

## Esercizi del capitolo 1, Introduzione

1. Dare due esempi di metodologia scientifica ispirati da casi famosi della fisica, della chimica o della biologia; spiega per favore come il metodo scientifico si applicava nel caso preciso.

Esempi di metodologia scientifica sono:

1. le sperimentazioni fatte dai fisici in varie epoche, per dimostrare la natura elettromagnetica e corpuscolare della luce
  2. le procedure di Louis Pasteur per dimostrare la teoria dei germi nell'eziologia di alcune malattie infettive.
  3. le sperimentazioni di Galileo (caduta dei corpi), Newton (gravitazione, luce), Einstein (teoria della relatività, dell'effetto foto-elettrico)
2. Ricercare (sulle pagine di astronomia della settimana d'approfondimento o su Internet) che cosa è un parsec, l'unità di distanza usata in astronomia. Perché essa è stata scelta in questo modo?

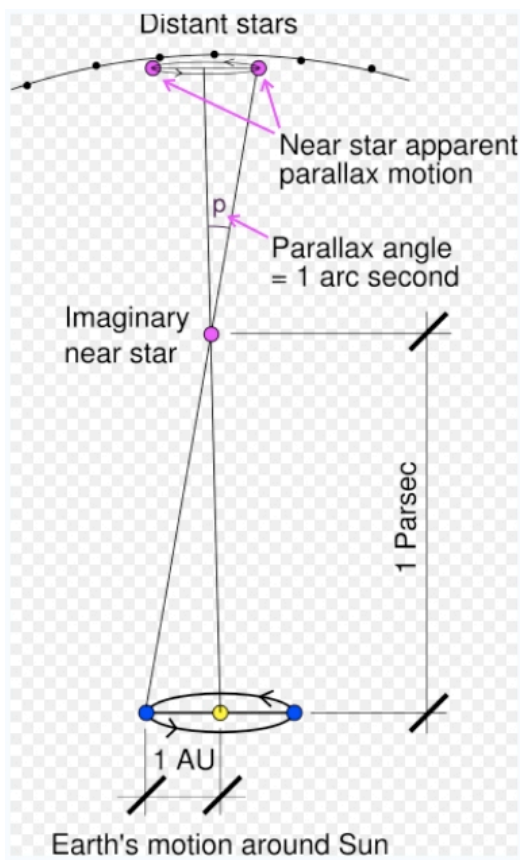


FIGURA 1— Definizione del parsec

Durante la sua orbita attorno al Sole, la Terra cambia posizione. Sulla figura 1, la Terra si sposta da una posizione iniziale (per esempio, in estate) a sinistra del Sole, a una posizione a destra del Sole 6 mesi dopo in inverno. La distanza Terra-Sole è 1 AU (Astronomical Unit).

Immaginate la posizione apparente di una stella (vicina al Sole) sul cielo quando la Terra si trova in queste due posizioni: nella prima (a sinistra) la stella si "vedrà" a destra sul cielo, mentre quando la Terra è a destra, la stella vicina si vedrà a sinistra. Sul disegno della figura 1 le posizioni apparenti della stella sono rappresentate in alto. Quando l'angolo  $p$ , la metà dell'angolo totale tra inverno e estate, è uguale a 1 arco secondo, la stella si trova a 1 parsec di distanza dal Sole.

Nota che 1 arco secondo è un angolo molto piccolo ( $=1/3600$  grado). 1 parsec = 3.26 anni-luce =  $3.086 \cdot 10^{13}$  km. Solo per le stelle non troppo lontane ( $< 20$  pc), si può misurare con precisione l'angolo  $p$ .

3. Quali sono gli scopi principali dell'astrobiologia? Perché la gente si interessa tanto a questi temi? Secondo te, questa scienza ha delle applicazioni concrete nella vita umana ?

Gli scopi dell'astrobiologia sono: capire come sia cominciata la vita, come essa si evolva, in quale ambiente possa esistere, scoprire i pianeti nell'universo che possano ospitare la vita, studiare le forme di vita su questi pianeti, studiare l'interazione tra i cambiamenti ambientali e l'evoluzione della vita.

C'è un interesse nel pubblico per queste domande perché sono quelle fondamentali: che cosa siamo (come essere viventi), da dove veniamo e dove andiamo. Porre queste domande fa parte della natura umana e della sua curiosità verso il mondo in cui abita. La ricerca della verità è una delle cose essenziali per l'uomo. Le conseguenze concrete sulla vita quotidiana: soddisfare la nostra naturale curiosità. A che serve "capire" il mondo e il suo funzionamento? A vivere meglio! certo non è domani che andremo a popolare un altro pianeta, ma in un futuro più a lungo termine. Lo studio delle leggi fisiche e le missioni spaziali progettate per rispondere ad alcune domande dell'astrobiologia hanno portato a scoperte tecniche e stimolano i progressi tecnologici che hanno un'influenza su tutta l'umanità (basti pensare all'informatica e ad internet).

4. Proxima Centauri, una nana rossa nella costellazione del Centauro, è la stella più vicina al Sole. Calcolare di quante volte la distanza tra questa stella e il Sole è maggiore della dimensione del sistema Solare (distanza Sole-Plutone)? La sonda spaziale Cassini-Huygens<sup>1</sup> ha messo quasi 7 anni per mettersi in orbita attorno a Saturno. Con questa velocità, quanto tempo impiegherebbe per raggiungere Proxima Centauri ?

Distanza Terra-Plutone =  $4.3 \cdot 10^9$  km

Distanza Terra-Proxima Centauri =  $4 \cdot 10^{13}$  km

$\implies \frac{D_{Plutone}}{D_{Proxima}} \simeq 10^4$ : Proxima è 10'000 volte più lontana di Plutone.

Cassini-Huygens ha messo 7 anni per percorrere  $1.2 \cdot 10^9$  km. Alla stessa velocità, impiegherebbe  $3.33 \cdot 10^4$  più tempo per arrivare su Proxima Centauri, cioè circa 230'000 anni.

5. Quale sono le differenze tra l'astronomia e l'astrologia? Perché l'astrologia non è una scienza? Il sito <http://www.astrosociety.org/education/astro/act3/astrology.html> aiuta a capire meglio la differenza tra scienza e pseudo-scienza.

L'astrologia è una superstizione, non una scienza. Non è condivisa da tutti (spesso gli astrologi non sono nemmeno d'accordo tra di loro), i risultati non sono riproducibili, ma solo abbastanza vaghi per andare più o meno bene per tutti. Eventi precisi, controllabili, non sono mai predetti (chi aveva predetto in anticipo il crollo delle torri gemelle nel 2001?). L'astrologia ha, nonostante tutto, un certo

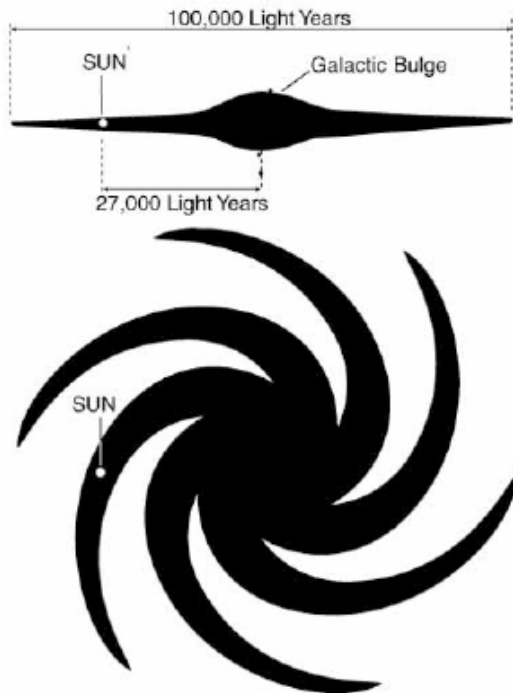
---

<sup>1</sup>[www.lilu2.ch/lilu2dir/materie/scienze\\_sperimentali/Settimana\\_approfondimento\\_astronomia/Cassini-Huygens/Cassini.html](http://www.lilu2.ch/lilu2dir/materie/scienze_sperimentali/Settimana_approfondimento_astronomia/Cassini-Huygens/Cassini.html)

seguito nel pubblico perché gioca sulle nostre paure (la paura del futuro, della morte, dello sconosciuto) e la nostra voglia di essere assicurati.

Questa pagina<sup>2</sup> propone 10 domande imbarazzanti da fare a chi crede all'astrologia e che mettono in evidenza le assurdità e le contraddizioni dell'astrologia. Come conclude questa pagina: "Let's not allow another generation of young people to grow up tied to an ancient fantasy, left over from a time when we huddled by the firelight, afraid of the night." (to huddle in cold weather = tenersi vicini quando fa freddo)

6. Quando due galassie entrano in collisione<sup>3</sup>, si toccano fisicamente anche le stelle?



Paragonate il diametro "medio" di una stella con la distanza media delle stelle in una galassia, per stimare se due stelle possano toccarsi mentre due galassie si "attraversano" durante una collisione. Prendere come esempio, due galassie come la nostra, ognuna con un totale di  $10^{11}$  stelle e un diametro di 100'000 anni-luce. Per semplificare, assumere una densità di stelle costante in una sfera di 50'000 anni-luce di raggio. In realtà le stelle sono molto più concentrate nella parte centrale della galassia (chiamata *Galactic Bulge*). Per una simulazione di quello che accade durante una collisione di galassie, vedere il capitolo a questo proposito nel corso di astronomia della settimana di approfondimento.

FIGURA 2— Disegno della nostra galassia la Via Lattea. Credito: Illustrazione da Tim Jones.

Lo scopo è di paragonare due distanze: il diametro medio di una stella con la distanza media che c'è tra due stelle. Se distribuiamo  $10^{11}$  stelle uniformemente in una sfera di 50'000 anni-luce ( $=15'337$  pc) di raggio  $R$ , la densità media sarà:

$\text{densita}_{\text{media} *} = M_*/(4/3\pi R^3)$  con  $M_*$  la massa totale delle stelle nella galassia ( $M_* = 10^{11} M_{\odot}$ ).

$\text{densita}_{\text{media} *} = 6.6 \cdot 10^{-3} M_{\odot}/\text{pc}^3$ . Ciò significa che in un cubo di 1 pc di lato, ci sono  $6.6 \cdot 10^{-3}$  stelle in media.

<sup>2</sup><http://www.astrosociety.org/education/astro/act3/astrology3.html#defense>

<sup>3</sup>[Settimana\\_approfondimento\\_astronomia/Galaxies/Galaxy\\_mergers/Mergers.html](http://Settimana_approfondimento_astronomia/Galaxies/Galaxy_mergers/Mergers.html)

Il diametro di una stella come il Sole è  $1'390'000 \text{ km} = 4.5 \cdot 10^{-8} \text{ pc}$ .

Calcoliamo ora la distanza media tra due stelle:

A 1 dimensione: se in un segmento di lunghezza  $l$ , ci sono  $N$  punti uniformemente distribuiti, la distanza media  $d_{media *}$  tra i punti sarà  $l/N$ .

A 2 dimensioni,  $d_{media *} = l/\sqrt{N}$  in un'area quadrata di lato  $l$ .

A 3 dimensioni,  $d_{media *} = l/\sqrt[3]{N}$  in un volume cubico di lato  $l$ .

In un cubo di  $1 \text{ pc}$  di lato, ci sono  $N = 6.6 \cdot 10^{-3}$  stelle, quindi  $d_{media *} = 5.33 \text{ pc}$ .

Con un diametro stellare di  $4.5 \cdot 10^{-8} \text{ pc}$  e con una distanza media tra stelle di  $5.3 \text{ pc}$  (cioè più di un miliardo di volte di più), le chance di collisione tra stelle sono infime. Anche se adottiamo una distribuzione più realistica di stelle, la conclusione non cambia: nelle parti centrali e dense della galassia, densità  $d_{media *} = 10^7 M_{\odot}/\text{pc}^3$  e quindi  $d_{media *} = 4.6 \cdot 10^{-3} \text{ pc}$ , ciò che sempre molto maggiore (circa  $100'000$  volte) del diametro di una stella come il Sole.

## Esercizi del capitolo 2 (pagina 11), Vita e morte delle stelle e formazione dei pianeti

1. Per rimanere stabile attraverso un equilibrio idrostatico, la luminosità  $L$  di una stella aumenta con la sua massa  $M_*$  come  $L \propto M_*^p$ , con valori dell'esponente  $p$  che variano tra 3 e 4. Per le rare stelle massicce ( $M_* > 30 M_{\odot}$ )<sup>4</sup>  $p = 3$  e per le più comuni stelle leggere ( $M_* < 10 M_{\odot}$ ),  $p = 4$ . Usate questa relazione tra la massa e la luminosità per trovare il tempo di vita di stelle che hanno 0.1, 1.5, 3, 10 e 60 volte la massa del Sole. Quali commenti puoi fare confrontando questi numeri, sapendo che l'universo ha un'età di circa 14 miliardi di anni?

Il tempo di vita di una stella  $t_{vita}$  in anni è:

$t_{vita} = k \cdot \frac{M}{L}$ , con  $M$  la sua massa,  $L$  la sua luminosità e  $k$  una costante di proporzionalità.

Per il Sole,  $t_{vita} = 10^{10}$  anni. Quindi se scriviamo la massa e la luminosità di una stella in unità solare,  $k = 10^{10}$ .

$t_{vita \text{ con unita solare}} = 10^{10} \cdot \frac{M/M_{\odot}}{L/L_{\odot}}$  anni, con  $L/L_{\odot} = (M/M_{\odot})^p$ .

- $M = 0.1M_{\odot} : 0.1/0.1^4 = 10^3 \implies t_{vita \text{ con unita solare}} = 10^{13}$  anni.
- $M = 1.5M_{\odot} : 1.5/1.5^4 = 0.29 \implies t_{vita \text{ con unita solare}} = 3 \cdot 10^9$  anni.
- $M = 3M_{\odot} : 3/3^4 = 0.037 \implies t_{vita \text{ con unita solare}} = 4 \cdot 10^8$  anni.
- $M = 10M_{\odot} : 10/10^4 = 0.001 \implies t_{vita \text{ con unita solare}} = 10^7$  anni.
- $M = 60M_{\odot} : 60/60^3 = 0.037 \implies t_{vita \text{ con unita solare}} = 5 \cdot 10^4$  anni.

---

<sup>4</sup> $M_{\odot}$  è la massa del Sole

Conclusione: le stelle di piccola massa (come p.es.  $0.1M_{\odot}$ ) hanno un lungo tempo di vita, molto più lungo dell'età dell'universo. Significa che se alcune stelle di questo tipo sono nate proprio all'inizio dell'universo, esistono ancora oggi e esisteranno per un sacco di tempo: il loro tempo di vita è circa 700 volte maggiore dell'età dell'universo. Tutto il contrario per le stelle molto massicce: una stelle di massa  $60M_{\odot}$  esiste solo per 50'000 anni, quindi molte generazioni di stelle di questo tipo hanno potuto succedersi dall'inizio dell'universo.

2. Che succederebbe alla dimensione di una stella se il suo nucleo producesse *più* energia di quanto faceva precedentemente (come per esempio quando la stella diventa una gigante rossa)?

Se la pressione dovuta alle reazioni nucleari al centro di una stella aumentasse, l'equilibrio tra questa pressione e le forze di gravità non sarebbe più rispettato e la stella comincerebbe ad espandersi, proprio perché le forze che spingono verso l'esterno sono maggiori delle forze che spingono verso il centro.

3. Che succederebbe alla dimensione di una stella se il suo nucleo producesse *meno* energia di quanto faceva precedentemente (come per esempio quando la stella smette di avere reazioni nucleari nel suo centro) ?

In questo caso succede il contrario del caso precedente: le forze dovute alle reazioni nucleari diminuiscono quindi le forze gravitazionali prendono il sopravvento e la stella si comprime.

4. Con quello che sai sui pianeti, prova ad elencare alcune differenze fondamentali tra stelle e pianeti.

Le stelle emettono luce grazie alle reazioni nucleari, mentre i pianeti no: riflettono solo la luce della stella attorno alla quale gravitano. Pianeti possono essere composti maggiormente di gas (come Giove o Saturno) o metalli (come la Terra, Venere, Marte e Mercurio), mentre le stelle sono sempre fatte di (quasi) solo gas.