

Naviglio Piccolo

Giovedì 5 dicembre 2013 - ore 21.00

... e pensare che eri piccolo, tanto piccolo, ... così

Conversazione sull'origine dell'universo

a cura di

Pierluigi Boschetti e Cristina Fighetti

Pare che sia cominciato tutto proprio così: una "cosa" così piccola, ma così piccola, da essere troppo densa per stare insieme, tanto da dover "esplodere", e dare così origine all'universo come lo vediamo e studiamo oggi. Tutti lo chiamano il **big bang**, e sembra che da allora tutto stia scappando da lì. Vediamo di capire qualcosa in questa teoria sull'origine di tutto, e che sembra anche un po' banale, ma anche la più accreditata al momento.

Lo facciamo sotto la guida di **Pierluigi Boschetti e Cristina Fighetti**, che ci aiuteranno a rinfrescare i ricordi di scuola, e a vedere un poco oltre negli sviluppi della ricerca scientifica. In leggerezza, senza troppe complicazioni.

Naviglio Piccolo - Viale Monza 140 (M1 Gorla - Turro)

Quote di partecipazione ad ogni incontro:

Normale € 2,00.

Soci di Naviglio Piccolo € 1,00.

Per chi si associa al momento gratuita

Quota associativa a Naviglio Piccolo € 20,00

Informazioni: www.navigliopiccolo.it email naviglio.piccolo@navigliopiccolo.it

Si ringrazia:



Cooperativa Sociale
CIRCOLO FAMILIARE DI UNITA' PROLETARIA
VIALE MONZA, 140 - TEL. 02 2574683 - 20127 MILANO

Naviglio Piccolo

**... e pensare che eri piccolo,
tanto piccolo,
... COSÌ**

Conversazione sull'origine dell'universo

Spettacolo meraviglioso, il cielo stellato ha catturato l'ammirato stupore degli uomini (magari non di quelli che vivono nelle moderne città, dove si fa persino fatica a pensare che le stelle esistano ancora). Naturale quindi che l'uomo si sia posto domande sul senso e sull'origine di queste affascinanti luci che splendono nell'oscurità del cielo notturno.

Il pensiero antico

Prima di raccontare le posizioni attuali della scienza sull'argomento è interessante un piccolo viaggio senza pretese nella visione che l'uomo ha avuto sull'argomento nel corso del tempo.

Dal nulla al cosmo con l'intervento divino

Miti Sumerici

Un'antica storia sumera della creazione, anche se non l'unica (vedi i riferimenti in appendice), comincia con la creazione della terra per passare poi a quella dei semi, delle stagioni e così via. È probabile che i Sumeri narrassero miti della creazione del mondo da parte degli dei Enki ed Enlil, rispettivamente dei protettori delle città mesopotamiche di Eridu e di Nippur. Un mito pure alquanto antico raffigura Marduk, dio di Babilonia, quale creatore del mondo e dell'uomo. Quando tutto era ancora mare, Marduk creò tutti gli dei Sumerici e poi intrecciò una stuoia, la stese sopra l'acqua e vi versò sopra della polvere: così fu costruita la terra. Poi egli creò tutto ciò che si trova sulla terra e le città.

Induismo

Nei Veda l'energia vitale e creatrice del dio Shiva si rivela nelle immagini in cui è raffigurato come il dio che crea il mondo danzando. Il cosmo è energia animata dal ritmo e Shiva crea l'universo mentre con una mano regge il damara (tamburo), che scandisce il ritmo della danza. Shiva è rappresentato all'interno di un cerchio composto di sedici fiammelle e ciascuna rappresenta una vocale a significare la potenza creatrice della parola di Shakti o

Naviglio Piccolo



rappresentazione del fuoco cosmico (sebbene esistano molte interpretazioni di queste fiammelle).

La Bibbia

"In principio ... il mondo era informe e vuoto ... E Dio disse ... (genesi 1,1ss.)" "In principio era il verbo..." (Giovanni 1,1). Anche qui la potenza della parola.

Sant'Agostino (354-430 d.c.)

Formulò l'ideologia della nuova alleanza tra stato e chiesa, che influenzò i successivi 1000 anni di storia dell'Occidente. Tra Dio perfetto, eterno, illimitato e la terra, finita, imperfetta e destinata a decadere sempre più e a finire, la cosmologia di Agostino portava a concepire un universo, sorto dal nulla che doveva tornare nel nulla.

Nel 400 d.C. Agostino aveva così immaginato una teoria simile al Big Bang .

Fin qui spiegazioni di natura religiosa, accomunate dal concepire un preesistente nulla su cui agisce l'intervento divino, spesso basato sulla potenza della parola che crea il cosmo gradualmente con un certo ordine, a partire da un'acqua primordiale.

L'evoluzione naturale

I filosofi presocratici (Talete, Anassimandro, Anassimene)

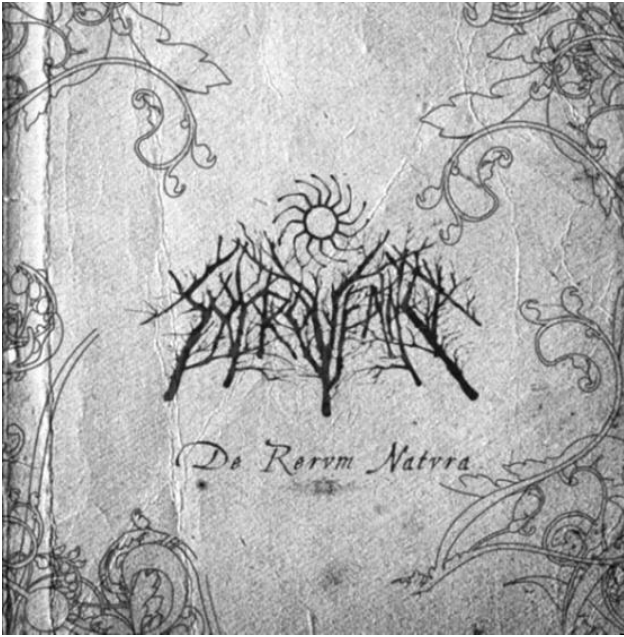
Furono i primi a porsi il problema della natura, cercando di dedurre l'origine e le proprietà sulla base delle osservazioni, anche se non basate su un metodo sperimentale scientifico. L'origine del mondo viene riportata ai quattro elementi primordiali: aria, acqua, terra, fuoco.

Anassagora (496-428 a.c.)

Ad Atene nacque la straordinaria teoria di Anassagora che ipotizzava una origine naturale del cosmo, sostanzialmente corretta, nata dall'osservazione di processi naturali e senza intervento divino. Un cosmo che si evolve e muta, che non ha un inizio e una fine nel tempo, illimitato nello spazio e nel tempo. Meraviglia del pensiero che si avvicina alla verità senza il bagaglio delle conoscenze attuali.

Lucrezio (94 - 54 a. c.)

Naviglio Piccolo



La posizione della filosofia epicurea può essere riassunta nell'opera "De Rerum Natura" di Tito Lucrezio Caro. Tutta la Natura è costituita da Atomi, particelle infinitamente piccole e indistruttibili che muovendosi nel vuoto, con un percorso rettilineo, generano le aggregazioni dei corpi materiali e dei mondi. Anche la nascita e la morte, per Epicuro così come per Lucrezio, sono il risultato del continuo processo di aggregazione e disgregazione di atomi. Evidentemente l'idea che il grande nasca dal piccolo, anzi dal microscopico, ha un fascino irresistibile e un forte potere evocativo.

L'opera, conservata integralmente da due codici del IX secolo, denominati O e Q, fu riportata alla luce nel 1418 dall'umanista Poggio Bracciolini.

Miti Norvegesi (XXIII sec.)

Un altro mito sull'origine dell'universo si trova nell'Edda, una raccolta di miti norvegesi compilata attorno all'anno 1220 dal capo islandese Surri Sturleson. In principio - dice l'Edda - non c'era nulla. La terra non c'era, né c'era in alto il cielo; c'era solo un abisso spalancato, ma da nessuna parte cresceva erba. A Nord e a Sud del nulla, si estendevano regioni di ghiaccio e di fuoco, Niflheim e Muspelheim. Il calore emanante da Muspelheim fuse un po' di ghiaccio di Niflheim e dalle gocce di liquido che si era così formato nacque un gigante, Ymir. E cosa mangiava Ymir? Era necessario introdurre qualcosa per la bisogna, e così si pensò al latte della vacca Audumla. E cosa mangiava Audumla? Bene, c'era anche un po' di sale, ... L'invenzione non spiega molto, ma crea una catena interminabile che sposta senza fine il livello di chiarimento.

Agli albori della scienza

Leonardo da Vinci (1452-1519)

Artigiano, scienziato, ingegnere, inventore, artista, spaziò sull'intero scibile umano. La conoscenza deve derivare dall'osservazione, e ci deve essere una descrizione matematica: "Nessuna certezza è dove non si può applicare una delle scienze matematiche", e anche: "Ma prima farò alcuna esperienza...cominciando dalla esperienza, e con quella investigare la ragione". Con queste osservazioni si affaccia alla storia un primo accenno di metodo scientifico.

Nicolò Copernico (1473-1543)

Dal suo viaggio in Italia verso il 1500, sviluppò la base del sistema eliocentrico, che si pose in alternativa a quello geocentrico Tolemaico. È buffo che uno il cui stesso nome oggi evoca

Naviglio Piccolo

sconvolgimenti dell'ordine costituito, punti di vista anticonformisti e battaglie contro l'oscurantismo, sia stato in realtà un pavido e obbediente conservatore, un pedante antimoderno, un rispettoso fautore del principio d'autorità. La ragione che lo indusse a mettere mano al sistema tolemaico non fu quella di distruggerlo, ma piuttosto di perfezionarlo, per renderlo ancora più aderente ai dettami di Aristotele. Tolomeo, per accordare il suo modello con le osservazioni, era stato costretto a fare qua e là qualche piccola eccezione, rinunciando alla rigida uniformità dei moti circolari. «Non sia mai!» reagisce scandalizzato Copernico. «Piuttosto, metto in moto la Terra intorno al Sole!». Tanto, che il Sole fosse al centro del cosmo lo dicevano già i pitagorici, e Copernico, sempre contento di trovare sostegno in un testo antico, si sente in una botte di ferro. Pur di non usare altro che moti circolari e uniformi, finisce per complicare il sistema tolemaico con epicicli a profusione. Timoroso di diventare uno zimbello agli occhi del mondo, non voleva pubblicare le sue idee, dicendo al suo discepolo, il matematico Retico: «Ma no, in fondo è tutto un gioco matematico, mica son sicuro che la Terra si muova davvero, teniamo la cosa tra noi, sii buono, ché la gente è ignorante e chissà poi cosa capisce». Un cuor di leone, insomma. Alla fine, la rivoluzione copernicana si fece comunque. Solo molto dopo e, in un certo senso, malgrado Copernico. La gerarchia cattolica disse che la nuova cosmologia era sovversiva, e anche Lutero rigettò inorridito le idee copernicane, denunciandole come fantastiche e contrarie alla Bibbia.

Giordano Bruno (1548 - 1600)

Vittima illustre della Controriforma, dopo il suo viaggio in Inghilterra venne arrestato e arso vivo nel 1600. Le sue idee di un cosmo infinito non venivano considerate in accordo con quelle della gerarchia ecclesiastica, e con l'idea di un inferno sotterraneo materiale e un paradiso etereo. Qui la cosmologia cerca una spiegazione dell'universo orientata a fenomeni più vicini e più facilmente osservabili con le tecnologie dell'epoca.

Immanuel Kant (1724 - 1804)

Nel 1755 formulò una spiegazione delle origini della terra. Poiché era al corrente dei risultati delle nuove osservazioni astronomiche propose il concetto di un universo infinito disposto secondo una catena di sempre più vasti agglomerati rotanti di materia.

E qui siamo all'intuizione delle galassie.

Pierre-Simon Laplace (1749-1827)

Fornì una solida base matematica alla teoria kantiana vorticoso delle origini. A metà del 1800 si affermarono le idee evoluzionistiche di Darwin. Scienza e religione si separarono sempre più.

Naviglio Piccolo

La visione scientifica attuale

Abbiamo visto alcune teorie sull'origine dell'universo dovute al pensiero, a intuizioni, a idee religiose, ed anche ad un primo accenno di metodo scientifico, ma agli inizi del 900 si erano sviluppate sufficienti conoscenze per impostare il quesito su basi scientifiche moderne con l'apporto di evidenza sperimentale

Il periodo eroico dell'astronomia



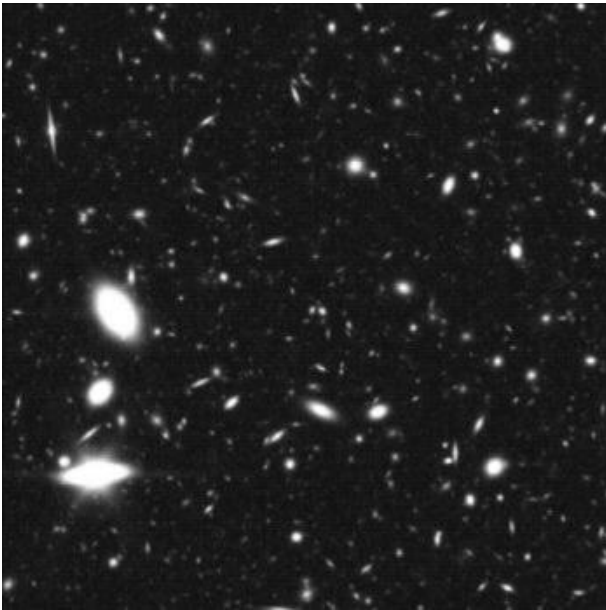
La prima grossa svolta si ebbe nel 1929. Il detto malizioso "i cosmologi sono sempre in errore, ma mai in dubbio" non può certo applicarsi alla figura carismatica di Edwin Hubble. Lottò duramente per decenni con gli strumenti e con la sua schiena armeggiando per un numero sterminato di notti nelle gabbie dei grandi telescopi di Monte Wilson e di Monte Palomar, si cavò gli occhi sulle lastre a "grattare" Cefeidi immerse in bracci di spirale che si vedevano appena e a stabilire funzioni di luminosità per tipologie di galassie "là dove forse lo spazio si incurva" fino a che il suo cuore d'atleta cedette una prima e poi una seconda fatale volta. Astronomo per vocazione, Hubble (1889-1953) è quasi universalmente noto come "colui che scoprì l'espansione dell'universo nel 1929".

Effetto doppler

Facciamo una premessa: ogni elemento ha una sua carta d'identità, tecnicamente chiamata "spettro", che si presenta come una serie caratteristica di alcune righe colorate, come in figura 1 dell'appendice, dove sono riportati a titolo d'esempio alcuni spettri di elementi dal Berillio, Manganese, ... , fino allo spettro dell'Idrogeno e per riferimento lo spettro di una lampadina.

Naviglio Piccolo

Gli "spettri" sono ottenuti sostanzialmente facendo passare una scarica elettrica in un gas dell'elemento in considerazione. In questa situazione i suoi atomi assorbono l'energia della scarica elettrica e la riemettono sotto forma di righe luminose. L'analisi, effettuata da un opportuno strumento, separa le componenti elementari in un gruppo di righe di diversi colori, tipico di ciascun atomo. Il più semplice strumento di scomposizione della luce emessa è un prisma di vetro, come quello che campeggiava in una vecchia copertina dei Pink Floyd per la luce solare. I diversi colori si distinguono in fisica con una grandezza, o frequenza o lunghezza d'onda, come nelle trasmissioni radio. Siamo in grado così di conoscere la composizione delle stelle.



Quando la misura dello spettro degli elementi viene effettuata su una stella in movimento, la serie di righe della carta d'identità si sposta o verso il rosso (redshift), come in figura 2 dell'appendice se la sorgente si sta allontanando, o verso il violetto (blueshift) se la sorgente si sta avvicinando. L'arcobaleno di colori sotto le righe dello spettro dell'elemento possiamo pensarlo come riferimento per la posizione delle righe. Nella figura 3 dell'appendice, si evidenzia che l'effetto è tanto più marcato, cioè la serie di righe è tanto più spostata, quanto maggiore è la velocità della sorgente, dove viene confrontato lo spettro di atomi d'idrogeno misurato a terra, in laboratorio, con quello di due galassie. La galassia A in allontanamento ha uno spettro leggermente spostato verso il rosso, mentre

per la galassia B lo spostamento verso il rosso è ancora più evidente, perché si allontana più velocemente.

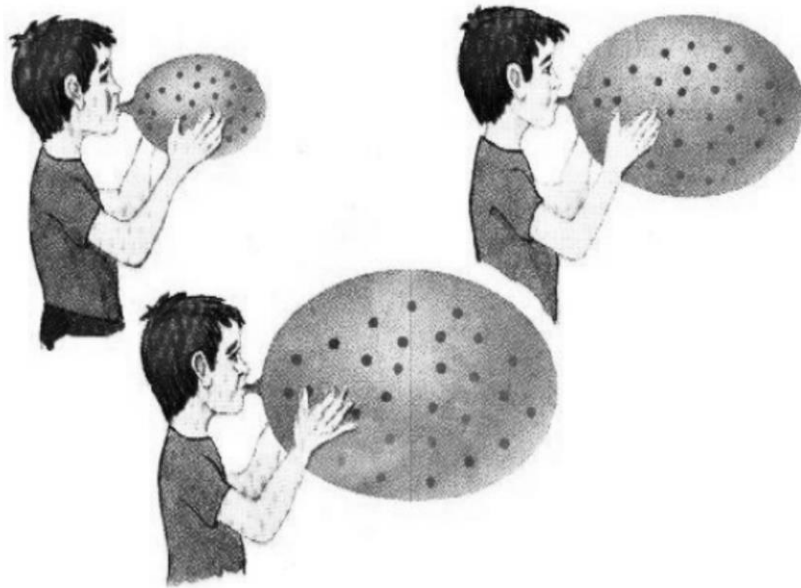
Questo effetto (effetto Doppler) per le onde luminose è l'analogo del ben noto effetto sonoro per cui il rumore di una macchina o di un treno in movimento diventa più grave o più acuto secondo che la macchina o il treno si stia allontanando o avvicinando.

Espansione dell'universo

Orbene Hubble, nelle sue serate all'osservatorio di Monte Palomar, si accorse che le galassie più si trovano lontane dalla terra e più hanno le righe della carta d'identità spostate verso il rosso. Da quanto abbiamo detto finora, questo effetto si può interpretare come un allontanamento delle galassie da noi a velocità tanto più elevate quanto più sono lontane, cioè come un'espansione accelerata dell'universo, e questa è l'interpretazione più comunemente accettata. È interessante osservare che le galassie si allontanano dalla terra in tutte le direzioni, proprio come se noi fossimo al centro dell'universo.

Ma allora dovremmo chiederci: la terra si trova al centro dell'universo? Aveva ragione Tolomeo? No, non è così: è vero che le galassie si allontanano da noi da ogni parte, ma questo è vero per ogni altro punto dell'universo. Cioè, in qualsiasi posizione dell'universo ci si trovasse, si vedrebbero le galassie allontanarsi da noi in tutte le direzioni.

Naviglio Piccolo



Una immagine suggerita da Margherita Hack potrebbe aiutare la nostra comprensione. Pensiamo all'universo con le sue galassie come un panettone con le sue uvette che rappresenterebbero le galassie: mentre sta cuocendo nel forno, l'impasto del panettone si gonfia e si espande, ed è interessante osservare che non sono le uvette (le galassie) che si allontanano le une dalle altre, ma è l'impasto (lo spazio) che si espande e trascina con sé le uvette (le galassie). Possiamo anche osservare che se ci immaginiamo di stare al posto di un'uvetta (su una galassia) vediamo le altre allontanarsi da noi in tutte le direzioni, ma la stessa cosa succede su qualsiasi uvetta ci si ponga. La nostra galassia non ha nessuna posizione privilegiata.

Un'altra immagine può essere utile: pensare all'universo come la superficie di un palloncino di gomma che si gonfia, e sul quale ci sono segnati dei punti (le galassie). È immediato constatare che mentre il palloncino si gonfia, i punti si allontanano gli uni dagli altri, ma nessuno di essi è il centro. Analogamente nell'espansione dell'universo da "ogni" galassia si vedono le altre allontanarsi da ogni parte,

Quest'ultima immagine ha il limite di costringere a pensare l'universo in 2 dimensioni immerso in qualche cosa di esterno.

Big Bang

Se le galassie si stanno allontanando, vuol dire che ad un tempo precedente si trovavano più vicine, e proseguendo a ritroso nel tempo si arriva ad una situazione con tutta la materia dell'universo concentrata in un punto di densità e temperatura altissime, inconcepibili, teoricamente infinite e dove le regole della fisica che conosciamo non sono applicabili. Calcoli, fatti tenendo conto della velocità di recessione delle galassie, datano a 13.7 miliardi anni il momento in cui doveva essere tutto concentrato in un punto. Non trovate che è piuttosto difficile pensare a tutta la materia dell'universo concentrata in un punto? Certamente non può essere la materia così come la conosciamo, anche un solo atomo, pur piccolo, ha le sue dimensioni. Le nostre concezioni fisiche sulla materia cessano di valere e attualmente non abbiamo idea di una teoria che interpreti un simile stato della materia. Ci può essere di aiuto una relazione che tutti gli studenti hanno conosciuto e su cui hanno pensato non poco: $E = mc^2$. Essa dice l'equivalenza tra massa m ed energia E . Certo, se

Naviglio Piccolo

tutta la massa del cosmo fosse energia sarebbe più facile pensarla concentrata in un punto.



E questo è quello che gli scienziati pensano. Una grande energia concentrata completamente che, appunto attraverso la relazione massa/energia, corrisponde a tutta la massa dell'universo e che nel Big Bang ha dato origine a tutto.

Il primo a intuire un universo in espansione fu uno sconosciuto gesuita belga, Georges Lemaître. Figlio di un vetraio di Lovanio, fin dall'infanzia si era riproposto di diventare sacerdote e scienziato. Descritto come personaggio molto aperto e socievole, su invito di Arthur Eddington intraprese un viaggio negli Stati Uniti durante il quale venne a conoscenza che Vesto Slipher, osservando le "nebulose a spirale" (che in realtà erano galassie) aveva notato uno spostamento verso il rosso delle righe spettrali, scoperta che di per sé non indicava un universo in espansione. Anzi, l'idea dell'espansione a quei tempi non era ancora stata accettata, tant'è che Einstein aveva introdotto nelle equazioni della relatività generale un termine matematico proprio per "frenare" l'universo. L'osservazione di Slipher costituì un primo importante passo di un cammino che si sarebbe

concluso con la dimostrazione dell'espansione dell'universo desunta dalle osservazioni di Hubble. Tornato in patria nel 1927, Lemaître scrisse un saggio con il quale, anticipando i tempi, collegava la relatività generale con lo spostamento verso il rosso e sosteneva la legge della proporzionalità fra la distanza e la velocità di recessione degli oggetti astronomici, oggi nota come legge di Hubble. Purtroppo le sue idee stentaronο ad affermarsi perché il saggio era stato pubblicato in lingua francese su una rivista poco nota, e inoltre Lemaître era snobbato dagli addetti ai lavori non appartenendo ad accademie o ad università. Quando, nel 1933, si tenne a Bruxelles il famoso Congresso Solvay, Lemaître non riuscì a ottenere quella considerazione che invece pensava di meritare, ma fu giudicato assai severamente anche da Einstein il quale, dopo averlo ascoltato, gli disse che i suoi calcoli erano esatti, ma la sua fisica era "abominevole". In seguito Einstein ammise che la teoria di Lemaître era la più bella e soddisfacente interpretazione che avesse mai ascoltato. Alcuni anni dopo la pubblicazione della sua memoria, i cosmologi partecipanti a un convegno organizzato dalla Royal Society di Londra tentarono, senza successo, di gettare un ponte fra la relatività generale e la scoperta della recessione delle galassie da parte di Hubble che parlava chiaramente a favore di una espansione dell'universo. Lemaître, allora, informò Eddington dei suoi studi e questi, dopo aver trasmesso a De Sitter una copia del lavoro di Lemaître, annunciò alla comunità scientifica che uno sconosciuto sacerdote belga aveva per primo formulato la teoria dell'espansione dell'universo. L'espansione portava come conseguenza che il nostro universo all'inizio del tempo fosse tutto concentrato in una "singolarità" che Lemaître definì in modo immaginifico "atomo primordiale" o "uovo cosmico"; un concentrato infinito di energia e materia, che, come disse pittorescamente, a un certo momento esplose con "grande rumore" proiettando ovunque la materia e creando così lo spazio e il tempo, cioè l'universo. Fred Hoyle, sostenitore della teoria dell'universo stazionario, definì sarcasticamente il "grande rumore" di Lemaître con il termine "Big Bang" senza immaginare che quella uscita ironica, avrebbe avuto tanta fortuna. Fu il primo a

Naviglio Piccolo

formulare la legge di Hubble. Questa, apparsa nel suo articolo del 1927, sarà riscoperta empiricamente da Hubble due anni dopo e da lui, appunto, prese il nome. L'espansione illimitata e l'uso della costante cosmologica furono generalmente accettati dopo che venne scoperta l'accelerazione dell'espansione dell'universo. Ciò però ebbe luogo solo nel 1998, oltre trenta anni dopo la morte di Lemaître. Questa teoria, che prende il nome di "Big Bang" a ricordare un'esplosione è oggi la più accreditata spiegazione dell'origine dell'universo. Bisogna comunque segnalare fin da subito un grosso limite nell'uso della parola "esplosione". Questo fa pensare alla proiezione all'esterno di materia, sia questa sotto forma di particelle, di galassie o altro. Ma, come si è ben capito nella similitudine del panettone, non è la materia (le uvette) a proiettarsi all'esterno, ma è lo spazio (l'impasto) a espandersi. Ripercorriamo adesso cos'è successo o per lo meno cosa si pensa che sia successo dopo il Big Bang. **Innanzitutto dobbiamo precisare che "ignoriamo" perché ci sia stato un Big Bang.** Le nostre conoscenze si devono limitare a partire non dall'origine del tempo, ma da un piccolissimo tempo successivo.¹ Da quel momento basta una semplicissima divisione tra lo spazio e il tempo per verificare che viene di gran lunga superata la velocità della luce. È un problema che la velocità di espansione sia superiore alla velocità della luce, in contraddizione con il principio generale che la velocità della luce è insuperabile? Beh, la contraddizione è solo apparente: infatti qui non c'è né materia, né energia che si sposta, ma è lo spazio che si espande! (l'impasto del panettone che si gonfia, e non le uvette che si muovono!). Ancora una volta cercando di sostenere la nostra immaginazione, possiamo pensare al Big Bang come alla diffusione di una bomboletta spray (tenendo conto dei limiti insiti nel concetto di diffusione di qualcosa di materiale). Intanto che lo spray si sta diffondendo, se ci spostiamo a ritroso lungo la nuvoletta di gas arriviamo al punto di origine della diffusione, che è l'ugello della bomboletta. Un ulteriore limite della similitudine tra l'espansione dell'universo e la diffusione di una bomboletta spray, è che la diffusione dello spray ha luogo nello spazio, (la zona grigia in figura), ma l'espansione dell'universo è tutto lo spazio, non c'è niente al di fuori, l'universo è la nuvoletta.



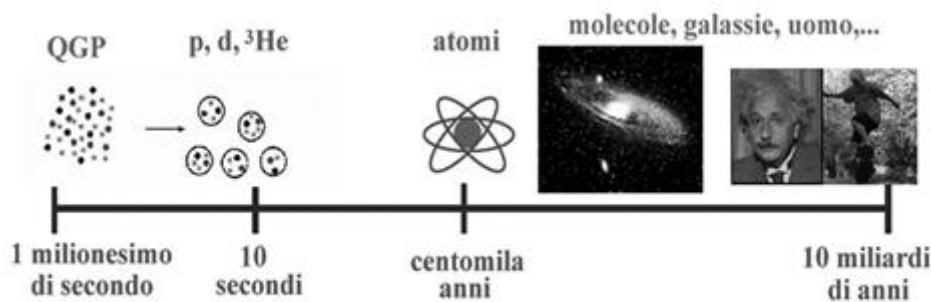
spray ci aiuta a proseguire il discorso. Abbiamo detto più sopra che la materia nell'uovo primordiale doveva avere una temperatura altissima, enormemente superiore alla

¹ Precisamente da 10-43 secondi dall'inizio del tempo, cioè un centomillesimo di miliardesimo di miliardesimo di miliardesimo di miliardesimo di secondo, un tempo così piccolo che non si riesce neanche a immaginare. A questo tempo la temperatura è scesa a 1032 K (centomila miliardi di miliardi di miliardi di gradi) mentre il raggio dell'universo è ancora sconosciuto. L'espansione è velocissima; e dire velocissima è quasi un eufemismo, tanto che a un tempo di 10-35 secondi la temperatura è scesa di 10000 volte a 1028 K, mentre il raggio dell'universo è arrivato a 10⁻²⁶ m, ma a 10-32 secondi, il raggio dell'universo è arrivato già a 10 m e dopo solo 100 secondi il raggio dell'universo è arrivato a 10¹⁵ Km, cioè un milione di miliardi di Km. Questa successione di numeri quasi incomprensibili nella loro straordinaria dimensione vogliono solo far presente quanto è stata veloce l'espansione.

Naviglio Piccolo

temperatura interna del sole e delle stelle più calde. Però nell'espansione, proprio come succede al gas di una bomboletta spray, si deve raffreddare. Man mano che la temperatura diminuiva si sono create innanzitutto le condizioni perché si formassero (sempre in relazione $E=mc^2$) le prime particelle elementari dotate di massa: quark ed elettroni di materia e di antimateria (cioè un gas di particelle elementari, QGP nella figura). Per quanto ne sappiamo, la materia e l'antimateria avrebbero dovuto svilupparsi in pari quantità. Il nostro universo appare invece composto sostanzialmente da materia, piuttosto che da antimateria. Per l'esattezza, e secondo consolidate evidenze sperimentali, l'antimateria sarebbe presente con un fattore di un decimo di miliardesimo sulla densità della materia totale che costituisce l'universo: una quantità davvero insignificante.

Allora, dove è finita tutta questa antimateria? Ma soprattutto: è mai esistita una pari quantità di materia e antimateria? Questa è una domanda che per il momento ha ancora poche risposte; oggi i fisici si stanno chiedendo perché l'universo ad un certo punto abbia scelto l'asimmetria, e quali siano i meccanismi di base che hanno portato a tale asimmetria. Ci sono molte teorie al proposito, o che esistano regioni di universo separate per la materia e l'antimateria, o che materia e antimateria siano soggette a repulsione gravitazionale e quindi sia impedita l'annichilazione. Nessuna teoria però al momento risulta soddisfacente. Proseguendo il raffreddamento hanno cominciato a formarsi protoni e neutroni successivamente atomi di elementi leggeri e le molecole che conosciamo, e via via le stelle e le galassie.



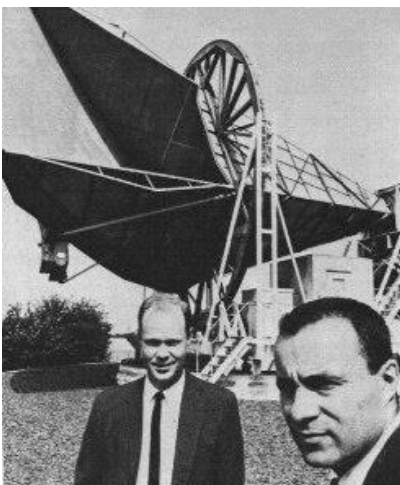
Storia dell'universo

Ci sono ulteriori evidenze sperimentali che supportano la teoria

1. la radiazione di fondo a microonde
2. abbondanza relativa di elio nella materia dell'universo (25% elio contro 75% Idrogeno).

Vediamole un po' in dettaglio.

Mentre continuava ancora l'espansione continuava il raffreddamento. Si è calcolato che la temperatura a cui avrebbe dovuto essere arrivato oggi l'universo, dal nome evocativo di radiazione "fossile", avrebbe dovuto essere molto molto bassa, precisamente 2,7 gradi sopra la zero assoluto, (ovvero -270,45°C, nei più comuni gradi Celsius). Qui interviene una delle casualità che portano sulla strada giusta senza che lo si voglia. Verso la metà degli anni '60, negli Stati Uniti due ingegneri della Bell, una compagnia telefonica statunitense, Arno Penzias e Robert Wilson, erano alle prese con una nuova antenna per telecomunicazioni con un satellite. Le cose sono andate così. Penzias e Wilson erano freschi di studi - fisica e astronomia - ma, invece di continuare a fare ricerca



Naviglio Piccolo

all'università, accettarono un'offerta di lavoro dei laboratori Bell. Una mossa che si sarebbe rivelata indovinatissima: entrambi erano interessati alla radioastronomia, ma alla Bell il compito era più banale, calibrare un'antenna per telecomunicazioni allo scopo di eliminare i segnali di disturbo che impedivano una buona ricezione col satellite. In particolare c'era un rumore sulle lunghezze d'onda centimetriche (qualcosa tipo il fruscio che si sente alla radio tra un canale e l'altro) che non si riusciva ad eliminare. Appena iniziate le misurazioni cominciarono i problemi. Le misure erano costantemente disturbate da un fastidioso rumore, un rumore così debole che nessuno gli aveva mai dato peso, infatti l'ingegnere che aveva collaudato l'antenna, ne aveva preso nota, ma lo aveva ignorato, considerandolo un normale disturbo elettronico. A loro invece, freschi di studi, non parve un dettaglio trascurabile. Non avrebbero potuto effettuare le misure con la precisione necessaria. Quel rumore non avrebbe dovuto esserci, quindi andava rimosso. Punto. Cominciarono a controllare l'interno dell'antenna, che aveva la forma di un gigantesco orecchio. Le pensarono tutte.

"Dunque, vediamo. Abbiamo smontato e rimontato l'accrocchio?".

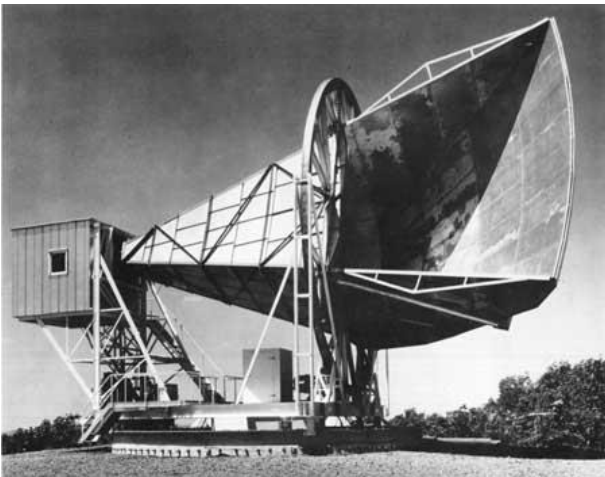
"Due volte, tutto uguale".

"Cavi e giunzioni, saldature? Controllate?".

"Tutto a posto".

"Forse stiamo ricevendo segnali da New York".

"Abbiamo puntato l'antenna in ogni direzione, non cambia niente".



"Gli ufo?".

"Piantala".

"Scherzavo. Aspetta: i piccioni".

"I piccioni cosa?".

"C'era un nido di piccioni nell'antenna".

"Ehm, c'era".

"Come c'era? Non li avrai mica...?"

I piccioni furono catturati e inviati alla Bell poi rilasciati, dopo alcuni giorni ritornarono, furono catturati di nuovo e scoraggiati con metodi più convincenti. Ma i piccioni avevano lasciato nell'antenna quello che Penzias chiama con delicatezza "materiale dielettrico bianco" e questo materiale a temperatura ambiente può effettivamente essere sorgente di rumore elettrico. L'antenna fu smontata e accuratamente pulita. Ma malgrado tutti gli sforzi il rumore osservato si ridusse di molto poco. A questo punto si era ormai sparsa la voce che ai laboratori Bell c'erano due tizi intenti a combattere con un'antenna rumorosa e a giocare al tiro al piccione. Però, lo avrete capito, i poveri piccioni non c'entravano niente. Qui entra in

Naviglio Piccolo

scena un nuovo pizzico di fortuna. Un tale diede la dritta giusta, informando i due ricercatori che gli astrofisici dell'università di Princeton, in particolar modo Peebles e Dicke, erano alle prese con certi calcoli che riguardavano delle previsioni di temperatura della teoria del Big Bang e stavano pensando a costruire antenne per ottenere prove sperimentali delle loro ipotesi. La teoria del Big Bang già a quel tempo era una delle due teorie più in voga per spiegare l'origine dell'universo e l'espansione osservata un trentennio prima da Hubble. Tuttavia la teoria del Big Bang languiva proprio perché non c'erano delle conferme sperimentali che la supportassero. La fisica nucleare aveva fornito ai promotori del Big Bang il bagaglio teorico che stava alla base di quest'idea, tuttavia le prove erano ancora là da arrivare. Senza entrare troppo nei dettagli del Big Bang, una teoria tra le più note in cosmologia, oltre alla formazione degli elementi leggeri ai primordi dell'universo (idrogeno, elio e frazioni di deuterio e litio), prevedeva che con l'espansione dell'universo la materia e la radiazione dopo un certo tempo non fossero più intimamente connesse. In astrofisica questa situazione viene definita come "disaccoppiamento tra materia e radiazione". In pratica fino a che la materia e la radiazione erano indistinguibili l'una dall'altra si manteneva un equilibrio termodinamico nel fluido in espansione che era l'universo primordiale. Quando tale equilibrio si spezzava la storia dell'universo subiva un brusco cambiamento: la materia e la radiazione, disaccoppiate l'una dall'altra, seguivano ognuna una strada diversa. L'energia sotto forma di materia si sarebbe aggregata in stelle, galassie, nebulose e tutti gli altri oggetti che compongono l'universo, mentre l'energia sotto forma di radiazione si sarebbe via via raffreddata fino a raggiungere ai giorni nostri una temperatura uniforme in tutto l'universo di circa 2,7K (-270,45°C). Tale temperatura bassissima si riscontra come una radiazione di fondo nell'universo corrispondente alle microonde. Mentre a Princeton i fisici elaboravano questi calcoli, lì vicino un'antenna radio (piccioni permettendo), stava proprio captando una radiazione esattamente della lunghezza d'onda prevista dalla teoria del Big Bang e isotropa, (cioè indipendente fino a una parte su 100000 dalla direzione verso cui era orientata l'antenna). Casualmente la prima vera prova del Big Bang era stata scoperta. Penzias e Wilson nel 1978 riceveranno il premio Nobel per la fisica per questa scoperta.

Per quanto riguarda il punto 2 (abbondanza relativa di elio) dobbiamo ricordare che l'uovo primordiale, per dirla con Lemaitre, fino a dopo un milionesimo di secondo (10^{-6} secondi) era costituito da un gas di quark ed elettroni perché atomi e molecole non potevano aggregarsi alle alte temperature che avrebbero dovuto esserci. Si sarebbero formati nel tempo durante il raffreddamento seguente all'espansione. Ora il punto è che la velocità dell'espansione e del conseguente raffreddamento ha consentito nei primi 3 minuti che si verificassero le condizioni di densità e temperatura perché si innescassero le reazioni di fusione nucleare. Proprio come un gigantesco nucleo stellare l'universo è sottoposto a reazioni di fusione di protoni, che altro non sono che nuclei di idrogeno, per produrre elio. In un tempo molto breve dell'ordine di 3 minuti la composizione dell'universo cambiò drasticamente. Il mare di protoni venne trasformato grazie all'interazione con fotoni e neutroni in una miscela composta per il 25% da nuclei di elio e tracce di altri elementi. La durata di questa fase, che si concluse dopo 3 minuti, quando le condizioni di temperatura e densità erano diventate insufficienti a mantenere le reazioni di fusione (10 milioni di gradi) fu sufficiente solo a formare elio e solo poche tracce di deuterio e litio, ma non di elementi pesanti. Questo fatto è di fondamentale importanza. Se le condizioni fossero durate anche solo 10 minuti l'universo si sarebbe riempito di elementi pesanti, quasi tutto l'idrogeno si sarebbe esaurito e la stessa nascita delle stelle, delle galassie, e la vita stessa sarebbe stata impossibile. La nucleosintesi primordiale è un grande successo della teoria del Big Bang. Nessuna altra teoria è in grado di spiegare perché l'universo è costituito dal 75% di idrogeno e del 25% di elio. Oggi sappiamo che l'ambiente in cui si forma l'elio è l'interno delle stelle, ma neppure tutte le stelle dell'universo sono in grado nel corso di 14 miliardi di

Naviglio Piccolo

anni di produrre la percentuale osservata del 25% di elio. È interessante osservare un'altra coincidenza che ha portato l'evoluzione dell'universo a essere quello che è oggi: il valore della forza di gravità. Se la gravità fosse stata più piccola di quello che è oggi, si sarebbe disperso tutto ancora prima di formarsi, viceversa se fosse stata più grande si sarebbe ricompreso tutto nell'uovo primordiale, come diceva Lemaitre. In ogni caso l'universo così com'è oggi non sarebbe esistito. Facciamo il punto sulla Teoria del Big Bang

- Non esiste un centro dell'espansione, ogni punto è equivalente
- E' lo spazio fra le galassie ad espandersi (la nostra galassia, il nostro sistema solare, la nostra casa non si stanno espandendo)
- Non esiste un "bordo" dell'universo. L'espansione non avviene "dentro" qualcos'altro
- L'universo, nonostante si stia espandendo, potrebbe comunque essere infinito
- Anche se l'universo fosse infinito, potremmo vederne solo una parte: quella percorsa dalla luce in 13,7 miliardi di anni

Però il modello del Big Bang ha alcuni limiti, perché non riesce a spiegare bene seguenti punti:

perché l'universo è così uniforme a grande scala?

Alcune regioni in direzioni opposte del cielo sono così lontane che non avrebbero mai potuto entrare in contatto, perché il tempo in cui la luce percorre la loro distanza supera l'età dell'universo. Ma se la temperatura della radiazione di fondo è uniforme significa che c'era equilibrio termodinamico e quindi queste regioni ora al di fuori del rispettivo orizzonte cosmologico dovevano essere state in contatto in passato.

perché l'Universo non è uniforme su piccola scala?

La teoria del Big Bang presume che materia e radiazione siano distribuiti **uniformemente**, ma la gravità da sola non è in grado di produrre le aggregazioni di materia che noi vediamo. E allora, come si sono formate le stelle e le galassie?

la geometria piatta è un improbabile caso fortunato?

Il satellite WMAP ha determinato che la geometria del cosmo è pressoché piatta, ma per la teoria del Big Bang questa sarebbe un'incredibile coincidenza.

Teoria dell'inflazione

Abbiamo visto che quando qualcosa non torna, o si abbandona la teoria cercandone una migliore, oppure si cercano gli aggiustamenti necessari per fare quadrare i conti. In soccorso della teoria del Big Bang l'aiuto decisivo venne dalla **teoria dell'inflazione**, sviluppata per la prima volta nel 1980 da Alan Guth, Andrei Linde, Paul Steinhardt e Andy Albrecht. L'inflazione è un periodo di espansione accelerata dell'Universo nei suoi primi istanti, e si pensa che l'agente propulsore dell'espansione potrebbe essere una sorta di proprietà del vuoto. I cosmologi pensano che la teoria dell'inflazione possa spiegare la grande uniformità del nostro universo e l'origine delle strutture, risolvendo nel modo più semplice i problemi insoluti del Big Bang:

problema dell'uniformità a grande scala

regioni ora lontane erano molto più vicine prima dell'inflazione, avrebbero potuto essere a contatto raggiungendo una temperatura uniforme prima dell'inflazione o durante l'inflazione stessa;

problema dell'origine delle strutture

Naviglio Piccolo

eventuali microscopiche fluttuazioni quantistiche verrebbero ampliate durante l'inflazione originando diverse distribuzioni nella densità di materia, e dopo centinaia di milioni di anni le regioni più dense avrebbero dato origine a stelle, galassie, e ammassi di galassie;

problema della geometria piatta

la rapidissima dilatazione avrebbe portato la curvatura dell'Universo ad un valore prossimo alla piattezza.

Teorie Alternative

Il Big Bang non è l'unica teoria sull'origine dell'universo. Esistono teorie alternative a volte basate su pezzi di verità e sui punti inspiegati del Big Bang che, sebbene non sia ancora in grado di spiegare tutto, è pur sempre la teoria più soddisfacente perché giustifica la maggior parte dei fenomeni che conosciamo.

La Teoria dello Stato Stazionario

Non tutti gli scienziati passano alla storia per una scoperta memorabile. A volte, qualcuno viene ricordato soprattutto per aver giocato il ruolo dell'antagonista, di quello che pensava che fosse tutto sbagliato. Nella scienza, chi critica fa parte del gioco; e ha diritto a una parte di gloria, anche se alla lunga la sua idea risulta sconfitta (e poi, sai che noia Sherlock Holmes senza un professor Moriarty).

È per questo che oggi, ogni volta che parliamo del Big Bang, salta fuori il nome dell'astronomo inglese Fred Hoyle, personaggio di grande spessore scientifico, ma anche scrittore di romanzi di fantascienza. Fu un bastian contrario per natura, ma prima di ogni cosa fu l'acerrimo rivale della teoria del Big Bang. Si racconta che l'idea alternativa detta dello Stato Stazionario, di cui Hoyle diventò l'indiscusso profeta, arrivò dopo che lui e due suoi colleghi (Hermann Bondi e Tommy Gold) erano stati in un cinemaccio di Cambridge a vedere un horror di serie B intitolato "Dead of the Night". Il film aveva una struttura circolare (molto prima di "Lost") per cui sembrava che tutto cambiasse, ma alla fine non cambiava niente (e volete spiegarlo a noi italiani?). Gold la buttò lì: "Vuoi vedere che l'universo è fatto in questo modo?" (Non è difficile immaginare che nella formula magica della serata comparissero anche un pub e della birra inglese). Così, nacque il modello dello "stato stazionario": l'universo si espande, è vero, ma ogni tanto spunta dal nulla un atomo qua, un atomo là, e tutto resta uguale a prima. Niente inizio, niente fine. Forse nella sua concezione dell'universo è stato guidato più dalla fantasia dello scrittore che dallo spirito scientifico. Secondo la sua teoria, detta dello Stato Stazionario, l'universo non solo è uniforme nello spazio, ma anche nel tempo; così come a grande scala, qualsiasi regione dell'universo somiglia a un'altra, così nel tempo in linea di massima, la struttura dell'universo è rimasta sempre inalterata. Un punto non dimostrato di questa teoria è che se l'universo si espande, la sua densità deve diminuire col passare del tempo. Bisogna introdurre l'ipotesi ad hoc che nuova materia nasca continuamente dal nulla per mantenere costante nel tempo la densità di materia dell'universo. Ma certamente, ad oggi, nell'ambito di questa teoria non si è riusciti neanche con l'introduzione di ipotesi ad hoc a spiegare l'abbondanza relativa di elio.

Il fatto è che, a Hoyle, un universo che aveva origine con un'esplosione non andava proprio giù. Una volta, durante una trasmissione radiofonica della BBC, pensò di ridicolizzare l'avversario: "Un botto, ma ve lo immaginate, dovremmo credere che tutto è cominciato con un 'grande botto', ah-ah, non siamo ridicoli." L'ufficio marketing della concorrenza si diede una manata sulla fronte: "Big bang! Ecco il nome che cercavamo! Suona benissimo,

Naviglio Piccolo

perché non ci abbiamo pensato prima? Correte a stampare le magliette!"

Se non si accetta l'ipotesi dell'universo in espansione, ma si vuole credere al fatto che le galassie si trovano fisse, alla stessa distanza, come si può spiegare lo spostamento verso il rosso della luce emessa dalle galassie? Si potrebbe ipotizzare che i fotoni perdano energia nell'attraversare lo spazio tra il punto di emissione e il punto in cui vengono rilevati. Cioè, "si stancherebbero" rallentando durante il loro viaggio nel cosmo. Anche se non c'è nessuna evidenza sperimentale di conferma di un simile fenomeno.

Anche Einstein era riluttante di fronte all'idea di un universo che avesse un'origine definita nel tempo. È interessante osservare che lo sviluppo coerente della sua Relatività Generale prevedeva che l'universo non poteva essere pensato statico, ma in contrazione o in espansione. Guidato più dal sentimento che dalla razionalità, Einstein introdusse nelle sue equazioni una così detta costante cosmologica il cui effetto era di rendere il suo universo stazionario, cioè né in espansione né in contrazione.

Anche le menti più creative e geniali a volte si lasciano condizionare dai pregiudizi.

Non possiamo concludere questa conversazione senza accennare a due questioni rilevanti per la struttura del nostro universo e che ne influenzeranno il destino: la materia oscura e l'energia oscura.

Materia Oscura

Attualmente l'universo sembra piuttosto piatto (euclideo), ma è difficile stabilirlo direttamente a causa della **Materia oscura**. La sua presenza è rilevabile solo attraverso gli effetti gravitazionali perché non emette né riflette luce. La sua esistenza è stata dedotta a seguito di numerose osservazioni:

-le velocità orbitali delle galassie, misurate dall'effetto Doppler (vedi fig.4), sono maggiori di quelle dovute alla legge di gravitazione universale se la massa presente fosse solo quella "visibile"

-si sono rilevati forti effetti di deviazione della luce da parte della materia (lente gravitazionale), possibili soltanto in presenza di massa molto superiore a quella della materia "visibile"

-anche nel caso di collisione di galassie si evidenzia l'effetto di una massa invisibile.

Si stima che la massa oscura ammonti al 23% di tutta la massa-energia dell'universo.

Energia Oscura

Costituisce una parte ancora più rilevante del cosmo. Considerando l'equivalenza di massa ed energia, l'universo è costituito per il 72% da energia oscura, per il 23% da materia oscura e solo per il 5% da materia ordinaria. Recentemente si è scoperto che l'espansione dell'universo, anziché rallentare per effetto dell'attrazione gravitazionale, sta accelerando. Questo ha portato alla riesumazione della "costante cosmologica" ipotizzata e poi ripudiata da Einstein: si tratterebbe di un'energia del vuoto che contrasta la forza gravitazionale e che è stata definita **Energia oscura**. È una parte rilevante dell'universo di cui ne costituisce il 72%.

Naviglio Piccolo

Destino dell'universo

Cosa succederà come destino ultimo dell'universo dipenderà dal rapporto tra le due forze in competizione: l'energia oscura e la gravità.

Se dovesse prevalere la gravità, a un certo punto l'espansione che, ricordiamo, attualmente sta ancora accelerando, l'universo ritornerebbe a comprimersi su sé stesso e quindi ricomincerebbe a crescere la temperatura finendo in un grande inferno catastrofico.

Se invece dovesse prevalere la forza contrastante, cioè l'energia oscura, l'universo continuerebbe ad espandersi e la temperatura a diminuire fino a enormi distese gelate.

Reminiscenze dei miti nordici? Quando a Nord e a Sud del nulla, si estendevano regioni di ghiaccio e di fuoco, Niflheim e Muspelheim!

Siti interessanti per approfondimenti sulle Cosmogonie

http://www.treccani.it/enciclopedia/cosmogonia_%28Enciclopedia-Italiana%29/,
sulle vite degli astronomi

<http://www.keplero.org/2013/02/niccolo-copernico-1473-1543.html>

<http://www.keplero.org/2009/11/vite-degli-astronomi-8-edwin-hubble.html>

<http://www.keplero.org/2009/12/vite-degli-astronomi-10-fred-hoyle-1915.html>

Naviglio Piccolo

Pierluigi Boschetti

Laureato in Fisica Teorica ... qualche anno fa (1969). Dopo un breve periodo di insegnamento e di ricerca all'Università, durante il quale ha pubblicato diversi articoli su giornali internazionali di Fisica, ha lavorato nell'informatica fino al 1994. Da piccolo aveva la passione della scultura; qualche anno dopo la laurea, in una giornata piovosa sul lago, per passare il tempo, ha ripreso l'antica passione e lasciata l'informatica si é dedicato nuovamente alla scultura e alla pittura, che ha poi praticato professionalmente. Da pensionato coltiva anche lo studio della musica suonando il flauto traverso e delle lingue antiche, greco ed ebraico biblico. Continua privatamente lo studio della matematica e della fisica.

Naviglio Piccolo

Cristina Fighetti

Mi presento: sono laureata in Fisica (qui a Milano, meglio non dire quando), ho insegnato matematica e fisica nei Licei Scientifici milanesi fino al 1999, sono socia dell'AIF (Associazione per l'Insegnamento della Fisica).

Sono profondamente convinta che una visione generale della Fisica moderna debba essere un patrimonio della conoscenza comune e non solo un argomento da addetti ai lavori, per il buon motivo che il nostro modo di vivere ne è totalmente condizionato, nel bene e nel male. L'informazione scientifica nel nostro Bel Paese è mediamente assopita sull'800, sia a livello scolastico sia a livello divulgativo.

Anche per questo, una volta in pensione, ho proposto un progetto di diffusione della cultura della fisica moderna nei Licei, che è stato recepito dalla cattedra di Storia della Fisica dell'Università di Milano.

Ho quindi collaborato con l'università per la realizzazione di appositi seminari multimediali per le scuole medie superiori e inferiori, che sono stati tenuti sia presso l'Università (con prestigiosa sede a Brera) che, a richiesta, presso le singole scuole.

Gli argomenti proposti (relatività speciale e generale, quantizzazione della materia e della radiazione, meccanica quantistica, grandi personaggi della Fisica moderna,...) venivano scelti da gruppi di studenti e/o docenti interessati e presentati con il supporto di animazioni computerizzate per agevolarne la comprensione attraverso l'uso delle immagini. Per un paio di anni è stato possibile perfino mostrare applicazioni sperimentali della teoria nello stesso contesto.

Da qualche anno collaboro allo svolgimento delle Olimpiadi Italiane della Fisica sia a livello regionale che nazionale, con corsi di supporto per gli studenti di Milano e hinterland e con partecipazione alla realizzazione delle prove.

Naviglio Piccolo

APPENDICE

Figura 1

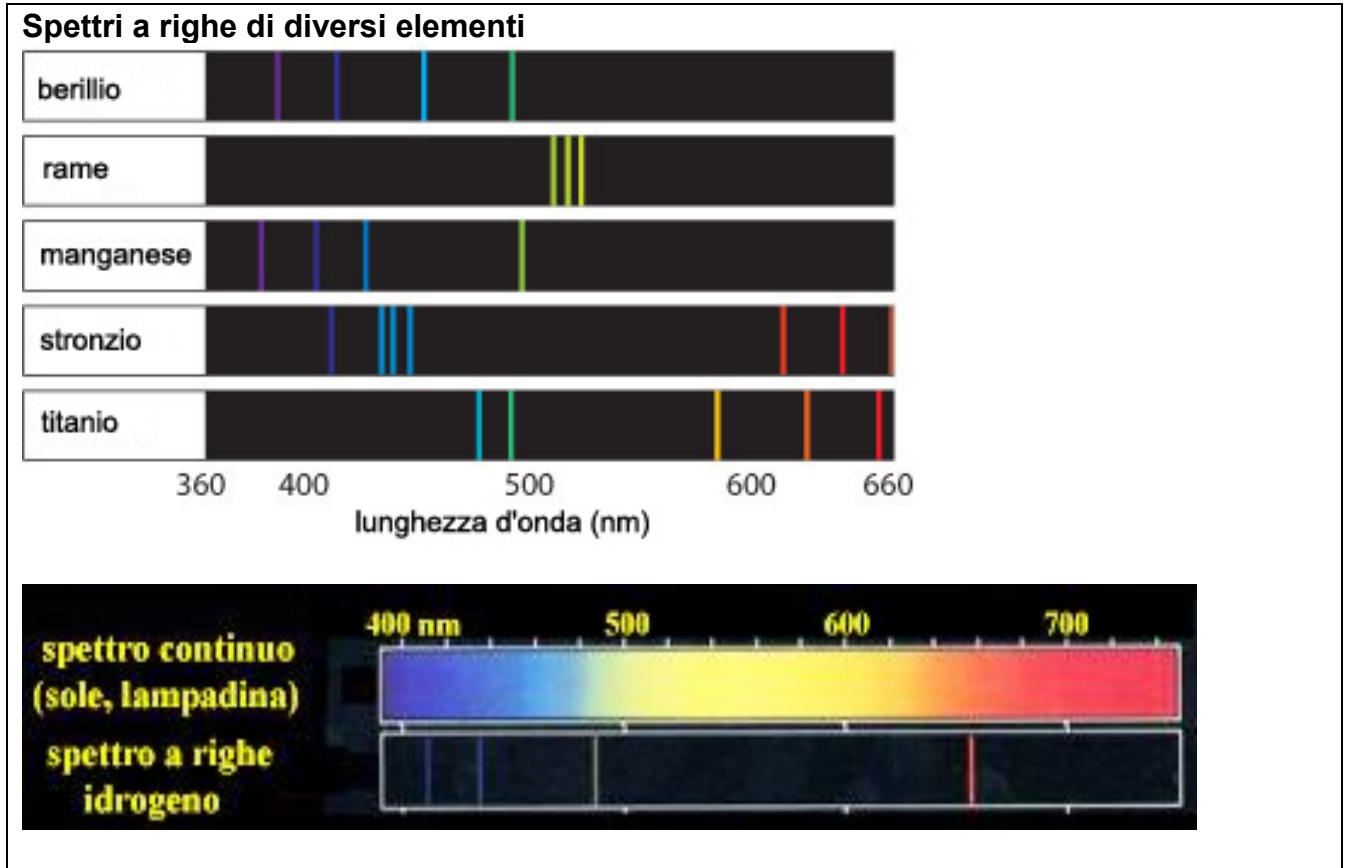
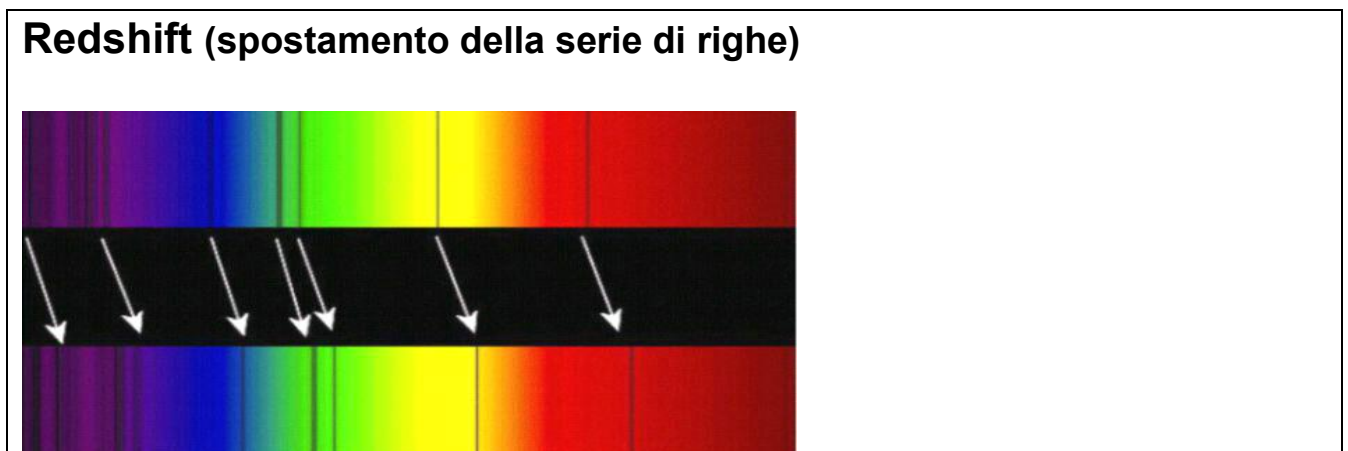


Figura 2



Naviglio Piccolo

Figura 3

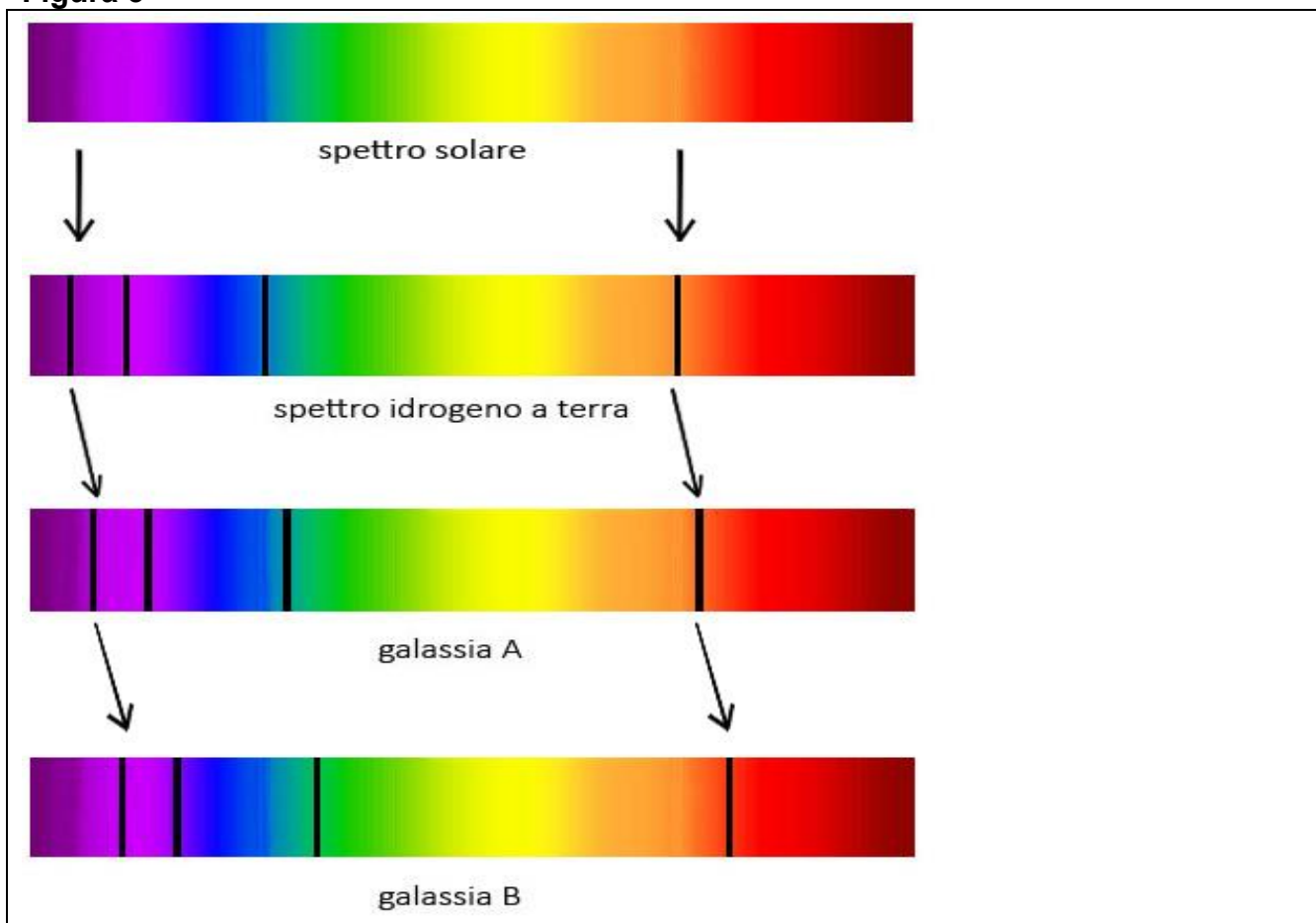
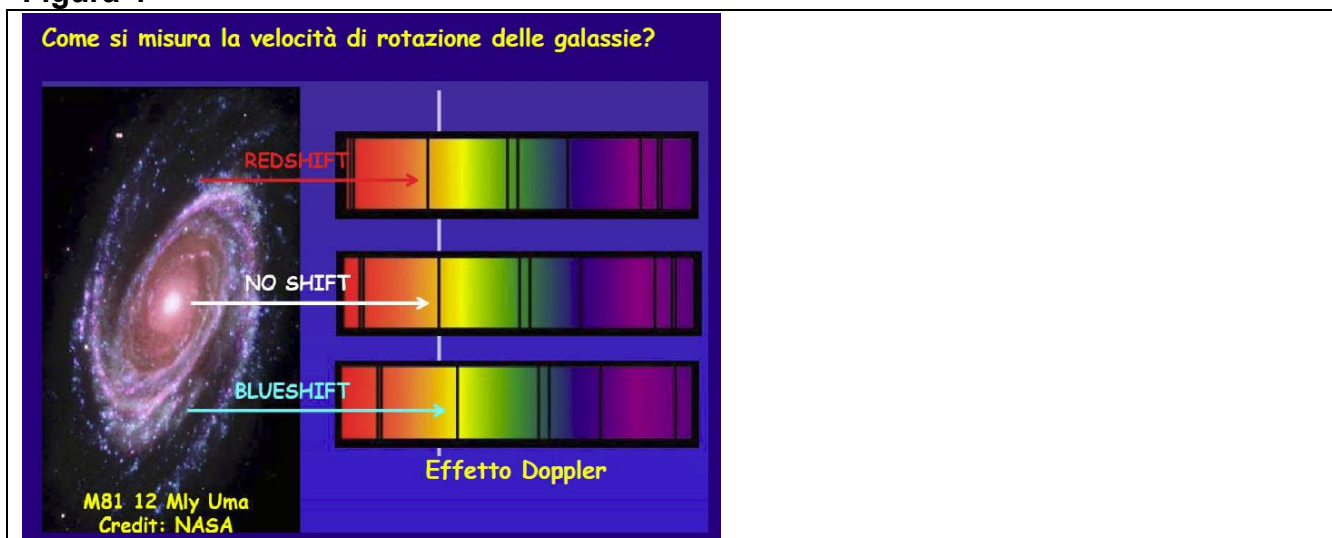


Figura 4



Naviglio Piccolo

Naviglio Piccolo - Viale Monza 140 (M1 Gorla - Turro)

Quote di partecipazione ad ogni incontro:

Normale	€ 2,00.
Soci di Naviglio Piccolo	€ 1,00.
Per chi si associa al momento	gratuita

Quota associativa a Naviglio Piccolo	€ 20,00
--------------------------------------	---------

Informazioni: www.navigliopiccolo.it email naviglio.piccolo@navigliopiccolo.it

Si ringrazia:



Cooperativa Sociale
CIRCOLO FAMILIARE DI UNITA' PROLETARIA
VIALE MONZA, 140 - TEL. 02 2574683 - 20127 MILANO