

Cos'è l'universo e come lo conosciamo?

Matteo Bonato

**Disf-Wg Nord
Bologna, 22/12/2012**

Cosa intendiamo con “universo”?



Etimologia **universo**: dal latino universus, parola composta da uni- e -versus, participio passato del verbo vertere (ruotare), e quindi si riferisce a “tutto ciò che ruota unitariamente” (evidente riferimento al moto di rotazione della sfera celeste).

Etimologia **cosmo** (utilizzato come sinonimo di universo): dal greco kosmos, che significa ordine generale di tutto ciò che esiste ed è contrapposto a kaos (assenza di ordine).

L'universo è quindi l'**insieme fisicamente ordinato di tutte le realtà materiali della natura**. È il complesso di tutta la materia e di tutta l'energia, nonché dello spazio che le ospita e in cui hanno luogo i fenomeni naturali. Schematicamente consiste nell'insieme di tutte le stelle e i pianeti, riuniti in galassie, e della materia e dell'energia interstellare e intergalattica, incluse la materia oscura e l'energia oscura.

Come lo conosciamo?



Diversamente dalla maggioranza degli scienziati (chimici, fisici, biologi...), gli astronomi e gli astrofisici possono solo **osservare e misurare**, ma **non interferire** con gli oggetti che osservano, specialmente se questi si trovano al di fuori del sistema solare. Inoltre, nell'universo hanno luogo fenomeni estremi e si verificano condizioni fisiche molto spesso **non riproducibili** nei laboratori terrestri.

► **l'osservazione costituisce il modo migliore per conoscere l'universo.**

Come lo conosciamo?

■ Gran parte delle informazioni sull'universo arriva sotto forma di **radiazione elettromagnetica**. Tutti i corpi con temperatura superiore allo zero assoluto emettono radiazione elettromagnetica. Questa radiazione, originata da molteplici fenomeni fisici, copre un campo molto vasto di possibili frequenze, lo **spettro elettromagnetico**. L'**atmosfera terrestre** assorbe buona parte della radiazione elettromagnetica proveniente dallo spazio, ad eccezione sostanzialmente della luce visibile e delle onde radio. Per questa ragione, l'**osservazione da terra** è limitata all'uso dei telescopi ottici e dei radiotelescopi. Per l'osservazione nelle rimanenti bande dello spettro elettromagnetico (microonde, infrarosso, ultravioletto, raggi X, raggi gamma) si utilizzano quasi esclusivamente **telescopi spaziali** o collocati su palloni aerostatici ad alta quota.

■ Analizzando lo spettro di un corpo celeste è possibile acquisire una notevole quantità di informazioni, tra cui la massa, la temperatura e le dimensioni dell'oggetto, la velocità di allontanamento o di avvicinamento rispetto alla Terra, la velocità di rotazione, la composizione chimica dell'atmosfera emittente, la configurazione del campo magnetico, la velocità di eruzione di materiale dal corpo, l'orbita del corpo attorno ad un altro, la quantità di materia presente negli spazi interstellari e la presenza di molecole organiche.

Come lo conosciamo?

■ Ulteriori informazioni sull'universo, oltre che dalla **radiazione elettromagnetica**, si possono ottenere dal rilevamento di **onde gravitazionali, raggi cosmici e neutrini**.

► Le **onde gravitazionali**, la cui esistenza è prevista a livello teorico dalla relatività generale di Einstein, vengono generate da tutti quegli eventi cosmici che comportano l'accelerazione violenta di grandi masse, come l'esplosione di supernove, lo scontro di stelle e di galassie o i sistemi binari di stelle di neutroni ruotanti. La materia investita da queste onde gravitazionali subisce, a sua volta, l'effetto mareale, contraendosi ed allungandosi. Queste onde, diversamente da quelle elettromagnetiche, non vengono assorbite dalla materia e per questo danno informazioni dirette sui fenomeni violenti che si verificano al centro delle galassie, nel nucleo delle stelle e in quello delle supernove durante il collasso gravitazionale. Finora la radiazione gravitazionale non è mai stata rivelata direttamente.

Come lo conosciamo?

- ▶ I fenomeni più energetici che si manifestano nel cosmo sviluppano grandi quantità di energia, che viene trasportata non solo tramite radiazione elettromagnetica e gravitazionale, ma anche tramite **raggi cosmici**. Questi sono particelle e nuclei atomici ad alta energia, di origine sia galattica che extragalattica, che viaggiano a velocità prossime a quella della luce e sono connessi principalmente a fenomeni di esplosione in stelle e galassie lontane.
- ▶ I **neutrini** sono particelle quasi prive di massa e per questo poco interagenti con la materia. Questi danno la possibilità di osservare processi e strutture che sono inaccessibili agli strumenti ottici. I neutrini sono generati nelle reazioni nucleari del nucleo delle stelle, nelle ultime fasi di collasso delle supernove, nei dischi di accrescimento dei buchi neri e delle stelle di neutroni, nei sistemi binari di stelle di neutroni, nei nuclei delle galassie attive e nei quasar.

L'astronomia ad occhio nudo

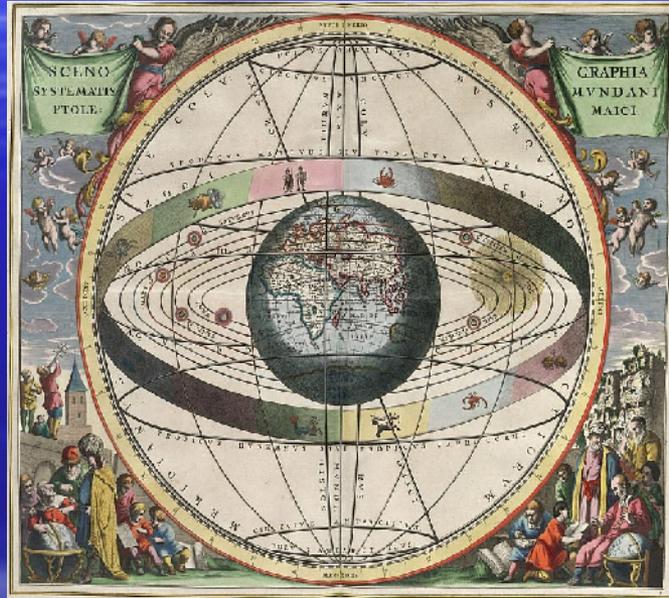


Praticamente tutti i popoli dell'antichità, compresi quelli preistorici, osservavano la volta celeste, per motivazioni **religiose o divinatorie**, ma anche di carattere pratico, per la necessità di **misurare lo scorrere del tempo** e di **orientarsi**. Inizialmente l'osservazione dei fenomeni astronomici era finalizzata essenzialmente all'identificazione dell'inizio e della fine delle stagioni, informazioni molto preziose per l'agricoltura.

L'astronomia ad occhio nudo

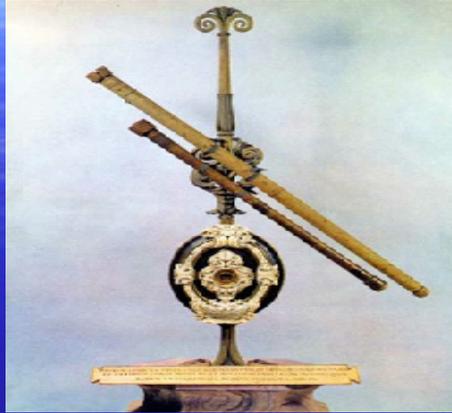
- Durante l'epoca caldea della civiltà babilonese, tra l'ottavo e il sesto secolo a.C., l'attività astronomica, documentata da migliaia di tavolette di terracotta, veniva condotta da un gruppo di esperti, **sacerdoti-astronomi**, dediti principalmente all'osservazione dei fenomeni celesti e alla trasmissione scritta dei loro risultati. Si verificò una specializzazione, che da un lato permise di effettuare osservazioni più accurate e complesse, e dall'altro di utilizzare la conoscenza astronomica come strumento di potere.
- Tra il sesto e il terzo secolo a.C., durante l'età greca classica, l'attività di osservazione astronomica era motivata dal desiderio astratto di conoscenza: si era trasformata in **scienza**.
- L'epoca successiva, quella ellenistica, all'incirca tra il terzo e il primo secolo a.C., fu caratterizzata da numerosi e sorprendenti risultati. Vennero stimate la dimensione della terra, le distanze relative della luna e del sole, ci si chiese se l'universo sia infinito o se abbia un limite che lo circonda, ma, soprattutto, venne sviluppato un **modello eliocentrico** del sistema solare e si discusse il ruolo della forza di gravità nel cosmo.

L'astronomia ad occhio nudo



Dopo più di due secoli in cui l'attività astronomica sembrò arrestarsi, nel secondo secolo d.C., Claudio **Tolomeo** di Alessandria formulò il **modello geocentrico** che rimase di riferimento fino a che non venne sostituito, ma solo nel sedicesimo secolo d.C., dal **modello eliocentrico copernicano**.

La grande svolta di Galileo



■ Con l'introduzione dell'uso del **cannocchiale** nell'osservazione astronomica, ad opera di Galileo Galilei agli inizi del diciassettesimo secolo, il campo di indagine dell'astronomia si estese ad un **numero via via crescente di oggetti celesti** e **aumentò la precisione delle misure**.

- ▶ progressiva affermazione del sistema eliocentrico copernicano;
- ▶ prima determinazione accurata della velocità di propagazione della luce, grazie all'osservazione dei satelliti medicei (Io, Europa, Ganimede e Callisto, i quattro satelliti maggiori di Giove),
- ▶ costruzione di telescopi ottici sempre più potenti, dedicati principalmente allo studio delle leggi cinematiche e dinamiche del moto delle stelle,
- ▶ scoperti molti sistemi stellari doppi o multipli e si iniziò a studiare i fenomeni di variabilità luminosa di alcune stelle, tra cui anche nove e supernove.

La nascita dell'astrofisica

- Una nuova rivoluzione nell'osservazione dell'universo si ebbe con l'**abbinamento dello spettroscopio all'uso del cannocchiale**, avvenuto nella seconda metà del diciannovesimo secolo, che rese possibile l'indagine sistematica sulla **costituzione fisica e chimica degli oggetti celesti** e che avviò il rapido sviluppo dell'astrofisica.
- Fra le tappe che resero possibile questa svolta nello studio dell'universo, la prima, in ordine di tempo, fu la **teoria dell'elettromagnetismo** di James Clerk Maxwell. Le quattro equazioni di Maxwell dimostrano che l'elettricità, il magnetismo e la luce sono tutte manifestazioni dello stesso fenomeno, il campo elettromagnetico. La conoscenza della natura fisica della luce e la graduale comprensione delle varie interazioni fisiche tra materia e radiazione elettromagnetica, permisero di identificare e caratterizzare sperimentalmente i meccanismi di emissione e di assorbimento della luce. La spettroscopia, cioè l'analisi della distribuzione dell'energia emessa in funzione della lunghezza d'onda, diventò così un prezioso strumento per comprendere la fisica degli oggetti celesti. Inoltre, una volta determinata la natura della luce come onda, l'effetto Doppler offrì la possibilità di determinare con grande precisione la velocità relativa degli oggetti osservati.

Oltre il dominio ottico



■ A circa metà del ventesimo secolo, le tecniche radar e radio, sviluppatesi per scopi bellici durante la seconda guerra mondiale e poi applicate in modo sistematico al campo astronomico, diedero inizio agli **studi radioastronomici**, che permisero di estendere ad una porzione di spettro elettromagnetico molto più larga le osservazioni limitate fino allora alla sola banda ottica.

■ Un'ulteriore estensione del dominio osservativo si ebbe con l'**avvento di palloni, razzi e satelliti**, grazie ai quali si poté superare la limitazione imposta dall'assorbimento dell'atmosfera terrestre alle osservazioni da terra. Lo sviluppo di queste nuove e più potenti capacità osservative della radiazione elettromagnetica emessa dagli oggetti celesti ha portato grandi progressi nella comprensione dei fenomeni astronomici.

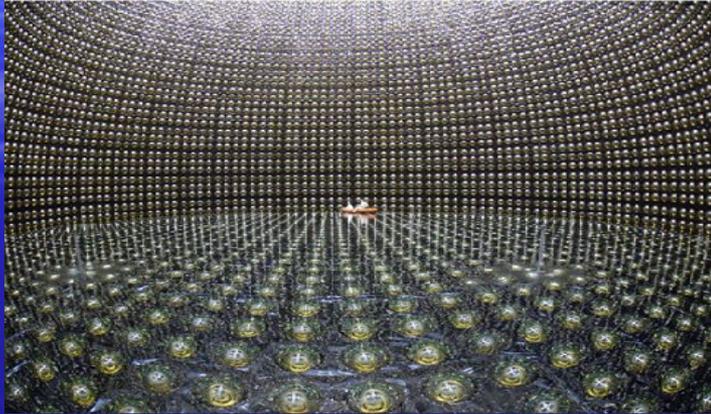
Oltre il dominio ottico

- Nel 1970, venne lanciato dalla base italiana San Marco in Kenya il **primo satellite dedicato all'astronomia a raggi X, Uhuru**. Grazie a questo esperimento, si scoprì l'esistenza di intense sorgenti di radiazione X. Nasceva così l'astrofisica delle alte energie.
- Nel 1991, con l'esperimento BATSE, a bordo dell'Osservatorio Spaziale Compton, si ebbe la prima osservazione scientifica sistematica dei **lampi gamma cosmici**.



- Nel 2009 venne lanciato **Herschel**, il più grande telescopio spaziale ad infrarossi finora realizzato, che sta osservando in particolare galassie neonate a milioni di anni luce da noi.

Non solo telescopi per conoscere l'universo



Rivelatore di neutrini del T2K neutrino experiment



Interferometro Virgo per onde gravitazionali

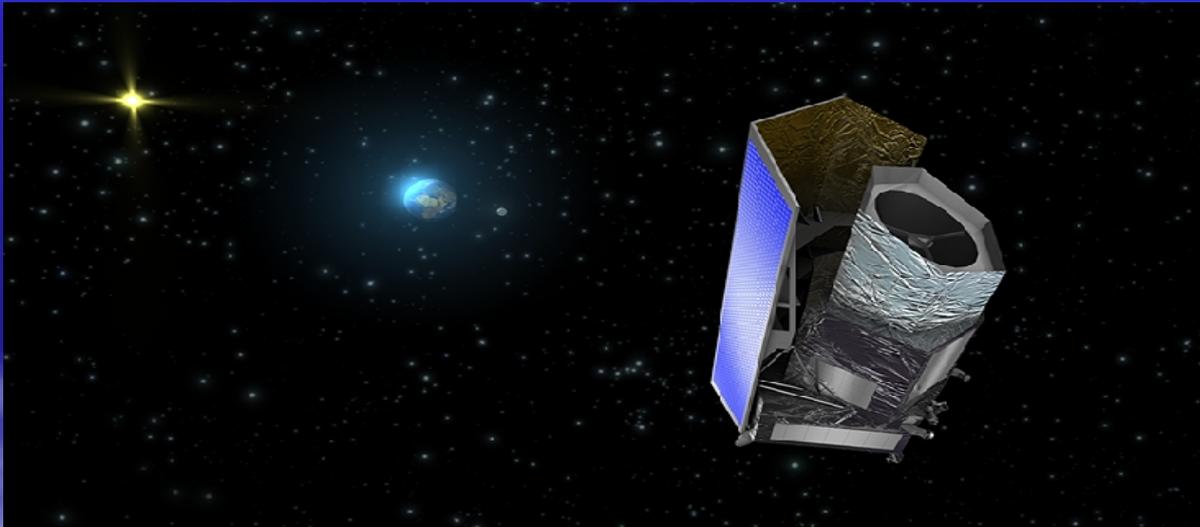
Oggi la ricerca astronomica, in aggiunta ai telescopi, utilizza altri strumenti per indagare il cosmo.

Al fine di rilevare l'emissione di **neutrini** dal sole e da esplosioni di supernove, vengono usati **diversi tipi di rivelatori**, che consistono in grosse quantità di materiale (principalmente acqua, cloro o gallio), necessarie a causa della scarsa interazione dei neutrini con la materia, poste in cave sotterranee, con lo scopo di schermare la radiazione cosmica.

Esistono poi diversi progetti internazionali (LIGO, Virgo...) in cui, utilizzando rilevatori sempre più sensibili, si sta cercando di captare le debolissime **onde gravitazionali** generate da sistemi binari di stelle, pulsar, esplosioni di supernove, buchi neri in vibrazione o galassie in formazione.

Nuove sfide per il futuro

■ Altre importanti sfide dovrà affrontare nei prossimi anni l'osservazione astronomica, perché sono molte le questioni fondamentali sull'universo ancora aperte, come, ad esempio, la presenza di materia oscura e di energia oscura, la comprensione del processo di inflazione cosmica o della formazione delle strutture cosmiche avvenuta dopo la ricombinazione.



► Per fare luce su questi importanti quesiti, già molti sono i progetti scientifici attualmente in corso o in fase di preparazione. Fra tutti, particolarmente promettente è la missione **Euclid**, che dovrebbe iniziare nel 2017 e che, con osservazioni nel visibile e nel vicino infrarosso, dovrebbe contribuire in modo cruciale alla comprensione della natura delle componenti oscure dell'universo.