

Cosmologia Dinamica

La teoria della relatività generale spiega elegantemente la forza gravitazionale. Le equazioni di Einstein del campo gravitazionale tengono conto di tutti gli ingredienti per seguire puntualmente e globalmente la forma dello spazio-tempo. L'unica forza che agisce su grandi scale è quella gravitazionale e proprio per questo la teoria ha avuto subito applicazione all'astrofisica e in particolare alla cosmologia. Nel 1932 A. Friedmann risolse le equazioni di Einstein sulla base di precedenti scoperte osservative ad opera di E. Hubble (1920) che indicavano un Universo in espansione. Tutte le galassie mostravano una velocità di allontanamento senza centro comune, velocità che vennero attribuite non a moti propri ma ad un flusso comune che investiva qualunque cosa. Oggi sappiamo che gli oggetti seguono l'espansione dell'Universo, come i granelli di polvere sulla superficie di un pallone ne seguono l'espansione mentre lo gonfiamo. Friedmann ricavò delle equazioni dentro le quali parametrizza l'espansione con una quantità dipendente dal tempo e sempre crescente, il cosiddetto **parametro di espansione** ($a(t)$, t =tempo, mentre il tempo scorre il valore a aumenta e l'Universo si espande). All'epoca del Big-Bang esso era nullo ed ora possiede un certo valore.

Ad esempio la distanza tra due oggetti aumenta nel tempo a causa dell'espansione dell'Universo, di una quantità proporzionale al parametro menzionato sopra, non c'è un centro geometrico comune, come non avviene nella superficie del pallone. Dal punto di vista osservativo, quello che si riesce a misurare è il rapporto tra due parametri di espansione a due tempi diversi (a tempi uguali il rapporto non fornisce molta informazione). La misura del redshift è proprio una misura di questo rapporto, la semplice formula è $z = -1 + a(t_o)/a(t_e)$, dove t_o è l'istante presente, t_e è l'istante passato quando è avvenuta l'emissione della luce. Pertanto se misuriamo il redshift di una galassia lontana (il nostro presente interagisce col suo passato) misuriamo subito il rapporto tra il parametro di espansione attuale e quello all'epoca dell'emissione dei fotoni. Redshift 1 significa che il parametro di espansione attuale è esattamente il doppio di quello all'epoca dell'emissione dei fotoni della galassia che osserviamo (redshift zero rappresenta l'attuale epoca).

E' intuitivo capire che al parametro di espansione sono legate tutte quelle quantità che sono associate all'espansione dell'Universo. Dalla formula sopra ci si rende subito conto che se il parametro $a(t)$ è di fondamentale importanza in campo cosmologico, allora lo è anche il redshift, in quanto essi sono quasi la stessa cosa. Il redshift però è direttamente misurabile e lo possiamo ricavare dalle strutture che seguono inevitabilmente l'espansione dell'Universo, come le galassie, i quasar, ecc.

Se ci troviamo sulla superficie di un pallone che si gonfia, la misura del redshift dei granelli di polvere ci permette di misurare l'espansione del pallone a diverse epoche senza poter "vedere" la geometria pallone.

Il parametro di espansione cresce con il tempo, il redshift è legato al parametro di espansione, quindi il redshift è anche una coordinata temporale. Più si va ad alto redshift e più si sta osservando l'Universo "piccolo", ed essendo in espansione, piccolo significa giovane. Ad ogni redshift corrisponde un'età dell'Universo, quindi la misura di miliardi di redshift di galassie significa vedere com'erano esse nei diversi istanti di espansione e nel contempo sapere quali sono più vecchie o più giovani, ovvero è possibile studiarne l'evoluzione. Ad esempio si può vedere ad un dato redshift qual è la luminosità tipica intrinseca degli oggetti che esistono in quel passato e quindi estrarre informazione sulla massa, oppure al variare del redshift vedere come variano le proprietà di aggregazione delle strutture. Anche le abbondanze chimiche a diversi redshift rappresentano un test sulla formazione delle strutture e in particolare sulla storia della formazione stellare nell'Universo. Tutto ciò che vediamo ben formato nell'Universo locale è il risultato di episodi di formazione stellare più o meno violenti avvenuti nel passato. In un recente lavoro, abbiamo studiato galassie di redshift 3 (vecchie 2 miliardi di anni circa rispetto il Big-Bang) che indicano un tasso di formazione stellare oltre le 200 masse solari per anno (rispetto alle 10-20 della normalità), tali "mostri" potrebbero essere probabili progenitori di galassie ellittiche attuali o spirali con nucleo pronunciato.

Osservare l'Universo lontano significa osservare indietro nel tempo, un grosso vantaggio se vogliamo conoscere l'evoluzione passata, inoltre la luce di oggetti lontani, viaggiando anche miliardi di anni per giungere a noi, ci mostra al suo arrivo un cosmo "rosso", come si dice nel settore, *redshiftato*. Durante il viaggio del fotone, in ogni istante, l'espansione dell'Universo lascia il segno indebolendolo progressivamente fin che giunge a noi con una lunghezza d'onda maggiore di quella di partenza.

Una nuova strada?

Se è vero che l'Universo espande nel tempo, in base a quanto detto precedentemente, anche il parametro di espansione aumenta con il tempo, in quanto tutti i punti si stanno allontanando. Il parametro di espansione varia allo stesso modo a tempi diversi? In base alla corrente teoria cosmologica la risposta è no, esso pur aumentando può variare in modo accelerato o decelerato. Ad esempio quando l'Universo era dominato dalla materia l'espansione era decelerata, ora invece (come sembra emergere dallo studio delle supernove ad alto redshift) l'espansione risulta essere accelerata da una componente non ben identificata, ma che domina l'attuale Universo(...).

Pertanto se misuriamo il rapporto dei parametri di espansione in due tempi diversi, dovremmo osservare una variazione dovuta direttamente all'espansione dell'universo. In altre parole se misuriamo il redshift di un oggetto adesso e lo rimisuriamo tra un anno ci si aspetta che il valore sia diverso. In pratica la misura è una variazione di redshift nel tempo, ed essendo il redshift associabile ad una velocità, la misura *sarebbe* legata direttamente all'accelerazione dell'Universo. Misurando questo effetto per oggetti a redshift 1, 2, 3, 4, 5, ... si riesce a **osservare** direttamente l'andamento del parametro di espansione, da appena dopo il Big-Bang fino ai giorni nostri. Siccome le equazioni di Friedmann ne descrivono matematicamente l'andamento in funzione dei parametri fondamentali dell'Universo, come l'attuale costante di Hubble, il contenuto di materia barionica (visibile ed oscura), il contenuto di radiazione, il contenuto di energia quantistica del vuoto e il parametro di curvatura dell'Universo, una misura dell'effetto (in realtà ce ne vogliono almeno tante quante i parametri liberi) permetterebbe di ricavare senza ombra di dubbio le quantità citate sopra, che in ultima analisi rappresentano uno degli obiettivi fondamentali della cosmologia moderna. Ovviamente le misure dovrebbero avere degli errori sufficientemente piccoli da poter ottenere delle *chiare* stime. Ma qual è il valore che ci si aspetta di misurare?

Abbiamo ottenuto (in quattro modi diversi) un'espressione matematica che stima quantitativamente l'effetto in un ambito di cosmologia di Friedmann. Ebbene, assumendo gli attuali stimati parametri cosmologici, un oggetto a redshift 5 varierebbe il suo valore tra un anno (a causa dell'espansione dell'Universo) di un decimo di miliardesimo. In termini di lunghezza d'onda, le sue righe spettrali si sposterebbero di 10^{-11} micron (meno di un diametro atomico). Sembrano valori irraggiungibili, ed infatti per poco è così, solo un fattore 10 ci separa dalla possibilità di misurare del *segnale cosmico*. Se la variazione stimata fosse stata di 10^{-10} micron, chi di dovere ci avrebbe appoggiato nell'avventura di osservare in "diretta" l'espansione dell'Universo (l'appuntamento è solo rimandato).

Anche se per ora la misura dell'effetto sembra fuori dalla portata tecnologica, potrebbe non esserlo se la teoria attuale non fosse corretta. Appena due anni fa il pensiero comune era che l'Universo non stesse accelerando, mentre ora sembra il contrario. Se fosse vera la visione precedente, l'effetto sarebbe leggermente più marcato.

Dall'espressione matematica che abbiamo ottenuto risulta un curioso andamento per la variazione del redshift: ora la variazione è nulla, man mano che andiamo indietro nel tempo essa ha un massimo positivo, poi decresce annullandosi di nuovo a redshift 2.08 circa e poi continua a decrescere indefinitamente assumendo valori solo negativi (ciò accade assumendo gli attuali valori dei parametri cosmologici). In pratica, questo significa che se misuriamo il redshift di un oggetto a redshift inferiore a 2.08 tra un anno il valore sarà aumentato, mentre se ripetiamo l'operazione per un oggetto a redshift maggiore di 2.08 misureremo tra un anno un valore diminuito! Qual è l'interpretazione fisica di questo strano effetto a molla rispetto il punto a 2.08? La risposta è ?.

Normalmente verrebbe da pensare che se l'universo si espande e i suoi componenti si allontanano allora il redshift legato alle distanze dovrebbe aumentare (così pensa la maggior parte degli astronomi), invece si ottiene in certe situazioni il contrario. L'Universo si contrae? No. Abbiamo verificato che il risultato dell'espressione ricavata da un modello in espansione è coerente con la teoria stessa, ovvero diminuzione di redshift significa ancora espansione, ma in un contesto spazio temporale può esserci avvicinamento, nel senso che spazialmente l'oggetto si allontana, invece temporalmente si avvicina. Questo risultato è il meglio che la teoria cosmologica offre, ora sarebbe bello convalidarlo o confutarlo con le osservazioni.

L'approccio a questo effetto è molto recente, ma sono sicuro giocherà un ruolo di primo piano nella cosmologia dell'immediato futuro.