeti" secondo l'attuale definizione dell'Unione Astronomica Internazionale.

L'interesse scientifico sugli esopianeti è cresciuto sempre più a partire dal 1992, anno della prima scoperta confermata (PSR B1257+12). Inizialmente il ritmo delle scoperte è stato molto lento, ma a partire dagli anni 2000 ha conosciuto una vera e propria impennata, passando dai 20 pianeti scoperti nel 2000, ai 189 del 2011, ai quasi 2000 del 2015.

La possibilità di presenza di sistemi planetari attorno a stelle simili al Sole è valutata in modo molto diverso: molti astronomi ritengono che questa sia la norma, mentre altri stimano che solo il 10% delle stelle di tipo solare posseggano un sistema planetario.

Spesso la ricerca di esopianeti coincide con la ricerca di mondi in grado di ospitare una forma di vita extraterrestre. Kepler-22 b - ruotante attorno a una nana gialla, Kepler-22, distante approssimativamente 600 anni luce dal sistema solare - è stato il primo esopianeta di tipo terrestre (classificato tra le Super Terre) scoperto orbitare nella zona abitabile del proprio sistema nel 2011; esso avrebbe infatti una temperatura superficiale media di circa 22 °C, il che consente la presenza di acqua allo stato liquido, presupposto per la presenza di vita. Un altro pianeta scoperto da Kepler nel 2015, Kepler-442 b, è stato ritenuto essere il pianeta più simile alla Terra mai individuato.

Sono in costruzione attualmente diversi telescopi e strumenti progettati appositamente per l'individuazione di pianeti extrasolari, tra cui l'Automated Planet Finder, CHEOPS e il telescopio spaziale TESS operativo da giugno 20183

Pienamente confermata solo nel 1995, l'esistenza di pianeti extrasolari fu per lungo tempo ritenuta più che plausibile tanto che speculazioni scientifiche di questo tipo risalgono almeno all'inizio del XVIII secolo: la prima ipotesi dell'esistenza di questi corpi celesti fu formulata da Isaac Newton nel 1713.

Annunci di presunte scoperte si susseguirono per tutto il XIX secolo, ma le tecniche di osservazione dell'epoca non erano sufficientemente accurate e tecnologicamente sviluppate per confermarle con sicurezza.

Il primo annuncio in grande stile della scoperta di un pianeta extrasolare risale al 1963: Peter van de Kamp sostenne di aver scoperto - tramite misurazioni astrometriche protratte per venti anni - un compagno invisibile orbitante attorno alla stella di Barnard e con un massa pari a 1,6 volte quella di Giove. Tuttavia, dieci anni più tardi, nel 1973, John Hershey dimostrò l'inesistenza del pianeta: l'anomalia misurata da van de Kamp era il prodotto di un errore sistematico nella meccanica del telescopio da lui utilizzato.

Negli anni successivi le scoperte riguardavano per lo più giganti gassosi che orbitano attorno alle loro stelle a breve distanza. Questo tipo di pianeti, chiamati gioviani caldi, influiscono notevolmente sulla velocità radiale delle loro stelle e transitano di frequente davanti a esse, facilitando la loro individuazione, e questo pareva indicare una chiara supremazia quantitativa di tali pianeti rispetto agli altri, a causa dell'effetto di selezione.[19] gli strumenti di ricerca migliorarono, invertendo la tendenza; divenne quindi evidente che la prevalenza di corpi tellurici simili alla Terra era superiore a quella dei pianeti giganti.

Nel 1999 fu scoperto il primo sistema planetario multiplo attorno a una stella di sequenza principale, Upsilon Andromedae, e nello stesso anno per la prima volta fu osservato un pianeta transitare davanti alla propria stella madre, HD 209458 b (Osiride). Il metodo del transito era una nuova via già proposta da alcuni anni per scoprire pianeti, ma fu con il lancio di telescopi spaziali dedicati che il numero delle scoperte aumentò considerevolmente, come l'europeo COROT e lo statunitense Kepler, che lanciato nel 2011 ha analizzato oltre 530 000 stelle, scoprendo 2 662 pianeti, con altri candidati in attesa di conferma,[22] tra i quali Kepler-16, il primo pianeta circumbinario scoperto, che orbita attorno a una coppia di stelle di sequenza principale.

Metodi individuazione

I pianeti, in confronto alle stelle, emettono molta meno luce nel cosmo (infatti riflettono la luce delle porprie stelle, non emettono direttamente). Per questo motivo, l'individuazione diretta di pianeti extrasolari risulta estremamente difficile: in condizioni normali di visibilità, i pianeti hanno solitamente una luminosità pari a circa un milione di volte meno di quella di una stella. In aggiunta a questa intrinseca difficoltà di rilevazione, la maggiore luminosità delle stelle, attorno alle quali orbitano i pianeti, causa un bagliore che tende a coprire la luce debolmente riflessa dai corpi celesti del rispettivo sistema.

Per tali ragioni, i telescopi attuali possono fornire solo informazioni indirette sui parametri fisici e orbitali degli esopianeti e la loro presenza può essere rilevata solo in circostanze straordinarie utilizzando tecniche di indagine indirette. Nello specifico, è possibile individuare i pianeti più massivi (considerevolmente più grandi di Giove), sufficientemente distanti dalla propria stella e di recente formazione (così che, essendo più caldi, siano capaci di intense emissioni nello spettro infrarosso).

metodi di osservazione indiretta

**Astrometria**: l'astrometria consiste nell'osservare in che modo cambia la pozione della stella nell'arco del tempo. Se la stella ha un pianeta, allora l'influenza gravitazionale del pianeta stesso causerà alla stella un leggero movimento circolare o un'orbita ellittica attorno a un comune centro di massa. Questo movimento è determinato con l'effetto Doppler.

Velocità radiali: questo metodo è conosciuto anche col nome di metodo Doppler. Le variazioni nella velocità con cui la stella si avvicina o si allontana dalla Terra — questa velocità è definita appunto come velocità radiale della stella rispetto alla Terra — possono far dedurre la presenza di un pianeta, a causa di sbilanciamenti della linea spettrale della stella, in accordo con l'effetto Doppler. Col passare del tempo, questa è diventata la tecnica più produttiva usata dai "cacciatori di pianeti". Con questo metodo si possono determinare la massa e il peso di un pianeta extrasolare.

Variazioni degli intervalli di emissioni di una Pulsar: una pulsar (il residuo piccolo e ultradenso di una stella che è esplosa in una supernova), ruotando, emette onde radio a intervalli estremamente regolari. Leggere anomalie negli intervalli delle emissioni possono essere usate per tracciare cambiamenti nel moto della pulsar, causati dalla presenza di uno o più pianeti.

Metodo del transito: se un pianeta attraversa (o transita) di fronte alla propria stella, allora è osservabile una riduzione della luminosità della stella eclissata. L'ammontare della variazione dipende dalla dimensione del pianeta e della stella stessa. I pianeti extrasolari si distinguono dalle stelle variabili a eclisse dal fatto che nella curva di luce dei primi c'è un'unica variazione, nelle seconde invece le variazioni sono due. Con questo metodo si possono determinare le dimensioni del pianeta extrasolare.

Variazione del tempo di transito: in sistemi dove è già stato scoperto un pianeta in transito, è possibile scoprire ulteriori pianeti con quello transitante osservando eventuali variazioni del periodo orbitale del pianeta già noto a causa dell'attrazione gravitazionale di un altro pianeta non transitante.[23] Questo sistema può consentire anche di stimare le masse di pianeti in risonanza orbitale tra loro, come nel caso di quelli del sistema di TRAPPIST-1.

Microlente gravitazionale: l'effetto della lente gravitazionale avviene quando i campi gravitazionali di due corpi celesti cooperano per focalizzare la luce di una stella lontana. Se il primo corpo celeste (quello più vicino all'osservatore) è un pianeta, ciò sta a significare che possiede un campo gravitazionale tale da contribuire in modo importante all'effetto della microlente gravitazionale. Uno studio quinquennale statistico pubblicato a dicembre 2016 effettuato mediante la tecnica del Microlensing ha suggerito che i più comuni pianeti freddi siano di massa nettuniana

Dischi circumstellari e protoplanetari: le nubi di polveri circondano molte stelle, ed esse possono essere individuate poiché in grado di assorbire la luce stellare e riemetterla sotto forma di radiazione infrarossa. Analizzando attentamente le nubi di polveri, è possibile individuare elementi che suggeriscono la presenza di pianeti e/o protopianeti.

Per il futuro, sono in programma numerose missioni spaziali che miglioreranno le tecniche di individuazione dei pianeti extrasolari. Le misurazioni astronomiche fatte dallo spazio permettono una maggiore sensibilità rispetto a quelle fatte dalla superficie della Terra: infatti, viene annullato l'effetto distorcente dell'atmosfera terrestre, e gli strumenti agli infrarossi possono individuare anche le radiazioni che vengono bloccate dall'atmosfera. Alcune di queste missioni dovrebbero essere capaci di individuare pianeti di tipo terrestre. Grandi telescopi spaziali, infine, potrebbero ottenere immagini dirette degli esopianeti.

Nomenclatura[[modifica](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Pianeta_extrasolare&veaction=edit&section=3) | [modifica wikitesto](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Pianeta_extrasolare&action=edit&section=3)]

Normalmente, da quando furono scoperti i primi pianeti, un pianeta viene nominato come la stella madre, con l'aggiunta di una lettera minuscola. Normalmente il primo pianeta scoperto viene indicato con la lettera "b", e via via a seguire con altre lettere (c, d, ecc.) se vengono scoperti in seguito altri pianeti attorno alla stella.

Stranezze dei sistemi extrasolari

Molti astronomi si domandano perché molti pianeti extrasolari [giganti gassosi](https://it.wikipedia.org/wiki/Gigante_gassoso) di grandi dimensioni si trovino molto vicini alla loro stella, rispetto a quelli del nostro [sistema solare](https://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_solare).

[HD 114762](https://it.wikipedia.org/wiki/HD_114762) ha un pianeta undici volte più grande di Giove, a meno di mezza UA. Una possibile risposta è che i metodi di ricerca odierni favoriscano l'individuazione di questo tipo di sistemi: un grande pianeta posto a piccola distanza amplifica le oscillazioni della stella, ed esse sono facilmente individuabili tramite l'[effetto Doppler](https://it.wikipedia.org/wiki/Effetto_Doppler). Un pianeta più piccolo, a distanza più grande, provoca oscillazioni molto più piccole e difficili da vedere. Un'altra spiegazione è che i pianeti si siano formati a distanze maggiori, per poi muoversi verso l'interno a causa delle reciproche interazioni gravitazionali. Tale modello è stato chiamato [modello dei Giovi saltellanti](https://it.wikipedia.org/wiki/Modello_dei_Giovi_saltellanti), nome che rende bene l'idea.

Analisi di alcuni pianeti extrasolari inoltre hanno rivelato la presenza di venti molto veloci sulla superficie con punte di 14000 [km/h](https://it.wikipedia.org/wiki/Chilometro_orario). Questi venti mantengono la temperatura di questi pianeti costante su tutta la superficie con escursioni termiche molto ridotte.

Analisi dei processi di fotosintesi terrestri hanno spinto dei ricercatori NASA a ipotizzare che, su alcuni pianeti extrasolari, possano esistere degli organismi in grado di sfruttare parzialmente anche la banda dell'infrarosso per la fotosintesi. Secondo questi ricercatori i futuri telescopi spaziali dovranno tenere conto di questa possibilità durante la fase di costruzione.

Pianeti extrasolari scoperti

Si conoscono pianeti con masse da quella di [Mercurio](https://it.wikipedia.org/wiki/Mercurio_(astronomia)) a svariate volte quella di [Giove](https://it.wikipedia.org/wiki/Giove_(astronomia)), fino a porre il quesito di dove si ponga la linea di demarcazione tra pianeti e [nane brune](https://it.wikipedia.org/wiki/Nana_bruna), mentre i periodi orbitali variano da poche ore a millenni. Tramite le microlenti gravitazionali è stato persino individuato un candidato pianeta nella [Galassia di Andromeda](https://it.wikipedia.org/wiki/Galassia_di_Andromeda), [PA-99-N2 b](https://it.wikipedia.org/wiki/PA-99-N2_b), ma non potrà mai essere confermato, poiché gli allineamenti che producono il microlensing sono unici e irripetibili.

La caccia al gemello della Terra ha fornito candidati sempre più simili, fino a [Ross 128 b](https://it.wikipedia.org/wiki/Ross_128_b), [Kepler-438 b](https://it.wikipedia.org/wiki/Kepler-438_b), [Gliese 3323 b](https://it.wikipedia.org/wiki/Gliese_3323_b) e [TRAPPIST-1 d](https://it.wikipedia.org/wiki/TRAPPIST-1_d), che, con un indice di somiglianza alla Terra (ESI, [Earth Similarity Index](https://it.wikipedia.org/wiki/Earth_Similarity_Index)) rispettivamente dell'86%, 88%, 89% e 90%, a luglio 2018 erano considerati i pianeti più simili al nostro mai scoperti, anche se Kepler-438b, a causa della presenza periodica di forti tempeste stellari e dell'alta dose di radiazione luminosa ricevuta (che potrebbe aver fatto evaporare ogni eventuale oceano), potrebbe non essere abitabile nonostante l'alto ESI

ABITABILITA

*Man mano che vengono scoperti più pianeti, il campo dell'esoplanetologia continua a crescere in uno studio più approfondito dei mondi extrasolari e alla fine affronterà la prospettiva della vita sui pianeti oltre il Sistema Solare.*

*A distanze cosmiche, la vita può essere rilevata solo se è sviluppata su scala planetaria e ha fortemente modificato l'ambiente planetario, in modo tale che le modificazioni non possono essere spiegate dai processi fisico-chimici classici (processi fuori equilibrio).*

*Ad esempio, l'ossigeno molecolare (O2) nell'atmosfera della Terra è il risultato della fotosintesi di piante viventi e molti tipi di microrganismi, quindi può essere utilizzato come indicazione della vita su esopianeti, sebbene piccole quantità di ossigeno potrebbero essere prodotte anche con mezzi non biologici.*

*Inoltre, un pianeta potenzialmente abitabile deve orbitare attorno a una stella stabile a una distanza entro la quale oggetti di massa planetaria con una pressione atmosferica sufficiente possono sostenere l'acqua liquida sulla loro superficie. [1*

L'**abitabilità planetaria** è la misura della capacità di un [corpo celeste](https://it.wikipedia.org/wiki/Corpo_celeste) di sviluppare e accogliere la [vita](https://it.wikipedia.org/wiki/Vita). Questa nozione può dunque essere in particolare utilizzata per i [pianeti](https://it.wikipedia.org/wiki/Pianeta) ed i loro [satelliti naturali](https://it.wikipedia.org/wiki/Satellite_naturale).

In seguito alle conoscenze acquisite dagli studi della biologia terrestre, gli elementi necessari al mantenimento della vita sono una sorgente di [energia](https://it.wikipedia.org/wiki/Energia) abbinata a della [materia](https://it.wikipedia.org/wiki/Materia_(fisica)) mobilizzabile, sapendo che differenti modelli sono proposti in appoggio all'[origine della vita](https://it.wikipedia.org/wiki/Origine_della_vita).

Tuttavia, la nozione di abitabilità come «possibilità di accogliere la vita» è intrinsecamente limitata dalla comparazione alle condizioni biologiche terrestri, il che implica il rispetto di vari altri parametri di ordine [geofisico](https://it.wikipedia.org/wiki/Geofisico), [geochimico](https://it.wikipedia.org/wiki/Geochimico) ed [astrofisico](https://it.wikipedia.org/wiki/Astrofisica).

Se l'esistenza di una vita extraterrestre è sconosciuta, l'abitabilità di un pianeta è in effetti in gran parte un'[estrapolazione](https://it.wikipedia.org/wiki/Estrapolazione) delle condizioni terrestri e delle caratteristiche generali che appaiono favorevoli allo sviluppo della vita in seno al [Sistema solare](https://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_solare). L'[acqua](https://it.wikipedia.org/wiki/Acqua) allo stato liquido è in particolare considerata come un elemento indispensabile ad un [ecosistema](https://it.wikipedia.org/wiki/Ecosistema) vivente. La ricerca in questo dominio occupa principalmente la [planetologia](https://it.wikipedia.org/wiki/Planetologia) e l'[astrobiologia](https://it.wikipedia.org/wiki/Esobiologia).

L'idea che dei pianeti diversi dalla [Terra](https://it.wikipedia.org/wiki/Terra) potessero ospitare la vita è antica e nel corso della storia il dibattito ha interessato tanto la [filosofia](https://it.wikipedia.org/wiki/Filosofia) che la [scienza](https://it.wikipedia.org/wiki/Scienza).[[1]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-article-1) La fine del XX secolo è stato teatro di due scoperte importantissime. Innanzitutto, l'osservazione e l'esplorazione mediante le [sonde](https://it.wikipedia.org/wiki/Sonda_spaziale) dei pianeti e dei satelliti del sistema solare hanno fornito informazioni essenziali che hanno permesso di definire dei criteri di abitabilità e di confronto geofisici tra la Terra e gli altri corpi celesti. D'altra parte, la scoperta dei [pianeti extrasolari](https://it.wikipedia.org/wiki/Pianeti_extrasolari), che è iniziata nel [1995](https://it.wikipedia.org/wiki/1995) ed è accelerata, ha confermato che il [Sole](https://it.wikipedia.org/wiki/Sole) non è la sola stella a illuminare i pianeti ed ha allargato il campo di ricerca sull'abitabilità al di là del [Sistema solare](https://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_solare).

Sistemi solari appropriati

Definire la nozione di *abitabilità planetaria* comincia dallo studio delle [stelle](https://it.wikipedia.org/wiki/Stelle). L'abitabilità di un pianeta dipende in effetti in gran parte dalle caratteristiche del sistema planetario (e dunque della stella) che lo ospita. quali caratteristiche [astrofisiche](https://it.wikipedia.org/wiki/Astrofisica) siano necessarie per rendere dei pianeti *abitabili*.[[2]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-turnbull-2)

**Classe spettrale**[[modifica](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Abitabilit%C3%A0_planetaria&veaction=edit&section=2) | [modifica wikitesto](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Abitabilit%C3%A0_planetaria&action=edit&section=2)]

La [classe spettrale](https://it.wikipedia.org/wiki/Classe_spettrale) di una stella indica la [temperatura](https://it.wikipedia.org/wiki/Temperatura) della [fotosfera](https://it.wikipedia.org/wiki/Fotosfera), che per la maggiorparte delle stelle è legata alla loro [massa](https://it.wikipedia.org/wiki/Massa_(fisica)). temperature che vanno da poco più di 4000 [K](https://it.wikipedia.org/wiki/Grado_Kelvin) a un po' più di 7000 K. Il Sole, stella di classe G2, è all'incirca nel mezzo di tale dominio. Le stelle di quel tipo hanno un certo numero di particolarità che sono importanti dal punto di vista dell'abitabilità planetaria.

**Stelle di classe O, B e A**[[modifica](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Abitabilit%C3%A0_planetaria&veaction=edit&section=3) | [modifica wikitesto](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Abitabilit%C3%A0_planetaria&action=edit&section=3)]

Le stelle di classe A, B e O, sono le più luminose della Galassia, e quelle che consumano il loro combustibile più rapidamente, in generale meno di un miliardo di anni e in certi casi addirittura meno di 10 milioni di anni.[[3]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-calstate-3)[[4]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-apparition-4). Le stelle azzurre di classe O e B emettono un'intensa [radiazione ultravioletta](https://it.wikipedia.org/wiki/Radiazione_ultravioletta) che producono un processo di [fotoevaporazione](https://it.wikipedia.org/wiki/Fotoevaporazione) dei pianeti nascenti.[[5]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-5) Anche in [protostelle](https://it.wikipedia.org/wiki/Protostella) poste a meno di 0,1 anni luce da una calda stella blu, difficilmente un pianeta potrebbe formarsi prima che il materiale del [disco protoplanetario](https://it.wikipedia.org/wiki/Disco_protoplanetario) venga espulso nello [spazio interstellare](https://it.wikipedia.org/wiki/Spazio_interstellare) dall'intensa energia emanata da una compagna massiccia. Inoltre, anche se poste a maggior distanza, un sistema planetario in formazione di una stella di tipo solare così vicina a una stella blu verrebbe spazzato via dall'esplosione della vicina massiccia in [supernova](https://it.wikipedia.org/wiki/Supernova), evento che avviene in poche decine di milioni di anni.[[6]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-6) È quindi altamente improbabile che esistano pianeti abitabili relativamente vicini a stelle di classe O e B.

La formazione di pianeti nella zona abitabile attorno a stelle di classe A potrebbe essere possibile, tuttavia gli esperti pensano che anche nelle prime classi di stelle di tipo F, la radiazione ultravioletta sarebbe eccessiva e altererebbe o distruggerebbe molecole come il [DNA](https://it.wikipedia.org/wiki/DNA) (essenziale per la [biochimica](https://it.wikipedia.org/wiki/Biochimica) basata sul [carbonio](https://it.wikipedia.org/wiki/Carbonio)).[[7]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-HtStar-7) Oltre a questo, essendo la loro vita molto più breve di quella di stelle di classe G o K, la loro zona abitabile si espanderebbe rapidamente e probabilmente qualsiasi pianeta situato attorno ad esse attraverserebbe il confine interno della zona abitabile prima che la vita possa evolversi.[[7]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-HtStar-7)[[8]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-8)

Grandi stelle nane rosseppppp

A causa della loro bassa luminosità, la zona abitabile delle stelle di tipo M e tardo K è piuttosto piccola rispetto a quella dei corpi stellari più grandi. Questa vicinanza causa una grande influenza gravitazionale della stella sul loro pianeta potenzialmente abitabile, che sarebbe in [rotazione sincrona](https://it.wikipedia.org/wiki/Rotazione_sincrona) volgendo sempre lo stesso emisfero alla stella, con la conseguente mancanza del ciclo giorno-notte presente sulla Terra.[[18]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-18) Inoltre l'assenza di rotazione può danneggiare gravemente il campo magnetico planetario, lasciando il pianeta poco protetto di fronte ai venti stellari e alle attività della sua stella madre.[[16]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-Schirber-16)

**Zona abitabile stabile**[[modifica](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Abitabilit%C3%A0_planetaria&veaction=edit&section=6) | [modifica wikitesto](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Abitabilit%C3%A0_planetaria&action=edit&section=6)]

|  |  |
| --- | --- |
|  | *Lo stesso argomento in dettaglio:* [***Zona abitabile***](https://it.wikipedia.org/wiki/Zona_abitabile). |

La zona abitabile è un dominio teorico in prossimità della stella in seno al quale i pianeti presenti possono mantenere acqua allo stato liquido sulla superficie. Dopo la sorgente di energia, l'acqua liquida è considerata l'elemento più importante per la vita, in gran parte per il ruolo che essa gioca sulla Terra. È possibile che ciò non sia che il riflesso di una pendenza dovuta alla dipendenza dall'acqua delle specie terrestri. Se fossero rilevate forme di vita su pianeti in cui l'acqua è assente (per esempio in una soluzione di [ammoniaca](https://it.wikipedia.org/wiki/Ammoniaca)), la definizione di zona abitabile dovrebbe essere profondamente rivista, o persino interamente scartata in quanto troppo restrittiva. Il fatto che [Europa](https://it.wikipedia.org/wiki/Europa_(astronomia)) e in una certa misura [Titano](https://it.wikipedia.org/wiki/Titano_(astronomia)) (rispettivamente a 3,5 e 8 [unità astronomiche](https://it.wikipedia.org/wiki/Unit%C3%A0_astronomica) dal Sole ed entrambe al di fuori dalla zona abitabile del Sole) siano entrambe candidate di prima importanza per la ricerca della vita nel Sistema solare sottolinea la difficoltà nel definire la nozione di *zona abitabile*. Alcune definizioni del termine abitabilità precisano che i pianeti abitabili si devono trovare in seno alla zona abitabile, ma ciò resta da dimostrare.

Una zona abitabile «stabile» presenta due particolarità. Innanzitutto, la sua localizzazione deve rimanere pressoché invariata. La luminosità delle stelle aumenta col passare del tempo una data zona abitabile si allontana dalla stella. Se tale migrazione è troppo rapida (per esempio, per una stella supermassiccia), i pianeti non sono nella zona abitabile che per una durata brevissima, il che riduce considerevolmente la probabilità che la vita si sviluppi. Determinare la zona abitabile e la sua posizione nel corso della vita della stella è molto difficile: delle [retroazioni](https://it.wikipedia.org/wiki/Retroazione), ad esempio dovute al [ciclo del carbonio](https://it.wikipedia.org/wiki/Ciclo_del_carbonio) tendono a mitigare l'impatto dell'aumento della luminosità. Così, insieme all'evoluzione della stella, le ipotesi fatte sulle condizioni atmosferiche e la geologia del pianeta hanno una grandissima influenza sul calcolo di una zona abitabile. Quindi i parametri proposti per calcolare la zona abitabile del Sole sono fortemente variati a mano a mano che questa nozione si è sviluppata.[[20]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-kasting-20)

Inoltre, nessun corpo di massa importante come un [gigante gassoso](https://it.wikipedia.org/wiki/Gigante_gassoso) deve essere presente nella zona abitabile o in prossimità di questa: la sua presenza potrebbe impedire la formazione di [pianeti terrestri](https://it.wikipedia.org/wiki/Pianeta_terrestre). Se, per esempio, [Giove](https://it.wikipedia.org/wiki/Giove_(astronomia)) si trovasse nella regione che è attualmente tra le orbite di [Venere](https://it.wikipedia.org/wiki/Venere_(astronomia)) e la Terra, essi non avrebbero probabilmente potuto formarsi.

 Gli scienziati supponevano che la combinazione *pianeta terrestre sulle orbite interiori - giganti gassosi sulle orbite esteriori* fosse la norma, diverse scoperte nei nel primo decennio del XXI secolo sembravano contraddire questa ipotesi. Numerosi giganti gassosi sono stati trovati sulle orbite più vicine alla stella, annullando l'intera zona abitabile potenziale. Questi pianeti giganti influiscono notevolmente sulla [velocità radiale](https://it.wikipedia.org/wiki/Velocit%C3%A0_radiale) delle loro stelle e [transitano](https://it.wikipedia.org/wiki/Transito_(astronomia)) di frequente davanti a esse, la loro individuazione era molto più semplice rispetto a piccoli mondi tellurici e questo pareva indicare una chiara supremazia quantitativa di tali pianeti rispetto agli altri, a causa dell'[effetto di selezione](https://it.wikipedia.org/wiki/Effetto_di_selezione).[[21]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-21) Tuttavia, con lo sviluppo della tecnologia sui telescopi terrestri e il lancio di telescopi spaziali dedicati, come il [Kepler](https://it.wikipedia.org/wiki/Missione_Kepler), sono stati scoperti migliaia di pianeti rocciosi e divenne quindi evidente che la prevalenza di [pianeti rocciosi](https://it.wikipedia.org/wiki/Pianeta_terrestre) simili alla Terra era superiore a quella dei [pianeti giganti](https://it.wikipedia.org/wiki/Gigante_gassoso).[[22]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-22)

*BIAS*

*Si definisce* ***effetto di selezione****, o anche* ***distorsione da selezione****, la caratteristica di un* [*campione*](https://it.wikipedia.org/wiki/Campionamento_statistico) *di dati osservati che è da attribuirsi alle limitazioni delle tecniche di osservazione impiegate per ottenere tali dati anziché a caratteristiche intrinseche di ciò che si osserva.*

*Se si schematizza l'atto della* [*misura*](https://it.wikipedia.org/wiki/Misurazione) *di una* [*quantità fisica*](https://it.wikipedia.org/wiki/Grandezza_fisica) *come l'estrazione di un campione da una* [*distribuzione*](https://it.wikipedia.org/wiki/Distribuzione_(statistica)) *preesistente di dati è possibile considerare un effetto di selezione come un* [*bias*](https://it.wikipedia.org/wiki/Bias_(statistica)) *introdotto dagli strumenti, che forzano l'estrazione di un campione non rappresentativo (dal quale quindi si inferirebbe una distribuzione diversa da quella che l'ha originato).*

*Da un punto di vista* [*epistemologico*](https://it.wikipedia.org/wiki/Epistemologia) *l'esistenza degli effetti di selezione è un fatto particolarmente interessante; appare difficile spiegare che cosa s'intenda per effetto di selezione (o similmente per* [*errore sistematico*](https://it.wikipedia.org/wiki/Errore_sistematico)*) senza fare riferimento a un'ipotetica distribuzione "intrinseca" dei dati, la quale tuttavia è un'astrazione che ad alcuni suona* [*metafisica*](https://it.wikipedia.org/wiki/Metafisica)*.*

*La necessità di riconoscere e di eliminare gli effetti di selezione deriva dal desiderio di formulare leggi fisiche che abbiano validità universale, ovvero che siano in grado di descrivere i fenomeni indipendentemente dalle condizioni contingenti dell'osservatore, quali lo strumento usato, la particolare collocazione dell'osservatore nell'universo, eccetera.*

*Effetto di selezione in astronomia[*[*modifica*](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Effetto_di_selezione&veaction=edit&section=1) *|* [*modifica wikitesto*](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Effetto_di_selezione&action=edit&section=1)*]*

*Il campo della* [*fisica*](https://it.wikipedia.org/wiki/Fisica) *cui si riconosce il maggior numero di effetti di selezione è l'*[*astronomia*](https://it.wikipedia.org/wiki/Astronomia)*: la visibilità dei corpi celesti dipende dalla loro capacità di emettere o di riflettere luce, e può cambiare drasticamente in diverse regioni dello* [*spettro elettromagnetico*](https://it.wikipedia.org/wiki/Spettro_elettromagnetico)*: studiare direttamente le proprietà intrinseche di tali corpi è quindi impossibile. Si studiano semmai le proprietà dei corpi che sono visibili, se sono visibili (eventualmente tramite effetti indiretti, ricostruibili però solo tramite ipotesi formulate a livello teorico). Un famoso effetto di selezione è il cosiddetto* [*principio antropico*](https://it.wikipedia.org/wiki/Principio_antropico) *per cui l'universo che osserviamo deve essere compatibile con l'esistenza della vita, altrimenti non saremmo qui ad osservarlo.*

**Debole variazione di luminosità**

Tutte le stelle conoscono delle variazioni di luminosità, ma l'ampiezza di tali fluttuazioni è molto diversa da una stella all'altra. La maggior parte delle stelle sono relativamente stabili, ma una significativa minoranza tra esse è variabile e presenta spesso dei cali e degli intensi aumenti di luminosità. Di conseguenza, la quantità di energia radiativa che i corpi orbitanti ricevono subisce delle brusche variazioni. Queste ultime sono dunque delle cattive candidate ad ospitare pianeti in grado di permettere la vita nella misura in cui le forti variazioni di flusso energetico hanno un impatto negativo sulla sopravvivenza degli organismi. Per esempio, esseri viventi adattati ad un dominio di temperatura particolare avrebbero probabilmente problemi a sopravvivere ad importanti variazioni di temperatura. Inoltre, le variazioni di luminosità sono generalmente accompagnate dall'emissione di dosi massicce di [raggi gamma](https://it.wikipedia.org/wiki/Raggi_gamma) e di [raggi X](https://it.wikipedia.org/wiki/Raggi_X), radiazioni che potrebbero essere letali. L'atmosfera dei pianeti è in grado di attenuare tali effetti (un aumento del 100 % della luminosità solare non implica necessariamente un aumento del 100 % della temperatura della Terra), ma è ugualmente possibile che tali pianeti non siano in grado di trattenere la loro atmosfera perché le forti radiazioni incidenti a ripetizione potrebbero disperderla.

Il [Sole](https://it.wikipedia.org/wiki/Sole) non conosce questo tipo di variazioni: nel corso del [ciclo solare](https://it.wikipedia.org/wiki/Ciclo_solare), lo scarto tra la luminosità minima e massima si aggira attorno allo 0,1 %

**Metallicità elevata**

Se gli elementi più abbondanti in una stella sono sempre l'[idrogeno](https://it.wikipedia.org/wiki/Idrogeno) e l'[elio](https://it.wikipedia.org/wiki/Elio_(elemento)), esiste una grande varietà nella qualità di elementi metallici (in astronomia si chiama metallo o qualifica metallico qualunque elemento più pesante dell'elio) che contengono. Una percentuale elevata di metalli nella stella corrisponde alla quantità di elementi pesanti presenti nel [disco protoplanetario](https://it.wikipedia.org/wiki/Disco_protoplanetario) iniziale. Secondo la teoria di formazione dei sistemi planetari in seno alle [nebulose solari](https://it.wikipedia.org/wiki/Nebulosa_solare), una piccola quantità di metalli nella stella diminuisce drasticamente la probabilità di formazione di pianeti nell'orbita. Tutti i pianeti che si formano attorno a una stella povera di metalli hanno probabilmente una massa piccola, e per ciò stesso non saranno favorevoli allo sviluppo della vita. Gli studi [spettroscopici](https://it.wikipedia.org/wiki/Spettroscopia) dei sistemi nei quali gli esopianeti sono stati trovati confermano la relazione tra un tasso elevato di metalli e formazione dei pianeti:

 «le stelle con dei pianeti, o per lo meno con pianeti simili a quelli che noi troviamo attualmente, sono chiaramente più ricche di metalli rispetto alle stelle prive di pianeti orbitanti».

[[25]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-m%C3%A9tal-25) La metallicità è determinata particolarmente dall'età potenziale delle stelle abitabili: le stelle formatesi all'inizio della storia dell'universo hanno dei bassi tassi di metalli ed una corrispondente probabilità di accogliere dei pianeti che ospitino la vita.

**Sistemi binari**[[modifica](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Abitabilit%C3%A0_planetaria&veaction=edit&section=9) | [modifica wikitesto](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Abitabilit%C3%A0_planetaria&action=edit&section=9)]

Le stime attuali suggeriscono che almeno la metà delle stelle sono in [sistemi binari](https://it.wikipedia.org/wiki/Stella_binaria),[[26]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-binaire-26) il che complica seriamente la delimitazione della nozione di abitabilità. La distanza tra due stelle di un sistema binario è compresa tra una [unità astronomica](https://it.wikipedia.org/wiki/Unit%C3%A0_astronomica) ed alcune centinaia. Se la separazione tra due stelle è grande, l'influenza [gravitazionale](https://it.wikipedia.org/wiki/Gravitazione) della seconda stella su un pianeta orbitante attorno alla prima stella sarà trascurabile: la sua abitabilità non è modificata a meno che l'orbita sia fortemente [eccentrica](https://it.wikipedia.org/wiki/Eccentricit%C3%A0_orbitale). Nonostante questo quando le due stelle sono più vicine, il pianeta non potrà avere un'orbita stabile. Se la distanza tra il pianeta e la sua stella principale supera un quinto della distanza minima tra le due stelle, la stabilità orbitale del pianeta non è più garantita.[[27]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-solstationh-27) Non è sicuro che i pianeti possano formarsi in un sistema binario perché le forze gravitazionali potrebbero ostruire la formazione di pianeti.

Caratteristiche planetarie

L'ipotesi principale fatta sui pianeti abitabili è che essi siano [terrestri](https://it.wikipedia.org/wiki/Pianeta_terrestre). Tali pianeti, la cui massa sarà dello stesso [ordine di grandezza](https://it.wikipedia.org/wiki/Ordine_di_grandezza) di quella della [Terra](https://it.wikipedia.org/wiki/Terra), sono principalmente composti da [silicati](https://it.wikipedia.org/wiki/Silicato) e non hanno conservato strati gassosi esterni di [idrogeno](https://it.wikipedia.org/wiki/Idrogeno) ed [elio](https://it.wikipedia.org/wiki/Elio_(elemento)) come i pianeti gassosi. Non si esclude che una qualche forma di vita risieda negli strati superiori delle nubi dei giganti gassosi,[[30]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-nuage-30) benché ciò sia considerato improbabile essendo dati l'assenza di superficie e la gravità gigantesca.[[31]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-Giant_Sats-31) Per contro, i satelliti naturali di tali pianeti potrebbero benissimo ospitare la vita.[[32]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-satellite-32)

Dall'analisi degli ambienti potenzialmente in grado di ospitare la vita, si distingue in generale tra [organismi unicellulari](https://it.wikipedia.org/wiki/Organismo_unicellulare) come i [batteri](https://it.wikipedia.org/wiki/Bacteria) e le [archaea](https://it.wikipedia.org/wiki/Archaea) e le forme di vita [animali](https://it.wikipedia.org/wiki/Animalia), più complesse. L'unicellularità precede necessariamente la pluricellularità in tutto l'[albero filogenetico](https://it.wikipedia.org/wiki/Albero_filogenetico) ipotetico e l'apparizione di organismi unicellulari non implica necessariamente l'apparizione di forme di vita più complesse.[[33]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-formes_complexes-33). Le caratteristiche planetarie elencate qui sotto sono considerate essenziali per la vita, ma in ogni caso le condizioni di abitabilità di un pianeta saranno più restrittive per gli organismi pluricellulari come piante e animali rispetto alla vita unicellulare.

**Massa**

I pianeti con una massa scarsa sarebbero dei cattivi candidati ad ospitare la vita per due ragioni. Innanzitutto, la loro [gravità](https://it.wikipedia.org/wiki/Gravit%C3%A0) risulterebbe più bassa e la loro atmosfera meno densa. Le molecole che costituiscono la vita hanno una probabilità molto più elevata di raggiungere la [velocità di fuga](https://it.wikipedia.org/wiki/Velocit%C3%A0_di_fuga) e di essere espulsi nello spazio per la propulsione del [vento solare](https://it.wikipedia.org/wiki/Vento_solare) o per una collisione. I pianeti la cui atmosfera non è spessa non disporranno di sufficiente materia per la [biochimica](https://it.wikipedia.org/wiki/Biochimica) iniziale, non sono abbastanza isolati termicamente e una cattiva [conducibilità termica](https://it.wikipedia.org/wiki/Conducibilit%C3%A0_termica) attraverso la loro superficie e meno protezione contro le radiazioni ad alta frequenza e le [meteoriti](https://it.wikipedia.org/wiki/Meteorite). Inoltre, i pianeti più piccoli hanno un diametro più piccolo e dunque maggiore rapporto superficie-volume dei pianeti di maggiori dimensioni. Tali corpi tendono a perdere energia molto più rapidamente dopo la loro formazione ed hanno dunque scarsa attività geologica. Non presentano [vulcani](https://it.wikipedia.org/wiki/Vulcano), [terremoti](https://it.wikipedia.org/wiki/Terremoti) né [attività tettonica](https://it.wikipedia.org/wiki/Placca_tettonica) che forniscano alla superficie elementi favorevoli alla vita e all'atmosfera molecole in grado di regolare la temperatura (come il [biossido di carbonio](https://it.wikipedia.org/wiki/Anidride_carbonica)).

[]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-masse-34) È sufficientemente grande perché la sua [forza gravitazionale](https://it.wikipedia.org/wiki/Forza_gravitazionale) trattenga la sua [atmosfera](https://it.wikipedia.org/wiki/Atmosfera) e perché il suo nucleo liquido continui a restare attivo e caldo, generando così un'attività geologica sulla superficie (la disintegrazione di elementi [radioattivi](https://it.wikipedia.org/wiki/Radioattivit%C3%A0) nel cuore del pianeta è un'altra risorsa di calore dei pianeti). [Marte](https://it.wikipedia.org/wiki/Marte_(astronomia)), al contrario, è pressoché (forse completamente) inattivo ed ha perso la maggior parte della sua atmosfera.[[35]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-madison-35) Pertanto, è ipotizzabile che la massa minima di un pianeta che possa risultare abitabile si situi tra quella di Marte e quella della Terra (o [Venere](https://it.wikipedia.org/wiki/Venere_(astronomia))).

Infine, un grosso pianeta avrà probabilmente un consistente nucleo composto di [ferro](https://it.wikipedia.org/wiki/Ferro). Quest'ultimo crea un [campo magnetico](https://it.wikipedia.org/wiki/Magnetosfera) che protegge il pianeta dal [vento solare](https://it.wikipedia.org/wiki/Vento_solare), e in sua assenza tenderebbe a disperdere l'atmosfera planetaria e a bombardare di [particelle ionizzanti](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Particelle_ionizzanti&action=edit&redlink=1) gli esseri viventi. La massa non è il solo elemento da considerare per determinare l'esistenza di un [campo magnetico](https://it.wikipedia.org/wiki/Campo_magnetico). Il pianeta deve anche avere un movimento di rotazione sufficientemente rapido per produrre un [effetto dinamo](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Effetto_dinamo&action=edit&redlink=1) all'interno del nucleo.

**Orbita e rotazione**

Come per altri criteri, la stabilità [orbitale](https://it.wikipedia.org/wiki/Orbita) e di rotazione è essenziale affinché il corpo celeste sia abitabile. Maggiore è l'[eccentricità orbitale](https://it.wikipedia.org/wiki/Eccentricit%C3%A0_orbitale), più grande è la fluttuazione della temperatura sulla superficie del pianeta. Nonostante si adattino, gli organismi viventi non sono in grado di sopportare eccessive variazioni, specialmente se esse raggiungono talvolta il [punto di ebollizione](https://it.wikipedia.org/wiki/Punto_di_ebollizione) e il [punto di fusione](https://it.wikipedia.org/wiki/Punto_di_fusione) del principale [solvente](https://it.wikipedia.org/wiki/Solvente) biotico del pianeta (sulla Terra, l'acqua). Se, per esempio, gli oceani del nostro pianeta si vaporizzassero nel cosmo e si congelassero, sarebbe difficile immaginare che la vita come la conosciamo oggi avrebbe potuto evolversi. L'orbita della Terra è pressoché circolare, essendo l'eccentricità inferiore a 0,02. Gli altri pianeti del Sistema solare (con la sola eccezione di [Plutone](https://it.wikipedia.org/wiki/Plutone_(astronomia)) e in una certa misura di [Mercurio](https://it.wikipedia.org/wiki/Mercurio_(astronomia))) hanno delle eccentricità simili. I dati raccolti sulla eccentricità dei pianeti extrasolari hanno sorpreso la maggior parte dei ricercatori: 90% eccentricità sono maggiori di quelli dei pianeti nel sistema solare, con una media di 0,25.[[37]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-bortman-37) Ciò potrebbe essere dovuto a un semplice mezzo di osservazione come un forte eccentricità aumenta l'oscillazione della stella e quindi facilita l'individuazione del pianeta. Il movimento di un pianeta attorno al suo [asse di rotazione](https://it.wikipedia.org/wiki/Rotazione) deve senza dubbio rispettare alcune caratteristiche perché la vita abbia possibilità di evolvere.

* Il ciclo dì-notte non deve essere troppo lungo. Se il dì durasse anni (terrestri), la [differenza di temperatura](https://it.wikipedia.org/wiki/Differenza_di_temperatura) tra la parte illuminata e la parte in ombra sarà elevata e i problemi sarebbero simili a quelli di una forte eccentricità orbitale.
* Il pianeta deve avere stagioni moderate.
* I cambi di direzione dell'asse di rotazione devono essere poco pronunciati. Di per sé la precessione non influenzerebbe l'abitabilità ma tende ad accentuare variazioni causate da altre deviazioni orbitali ([cicli di Milanković](https://it.wikipedia.org/wiki/Cicli_di_Milankovi%C4%87)). La precessione della Terra dura 23000 anni. Se fosse molto più corto o se l'oscillazione fosse maggiore, vi sarebbero importanti cambiamenti climatici che potrebbero inficiare fortemente l'abitabilità.

La Luna sembra giocare un ruolo fondamentale nella regolazione del clima terrestre, stabilizzando l'inclinazione dell'asse di rotazione. Si pensa che un pianeta la cui inclinazione avesse un movimento caotico non potrebbe accogliere la vita: un satellite delle dimensioni della Luna potrebbe essere non solo utile, ma addirittura indispensabile per permettere l'abitabilità;[[38]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-inclinaison-38) questa tesi è tuttavia controversa.[[39]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-controvers%C3%A9e-39)

**Geochimica**

Si ritiene in generale che tutta la [vita extraterrestre](https://it.wikipedia.org/wiki/Vita_extraterrestre) dovrebbe essere basata sulla stessa chimica di quella della Terra in quanto i quattro elementi più importanti per la vita terrestre ([carbonio](https://it.wikipedia.org/wiki/Carbonio), [idrogeno](https://it.wikipedia.org/wiki/Idrogeno), [ossigeno](https://it.wikipedia.org/wiki/Ossigeno) ed [azoto](https://it.wikipedia.org/wiki/Azoto)) sono anche i quattro elementi chimici [reattivi](https://it.wikipedia.org/wiki/Reazione_chimica) più abbondanti nell'universo. In effetti, molecole prebiotiche semplici, come gli [amminoacidi](https://it.wikipedia.org/wiki/Amminoacido), sono state trovate in alcuni [meteoriti](https://it.wikipedia.org/wiki/Meteoriti) e nello [spazio interstellare](https://it.wikipedia.org/wiki/Spazio_interstellare). Per massa, questi quattro elementi costituiscono circa il 96 % della [biomassa](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Biomassa_(ecologia)&action=edit&redlink=1) terrestre. Gli atomi di carbonio hanno una capacità straordinaria di stabilire [legami chimici](https://it.wikipedia.org/wiki/Legame_chimico) tra loro e di formare grandi strutture complesse, che li rendono ideali per essere alla base dei meccanismi complessi che costituiscono gli esseri viventi. L'[acqua](https://it.wikipedia.org/wiki/Acqua), composta da ossigeno e idrogeno, costituisce il solvente nel quale avvennero i processi biologici e le prime reazioni portarono all'apparizione della vita. L'energia proveniente dal legame covalente tra gli atomi di carbonio e quelli di idrogeno liberati dalla dissociazione dei [carboidrati](https://it.wikipedia.org/wiki/Glucidi) e di altre molecole organiche, è il carburante di tutte le forme di vita complesse. Questi quattro elementi si associano per formare gli amminoacidi, che costituiscono a loro volta le [proteine](https://it.wikipedia.org/wiki/Proteina), componenti essenziali degli organismi viventi.

Le [abbondanze](https://it.wikipedia.org/wiki/Abbondanza_chimica) relative dei differenti elementi nello spazio non sono sempre simili ai loro valori sui pianeti. Per esempio, dei quattro sopra citati, solo l'ossigeno è presente in grande quantità nella [crosta terrestre](https://it.wikipedia.org/wiki/Crosta_terrestre).[[40]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-Element-40) Questo può essere in parte spiegato dal fatto che molti di questi elementi, come l'idrogeno e l'azoto, come anche altre molecole semplici, come il [biossido di carbonio](https://it.wikipedia.org/wiki/Anidride_carbonica), il [monossido di carbonio](https://it.wikipedia.org/wiki/Monossido_di_carbonio), il [metano](https://it.wikipedia.org/wiki/Metano), l'[ammoniaca](https://it.wikipedia.org/wiki/Ammoniaca) e l'[acqua](https://it.wikipedia.org/wiki/Acqua) sono gassose a temperature elevate. Nelle regioni calde in prossimità del sole, queste molecole volatili non hanno svolto un grande ruolo nella formazione geologica dei pianeti. In effetti sono state intrappolate allo stato gassoso sotto le croste appena formatesi. Esse sono composte in gran parte di molecole non volatili sotto forma di roccia, come la [silice](https://it.wikipedia.org/wiki/Silice) (una molecola composta da [silicio](https://it.wikipedia.org/wiki/Silicio) e [ossigeno](https://it.wikipedia.org/wiki/Ossigeno) la cui grande abbondanza nella crosta terrestre motiva quella dell'ossigeno). La [sublimazione](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Sublimazione_(astrofisica)&action=edit&redlink=1) delle molecole volatili da parte dei primi [vulcani](https://it.wikipedia.org/wiki/Vulcano) avrebbe contribuito alla formazione dell'[atmosfera](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Atmosfera_(astronomia)&action=edit&redlink=1) dei pianeti. L'[esperimento di Miller-Urey](https://it.wikipedia.org/wiki/Esperimento_di_Miller-Urey) ha mostrato che con un apporto di energia, gli amminoacidi potevano essere sintetizzati a partire da molecole semplici presenti nell'atmosfera primordiale.[[41]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-oregon-41)

Anche così, tuttavia, la sublimazione vulcanica non può spiegare la quantità di acqua negli oceani terrestri.[[42]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-oregon2-42) La maggior parte dell'acqua necessaria alla vita, e forse del carbonio, è senza dubbio proveniente dal sistema solare esterno ove, allontanata dal calore del Sole, ha potuto rimanere solida. Le [comete](https://it.wikipedia.org/wiki/Comete) collidero con la Terra all'inizio del sistema solare liberando grandi quantità di acqua, come pure altre molecole volatili necessarie alla vita (tra cui gli amminoacidi). Questo avrebbe permesso la rapida apparizione della vita sulla Terra.

Così, nonostante sia probabile che i quattro elementi principali siano presenti in altri luoghi, un sistema abitabile avrà bisogno di un apporto continuo di corpi in orbita al fine di fornire elementi ai pianeti interni. È ipotizzabile che la vita sulla Terra come la conosciamo non esisterebbe senza le comete. È tuttavia possibile che altri elementi possano servire da base per forme di vita basate su una chimica differente.

Uno studio del novembre del 2016 propone che siano imposti limiti più stringenti nella definizione della zona di abitabilità. In particolare, sarebbe necessario che la temperatura superficiale sia compresa tra 0 e 50 °C affinché sia permessa la presenza sul pianeta di organismi in grado di generare biomarcatori atmosferici.[[43]](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_planetaria#cite_note-43)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Planetary_habitability>

Fattori di abitabilità

Oltre all'ESI, un'altra metodologia del gruppo di Abel Mendez dell'Università di Arecibo è stata quella di valutare altri fattori fondamentali riguardo l'abitabilità planetaria, come adesempio:

* L'**abitabilità primaria normale** (**SPH**, in inglese: *Standard Primary Habitability*) è l'idoneità per la vegetazione sulla scala da 0 ad 1. Dipende dalla temperatura superficiale (e dalla [umidità relativa](https://it.wikipedia.org/wiki/Umidit%C3%A0_relativa) se conosciuta).[[16]](https://it.wikipedia.org/wiki/Esopianeti_potenzialmente_abitabili#cite_note-Methods-16)
* L'**HZD** (in inglese: *Habitable Zone Distance*) è la distanza dal centro della zona abitabile sulla scala da -1 ad 1, dove -1 rappresenta il confine interiore della zona, ed 1 rappresenta il confine esterno. Questo valore dipende dalla [luminosità](https://it.wikipedia.org/wiki/Luminosit%C3%A0_(astronomia)) e dalla temperatura di una stella e dal raggio della [orbita planetaria](https://it.wikipedia.org/wiki/Orbita_planetaria).[[16]](https://it.wikipedia.org/wiki/Esopianeti_potenzialmente_abitabili#cite_note-Methods-16)
* L'**HZC** (in inglese: *Habitable Zone Composition*) è una misura di composizione di un pianeta, dove valori vicini a 0 rappresentano probabilmente la miscela di ferro, di roccia, e di acqua. Valori inferiori a -1 rappresentano corpi probabilmente composti prevalentemente di ferro, e valori superiori a +1 rappresentano corpi composti prevalentemente di gas. Il valore dipende dalla massa e dal raggio di un pianeta.[[16]](https://it.wikipedia.org/wiki/Esopianeti_potenzialmente_abitabili#cite_note-Methods-16)
* L'**HZA** (in inglese: *Habitable Zone Atmosphere*) è una misura di abilità di un pianeta di avere un'[atmosfera](https://it.wikipedia.org/wiki/Atmosfera) abitabile, dove valori inferiori a -1 rappresentano corpi che probabilmente non hanno un'atmosfera, e valori superiori a +1 corrispondono a corpi con spesse atmosfere di [idrogeno](https://it.wikipedia.org/wiki/Idrogeno). Pianeti con valori tra il -1 e l'1 più probabilmente hanno un'atmosfera idonea per la vita, benché lo zero non sia necessariamente l'ideale. Il valore dipende dalla massa, dal raggio e l'orbita planetaria e dalla luminosità della stella.[[16]](https://it.wikipedia.org/wiki/Esopianeti_potenzialmente_abitabili#cite_note-Methods-16)
* La **classe planetaria** (**pClass**, in inglese: *Planetary Class*) classifica oggetti secondo la loro zona termale (bollente, caldo o freddo, dove caldo è nella zona abitabile), e la massa (asteroidale, mercuriana, subterrestre, terrestre, superterrestre, neptuniana, e gioviana).[[16]](https://it.wikipedia.org/wiki/Esopianeti_potenzialmente_abitabili#cite_note-Methods-16)
* La **classe d'abitabilità** (**hClass**, in inglese: *Habitability Class*) classifica oggetti secondo la loro temperatura superficiale: ipopsicropianeti (hP) = molto freddi (< −50 °C); psicropianeti (P) = freddi; [mesopianeti](https://it.wikipedia.org/wiki/Mesopianeta) (M) = di temperatura media (0–50 °C); termopianeti (T) = caldi; ipertermopianeti (hT) = molto caldi (> 100 °C). I Mesopianeti potrebbero essere ideali per la vita complessa, e oggetti di classe hP e hT potrebbe avere solo una vita [estremofilica](https://it.wikipedia.org/wiki/Estremofilo). I pianeti non abitabili ricevono la classe NH.[[16]](https://it.wikipedia.org/wiki/Esopianeti_potenzialmente_abitabili#cite_note-Methods-16)

Earth Similarity Index

Da Wikipedia, l'enciclopedia libera.

[Jump to navigation](https://it.wikipedia.org/wiki/Earth_Similarity_Index#mw-head)

[Jump to search](https://it.wikipedia.org/wiki/Earth_Similarity_Index#searchInput)

[A picture containing indoor, dark

Description automatically generated](https://it.wikipedia.org/wiki/Earth_Similarity_Index#searchInput)

Gli ESI dei pianeti terrestri del [sistema solare](https://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_solare): [Mercurio](https://it.wikipedia.org/wiki/Mercurio_(astronomia)) (0.73), [Venere](https://it.wikipedia.org/wiki/Venere_(astronomia)) (0.66), [Terra](https://it.wikipedia.org/wiki/Terra) (1.00) e [Marte](https://it.wikipedia.org/wiki/Marte_(astronomia)) (0.799) rappresentati con colori e scala di dimensioni reali.[[1]](https://it.wikipedia.org/wiki/Earth_Similarity_Index#cite_note-chandra-1)

L’**Earth Similarity Index** (in [italiano](https://it.wikipedia.org/wiki/Lingua_italiana)*Indice di similarità terrestre*), noto anche con la sigla *ESI* e chiamato anche "easy scale" (*scala semplice*), è una misura di quanto un [pianeta](https://it.wikipedia.org/wiki/Pianeta) sia fisicamente simile alla [Terra](https://it.wikipedia.org/wiki/Terra).

La scala varia da un valore minimo di 0 fino ad un massimo di 1, che è anche il valore associato alla Terra. Originariamente era stato progettato per i pianeti, tuttavia è utilizzabile anche su altri corpi celesti come ad esempio i [satelliti naturali](https://it.wikipedia.org/wiki/Abitabilit%C3%A0_di_un_satellite_naturale). L'ESI è una funzione che tiene conto dei fattori [raggio](https://it.wikipedia.org/wiki/Raggio_(astronomia)), [densità](https://it.wikipedia.org/wiki/Densit%C3%A0), [velocità di fuga](https://it.wikipedia.org/wiki/Velocit%C3%A0_di_fuga) e [temperatura](https://it.wikipedia.org/wiki/Temperatura_superficiale) dell'oggetto in questione[[2]](https://it.wikipedia.org/wiki/Earth_Similarity_Index#cite_note-esi-2)[[3]](https://it.wikipedia.org/wiki/Earth_Similarity_Index#cite_note-3); in alcuni casi questi parametri sono delle stime, essendo difficile calcolarli con esattezza soprattutto per i corpi celesti più lontani. A loro volta questi parametri dipendono da altri fattori: per esempio la temperatura è influenzata dall'irradiazione, dall'[effetto serra](https://it.wikipedia.org/wiki/Effetto_serra) e altri.

Un pianeta con un ESI elevato (cioè nell'intervallo 0.8-1.0) dovrà essere di tipo roccioso. L'ESI non è tuttavia un indice di abitabilità di un pianeta anche se i due sono strettamente collegati, dato che più un parametro è simile a quello terrestre spesso anche l'abitabilità di quel pianeta sarà elevata; infatti entrambi partono dalla temperatura come parametro base per calcolare il loro valore.

Secondo questa scala, nel Sistema Solare non ci sono altri pianeti o satelliti che superano il valore 0.8 di similitudine con la Terra. [Marte](https://it.wikipedia.org/wiki/Marte_(pianeta)) è quello che si avvicina di più con 0.799. D'altra parte sono stati riscontrati [pianeti extrasolari](https://it.wikipedia.org/wiki/Pianeta_extrasolare) che superano quel valore. Al 2019 il pianeta con l'ESI più elevato è [Teegarden b](https://it.wikipedia.org/wiki/Teegarden_b), con un valore di 0.93.[[4]](https://it.wikipedia.org/wiki/Earth_Similarity_Index#cite_note-UPR-Catalog-4)

**DATASET**

**Planet Name** (Pl\_name): Nome del pianeta più comunemente usato in letteratura

**Number of Stars** (Sy\_snum):Numero di stelle nel sistema planetario

**Number of Planets**(Sy\_pnum):Numero di pianeti nel sistema planetario

**Discovery Method** (Discoverymethod): Metodo con cui il pianeta è stato identificato per la prima volta

**Discovery Year** (Disc\_year): Anno in cui il pianeta è stato scoperto

**Orbital Period [days]** (Pl\_orbper): Tempo impiegato dal pianeta per compiere un'orbita completa attorno alla stella o al sistema ospite

**Orbit Semi-Major Axis [au**] (Pl\_orbsmax): Il raggio più lungo di un'orbita ellittica o, per gli esopianeti rilevati tramite microlente gravitazionale o imaging diretto, la separazione proiettata nel piano del cielo

**Planet Radius [Earth Radius]** (Pl\_rade): Lunghezza di un segmento di linea dal centro del pianeta alla sua superficie, misurata in unità di raggio della Terra

**Planet Mass or Mass\*sin(i) [Earth Mass]** (Pl\_bmasse): Migliore stima della massa del pianeta disponibile, in ordine di preferenza: Massa, M \* sin (i) / sin (i) o M \* sin (i), a seconda della disponibilità e misurata in masse terrestri

**Eccentricity** (Pl\_orbeccen):Quantità di cui l'orbita del pianeta devia da un cerchio perfetto

**Insolation Flux [Earth Flux]** (Pl\_insol):Il flusso di insolazione è un altro modo per fornire la temperatura di equilibrio. È espresso in unità relative a quelle misurate per la Terra dal Sole.

**Equilibrium Temperature [K]** (Pl\_eqt): La temperatura di equilibrio del pianeta come modellata da un corpo nero riscaldato solo dalla sua stella ospite, o per i pianeti ripresi direttamente, la temperatura effettiva del pianeta richiesta per corrispondere alla luminosità misurata se il pianeta fosse un corpo nero

**Stellar Effective Temperature [K]** (St\_teff): Temperatura della stella modellata da un corpo nero che emette la stessa quantità totale di radiazioni elettromagnetiche

**Stellar Radius [Solar Radius]** (St\_rad): Lunghezza di un segmento di linea dal centro della stella alla sua superficie, misurata in unità di raggio del Sole

**Stellar Mass [Solar mass]** (St\_mass): Quantità di materia contenuta nella stella, misurata in unità di massa del Sole

**RA [decimal]** (Ra): Ascensione retta del sistema planetario in gradi decimali

**Dec [decimal]** (Deg): Declinazione del sistema planetario in gradi decimali