

Introduzione

Alla domanda "*esistono altre civiltazioni intelligenti / tecnologicamente avanzate nell'Universo ?*", si puo rispondere intuitivamente che esistono moltissime stelle, e probabilmente molti pianeti, e se la vita (e l'intelligenza, e la tecnologia) è apparsa sulla Terra, cio' è sicuramente successo anche altrove (forse anche in molti luoghi).

L' idea che presuppone che non siamo per nulla eccezionali costituisce il *principio di mediocrità*. Ma non è una risposta scientifica. Cosa puo rispondere la scienza a questa domanda?

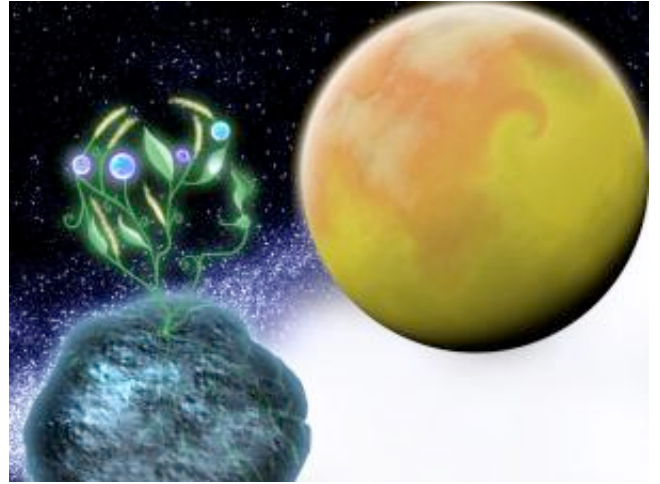


Immagine di artista di una forma di vita extraterrestre.
Credito : Osservatorio di Parigi / UFE

L'equazione di Drake

L'equazione di Drake, esposta dall'astronomo americano Frank Drake nel 1961, corrisponde ad un approccio scientifico del problema.

Ipotesi

Ci si limita alla nostra Galassia, perchè anche viaggiando alla velocità della luce (300000 km/s) non è immaginabile recarsi in un'altra galassia, nè comunicare (via radio) con i suoi eventuali "abitanti". Le galassie più vicine sono a centinaia di migliaia di anni luce di distanza!

Nella nostra Galassia, Drake ha espresso sotto forma di un'equazione semplice il modo di calcolare il numero di civiltazioni con le quali si potrebbe comunicare oggi (N_{civ}). L'equazione del 1961 di Frank Drake è :

$$N_{civ} = F_{ét} \times P_{pla} \times N_{pla} \times P_{vie} \times P_{int} \times P_{com} \times T$$

$F_{ét}$ è il tasso di formazione di stelle nella Galassia. E' uguale al numero di stelle nella Galassia diviso per l'età della Galassia, sapendo che il numero attuale di stelle corrisponde più o meno al numero totale di stelle esistenti.

$P_{...}$ è la probabilità, o la frazione di stelle che soddisfano ad una particolare condizione (da 0 a 100%, cioè da 0 a 1)

P_{pla} è la probabilità che una stella sia circondata da pianeti

N_{pla} è il numero medio di pianeti abitabili per stella. Ciò suppone che la stella abbia delle caratteristiche "buone", che la massa del pianeta sia "corretta", e che la distanza tra il pianeta e la stella sia "corretta".

P_{vie} è la probabilità che la vita appaia su un pianeta abitabile.

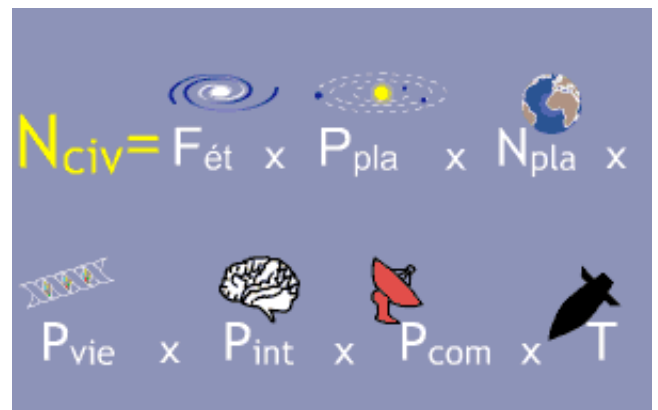
P_{int} è la probabilità che l'intelligenza appaia su un pianeta sul quale sia apparsa la vita.

P_{com} è la probabilità che una forma di vita intelligente sviluppi i mezzi di comunicazione con altri mondi.

T è il tempo durante il quale tale comunicazione può essere ricevuta. Si tratta dunque della durata di vita di una civiltazione capace di comunicare.

E' importante notare che questa enunciazione scientifica scompone i fattori richiesti, e permette dunque di studiarli, ma non dà la risposta. La maggior parte dei termini è conosciuta male. L'equazione di Drake è infatti un eccellente modo per *misurare la nostra ignoranza* ... e i nostri progressi.

L'equazione di Drake



Credito : Osservatorio di Parigi / UFE

Bilancio delle conoscenze attuali

- Esistono tra 100 e 200 miliardi di stelle nella nostra Galassia. L'età della Galassia è dell'ordine di 10 miliardi di anni. Si stima dunque che il tasso di formazione delle stelle $F_{\text{ét}}$ è compreso tra 10 e 20 per anno (stime recenti danno un tasso inferiore a 10). E' quasi costante da 5 miliardi di anni. Questo tasso di formazione delle stelle era *l'unico termine dell'equazione ben conosciuto fino al 1995*.

- La probabilità che una stella possieda dei pianeti, P_{pla} , inizia ad essere ben stimata, con le recenti osservazioni di pianeti extrasolari. Per di più, soltanto il 15% delle stelle sono isolate (cioè non appartengono a un sistema multiplo, sfavorevole alla stabilità di orbite planetarie). E' stato anche osservato che certe stelle isolate non hanno pianeti. Si ottiene così $P_{\text{pia}} \approx 5\%$ per le stelle della "sequenza principale" (che si trovano in una fase stabile della loro vita). Si tratta di un importante *risultato recente, conseguente alla scoperta di pianeti extrasolari*. Purtroppo, $F_{\text{ét}}$ e P_{pla} sono gli unici termini dell'equazione di Drake abbastanza bene conosciuti.

- Le stelle possono essere ripartite in funzione della loro massa. Le più massicce diventano molto brillanti ma non vivono a lungo. Le meno massicce non sono molto calde né luminose, e possono in più avere una forte attività eruttiva. Le stelle di tipo solare rappresentano più o meno lo 1% del totale, ma si può allargare la gamma di stelle accettabili (né troppo massicce, né troppo poco) a circa il 10%.

I vincoli sui pianeti (massa e distanza dalla stella) dipendono dalle condizioni richieste per l'apparizione della vita, e dunque della definizione del concetto di "vita". Si può nonostante ciò limitare la massa nel modo seguente: i pianeti più massicci sono dei giganti gassosi e non hanno superficie (Giove, Saturno, Urano, Nettuno), mentre i pianeti piccoli (Mercurio, Plutone) non hanno l'atmosfera (non sono abbastanza massicci per trattenere un'atmosfera). Nel nostro sistema solare, la probabilità che la massa del pianeta sia corretta è 1/3.

La distanza tra pianeta e stella è limitata da ciò che chiamiamo [zona abitabile](#), la regione di spazio dove è possibile la presenza di acqua liquida. Nel nostro sistema solare, la gamma delle distanze adeguate rappresenta circa il 2% della gamma delle distanze tra i pianeti ed il Sole. Si concepisce al massimo una distanza tra 0.5 e 2.5 Unità Astronomiche cioè 4%. Al livello delle osservazioni, rari sono i pianeti scoperti nella zona abitabile della loro stella, e la metà di questi hanno un'orbita molto ellittica, non propizia perché causa grandi variazioni annuali di temperatura.

Globalmente, mancano ancora dati (in particolare sui pianeti poco massicci) per poter dare una buona stima del numero di pianeti abitabili per stella. Ma non si deve dimenticare che la vita potrebbe anche apparire su dei satelliti di pianeti giganti, : anche se non sono "pianeti", si dovrebbe includere questa possibilità nel termine N_{pla} (forse Drake non aveva pensato a questa possibilità scrivendo la sua equazione). Nel sistema solare, si pensa in particolare a Europa (satellite di Giove, che potrebbe avere dell'acqua liquida sotto la crosta di ghiaccio).

- Le probabilità che appaiano vita e intelligenza sono molto meno conosciute. Secondo un punto di vista ottimista, la vita e l'intelligenza potrebbero apparire a colpo sicuro dal momento che le condizioni fisico-chimiche sono "buone" alla superficie del ($P_{\text{vie}} \approx P_{\text{int}} \approx 1$).

Diversi indizi fanno pensare che la vita possa formarsi facilmente su un pianeta:

- La presenza di [molécules pré-biotiques](#) [molecole pre-biotiche](#) nelle [comete](#) e nel [mezzo interstellare](#). Queste molecole sono gli elementi di base che, sulla Terra hanno formato le prime cellule viventi.

le sol du satellite Europa



Le sol de Europe ressemble à des morceaux de puzzle qui auraient glissé les uns par rapport aux autres. Une explication possible est que le sol de glace recouvre un océan d'eau liquide.

Credito : NASA / GFSC

- I primordi del pianeta Terra sono stati molto agitati: la Terra, come gli altri pianeti era costantemente bombardata da **planetesimi**, la cui discendenza sono asteroidi e comete. Quando questo bombardamento continuo è terminato, 3,6 miliardi di anni fa, la temperatura alla superficie della Terra si è abbassata e, quasi immediatamente, sono apparse le prime cellule viventi. I pianeti vicini alla Terra, Marte e Venere, hanno conosciuto le stesse condizioni. E' possibile che questo processo si sia prodotto anche su quei pianeti..

Ma possono anche essere necessarie delle condizioni eccezionali : per esempio, sembra che Giove abbia fatto da scudo gravitazionale per la Terra, impedendo a numerose comete di collidere con la Terra. Senza questo scudo, la Terra avrebbe potuto avere la superficie completamente coperta d'acqua, il suo ambiente sarebbe stato così' meno favorevole alla vita. D'altra parte, la Luna (che ha la particolarità di essere relativamente massiccia rispetto alla Terra) stabilizza l'asse di rotazione terrestre e dunque il clima a lungo termine. La Luna produce anche maree importanti, intensificando gli scambi liquido/solido.

P_{vie} e P_{int} sono forse molto piccole, ma attualmente tutte le stime sono possibili.

- Secondo la storia umana, dove solo la civilizzazione occidentale è spontaneamente evoluta verso la tecnologia, si può stimare P_{com} a $1/4$.

- Per finire, T è completamente sconosciuto !

La nostra civilizzazione tecnologica (capace di comunicare via onde radio) ha circa 100 anni (benchè l'homo erectus sia apparso un milione di anni fa). Dureremo ancora milioni di anni, o spariremo tra qualche secolo a seguito di una catastrofe naturale, la distruzione dell'ecosistema per colpa dell'inquinamento, oppure una guerra nucleare ? Una civilizzazione evoluta potrebbe anche chiudersi su se stessa e non cercare di comunicare.

Risultato

Un calcolo ottimista dà $N_{CIV} = 20 \times 5\% \times 0.01 \times 1 \times 1 \times 1/4 \times 10^8 = 250\,000$. Un calcolo pessimista dà $N_{CIV} = 10 \times 5\% \times 0.001 \times 0.1\% \times 0.1\% \times 1/10 \times 1000 = 5 \cdot 10^{-8}$. In realtà N_{CIV} varrebbe 1 visto che noi siamo qui, ma saremmo soli nella Galassia. Esiste ancora dunque un grande margine di possibilità. Potete provare diversi valori dei parametri con l'applet qui sotto.

L'équation de Drake



Clickare sull'icona qui sopra per lanciare l'applet.

Il principio antropico

La nostra situazione (geografica, caratteristiche, ...) nell'Universo può essere vista in diversi modi. Il modo di vedere pre-coopernico postula che la Terra si trova al centro dell'Universo e gode dunque di una situazione privilegiata. All'opposto di questo punto di vista, si può pensare che la Terra non abbia assolutamente niente di speciale, e che la vita intelligente esista su tutti i pianeti. Non si può concludere niente dal primo punto di vista sul resto dell'Universo, dunque non è molto utile, ma si sa già che il secondo è falso visto che non sono state scoperte intelligenze extraterrestri nel nostro sistema solare. Tra questi due estremi, il principio antropico precisa che la nostra situazione nell'Universo è banale *rispetto all'insieme degli osservatori*. Diventa interessante se si includono intelligenze extraterrestri fra gli osservatori.

Esempi di applicazioni:

- La nostra posizione nello spazio è molto atipica (alla superficie di un pianeta con un'atmosfera, vicino ad un sole giallo, etc...), mentre la posizione a caso più probabile è lo spazio vuoto, preponderante nell'Universo. Ma la vita è impossibile nello spazio vuoto, e la superficie di un pianeta sembra necessaria alla vita. Dunque, è lì che ci troviamo per forza. Non è una coincidenza ma una necessità (sulla Terra c'è meno gente nei deserti che sulle coste).
- La nostra posizione nel tempo è particolare: siamo apparsi quando l'Universo aveva tra 10 e 20 miliardi di anni (dal Big-Bang). Perché non prima o non dopo? La vita richiede degli elementi chimici "pesanti" (Carbonio, Ossigeno...) che non sono stati formati dal Big-Bang, ma nel nucleo delle stelle massicce della prima generazione della galassia, che dopo sono esplose come supernovae ed hanno eiettato questi elementi nel mezzo interstellare, permettendo così la formazione di nuovi sistemi solari con dei pianeti. Alcune generazioni stellari erano dunque necessarie prima della nostra apparizione (qualche miliardo di anni). Ma non troppo, perché dopo numerose generazioni di stelle, resterebbero troppo poche stelle "adatte" per sperare di vedere comparire la vita.
NB: La prima generazione di stelle era probabilmente priva di pianeti !
- In modo un po' sorprendente, noi (homo-sapiens) siamo apparsi sulla Terra circa 4.5 miliardi di anni dopo la sua nascita, più o meno alla metà della vita del Sole. Perché questa data di apparizione è dello stesso ordine di grandezza della durata di vita del Sole? Esaminiamo tre ipotesi:

- 1) La vita intelligente appare in generale molto meno rapidamente che la durata di vita del Sole.
- 2) La vita intelligente necessita di un tempo simile alla metà della vita del Sole per apparire.
- 3) La vita intelligente ci mette in generale molto più tempo ad apparire che la durata di vita del Sole (detto in un'altra parola, è poco probabile)

Quale ipotesi è la più probabile, conoscendo l'epoca della nostra apparizione?

La seconda sarebbe sorprendente, perché a priori non si capisce quale possa essere il rapporto tra l'apparizione della vita intelligente e la durata di vita di una stella. E inoltre si tratta soltanto di un caso particolare. Essendo poco probabile, la possiamo scartare. Se la prima supposizione fosse vera, saremmo probabilmente apparsi molto prima nella storia della Terra, dunque la si può scartare come poco probabile. Resta la terza. Se è vera, non è sorprendente che non siamo apparsi dopo la morte del Sole, visto che non è possibile (è un effetto di selezione). Potevamo apparire solamente prima, a un momento probabilmente paragonabile alla durata di vita del Sole. E' dunque il caso più probabile.

Da questo ragionamento si deduce che la vita intelligente è rara nell'Universo, e che sarà difficile individuarla. In effetti, gli sforzi del progetto [SETI](#) non sono, fino ad oggi, stati coronati da successo.

Conclusioni interessanti possono dunque essere tratte da questo principio metafisico, che si deve tuttavia utilizzare con precauzione. In particolare, può portare a false conclusioni se l'osservatore si trova in una situazione eccezionale. Ricerche su questo soggetto sono sempre in corso.

Il paradosso di Fermi

Il paradosso di Fermi (attribuito al fisico Enrico Fermi negli anni 1940-50) si esprime così :

- la Terra è nettamente più giovane dell'Universo (di diversi miliardi di anni)
- se delle civiltà tecnologiche extraterrestri esistono o sono esistite nella Galassia, allora almeno una ha sviluppato e intrapreso il viaggio / la colonizzazione interstellare
- ma si può dimostrare che la colonizzazione della Galassia necessita solo di qualche milione di anni
- dovremmo dunque vederne le tracce intorno a noi
- ma non ne vediamo! (le storie di UFO sono per la maggior parte spiegate da cause "terrestri" o "umane", e le tracce di cui parliamo dovrebbero essere molto visibili e non soltanto fuggevoli apparizioni))
- ... dunque ...
- l'ipotesi di partenza è sbagliata, e siamo la sola civiltà tecnologica (e probabilmente intelligente) nella Galassia!

Qualche obiezione e *contro-obiezione* :

- Tutte le civiltà non sono necessariamente espansioniste (aggressive, colonizzatrici), e possono scegliere di non colonizzare altri sistemi.
Gli umani lo sono, e ne basterebbe una sola. E se il principio di esclusione biologica (secondo il quale "due specie non possono dividersi lo stesso nido biologico") si applicasse alle specie intelligenti, allora ce ne sarebbe una sola!!
- La Galassia è vasta, il tempo di colonizzazione sarebbe estremamente lungo. *Anche con la tecnologia dei razzi ATTUALI, basterebbe qualche secolo per raggiungere i pianeti intorno alle stelle più vicine (in ibernazione o a bordo di astronavi-colonie). Aggiungendo qualche secolo in più ogni tappa da percorrere per ricostruire una civiltà simile alla precedente e continuare l'espansione necessita di un periodo compreso tra 1000 e 10000 anni. Se si raddoppia il numero di pianeti colonizzati ogni 10000 anni, basta meno di un milione di anni per colonizzare 10 miliardi di pianeti, cioè virtualmente tutta la nostra Galassia! C'è da notare che questo processo costituito da una fase di espansione seguita da una fase di colonizzazione e "consolidazione" e così via... è stato effettivamente applicato dagli abitanti delle isole degli arcipelaghi del Pacifico!*
- Un gran numero di esseri viventi non rischiarebbe la vita per errare dei secoli attraverso lo spazio alla ricerca di pianeti. reconnaissance.
Si possono inviare delle macchine automatiche informatizzate (dei ROBOT), per effettuare una "ricognizione del terreno".
- Il costo di una tale impresa sarebbe proibitivo.
Solo il primo passo sarebbe a carico dei primi colonizzatori, perché il passo successivo sarebbe effettuato dalla civiltà successiva. Questo primo passo potrebbe essere effettuato (con l'aiuto dei robot) a velocità ridotta, il che ridurrebbe considerevolmente i costi di propulsione (che sono dominanti). Il matematico J. Von Neumann ha inoltre dimostrato che è teoricamente possibile concepire una macchina "intelligente" (nel senso di intelligenza artificiale, in versione molto avanzata) e auto-riproduttiva (sul modello del DNA). Potrebbe sfruttare i pianeti d'arrivo per costruire delle copie di se stessa, compresi i razzi, riprogrammarli e mandarli a continuare la colonizzazione. Infine, il costo di tentativi di comunicazione radio (di tipo SETI, vedere qui sotto) su molte migliaia di anni sarebbe altrettanto proibitivo e meno "redditizio"..
- Le macchine si danneggerebbero e non potrebbero riprodursi all'infinito senza errori di programmazione o altro.

Disponiamo già di metodi molto efficaci per correzioni automatiche d'errori.

- Delle macchine intelligenti potrebbero minacciare i loro creatori (complesso si "Frankenstein").
Si potrebbe concepire dei dispositivi di sicurezza di tipo delle "Tre leggi della robotica" di Asimov... oppure considerare che questa nuova "razza intelligente" ha diritto alla propria espansione indipendentemente dai suoi creatori !
- La tecnologia necessaria non è ancora accessibile.
Cio è falso per quello che riguarda la propulsione, (e probabilmente a termine anche per l'ibernazione). Per l'intelligenza artificiale, l'estrapolazione diventa rischiosa.
- Inoltre, non è certo che non esista un limite intrinseco (del tipo "comportamento caotico") alle prestazioni dei sistemi richiesti per una tale impresa. I numerosi recenti insuccessi spaziali hanno mostrato la ancora scarsa affidabilità raggiunta oggi.
Ma domani?

Altre speculazioni includono la possibilità che degli extraterrestri siano appena arrivati (da qualche anno) nel nostro sistema solare, oppure che siano qui da tanto tempo e ci studino senza rivelarsi (ipotesi dello "zoo cosmico"). Alcuni hanno suggerito che la cintura degli asteroidi, tra Marte e Giove, ricca in metalli, era un obiettivo privilegiato per l'estrazione dei minerali necessari alla duplicazione delle macchine di Von Neumann. Questa attività si tradurrebbe in un'emissione infrarossa (effettivamente esiste una radiazione infrarossa che proviene dalla cintura asteroidale, ma forse è di origine totalmente naturale!)

P_{vie} ? P_{int} ? il dibattito rimane completamente aperto !

Il progetto SETI

Bisogna aspettare di risolvere l'equazione di Drake per ricercare attivamente l'esistenza di vita extraterrestre? Basandosi sul fatto che "il movimento si trova camminando", gli iniziatori del progetto [SETI](#) ("Search for Extra-Terrestrial Intelligence") ritengono di no, e che bisogna iniziare / proseguire le ricerche anche se non si è sicuri che ci sia qualcosa da cercare.

Il progetto SETI si fonda sull'universalità delle leggi fisiche (confermate dalle osservazioni astronomiche), e sul fatto che se le diverse probabilità P_{xxx} che intervengono nell'equazione di Drake sono vicine a 1, allora N_{Civ} è dell'ordine di T e può dunque essere molto grande.

Le ipotesi di base di questo progetto sono le seguenti:

- la vita, l'intelligenza e la tecnologia sono una tendenza generale dell'evoluzione, e sono dunque frequenti nella nostra Galassia (e nell'Universo)
- il tempo di apparizione della vita intelligente su un pianeta adatto è molto inferiore all'età della Galassia ("mediocrità temporale", opposta all'interpretazione "antropica")
- non esiste una Superscienza (viaggio hyperspaziale...), cioè che la velocità della luce è un limite per il viaggio spaziale
- delle creature intelligenti esploreranno la Galassia avendo per obiettivo la ricerca pacifica di scambio d'informazioni attraverso le telecomunicazioni
- esiste un "club Galattico" benevolo, accogliente e pronto ad aiutare nuovi membri alla tecnologia emergente

Il metodo di individuazione scelto inizialmente fa uso delle onde radio: si tratta di un supporto elettricamente neutro (dunque con propagazione rettilinea indipendente dai campi elettrici e magnetici galattici), stabile rispetto al tempo (contrariamente alla radioattività), molto penetrante nello spazio (contrariamente alle onde luminose rispetto alle polveri), facile da produrre e da rivelare (contrariamente ai neutrini e alle onde gravitazionali). Si può dunque supporre (ma è una scommessa!) che le onde radio siano il metodo scelto dagli extraterrestri per comunicare.

Ci si è inizialmente posti la domanda di sapere a quale frequenza radio ascoltare le emissioni. Attualmente, il problema della scelta della frequenza è aggirato con l'uso di ricevitori radio molto sofisticati associati a numerosi computer (con il programma [SETI@Home](#)) che permettono di "ascoltare" milioni di frequenze alla volta. Si cercano segnali particolari (a banda stretta per esempio) che potrebbero essere interpretati come artificiali. Basterà in seguito decodificarli...

L'utilità di SETI è sempre stata molto controversa tra gli scienziati. Dopo una ventina d'anni di ricerca (senza successo, ma è peggio che cercare un ago in un pagliaio), il congresso americano ha deciso di "tagliare i viveri" di SETI. Gli scienziati implicati si sono rivolti a mecenati privati, e riescono così a raccogliere i 10 milioni di dollari all'anno necessari per proseguire la loro ricerca.

Le ricerche attuali proseguono le osservazioni radio, con delle grandi reti d'antenne poco costose (come la rete di telescopi Allen), e osservazioni ottiche. La ricerca in ottica suppone che ci siano inviati direttamente degli impulsi laser molto brevi, mentre non è necessario che le emissioni di onde radio siano dirette verso di noi. Ma l'invio dei segnali mirati richiede meno energia, e potrebbe dunque essere la soluzione scelta dagli extraterrestri.

Il successo, anche se si trattasse di una sola individuazione confermata di segnali artificiali d'origine

Il telescopio di Arecibo



Credito : NAIC / NSF

extraterrestre, avrebbe sicuramente delle implicazioni enormi sull'umanità. Oltre alle reazioni descritte nel film "Contact", permetterebbe di rifiutare la maggior parte degli argomenti contro la vita extraterrestre dati nella parte precedente, e di avere una migliore idea dei valori delle probabilità dell'equazione di Drake !

Conclusione

Evidentemente, tutto quello che è stato detto precedentemente riguarda la Vita (l'intelligenza...) nella NOSTRA Galassia. Poichè si possono osservare dei miliardi di galassie nel cielo (guardare per esempio le recenti pose molto lunghe del telescopio spaziale Hubble e dei telescopi dell'Osservatorio Europeo Australe - ESO - in Cile, che rivelano tra 2000 e 3000 galassie in minuscole porzioni di cielo di $10' \times 10'$, cioè 40 miliardi di galassie in tutto il cielo), ciò aumenta la probabilità di vita extraterrestre (e extragalattica). Ma questo fattore 10^{10} forse non basta per ottenere $N_{civ} > 1$ se P_{vie} e P_{int} sono minuscole (cioè se siamo "miracolati"), nel qual caso saremmo soli nell'Universo.

Se siamo soli nella nostra Galassia, ma non nell'Universo, ciò avrebbe un senso solo se la fisica evolve al punto di superare i limiti attuali delle relatività (niente può propagarsi più rapidamente della luce).

In entrambi i casi (soli nell'Universo o nella Galassia), ci si può porre la domanda (filosofica, metafisica) del senso della nostra esistenza, e della nostra "responsabilità".

Lo scrittore di fantascienze (e scienziato) I. Asimov ha fornito una bella interpretazione della sua visione dell'evoluzione dell'umanità nella Galassia (Ciclo di Fondazione)

Bibliografia

- LES ENFANTS D'URANIE, Evry Schatzman, Seuil, Science Ouverte, 1986.
- INTELLIGENCES EXTRATERRESTRES, Jean Heidmann, Opus Sciences, Odile Jacob, 1996.
- LA BIOASTRONOMIE, François Raulin, Florence Raulin-Cerceau & Jean Schneider, Que Sais-Je ?, Presses universitaires de France, 1997.
- ARE WE ALONE ?, Paul Davies, Penguin Science, 1995.
- EXTRATERRESTRIALS, editato da Edward Regis Jr., Cambridge University Press, 1985.