



Università della Terza Età "Cardinale Giovanni Colombo" – Milano

A.A. 2023 - 2024

Corso di Astrofisica

Docente : **Adriano Gaspani**

Lezione 13

**Che cosa è la Vita,
e la Vita intelligente?**

Potenziali tipi di habitat nell'Universo



- **Zona abitabile nell'Universo**

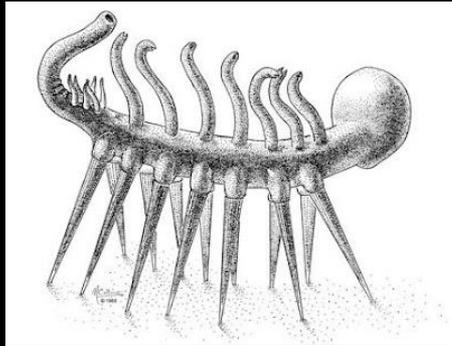
- **Ambiente astronomico capace di ospitare forme di vita**
 - **Concetto in via di definizione attualmente utilizzato con diversi significati in diversi ambiti di studio**
 - **La definizione di vita è essenziale per definire il concetto di abitabilità**
 - **In mancanza di una definizione chiara di vita, gli studi attuali di abitabilità prendono principalmente in considerazione la vita di tipo terrestre**

- **Abitabilità per vita di tipo terrestre**

- **Principali ingredienti/condizioni necessarie**
 - **Disponibilità di elementi biogenici (H, C, N, O , ...)**
 - **Possibilità di esistenza di acqua allo stato liquido**
 - **Disponibilità di fonti di energia adeguate a sostenere la vita**
- **Esistenza di un ambiente fisico adeguato**
 - **Pianeti o satelliti con condizioni climatiche adatte**
 - **Ambiente interplanetario/interstellare con condizioni fisiche non ostili**

Difficile definire la vita

- **Il concetto di vita è difficile da definire**
 - **Difficile pertanto delimitare in maniera chiara gli studi astrobiologia**
 - **Questo problema presta il fianco a critiche di principio**
 - **Che senso ha cercare nell'Universo qualcosa che non sappiamo neppure ben definire sulla Terra ?**

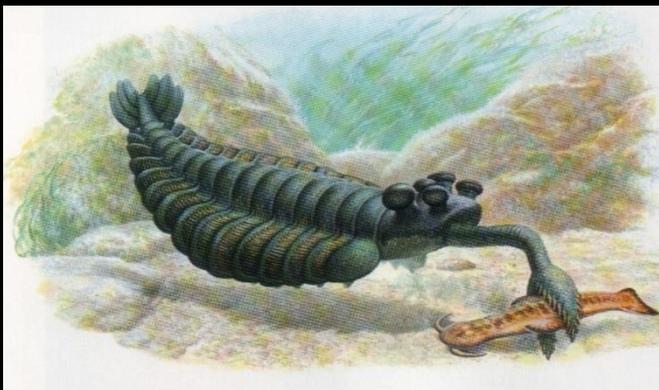


- **La nostra difficoltà di definire la vita probabilmente riflette la mancanza, al momento attuale, di una teoria scientifica adeguata a descriverla**

- **Analogia:**

- **quando non esisteva una teoria adeguata per descrivere atomi e molecole era impossibile definire l'acqua in maniera semplice (H₂O)**

- **Bisognava fare una lista delle proprietà conosciute dell'acqua, del ghiaccio, del vapore acqueo...**



Definizioni attuali della vita

Fondamentali in astrobiologia

- **Dobbiamo caratterizzare il tipo di vita che speriamo di poter trovare in modo da poter progettare in maniera ottimale esperimenti e osservazioni per il suo rilevamento**
- **Lunga serie di tentativi di definizione della vita**
- **Un approccio conservativo è quello di usare la vita di tipo terrestre come paradigma per la ricerca di vita nell'Universo**
 - **“Life as we know it”**



Definizioni attuali della vita



“Descendant with modification”:

è vita tutto quello che si riproduce fedelmente, ma che
puo' comunque cambiare e sottostare
all'evoluzione darwiniana

**...come ogni definizione di vita ha i suoi difetti
(ad esempio, in questo modo i virus informatici
polimorfi sono vivi!)**

Astrobiologia

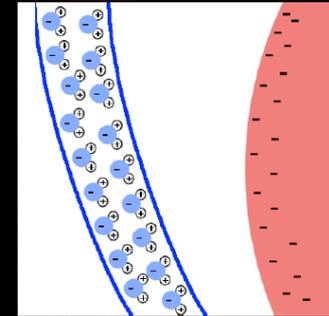
L'astrobiologia è fortemente multidisciplinare

- **Contributi da:**
 - **Chimica, Biologia, Astronomia, Geologia, Climatologia...**
- **Difficoltà dell'approccio multidisciplinare**
 - **Necessità di far interagire esperti di aree scientifiche molto diverse, spesso non comunicanti**
 - **Attualmente la figura dell' 'astrobiologo' professionale è rara: nessuno è in grado di avere tutte le conoscenze delle diverse aree.**
 - **Vantaggi dell'approccio multidisciplinare**
 - **Spesso le grandi scoperte scientifiche sono state fatte mettendo in comunicazione risultati scientifici provenienti da diverse aree**

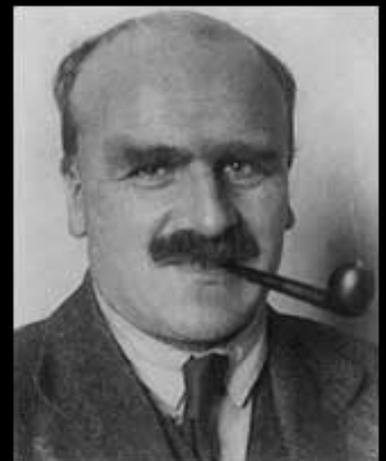
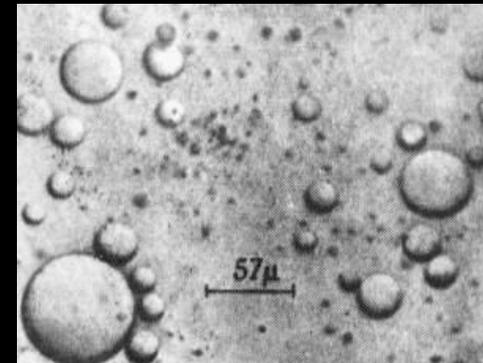
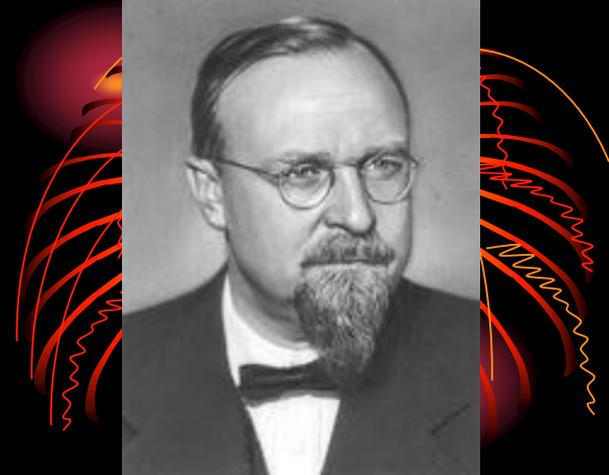


Carbonio, Acqua, Vita

- Dal punto di vista fisico-chimico, la vita e' un insieme di processi chimici che avvengono tra molecole molto complesse (miliardi di atomi)
- L'atomo di Carbonio e' quello piu' adatto a formare anelli aromatici
- L'acqua e' un solvente polare che facilita formazione ed interazione delle molecole ed e' liquida ad alte temperature in ampi intervalli di pressioni e temperature
- Altre biochimiche? Possibili ma non probabili.



Primi lavori scientifici sull'origine della vita



- **Anni 20 del novecento**

- **Approccio laico e meccanicistico in opposizione al creazionismo biblico**
 - **La vita come fenomeno chimico-fisico**

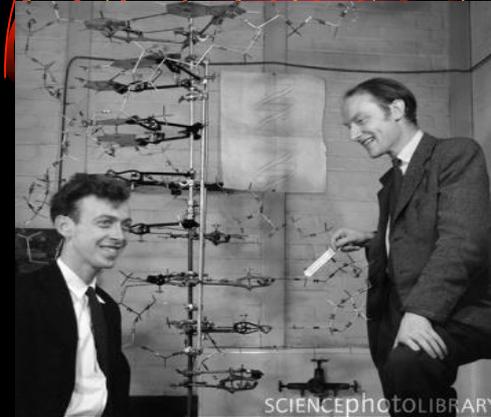
- **Primi lavori fondamentali sull'origine della vita**

- **Aleksander I. Oparin (1894-1980)**
 - **Articolo del 1924, Libro del 1936**
- **John B.S. Haldane (1892-1964)**
 - **Articolo del 1929**

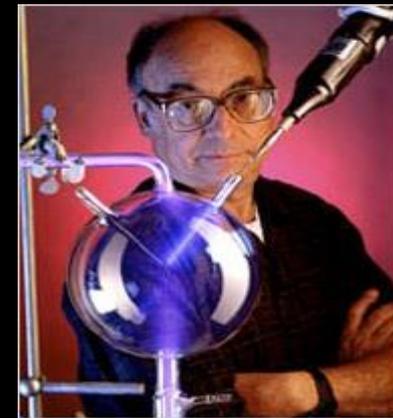
- **L'ipotesi dei "coacervati" (Oparin)**

- **Macromolecole in soluzione acquosa**
 - **Goccioline con pellicola esterna capaci di suddividersi**
 - **Similitudine con "protocellule"**

1953: “Annus Mirabilis” della biologia



SCIENCEPHOTOLIBRARY



- **Scoperta della struttura del DNA**
 - **Watson & Crick**
 - Fortissimo impulso agli studi di biologia molecolare e genetica
- **Esperimento di Stanley Miller**
 - Produzione di amminoacidi mediante dispositivo sperimentale che simulava le condizioni fisiche dell'atmosfera della Terra primitiva
 - Atmosfera riducente: NH_3 CH_4 H_2O H_2
 - Punto di partenza sperimentale per gli studi sull'origine della vita terrestre
 - Negli anni sessanta si susseguono esperimenti di atmosfere terrestri simulate più realistiche

Processi energetici negli organismi terrestri

- **Fonti di energia**
 - **L'esistenza di fonti di energia è una condizione necessaria per la vita**
 - **I sistemi viventi hanno bisogno di un flusso di energia**
 - **Per auto-organizzarsi, mantenendo un basso livello di entropia**
 - **Per svolgere lavoro**
 - **Distinzione degli organismi terrestri sulla base della fonte di energia**
 - **Autotrofi**
 - **Ricavano energia autonomamente a partire dalla luce solare o da reazioni di ossidazione di composti abiotici**
 - **Eterotrofi**
 - **Usano molecole organiche ad contenuto di energia prodotte forme di vita autotrofe**



Organismi estremofili

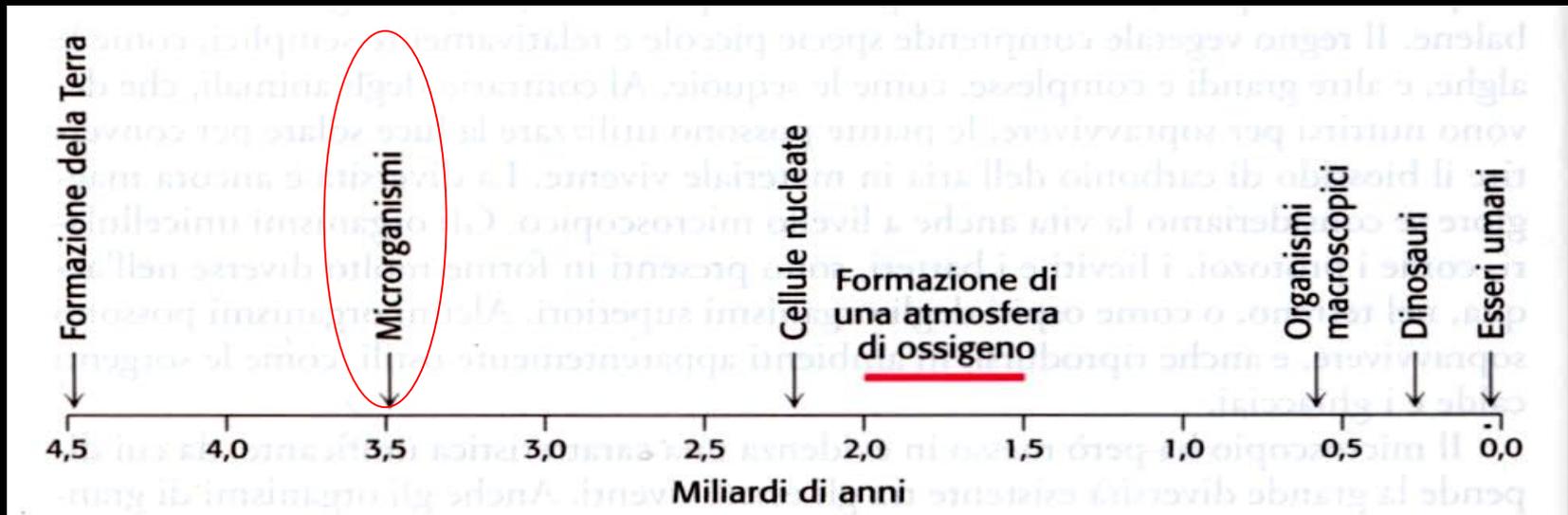


- **Vengono classificati a secondo della loro capacità di adattamento a una particolare caratteristica fisica o chimica**
 - **microrganismi adattati a valori estremi di:**
 - **Temperatura**
 - **Termofili & ipertermofili**
 - **Psicrofili**
 - **pH**
 - **Acidofili, alcalofili**
 - **Pressione**
 - **Barofili**
 - **Salinità**
 - **Alofili**
 - **Umidità**
 - **Xerofili**
 - **Radiazioni ionizzanti**
 - **Radioresistenti**



Evoluzione della vita sulla Terra

- **Nei primi 3 miliardi di anni solo microrganismi**
 - **Tracce fossili dell'evoluzione necessariamente molto scarse**
- **Da circa 650 milioni di anni anche organismi complessi**
 - **Abbondanza di reperti fossili da 540 milioni di anni**



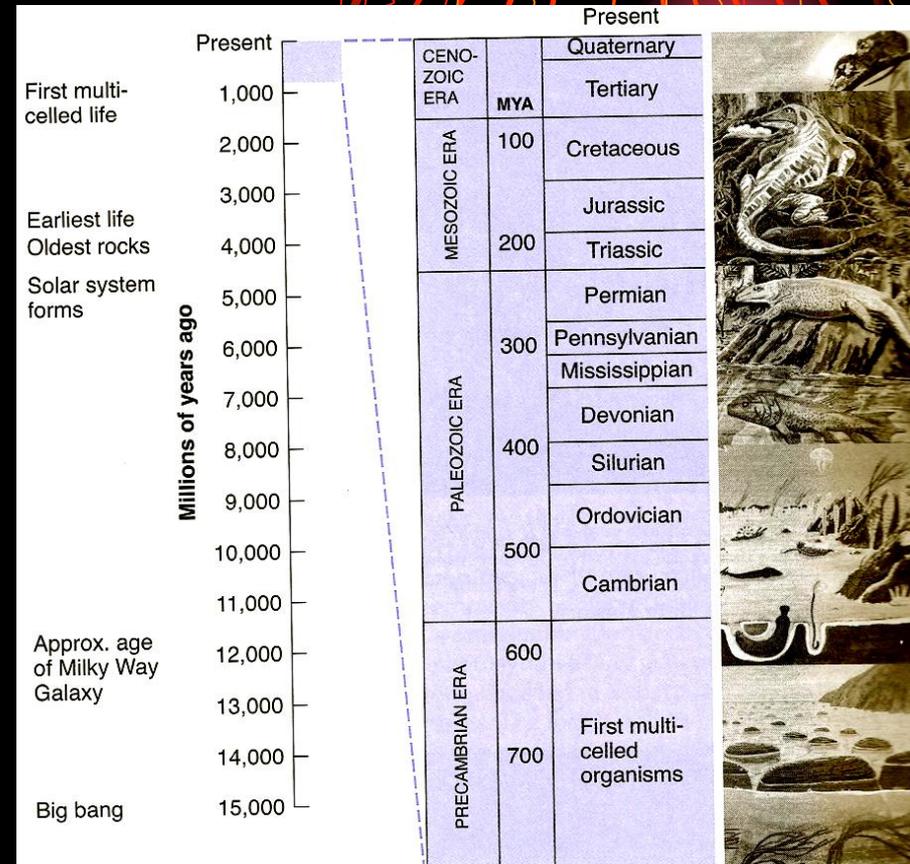
Dagli organismi multicellulari alle forme di vita più complesse



- **Circa 700 milioni di anni fa compaiono i primi organismi pluricellulari**

La loro formazione ha quindi richiesto all'incirca 3 miliardi di anni a partire dall'apparizione delle prime forme di vita

- **Nel periodo Cambriano si sviluppano molto rapidamente tutte le speci attuali**
- **Gli organismi autocoscienti compaiono pochi milioni di anni fa (?)**
 - **Circa 3 miliardi e mezzo di anni dopo i primi organismi unicellulari**

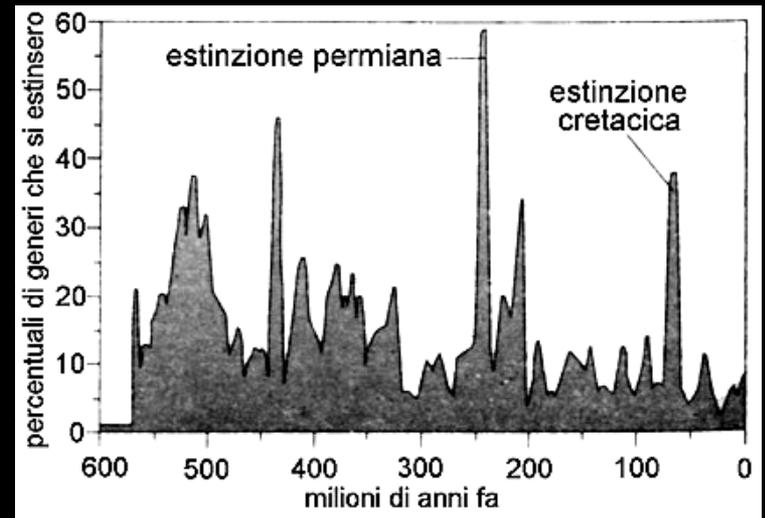


Estinzioni di massa

- Le maggiori intervallate di circa 100 - 200 milioni di anni



Nome estinzione	Età (Ma)	Specie estinte
Precambriano	~650	~70%
Tardo Precambriano (periodo Vendiano)	~610	incerta
Inizio del Cambriano (limite Botomiano-Toyoniano)	510-530	incerta
Tardo Cambriano	490-510	incerta
Tardo Ordoviciano (limite Ordoviciano-Siluriano: O-S)	~440	~85%
Tardo Devoniano (limite Frasniano-Frammeniano: F-F)	~365	~72%
Permiano medio-sup. (Capitaniano-Wuchiapingiano: C-W)	~265	incerta
Fine Permiano (limite Permiano-Triassico: P-T)	~250	~90
Fine Triassico (limite Triassico-Giurassico: T-J)	~200	~80
Fine Cretaceo (limite Cretaceo-Terziario: K-T)	~65	~62



Fenomeni di origine astronomica che hanno influenzato l'evoluzione della vita sulla Terra

Esplosioni di supernovae vicine

- Entro ~ 10 pc dalla Terra l'esplosione di una supernova avrebbe effetti biologici catastrofici
- Lo strato di ozono atmosferico verrebbe distrutto
 - La ionosfera potrebbe portarsi fino al livello del suolo
- Quanto spesso potrebbe succedere?
 - Circa una supernova ogni 300 milioni di anni entro ~10 pc di distanza
 - Considerate le incertezze, non è chiaro se una supernova possa aver causato una delle estinzioni di massa degli ultimi 540 milioni di anni
- Sicuramente alcune supernove con forti effetti biologici sono esplose durante i 3,5 miliardi di anni di evoluzione della vita sulla Terra



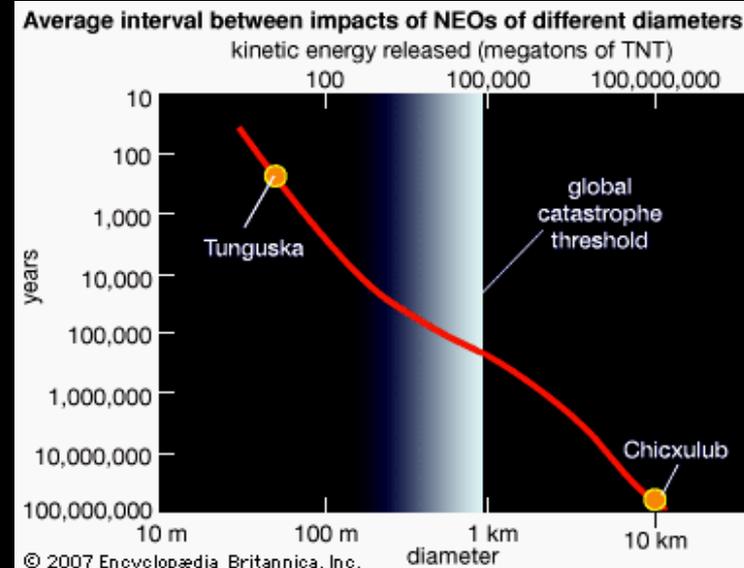
Collisioni con corpi minori del Sistema Solare



- **Effetti biologici dell'impatto**
 - **Nube di polveri su scala planetaria blocca la fotosintesi per vari mesi**
 - **Organismi dipendenti dalle piante nella loro catena alimentare si estinguono**
- **Esistono esempi plausibili?**
 - **C'è un certo consenso riguardo l'estinzione alla fine del Cretaceo**
 - **Strato ricco di iridio antico 65 milioni di anni trovato in molti siti terrestri**
 - **Eruzioni vulcaniche concomitanti**
- **Possono avere influito sull'evoluzione ?**
 - **Molto probabile (liberazione di nicchie ecologiche)**
 - **Più frequenti nel passato del Sistema Solare**

Tab. 7.2 Età di grandi crateri da impatto trovati sulla Terra, in ordine decrescente di diametro.

Nome cratere	Età (Ma)	Diametro (km)	Località
Chicxulub	64,98	100	Yucatan (Messico)
Manicouagan	214 ± 1	100	Quebec (Canada)
Morokweng	145 ± 3	100	Sud Africa
Popigai	35 ± 5	100	Russia
Chesapeake Bay	35,5 ± 0,6	95	Virginia (USA)
Puchezh-Katunki	220 ± 10	80	Russia
Siljan	368 ± 1,1	55	Svezia
Tookoonooka	128 ± 5	55	Queensland (Australia)
Charlevoix	357 ± 15	54	Quebec (Canada)
Kara-Kul	25	52	Tagikistan
Montagnais	50,5 ± 0,76	45	Nova Scotia (Canada)
Araguinha Dome	249 ± 19	40	Brasile
Carswell	115 ± 10	39	Saskatchewan (Canada)
Manson	65,7 ± 1	35	Iowa (USA)
Clearwater Lake West	290 ± 20	32	Quebec (Canada)



Il clima e l'abitabilità

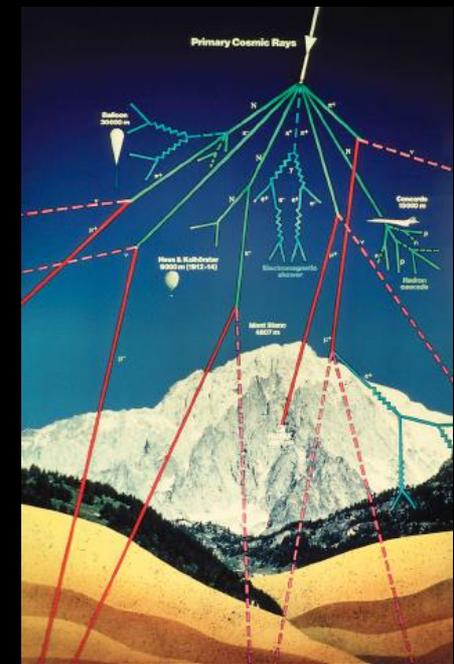


- **La temperatura effettiva della Terra, dato il bilancio energetico, dovrebbe essere -18° , invece è $+15^{\circ}$**
- **La differenza sta nella presenza dell'atmosfera (effetto serra...)**
- **In passato il problema era ancora maggiore! (Faint Young Sun Paradox)**

Ipotesi *Rare Earth*:



- **La vita evoluta potrebbe essere *rara*...**
 - **Ricerca di *caratteristiche astrofisiche peculiari* della Terra. ...ce ne sono? **SI!****
- 1. La Terra e' un pianeta *doppio*: (Terra + Luna) stabilizzazione asse**
 - 2. La Terra ha tettonica a placche: stabilizzazione clima, campo magnetico**
 - 3. Oceani: non troppi ne troppo pochi**
 - 4. Giove schermo da impatti ma non perturba l'orbita**
 - 5. "wildcards": snowball earth, effetto serra globale, esplosione cambriana...**



Il livello tecnologico



Le civiltà evolute possono in un certo tempo raggiungere svariati livelli di tecnologia e può essere utile stabilire alcuni criteri atti a valutare il grado di tecnologia raggiunto da una data civiltà evoluta.

Già nel 1964 l'astronomo russo Nikolai Kardashev mise a punto una scala di valutazione del grado tecnologico raggiunto da una civiltà durante il suo sviluppo e la sua evoluzione.

Tipologie di Specie Intelligenti e tecnologicamente evolute



Communities

Si sviluppano rimanendo nel proprio sistema planetario.



Empires

Si espandono fuori dal proprio sistema planetario aggredendo anche altre civiltà



La scala di Kardashev

La scala di Kardashev è un metodo di classificazione delle civiltà in funzione del loro livello tecnologico, proposta nel 1964 dall'astronomo russo Nikolai Kardashev.

Egli propose una scala con 5 livelli, da I a IV, più un livello di partenza 0.

Si compone di tre tipi, basati sulla quantità di energia di cui le civiltà dispongono, secondo una progressione esponenziale.

L'esistenza delle civiltà descritte è del tutto ipotetica, ma questa scala è stata utilizzata come base di partenza nella ricerca del progetto SETI, e viene utilizzata anche per classificare la nostra civiltà.



Nikolaj Kardašev



Tipo 0: civiltà (compresa quella terrestre) che non sono in grado di sfruttare tutta l'energia prodotta dal loro pianeta, sia direttamente (energia solare) sia indirettamente (energia eolica, delle maree, dei fiumi, ma anche dei combustibili fossili).

Tipo I : civiltà potenzialmente in grado di utilizzare una quantità di energia pari a quella disponibile sul suo pianeta d'origine.

Tipo II : civiltà potenzialmente in grado di utilizzare una quantità di energia pari a quella immagazzinata della stella al centro del proprio sistema planetario.

Tipo III : civiltà potenzialmente in grado di utilizzare una quantità di energia dell'ordine di grandezza di quella immagazzinata nella propria galassia.

Tipo IV: civiltà potenzialmente in grado di controllare una quantità di energia pari a quella immagazzinata in un ammasso di galassie.

Tipo V : civiltà potenzialmente in grado di disporre dell'energia dell'intero universo a lei visibile. Una civiltà di questo livello è probabilmente ipotizzabile nell'ambito della teoria del punto Omega di Frank Tipler.

$$K = \frac{\log_{10} W - 6}{10}$$

Tipo K

Energia in Watts.

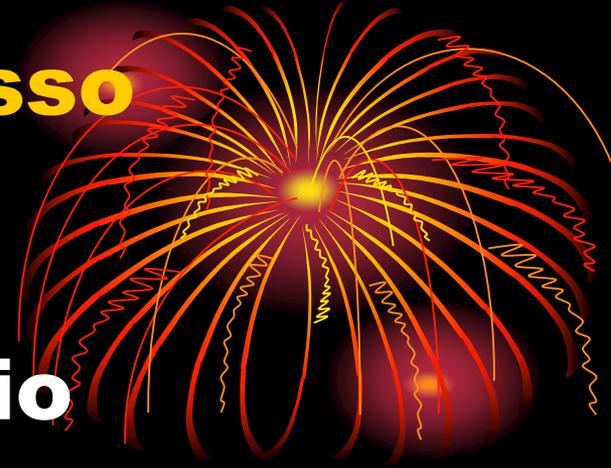
Tipo 1	$4 \cdot 10^{12}$	Energia disponibile sul pianeta
Tipo 2	$4 \cdot 10^{26}$	Energia della stella del sistema planetario
Tipo 3	$4 \cdot 10^{37}$	Energia di tutta la galassia
Tipo 4	$4 \cdot 10^{46}$	Energia di un super ammasso di galassie
Tipo 5	$4 \cdot 10^{56}$	Energia di un intero universo



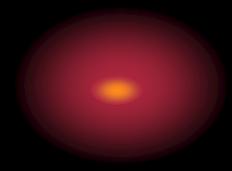
L'astrofisico russo Iosif Shklovsky, principale collaboratore di Kardashev, giunse però alla conclusione che una civiltà di tipo III non potrebbe sopravvivere a sé stessa e si autoestinguerebbe rapidamente secondo il concetto della cosiddetta "singolarità tecnologica".



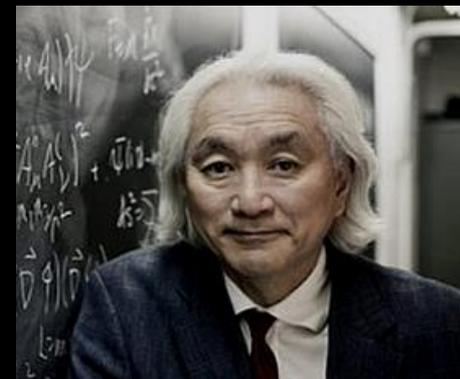
**Estrapolando in base al tasso
di crescita attuale del
consumo energetico
planetario, secondo Michio**



**Kaku, fisico teorico
statunitense, l'umanità
potrebbe raggiungere una
civiltà di Tipo I intorno al 2200,
di Tipo II intorno al 5200 e di
tipo III intorno al 7800.**



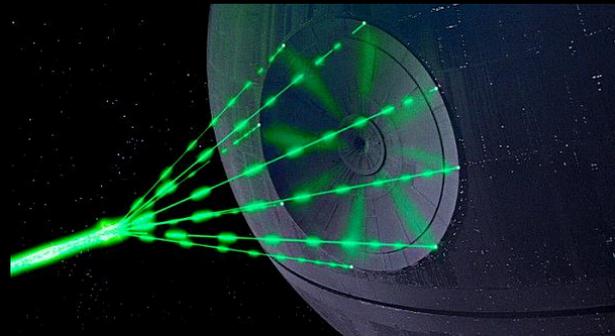
**Questa potrebbe essere la data
ultima di estinzione del genere
umano a causa della singolarità
tecnologica.**



Il Tipo di Kardashev e l'energia corrispondente possono essere messi in relazione con la probabilità di sopravvivenza della civiltà considerata in quanto maggiore è l'energia correntemente disponibile e maggiore è il pericolo di autodistruzione completa della civiltà.

Già una civiltà di Tipo I, in caso di conflitto, potrebbe disporre di armi sufficientemente potenti da scaricare quantità di energia sufficienti a distruggere l'intero pianeta.

E' lo scenario "Morte Nera di Star Wars"



PROBABILITA' DI ESTINZIONE

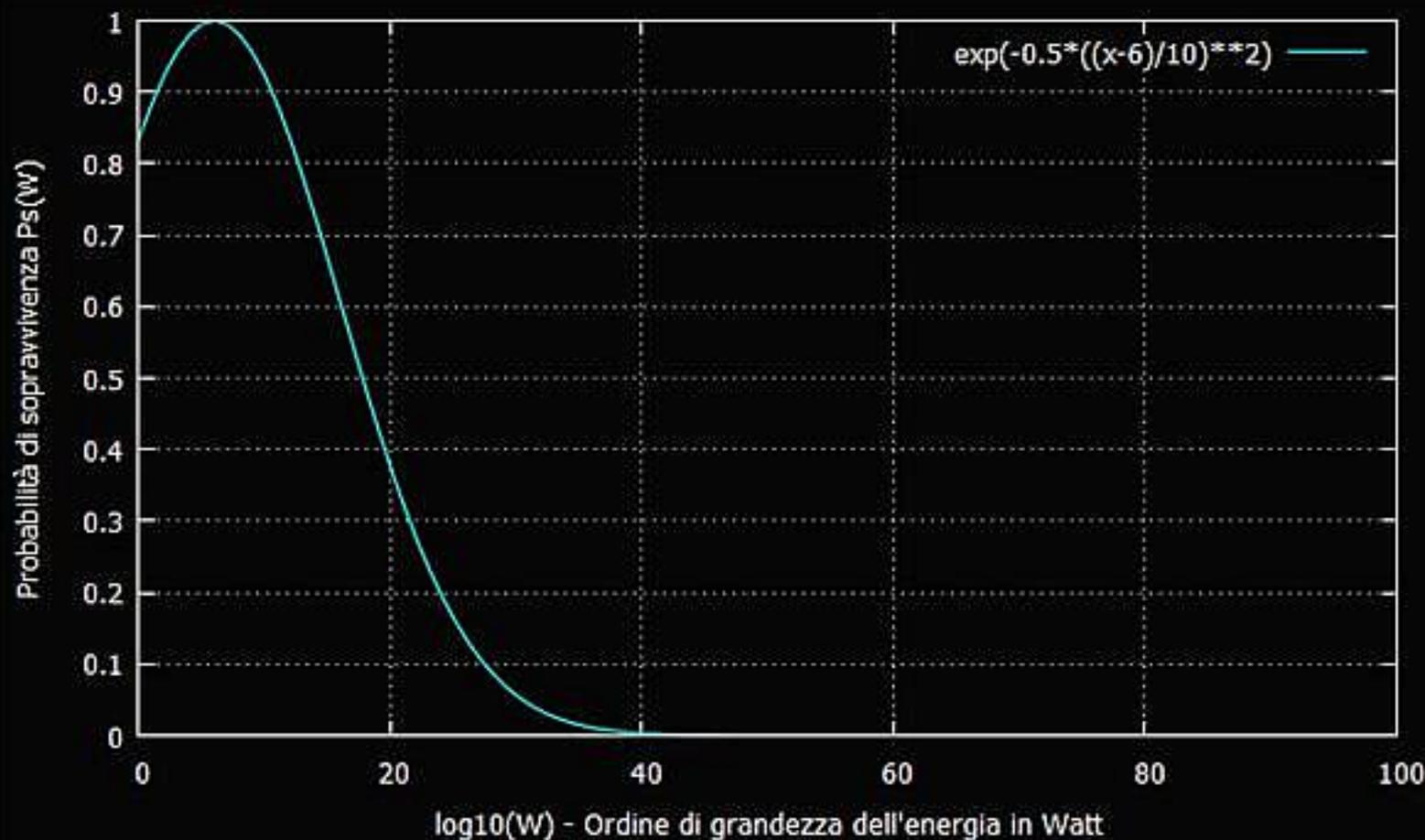


Volendo quantificare la probabilità $P_s(W)$ di estinzione delle civiltà tecnologiche in funzione del tipo K di Kardashev si ha la semplice relazione che indica la probabilità che una civiltà ha di sopravvivere alla sua tecnologia :

$$P_s(W) = e^{-\frac{1}{2}K^2}$$

oppure in termini di energia (Watts):

$$P_s(W) = e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{\log_{10} W - 6}{10} \right]^2}$$



Andamento della probabilità di sopravvivenza di una civiltà in funzione del suo livello tecnologico indicato dal suo fabbisogno di energia e dalla capacità di reperirla.

Probabilità media di sopravvivenza di una civiltà tecnologica

Livello K di Kardashev	Probabilità media p di sopravvivenza	Frequenza f di comparsa	
K0	100 %	1.0 (tutte)	
K1	61 %	2 su 3	
K2	14 %	1 su 7	
K3	1 %	1 su 100	
<hr/>			
K4	0.03%	1 su 3000	Singularità Tecnologica

Civiltà umana attuale: $K = 0.70$ circa, quindi
 $0 < K < 1$

**Studiando l'andamento della probabilità
complementare:**

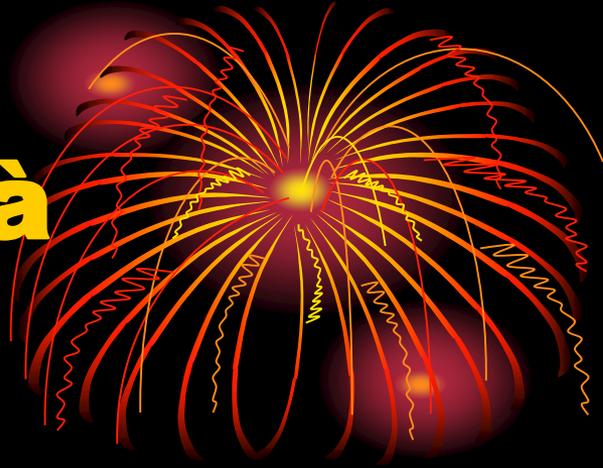
$$P_d(W)=1-P_s(W),$$

**rappresenta la probabilità di
estinzione, risulta che una civiltà di
Tipo I avrà solamente una probabilità
del 9% di estinguersi, mentre una di
Tipo II avrà una probabilità del 86% di
scompare, mentre una di Tipo III
arriverà al 94% di probabilità di
distruzione.**

**In quest'ultimo caso quella civiltà (Tipo
III) dovrebbe essere prossima a
raggiungere la singolarità tecnologica.**



La Singolarità Tecnologica



La cosiddetta Singolarità Tecnologica si verifica nel momento in cui una civiltà crea dei supercomputer dotati di intelligenza artificiale talmente sofisticata da essere superiore a quella naturale tipica della civiltà che li costruisce.

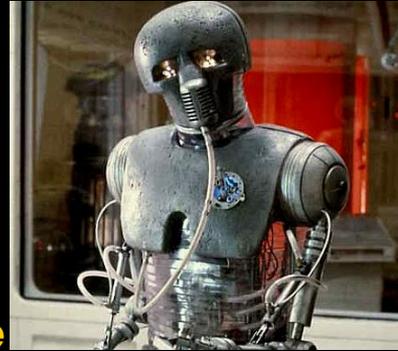
In genere questo avviene sulla spinta della necessità di utilizzare grandi quantità di energia destinata al mantenimento di condizioni di vita ipertecnologiche le quali prevedono, tra le altre cose, tentativi di supremazia bellica, ma anche viaggi spaziali interstellari sia di esplorazione che di conquista.

Definiamo una macchina ultra intelligente come una macchina che può superare di gran lunga tutte le attività intellettuali dell'individuo più intelligente della civiltà che l'ha costruita.

Dato che la progettazione di macchine è una di queste attività intellettuali, una macchina ultra intelligente potrebbe progettare e costruire a sua volta macchine ancora migliori; esisterebbe quindi una "esplosione di intelligenza" (e di ulteriore tecnologia) e l'intelligenza biologica rimarrebbe molto indietro rispetto a quella artificiale.

Potremmo quindi affermare che la prima macchina ultra intelligente sarebbe l'ultima invenzione che una civiltà tecnologica avrebbe bisogno di realizzare, ammesso che la macchina sia sufficientemente docile da tenerla sotto controllo e in caso di pericolo, di "staccare la spina" in caso contrario la civiltà biologica originale è virtualmente finita e si estinguerebbe molto rapidamente.

Questo è uno scenario che si avvicina molto a quello di Star Wars, dove esistono mondi dove ci sono macchine che costruiscono, in maniera del tutto autonoma, droidi, navi spaziali e quant'altro.



Dopo che si è verificata la Singolarità Tecnologica, il pianeta che prima ospitava una civiltà biologica tecnologicamente evoluta, potrebbe ora ospitare una civiltà formata esclusivamente da macchine pensanti capaci di programmare in maniera del tutto autonoma anche la conquista militare e la dominazione di altri mondi limitrofi.



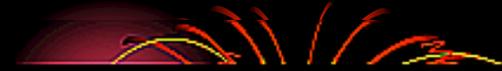
Ovviamente la richiesta di energia, per questo tipo di civiltà artificiale non biologica sarebbe altissima, ma anche la capacità di reperirla e di utilizzarla sarebbe alla sua portata.

Una civiltà di Tipo IV di Kardashev, dovrebbe quindi essere, con grande probabilità, non biologica.





La durata di una simile civiltà artificiale potrebbe essere virtualmente molto lunga e potrebbe espandersi agevolmente nella galassia che la ospita in quanto per essa i viaggi interstellari, anche di lunghissima durata, presenterebbero molti meno problemi rispetto a quelli che una civiltà biologica dovrebbe affrontare.



Ci sono esseri intelligenti su altri mondi ?

L'uomo si è fatto questa domanda fin dai tempi antichi. Ma adesso, per la prima volta nella storia dell'umanità, i progressi delle scienze biologiche e della tecnologia spaziale potranno finalmente permettere di rispondere.

Anche se non abbiamo ancora trovato nessun esempio di vita extraterrestre, il confronto con certe forme di vita terrestri suggerisce che esistono nel Sistema Solare potenziali habitat per la vita extraterrestre tuttavia....

Nel Sistema Solare, se esiste vita, molto probabilmente si tratta di VITA BATTERICA.

...quindi:

Vediamo i tentativi di metterci in contatto con civiltà fuori del Sistema Solare



La grande maggioranza degli scienziati accetta l'idea che ci siano altri esseri intelligenti extraterrestri (altrimenti non sarebbero stati organizzati i progetti SETI e CETI).



Se si pensa alla rapidità dello sviluppo tecnologico avvenuto sulla Terra negli ultimi secoli, le capacità tecniche di una civiltà che ha iniziato a svilupparsi un milione di anni prima di noi potrebbero essere enormi.

...c'è così una probabilità non zero che esseri extraterrestri siano capaci di visitare la Terra e che potrebbero anche averlo già fatto.

(Dal libro di P. Ulmschneider:

“INTELLIGENT LIFE IN THE UNIVERSE”

Ed. Springer, Berlin 2003)

Perchè dovremmo cercare la vita?



- Motivi filosofici: cercare di rispondere ad un interrogativo posto da migliaia di anni
 - La ricerca della vita è un argomento astrofisico legittimo. Capire l'origine della vita ha la stessa difficoltà e pone sfide analoghe a quelle che bisogna affrontare per capire l'origine dell'universo

**“UNA PROVA CONVINCENTE E
INEQUIVOCABILE DELLA VISIONE O DI UN
CONTATTO CON UN ESSERE
EXTRATERRESTRE SAREBBE UNA DELLE
PIU' GRANDI SCOPERTE SCIENTIFICHE
NELLA STORIA DELL'UMANITA' ”**



(Dal libro di P. Ulmschneider:

“INTELLIGENT LIFE IN THE UNIVERSE”

Ed. Springer, Berlin 2003)

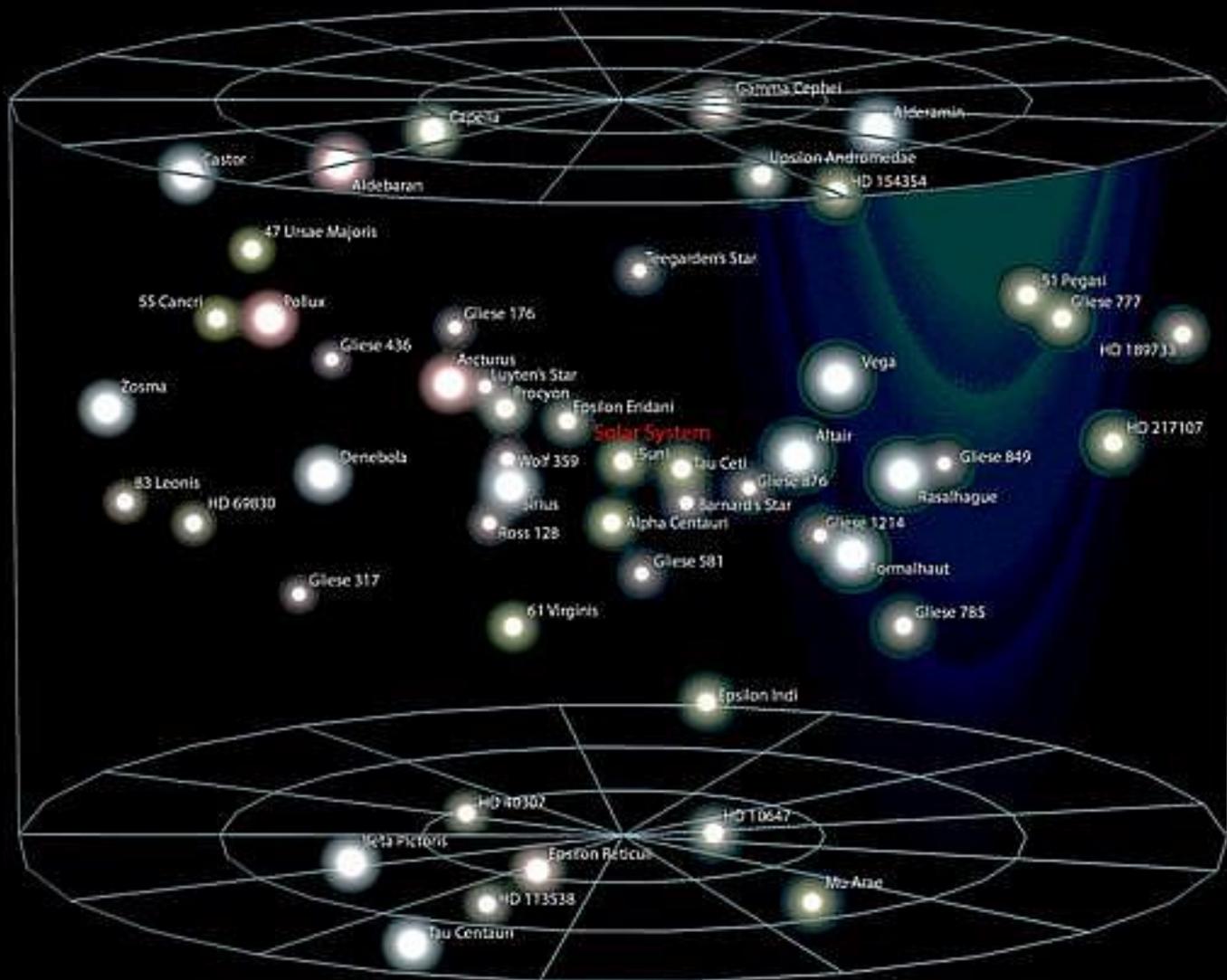


Dove potremmo cercare la vita?

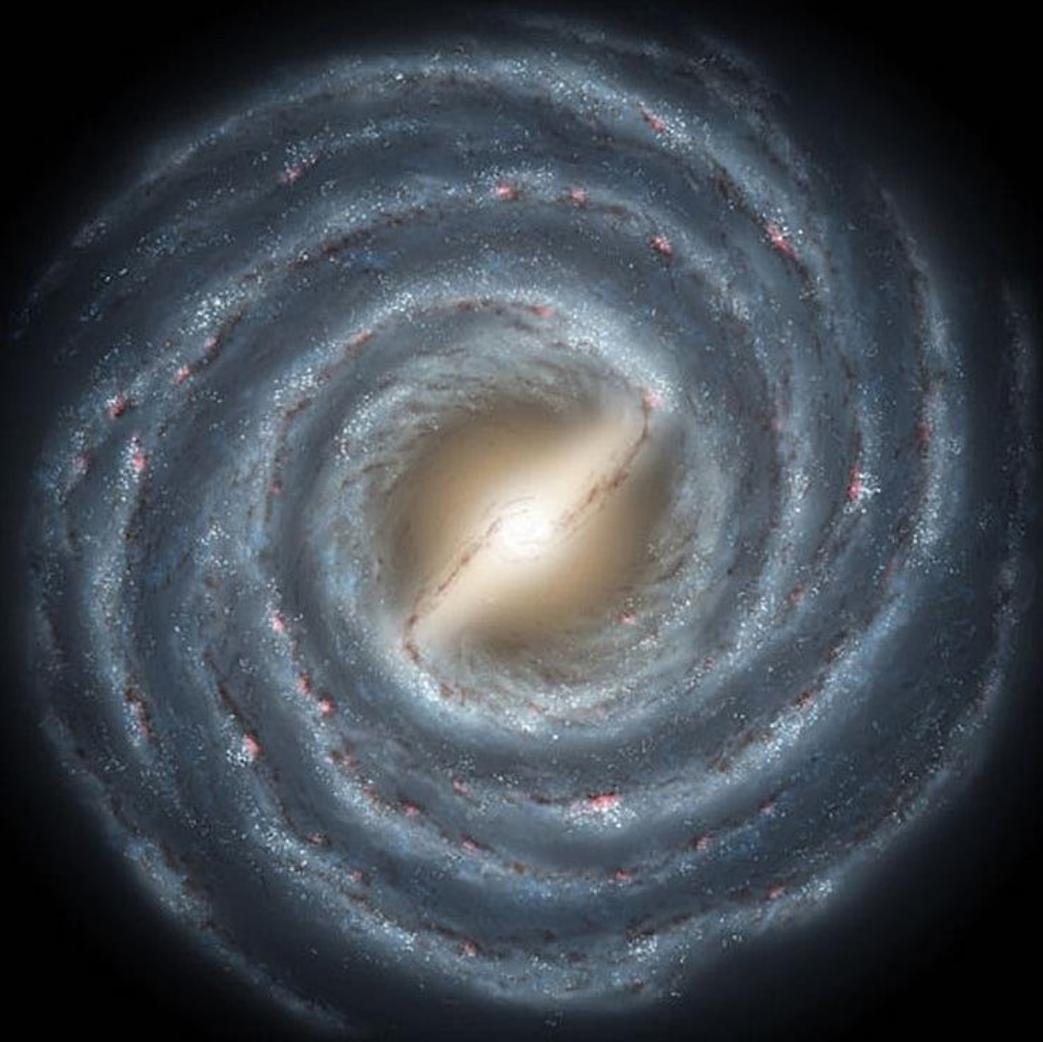


- Posizionando i nostri telescopi nello spazio, per evitare i problemi legati all'atmosfera (per esempio TPF e Darwin)
- Cercare tra le stelle vicine perchè i pianeti vicini saranno più brillanti e più semplici da scoprire.

INTERSTELLAR NEIGHBORHOOD



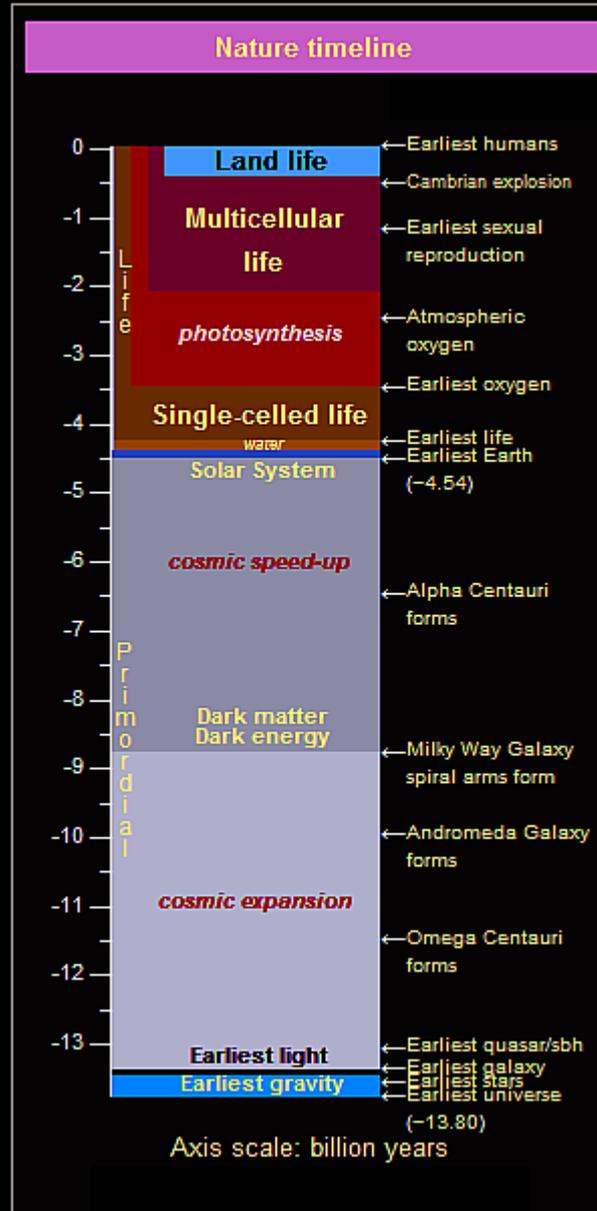
La nostra Galassia



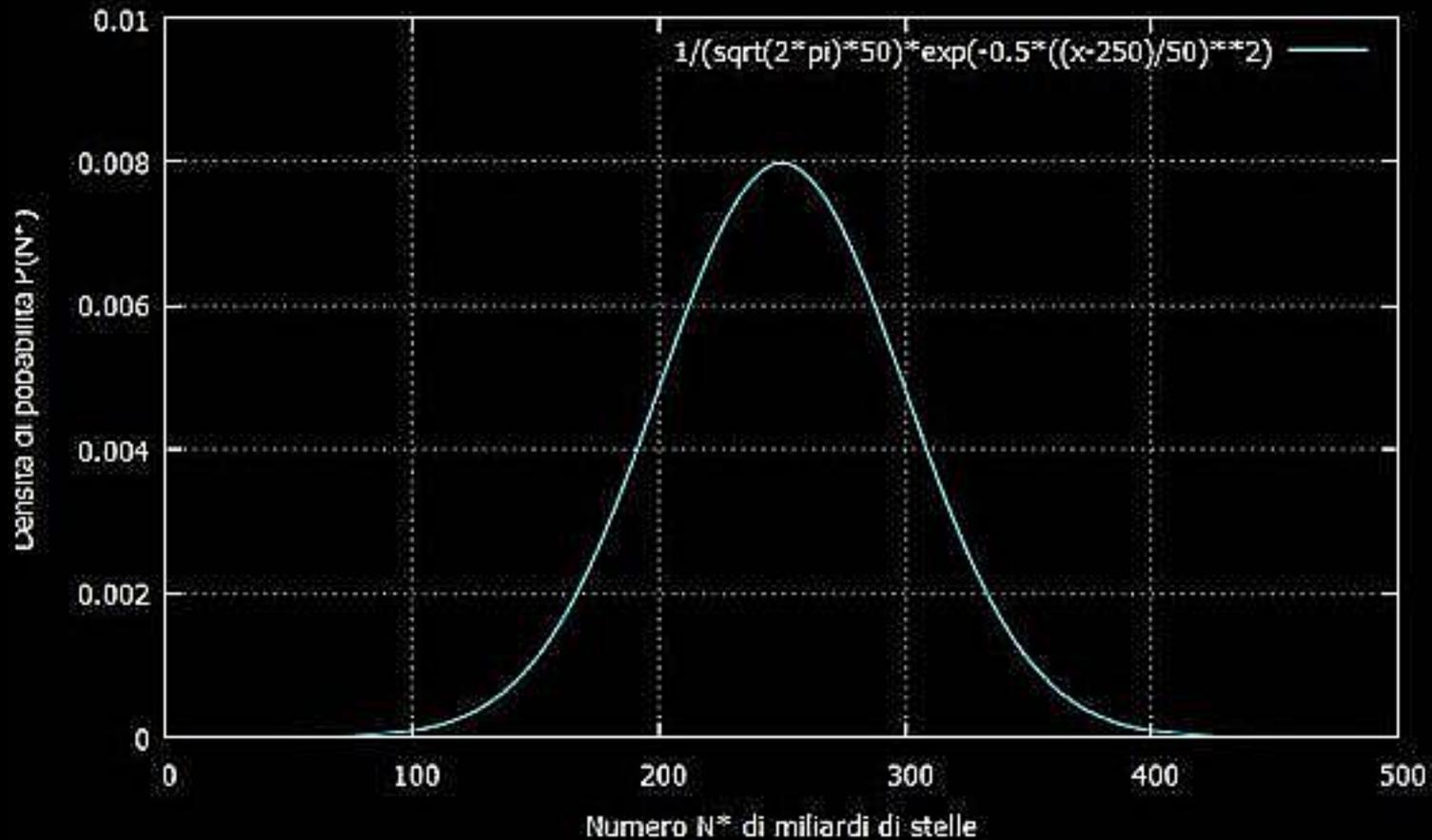
Caratteristiche fisiche

Tipo	Galassia a spirale barrata
Classe	SBbc
Massa	$6,82 \times 10^{11} M_{\odot}$
Dimensioni	100 000 a.l. (32 600 pc)
Magnitudine assoluta (V)	-20,9
Età stimata	13,7 miliardi di anni
Caratteristiche rilevanti	Spessore: gas: 12 000 al ^[1] fascia stellare: 1 000 al Periodo di rotazione: barra: 15-18 milioni di anni ^[2] spirale: 50 milioni di anni ^[2] Sole: 225-250 milioni di anni

Evoluzione della Galassia



Numero di stelle nella nostra galassia



Zona abitabile Galattica

- **Criteri di abitabilità attualmente considerati**
 - a) Presenza di elementi chimici**
 - b) Esplosioni di supernovae**
- **Nelle prime fasi di formazione della Galassia non c'erano abbastanza metalli per poter formare pianeti tipo Terra, meno che nelle regioni centrali della Galassia, dove però il tasso di esplosioni di supernove era troppo alto.**
- **Col passar del tempo i metalli si formano nelle regioni più esterne della Galassia creando condizioni di abitabilità in regioni con poche esplosioni di supernovae**



Pianeti potenzialmente abitabili (2021)

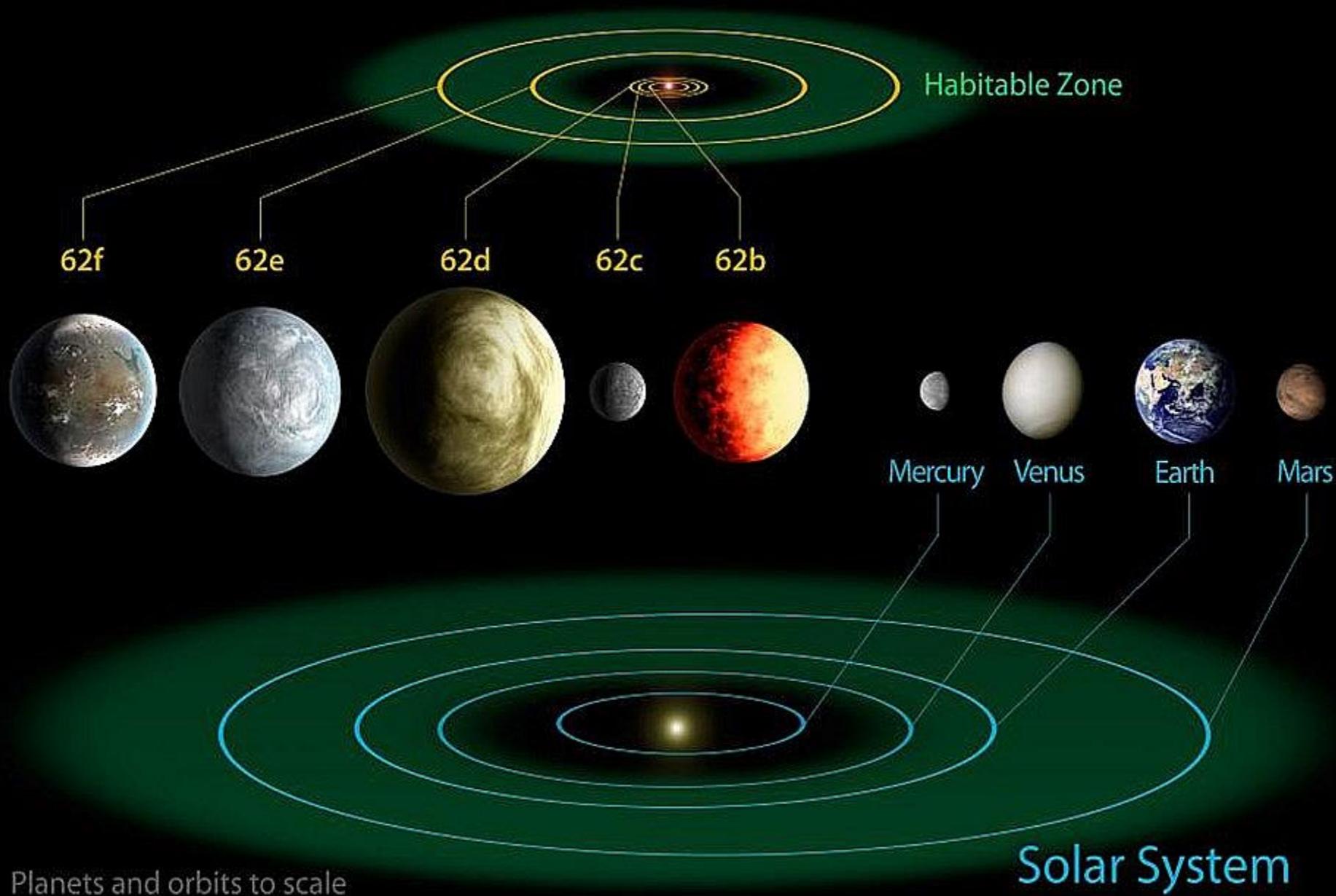
Object	Star	Star type	Mass (M_{\oplus})	Radius (R_{\oplus})	Density (g/cm^3)	Flux (F_{\oplus})	T_{eq} (K)	Period (days)	Distance (ly)
Earth	Sun (Sol)	G2V	1.00	1.00	5.514	1.00	255	365.25	0
Teegarden's Star b	Teegarden's Star	M7V	≥ 1.05	—	—	1.15	264	4.91	12.58
TOI 700 d	TOI 700	M2V	1.72	1.14	5.631	0.87	246	37.4	101
K2-72e	K2-72	M?V	~ 2.21	1.29	5.675	1.11	261	24.2	217
TRAPPIST-1d	TRAPPIST-1	M8V	0.30	0.78	3.39	1.04	258	4.05	39
Kepler-1649c	Kepler-1649	M5V	—	1.06	5.54	0.75	237	19.5	301
Proxima Centauri b	Proxima Centauri	M5V	≥ 1.27	—	4.016	0.70	228	11.186	4.25
Gliese 1061 d	Gliese 1061	M5V	1.64	—	—	0.69	218	13.0	12
Gliese 1061 c	Gliese 1061	M5V	≥ 1.74	—	—	1.45	275	6.7	12
Ross 128 b	Ross 128	M4V	≥ 1.40	—	2.424	1.48	280	9.87	11.03
Luyten b	Luyten's Star	M3V	≥ 2.89	—	6.45	1.06	258	18.65	12.36
TRAPPIST-1e	TRAPPIST-1	M8V	0.77	0.91	5.65	0.67	230	6.1	39
Kepler-442b	Kepler-442	K?V	—	1.35	5.272	0.70	233	112.3	1193
Wolf 1061c	Wolf 1061	M3V	≥ 3.41	—	5.79	1.30	271	17.9	13.8
Gliese 667 Cc	Gliese 667 C	M1V	≥ 3.81	—	5.603	0.88	247	28.1	23.62

Kepler-1229b	Kepler-1229	M?V	—	1.40	5.426	0.49	213	86.8	865
TRAPPIST-1f	TRAPPIST-1	M8V	0.93	1.05	3.3±0.9	0.38	200	9.2	39
Kepler-62f	Kepler-62	K2V	—	1.41	5.509	0.41	204	267.3	981
Teegarden's Star c	Teegarden's Star	M7V	≥1.11	—		0.37	199	11.4	12.58
Kepler-186f	Kepler-186	M1V	—	1.17		0.29	188	129.9	579
Tau Ceti f	Tau Ceti	G8V	≥3.93	—	3.655	0.32	190	636.1	12
TRAPPIST-1g	TRAPPIST-1	M8V	1.15	1.15	4.186	0.26	182	12.4	39
Kapteyn b	Kapteyn's Star	M1VI	≥4.8	—	6.44	0.43	205	48.6	13
Kepler-452b	Kepler-452	G2V	5	1.63		1.11	261	384.8	1799
Kepler-62e	Kepler-62	K2V	—	1.61		1.15	264	122.4	981
Kepler-1652b	Kepler-1652	M?V	—	1.60		0.84	244	38.1	822
Kepler-1544 b	Kepler-1544	K2V	—	1.78		0.90	248	168.8	1092
Kepler-296e	Kepler-296	K7V	—	1.52		1.50	276	34.1	737
Kepler-283c	Kepler-283	K5V	—	1.82		0.90	248	92.7	1526
K2-296b	EPIC 201238110	M?V	—	1.87		1.15	264	28.2	519
Kepler-1410b	Kepler-1410	K?V	—	1.78		1.34	274	60.9	1196
Kepler-1638b	Kepler-1638	G4V	—	1.87		1.39	276	259.3	4973

Kepler-296f	Kepler-296	K7V	—	1.80		0.66	225	63.3	737
Kepler-440b	Kepler-440	K6V	—	1.91		1.44	273	101.1	981
Kepler-705b	Kepler-705	M?V	—	2.11	2.994	0.83	243	56.1	903
Kepler-1653b	Kepler-1653	K?V	—	2.17		1.04	258	140.3	2461
Gliese 832 c	Gliese 832	M2V	≥5.40	—		0.99	253	35.7	16
Kepler-1606b	Kepler-1606	G?V	—	2.07		1.41	277	196.4	2710
Kepler-1090b	Kepler-1090	K0V	—	2.25		1.20	267	198.7	2800
Kepler-61b	Kepler-61	K7V	—	2.15	3.6	1.39	273	59.9	1092
Kepler-443b	Kepler-443	K3V	—	2.35	2.9	0.89	247	177.7	2615
Kepler-1701b	Kepler-1701	K?V	—	2.22		1.37	275	169.1	1904
Kepler-22b	Kepler-22	G5V	—	2.38		1.10	261	289.9	635
LHS 1140 b	LHS 1140	M4V	6.98	1.73	$7.82^{+0.98}_{-0.88}$	0.50	214	24.7	49
Kepler-1552b	Kepler-1552	K?V	—	2.47		1.10	261	184.8	2507
K2-9b	K2-9	M2V	—	2.25		1.45	279	18.4	270
Kepler-1540b	Kepler-1540	K?V	—	2.49		0.92	250	125.4	799
Gliese 180 c	Gliese 180	M2V	≥6.40	—		0.78	239	24.3	39
Kepler-1632b	Kepler-1632	F?V	—	2.47		1.27	270	448.3	2337
Kepler-298d	Kepler-298	K5V	—	2.50		1.29	271	77.5	1689

Kepler-298d	Kepler-298	K5V	—	2.50		1.29	271	77.5	1689
Gliese 163 c	Gliese 163	M3V	≥ 6.80	—		1.41	277	25.6	49
HD 40307 g	HD 40307	K2V	≥ 7.09	—	2.86	0.67	226	197.8	42
K2-288Bb	K2-288 B	M3V	—	1.91		0.44	207	31.4	214
Gliese 3293 d	Gliese 3293	M2V	≥ 7.60	—		0.59	223	48.1	66
Gliese 229 Ac	Gliese 229 A	M1V	≥ 7.27	—		0.53	216	122.0	18.8
Kepler-174d	Kepler-174	K3V	—	2.19		0.43	206	247.4	1254
Gliese 357 d	Gliese 357	M2V	≥ 6.10	—	2.617	0.38	200	55.7	31
Gliese 625 b	Gliese 625	M2V	2.82 ± 0.51					14.628	21.3
Kepler-26e	Kepler-26	K		2.1				46.8	1104
Kepler-737b	Kepler-737	M	4.5	1.96				28.5992	669
Luyten 98-59 f*	Luyten 98-59	M3V	2.46			>1	~280	23.15	34.648

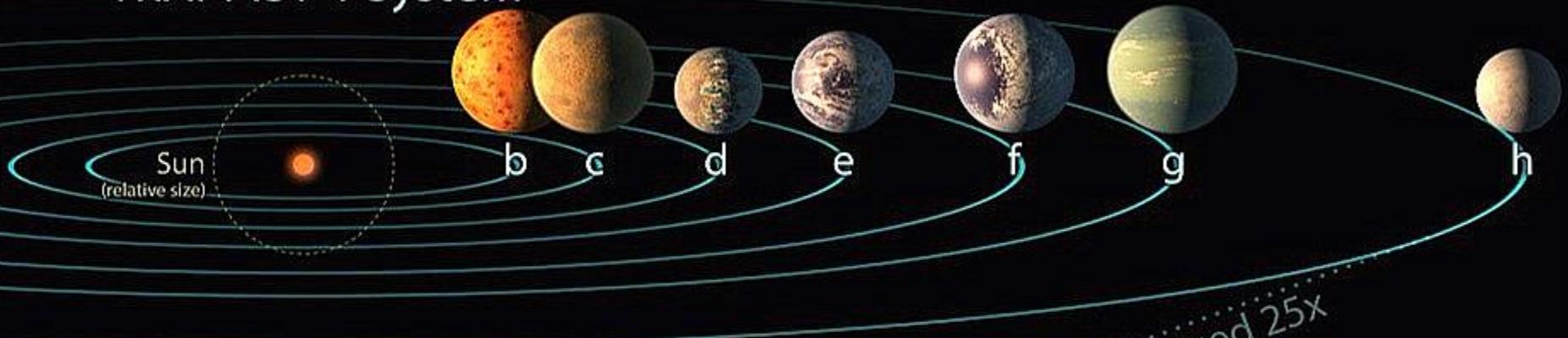
Kepler-62 System



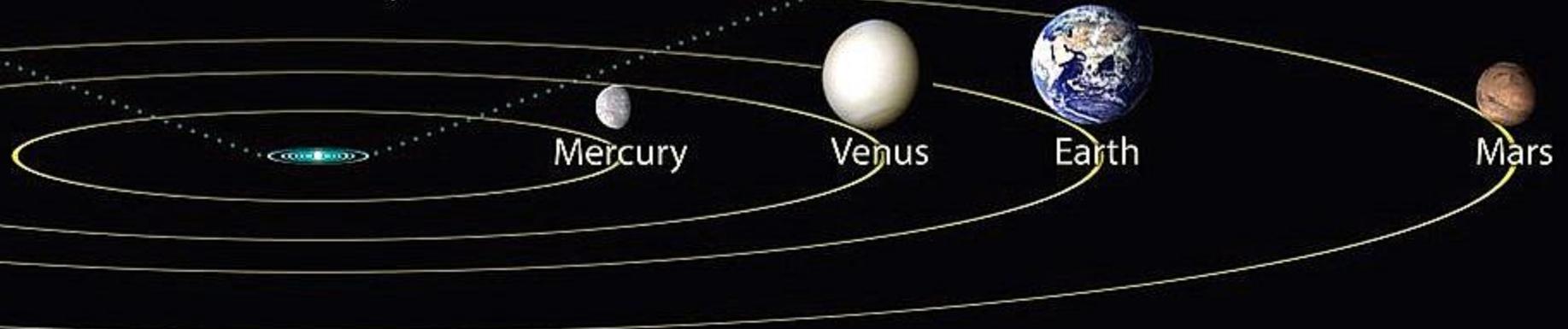
Jupiter & Major Moons



TRAPPIST-1 System



Inner Solar System



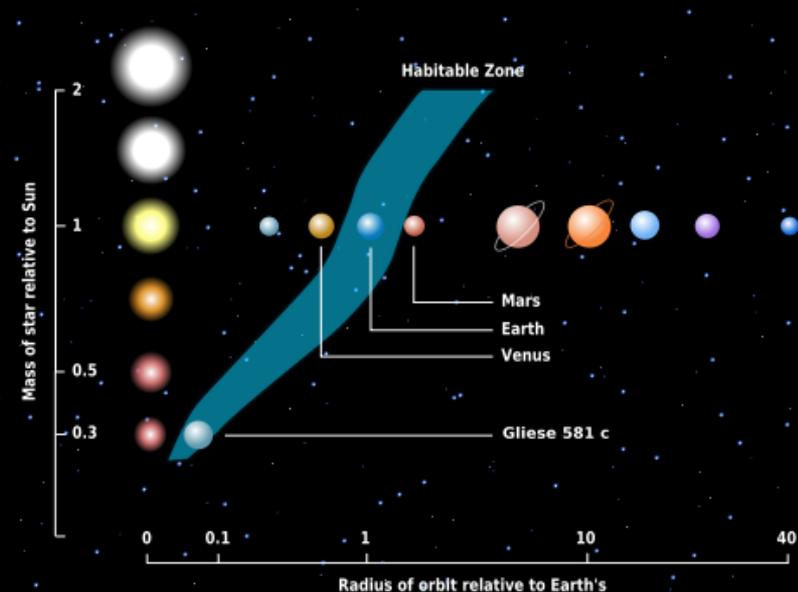
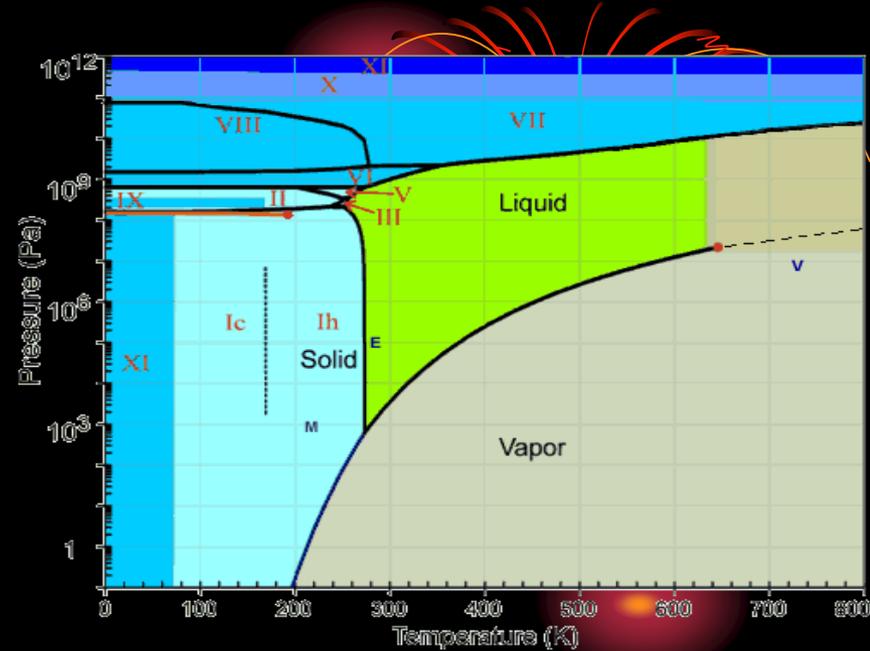
Abitabilità degli esopianeti

- **Tipo di stella**
 - Spettro di radiazione, età sulla sequenza principale
- **Distanza pianeta-stella**
 - Posizione rispetto alla zona abitabile circumstellare
- **Eccentricità dell'orbita**
 - Stabilità del sistema planetario
- **Massa del pianeta**
 - Tipo terrestre o gigante
- **Densità media del pianeta**
 - Tipo di pianeta (roccioso, gassoso)
 - Possibilità di trattenere un'atmosfera
- **Nei prossimi anni non solo ci sarà un aumento della statistica, e quindi della probabilità di trovare pianeti abitabili, ma si potranno anche studiare le atmosfera dei pianeti**

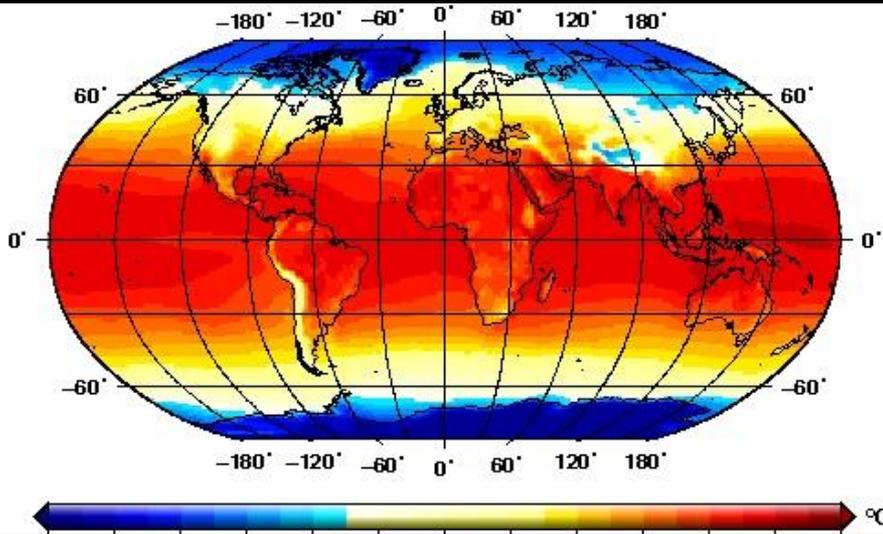


Zona abitabile circumstellare

- **Abitabilità definita dalla presenza di condizioni fisiche atte all'esistenza di acqua in forma liquida**
- **Vi sono naturalmente molti altri fattori rilevanti per l'abitabilità**
 - **Per esempio, le condizioni fisiche del mezzo interplanetario/interstellare possono alterare significativamente le condizioni fisiche sul pianeta**
 - **"Space weather"**
 - **Stanno cominciando ad apparire in letteratura altri criteri di abitabilità**
 - **Per esempio, evoluzione del campo di radiazione UV circumstellare.**



Esoclimi



Earth



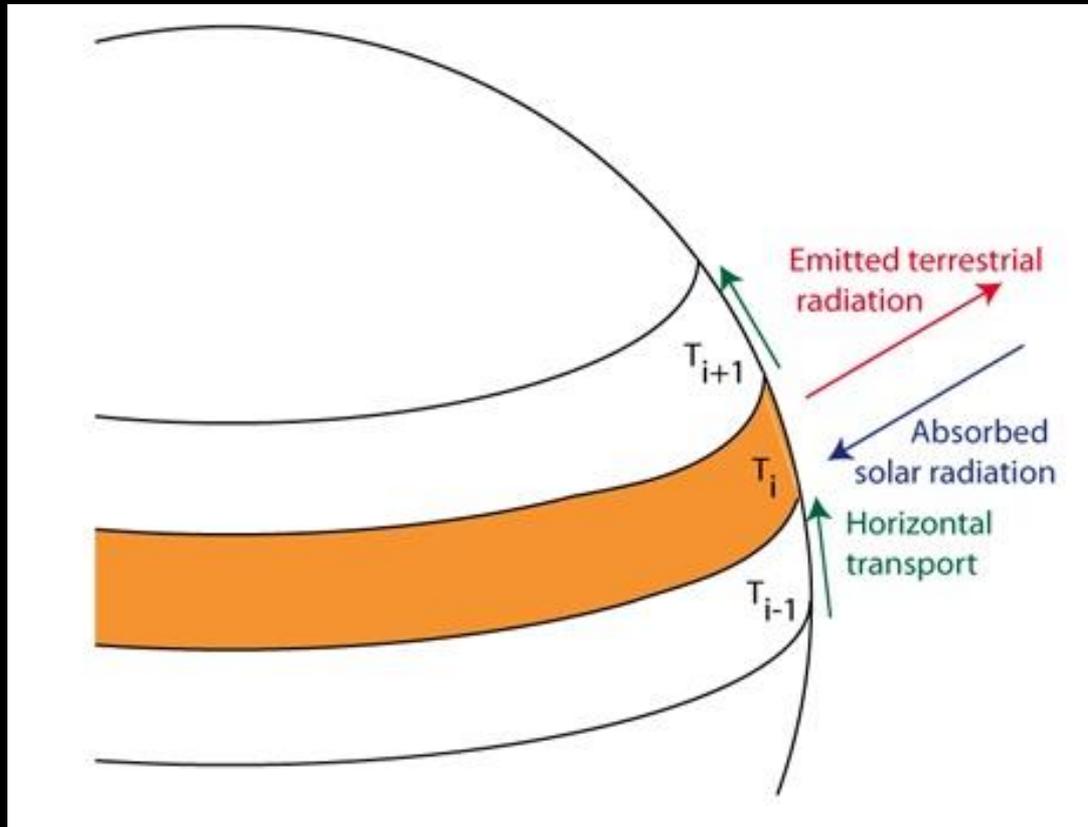
Proxima b
(artistic representation)

Si possono utilizzare modelli di complessità variabile per studiare climi di esopianeti

Entrano in gioco fattori astronomici (tipo di stella, tipo di orbita..) e planetari (inclinazione dell'asse, periodo di rotazione, tipo di atmosfera, pressione, frazione di oceani...)

Abitabilità: acqua liquida

Abitabilità frazionaria: percentuale della superficie planetaria abitabile in una percentuale dell'anno
Vita complessa



Riassumiamo...



- La **vita sulla Terra** nasce presto (come?), ma la **vita complessa** si sviluppa tardi
- **Estinzioni di massa** probabilmente causate da eventi astronomici
- Importante l'**ambiente astronomico** per la possibilità' di sviluppare la vita
- **Ricerca di vita fuori dalla Terra** in corso: trovarla avrebbe conseguenze ***fondamentali!***
- **Lo studio della vita sul nostro pianeta, dell'interazione di essa con il resto dell'Universo e la ricerca di ambienti abitabili e di vita fuori dalla Terra stanno solo ora venendo a costituire una nuova scienza. Ma in molti campi, la ricerca sta muovendo i suoi primi passi, e nessuno può padroneggiare a livello tecnico tutto il sapere scientifico coinvolto**
- **la vita extraterrestre forse esiste, ma per ora non abbiamo evidenze sperimentali quindi bisogna affidarsi al calcolo delle probabilità e ai modelli di simulazione...**

**VENIET TEMPUS QUO ISTA QUAE
NUNC LATENT IN LUCEM DIES
EXTRAHAT ET LONGIORIS Aevi
DILIGENTIA**

*(Seneca, Naturales
Quaestiones, VII, 25, 4)*

**VERRA' IL GIORNO IN CUI IL TEMPO E
GLI SFORZI CHE VI AVRA' DEDICATO UN
MAGGIOR NUMERO DI GENERAZIONI
PORTERANNO ALLA LUCE CODESTE
NOZIONI CHE PER ORA RESTANO
CELATE**