



Università della Terza Età "Cardinale Giovanni Colombo" – Milano

A.A. 2023 - 2024

Corso di Astrofisica

Docente : **Adriano Gaspani**

Lezione 15

**Perché il Genere Umano è così poco  
probabile?**

Perché il Genere Umano è così poco probabile?

Come affrontare il problema?

Due approcci:

1) approccio biologico

2) approccio astrofisico

# 1) approccio biologico

## **Esobiologia (Astrobiologia)**

**Scienza che si occupa di comprendere i meccanismi di (probabile) sviluppo della vita al di fuori della Terra**

# Astrobiologia

# Esobiologia

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**



# Potenziali tipi di habitat nell'Universo



- **Zona abitabile nell'Universo**

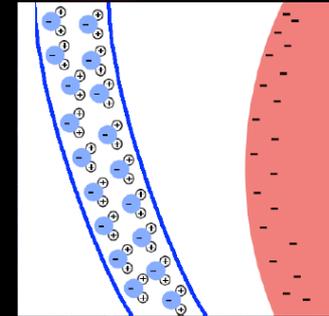
- **Ambiente astronomico capace di ospitare forme di vita**
  - **Concetto in via di definizione attualmente utilizzato con diversi significati in diversi ambiti di studio**
  - **La definizione di vita è essenziale per definire il concetto di abitabilità**
    - **In mancanza di una definizione chiara 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**

# 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.



# 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**

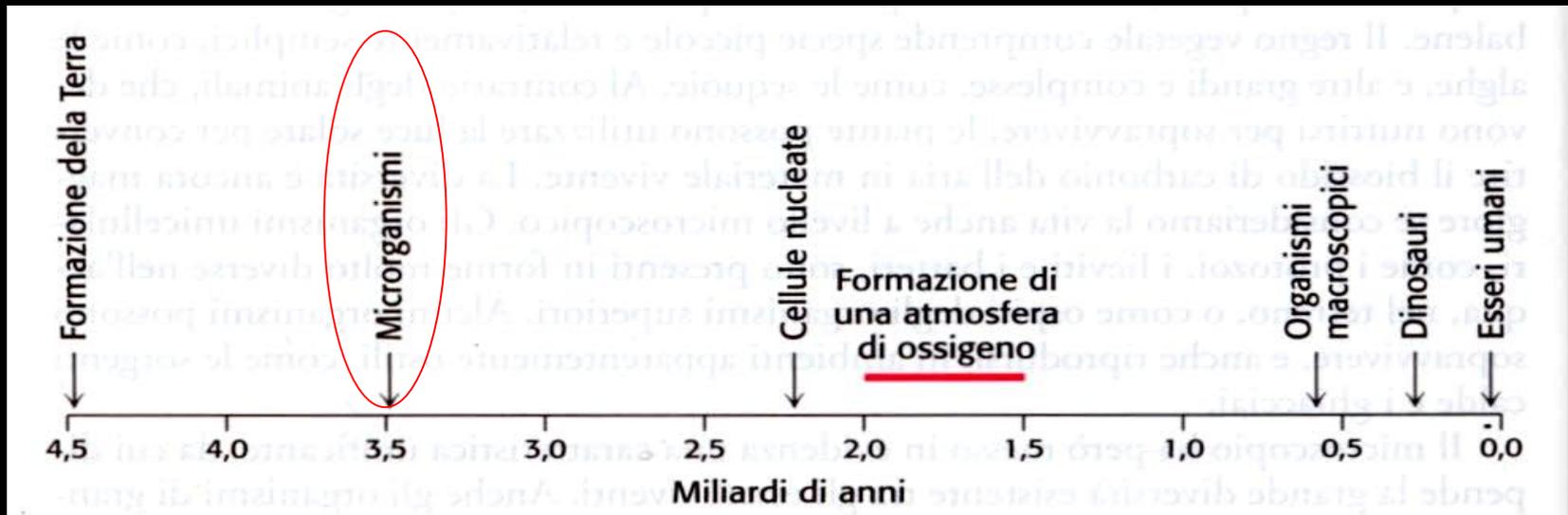
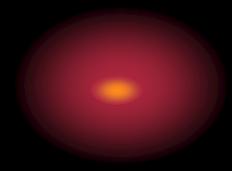
- **Eterotrofi**

- **Usano molecole organiche ad contenuto di energia prodotte forme di vita autotrofe**



# 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**



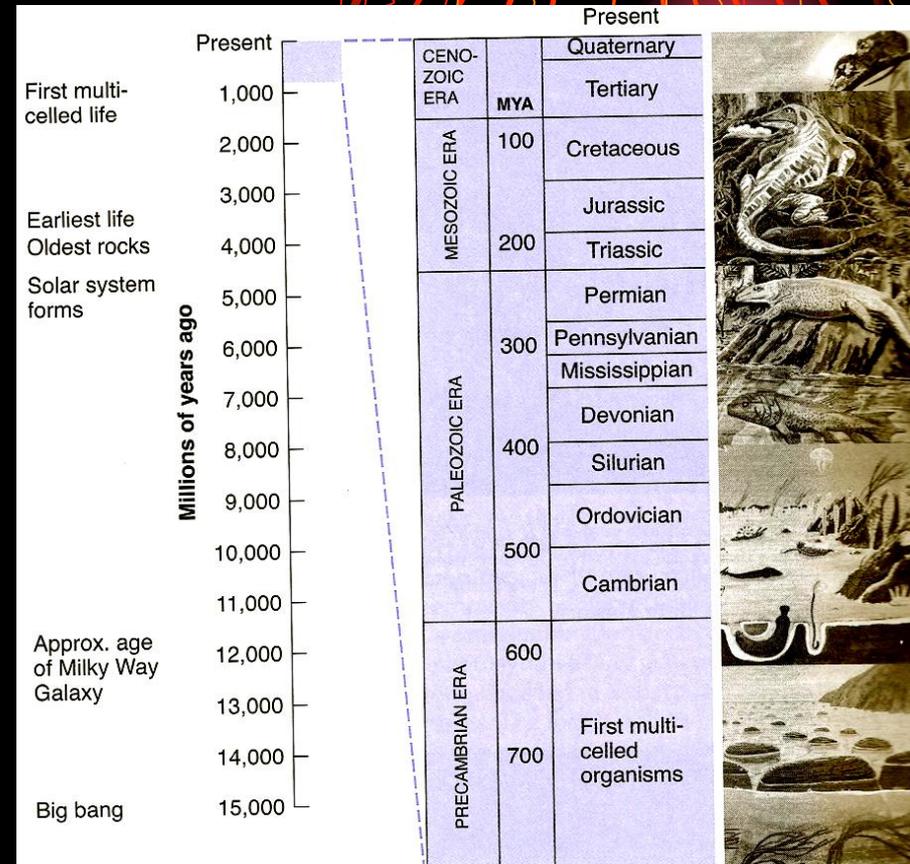
# Dagli organismi multicellulari alle forme di vita più complesse



- **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**

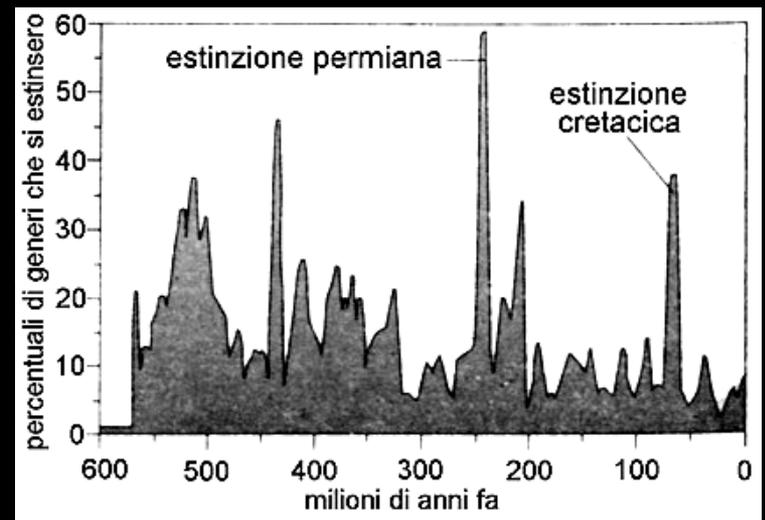


# Estinzioni di massa

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



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



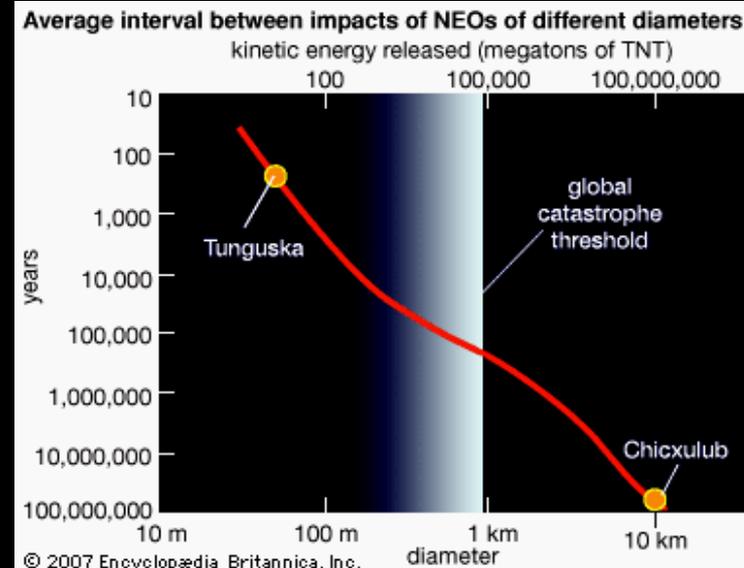
# Collisioni con corpi minori del Sistema Solare



- **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 della Terra

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

Noi siamo qui...

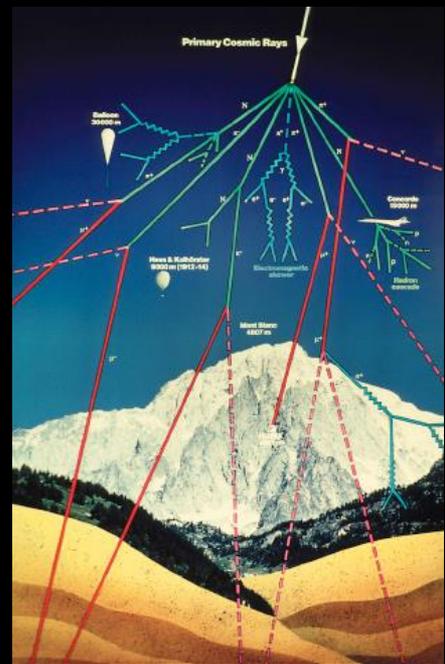
Tutto ciò è molto, molto, molto  
improbabile...



...circa  $1 \times 10^{-25}$

E allora?

# **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...**

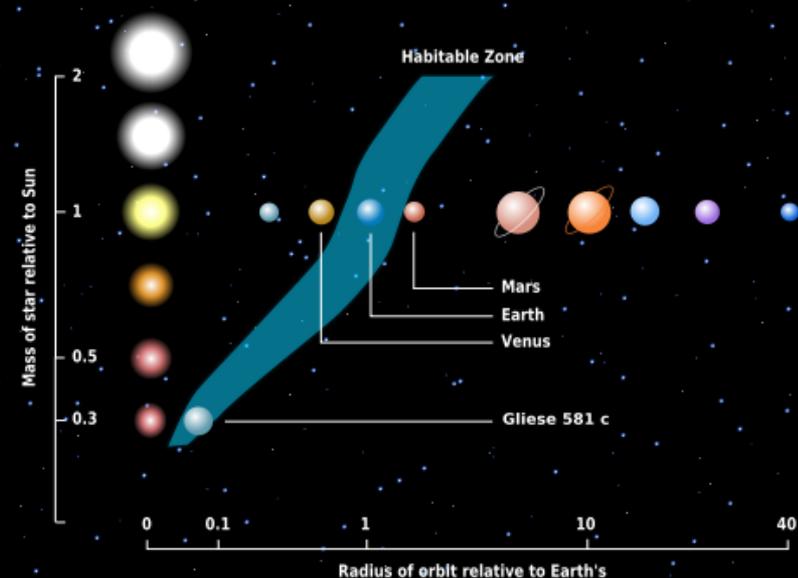
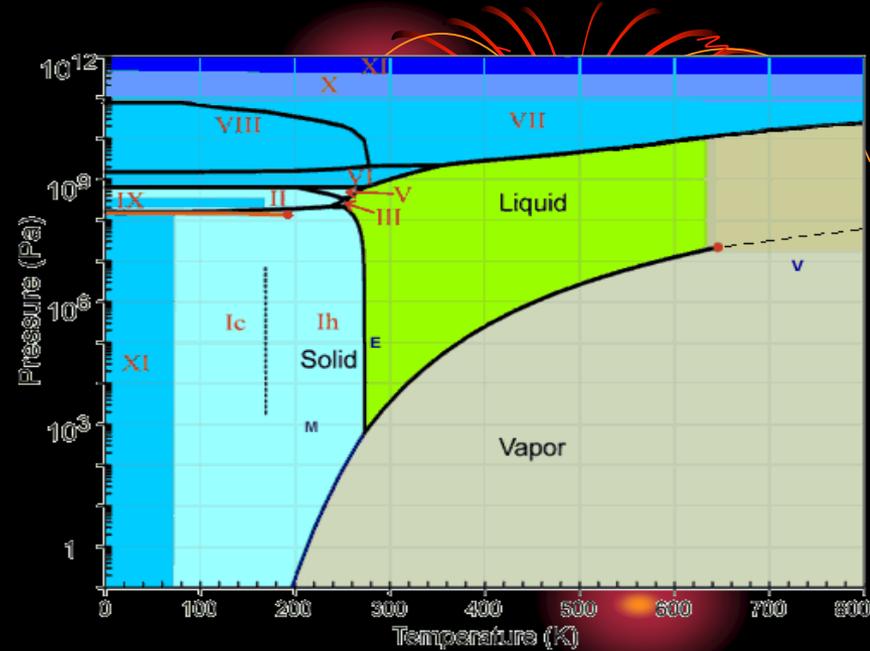
# Abitabilità degli esopianeti

- **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**



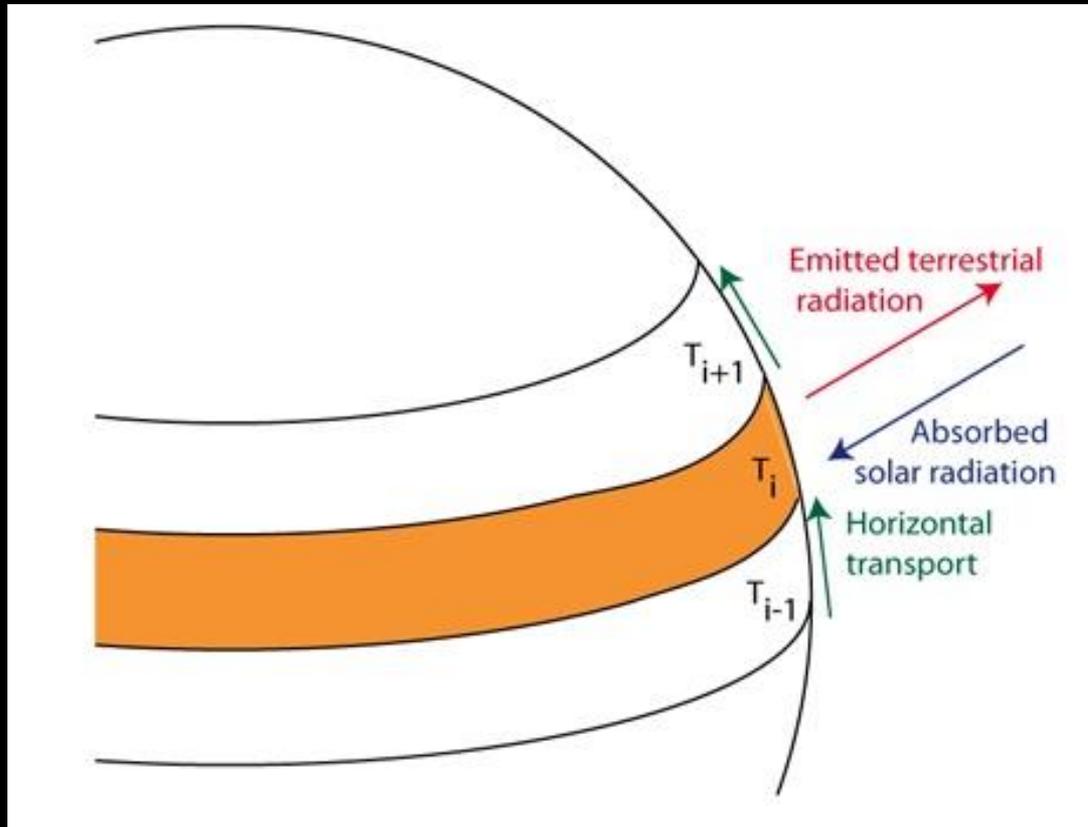
# Zona abitabile circumstellare

- **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.**

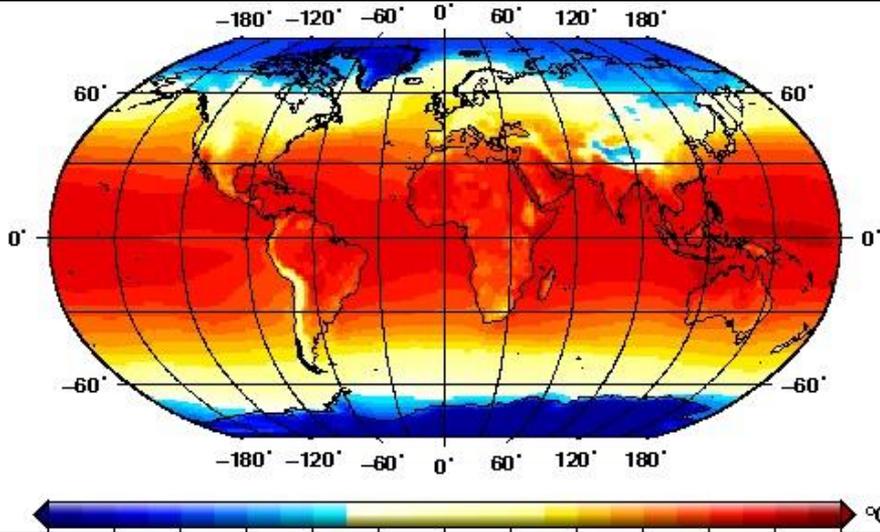


# Abitabilità: acqua liquida

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



# Esoclimi



Earth



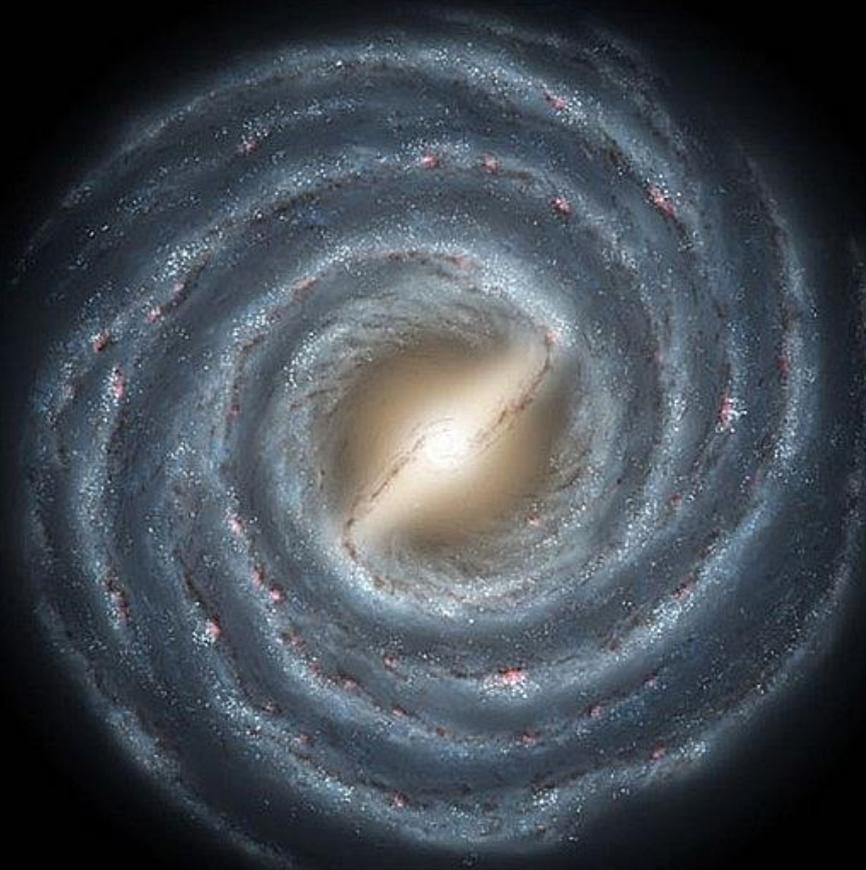
Proxima b  
(artistic representation)

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...)

# 2) approccio astrofisico

## 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<sup>[1]</sup>

fascia stellare: 1 000 al

**Periodo di rotazione:**

barra: 15-18 milioni di anni<sup>[2]</sup>

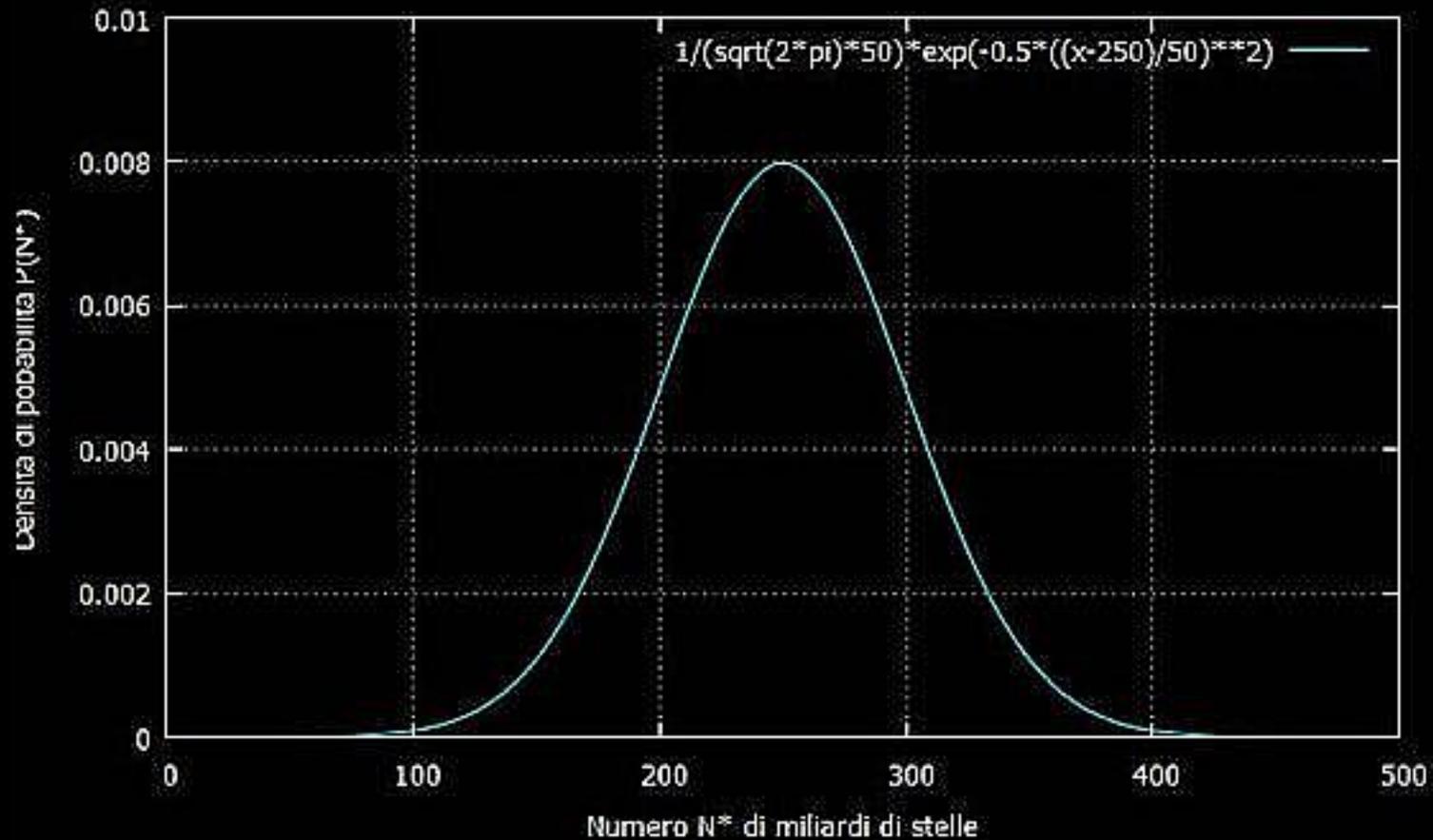
spirale: 50 milioni di anni<sup>[2]</sup>

Sole: 225-250 milioni di anni

# 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

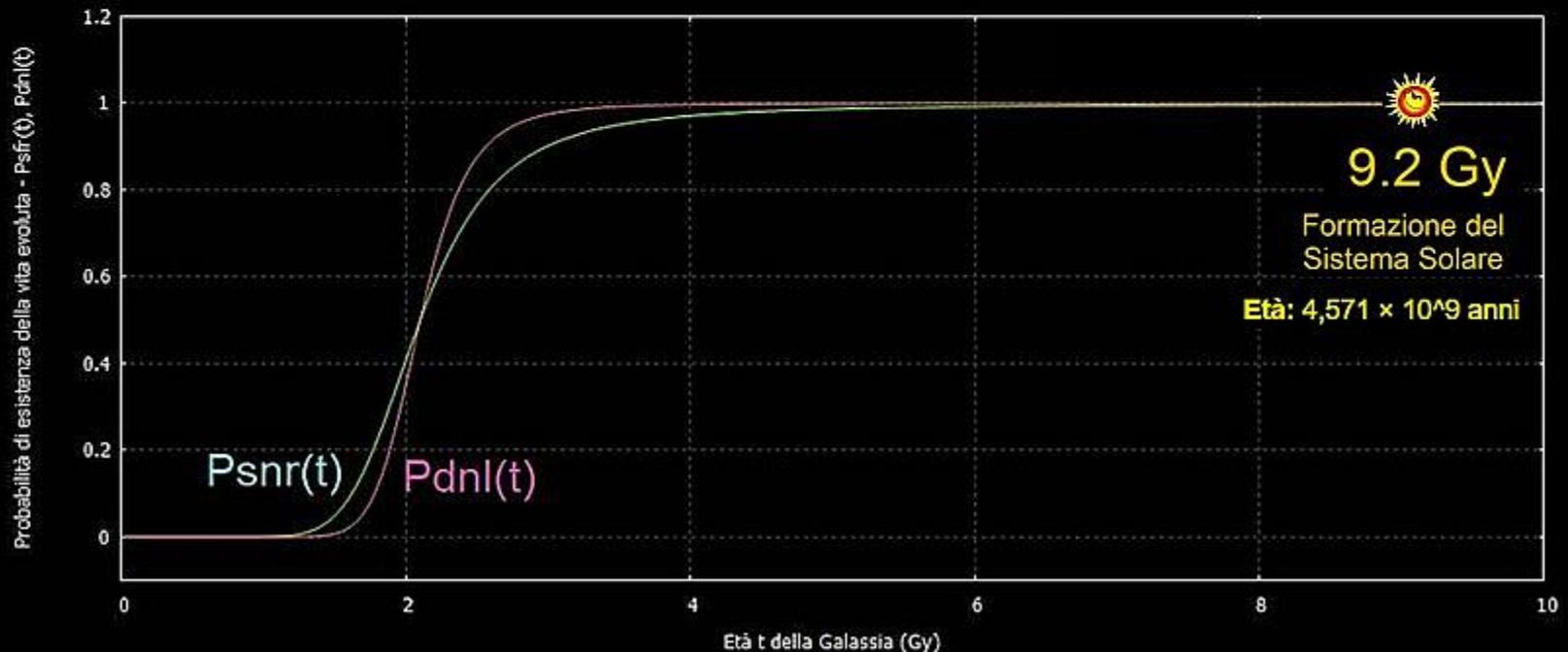
# Numero di stelle nella nostra galassia



# Probabilità di esistenza della vita tecnologicamente evoluta in funzione del tempo, nella Galassia

Probabilità  $P_{snr}(t)$  : Stellar Formation Rate

Probabilità  $P_{dnl}(t)$  : Densità numerica locale delle stelle



# Le costanti fondamentali della Fisica

- Le costanti che regolano la “forza” delle interazioni forti e deboli. Piccolissime variazioni renderebbero impossibile costruire gli atomi e degli elementi chimici.
- Stessa cosa per altre costanti fondamentali della fisica, la carica elettrica elementare, la costante di Planck, la velocità della luce, ecc. Piccole variazioni e non solo avremmo un universo estremamente diverso, ma non avremmo in alcun modo le condizioni per avere vita intelligente.

...sono "*numeri magici*" fissi che regolano la descrizione fisica dei fenomeni dell'Universo

# Le costanti fondamentali della Fisica

Archimedes' constant	$\pi$	3.1415926535897932385...
natural logarithmic base	e	2.718281828...
golden ratio	$\Phi$	1.618033989...
Ramanujan-Soldner constant	$\mu$	1.4513692349...
speed of light in a vacuum	c	$2.99792458 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
gravitational constant	G	$6.67259... \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ kg}$
universal gas constant	R	$8.314510... \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}$
Avogadro constant	$N_A$	$6.0221367... \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Boltzmann constant	k	$1.380658... \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$
Stefan-Boltzmann constant	$\sigma$	$5.67051... \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^4$
molar volume of ideal gas at STP	$V_m$	$2.241409... \times 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$
permittivity constant	$\epsilon_0$	$8.85418781762 \times 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$
permeability constant	$\mu_0$	$1.25663706143 \times 10^{-6} \text{ Hm}^{-1}$
elementary charge	e	$1.60217733... \times 10^{-19} \text{ C}$
Plank constant	h	$6.6260755... \times 10^{-34} \text{ Js}$
electron mass	$m_e$	$9.1093897... \times 10^{-31} \text{ kg}$
proton mass	$m_p$	$1.6726231... \times 10^{-27} \text{ kg}$

...e molte altre...

# **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 civilizzazioni 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

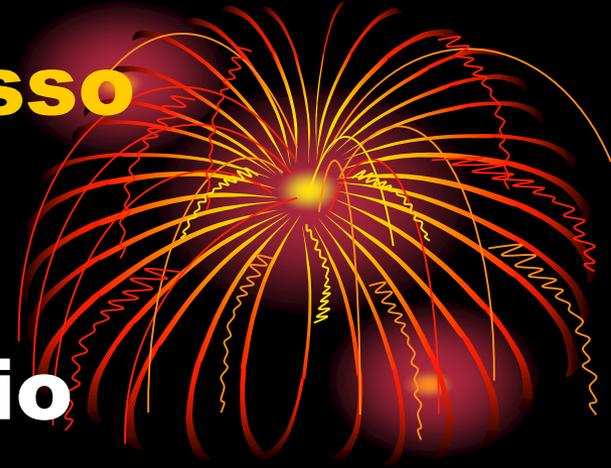
---



**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 autoestinguerrebbe rapidamente secondo il concetto della cosiddetta "singolarità tecnologica".**

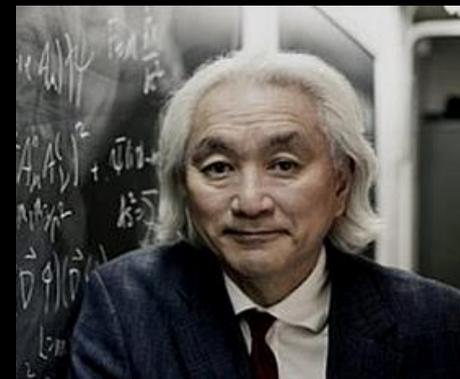


**Estrapolando in base al tasso  
di crescita attuale del  
consumo energetico  
planetario, secondo Michio**



**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.**

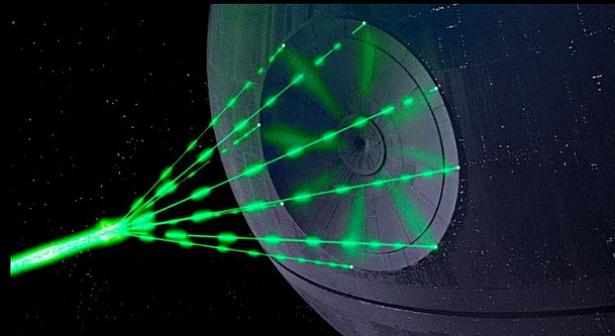
**Questa potrebbe essere la data  
ultima di estinzione del genere  
umano a causa della singolarità  
tecnologica.**



**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

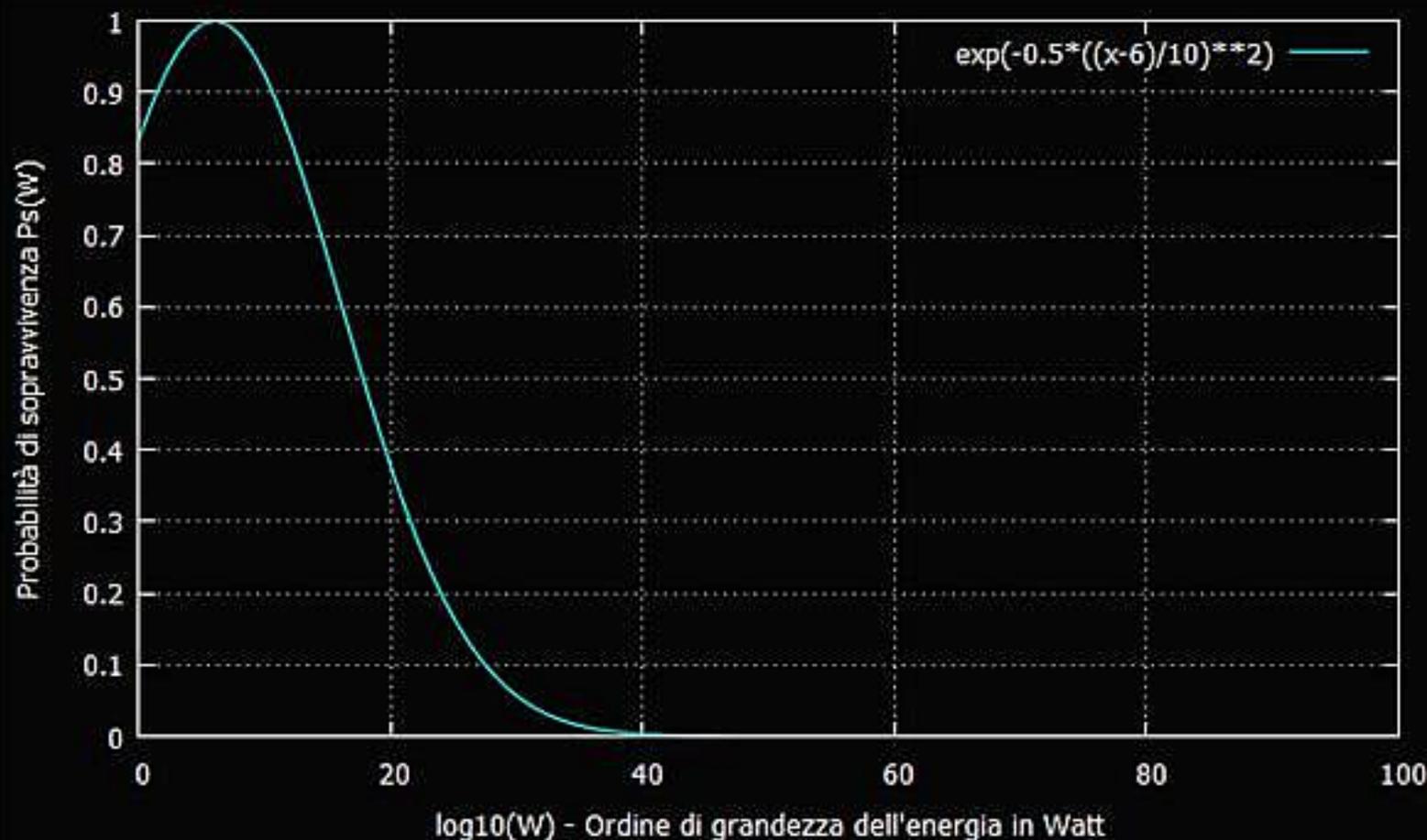


Volendo quantificare la probabilità  $P_s(W)$  di estinzione delle civiltà tecnologiche in funzione del tipo  $K$  di Kardashev si ha la semplice relazione che indica la probabilità che una civiltà ha di sopravvivere alla sua tecnologia :

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

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	<b>Singularità Tecnologica</b>

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

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

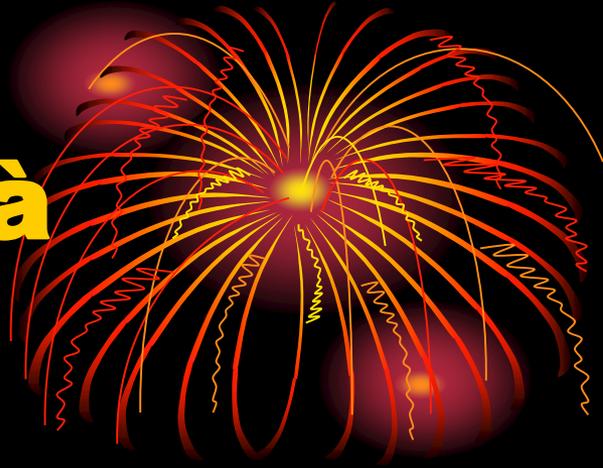
$$P_d(W) = 1 - P_s(W)$$

**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 scomparire, 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.**

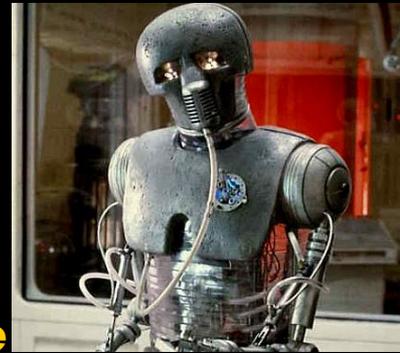
**In genere questo avviene sulla spinta della necessità di utilizzare grandi quantità di energia destinata al mantenimento di condizioni di vita ipertecnologiche le quali prevedono, tra le altre cose, tentativi di supremazia bellica, ma anche viaggi spaziali interstellari sia di esplorazione che di conquista.**

**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.**

# Ragioniamo in grande...

Limite al numero di civiltà tecnologicamente evolute possibili nell'Universo

Fattore di Scala	Dimensioni (M(AL))	Numero Galassie	Pianeti abitabili	P(1civ)
Galassia	0.1	1	$6 \times 10^{10}$	$1.7 \times 10^{-11}$
Gruppo Locale	5	300	$2 \times 10^{13}$	$5 \times 10^{-14}$
Super ammasso di Galassie	300	3000	$2 \times 10^{14}$	$5 \times 10^{-15}$
Universo osservabile	13,700	$7 \times 10^{10}$	$4 \times 10^{21}$	$2.5 \times 10^{-22}$

P(1civ) = Probabilità di esistenza di una singola civiltà (noi)

# 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...**