

Esplorazione dell'universo: le nuove frontiere Approfondimento a cura di Francesco Bertola

MATERIA OSCURA ED ENERGIA OSCURA

Materia oscura ed energia oscura sono due componenti fondamentali dell'universo. La prima è entrata nel contesto cosmologico da alcune decine di anni in seguito a tutta una serie di osservazioni astronomiche che ne indicavano l'esistenza, della seconda se ne parla solo da qualche anno ma il suo ruolo risulta essere determinante nell'economia cosmica. La materia oscura è una entità invisibile, la cui presenza viene dedotta dagli effetti gravitazionali che essa induce su oggetti che emettono luce e che pertanto possono essere osservati con i telescopi. Nel passato si sono presentati casi di "materia oscura" che, però, nel volgere di pochi anni si sono risolti con l'individuazione della massa responsabile. Per la materia oscura di cui si parla oggi non esiste la controparte visibile. Nel 1844 l'astronomo tedesco Friedrich Wilhelm Bessel avanzò l'ipotesi che la **stella** Sirio, la quale nel corso degli anni mostrava delle oscillazioni nella sua posizione in cielo, fosse influenzata gravitazionalmente da un compagno invisibile, orbitante intorno ad essa. Si trattava di una forma di "materia oscura" che rimase tale solo per diciotto anni, fino a quando l'astronomo americano Alvan Clark, non scoprì che l'oggetto orbitante intorno a Sirio era una stella di ottava grandezza difficile da rivelare dato che Sirio è diecimila volte più brillante. Un altro esempio di una massa la cui evidenza è stata in un primo tempo indiretta è quella del pianeta Nettuno scoperto nel 1846 studiando le perturbazioni che esso esercitava sull'orbita di Urano. Anche la presenza di **buchi neri**, e in questo caso si tratta di oggetti invisibili per definizione, risultanti dal collasso di stelle massicce è modernamente dedotta dallo studio della stella compagna visibile. La prima evidenza di materia oscura nell'accezione moderna di questo termine si ha nel 1931 quando l'astronomo olandese Jan H. Oort studiando le oscillazioni delle stelle perpendicolarmente al piano equatoriale della nostra **galassia** si accorse che per produrle era necessaria una forza gravitazionale ben superiore a quella che potevano fornire le stelle visibili. Due anni dopo l'astronomo svizzero Fritz Zwicky trovò una analoga discrepanza su una scala molto superiore, quella corrispondente agli ammassi di galassie, conglomerati formati anche da più di mille sistemi stellari. Zwicky misurò le velocità radiali delle singole galassie e quindi il loro grado di agitazione in seno all'ammasso. Di nuovo questi moti di agitazione erano così grandi che bisognava concludere che per tenere insieme l'ammasso in modo tale non si disgregasse era necessaria una massa da dieci a cento volte più grande di quella fornita dalla parte luminosa delle singole galassie. In altri termini se si sommava la massa associata alla luce delle singole galassie costituenti l'ammasso si otteneva un valore di gran lunga inferiore a quello della massa dell'ammasso determinata globalmente. Questa massa oscura fu per lungo tempo chiamata anche "massa mancante", traduzione dall'inglese di "missing mass" che sarebbe stato più opportuno rendere con l'espressione "massa latente" in quanto non veniva messa in dubbio la sua presenza, ma si constatava la sua invisibilità. Gli anni '70 segnano una svolta nello studio della materia oscura, determinata dalla scoperta che le galassie, i costituenti fondamentali dell'universo visibile, sono contenute all'interno di un immenso alone massiccio di materia invisibile che si estende fino a parecchie volte il raggio della parte luminosa della galassia. Cioché la massa associata alla parte visibile della galassia risulta essere una piccola frazione della massa dell'intero sistema. La scoperta fu fatta studiando come varia la velocità di rotazione delle galassie in funzione della distanza dal nucleo centrale. Ci si aspettava che nelle zone esterne dove non si vede più la luce della galassia, oltre al confine tracciato dalla struttura a spirale, ma dove è possibile ancora misurare la rotazione mediante l'osservazione di nubi sparse di idrogeno, la velocità decrescesse verso l'esterno, un po' come succede con i pianeti del sistema solare che sono caratterizzati da una velocità di rotazione intorno al sole che decresce man mano che aumenta

la loro distanza, seguendo la **terza legge di Keplero**. Invece la velocità di rotazione delle regioni esterne si manteneva elevata indicando una presenza di massa gravitazionale, laddove il contributo luminoso era del tutto trascurabile o addirittura nullo. Lo studio sistematico delle curve di rotazione delle galassie iniziato negli ultimi decenni del secolo scorso, ha fornito la prima, solida e incontrovertibile prova dell'esistenza della materia oscura. Essa fu messa inoltre in evidenza anche su scale molto più grandi di una singola galassia, come nelle galassie doppie, multiple, negli ammassi di galassie e nei super ammassi. Nel volgere di pochi anni si arrivò alla conclusione che ben il 95% della massa dell'universo era senza una controparte visibile. Un altro risultato sorprendente si ebbe quando si indagò sulla natura di questa massa oscura. Considerazione sulla **nucleosintesi** dei primi istanti di vita dell'universo e la misura del rapporto tra l'abbondanza dell'idrogeno e quella del suo **isotopo** deuterio permettono di ricavare quale sia il valor medio della densità della **materia** barionica nell'universo, dove con questo termine si indica la materia ordinaria, quella che sperimentiamo normalmente, fatta di protoni e neutroni, che costituisce il nostro corpo, i pianeti, le stelle, la parte visibile delle galassie. Ebbene, la quantità di materia ordinaria nell'universo risulta essere bassissima; ben il 90% della materia è di natura non barionica. La materia barionica è composta da quella luminosa e da una componente oscura, costituita da stelle che hanno finito la loro esistenza e che quindi non emettono più luce, da nane brune, stelle che non sono riuscite a innescare le reazioni termonucleari centrali a causa della bassa gravità, buchi neri normali e buchi neri supermassicci, risultato del collasso di masse pari a centinaia di milioni di volte quella del sole. Va qui ricordato che le nebulose oscure, costituite da granelli di polvere interstellare, che rendono molto affascinanti le immagini della Via Lattea, nulla hanno a che fare con quello che si intende per materia oscura. La materia oscura non barionica è ipotizzata in due varianti: la materia non barionica calda, e la materia non barionica fredda. La velocità delle particelle (i neutrini) nel primo caso è uguale o prossima a quella della luce, mentre le componenti della seconda sono sufficientemente massicce da muoversi a velocità sub-relativistiche. Il modello della materia oscura fredda è oggi molto accettato perché si presta molto bene a spiegare lo stabilirsi delle grandi strutture dell'universo e i processi di formazione delle galassie. Ma va anche ricordato che le particelle costituenti questa materia sono state solo ipotizzate e non ancora rivelate. A quanto detto va aggiunta una breve descrizione di quella che si pensava essere l'evoluzione dell'universo ancora una decina di anni fa. Ci si rifaceva ai modelli cosmologici di Friedmann enunciati ancora nel 1922 sulla base della teoria della relatività einsteiniana. Il Big Bang aveva dato origine al moto di espansione dell'universo, moto che risultava continuamente decelerato a causa dell'azione gravitazionale della massa in esso contenuta. A seconda che la densità di materia fosse maggiore o minore di un ben determinato valore detto "densità critica", l'universo si espandeva per sempre oppure era destinato al collasso finale. Nel primo caso la geometria era quella di un universo aperto, a curvatura negativa, nel secondo di tipo chiuso, la curvatura era positiva. Se la densità era uguale a quella critica l'universo era piatto, cioè in esso valeva la geometria euclidea. La **teoria dell'inflazione iniziale**, che negli anni '80 aveva brillantemente risolto alcuni problemi insiti in quella classica del **Big Bang**, richiedeva una densità pari a quella critica, per cui si incontravano delle difficoltà dato che la densità di materia misurata, compresa quella della materia oscura era insufficiente per arrivare al limite della chiusura dell'universo. Questa era la situazione della cosmologia alla fine degli anni novanta, una situazione che potremmo definire di crisi in quanto la materia oscura, la cui natura rimaneva completamente sconosciuta era anche insufficiente alle richieste del modello inflazionario. Inaspettatamente per la maggior parte degli astronomi, nel 1998, fu annunciata una scoperta destinata a costituire non solo una delle rivoluzioni più profonde nello sviluppo della cosmologia moderna, dalla sua nascita dei primi decenni del secolo ventesimo, ma anche della fisica fondamentale. La scoperta si basa sulla determinazione dell'espansione dell'universo fatta misurando la distanza di oggetti che possono definirsi "candele campione", ossia oggetti caratterizzati dalla medesima luminosità intrinseca.

Risulta evidente che in questo caso, nota la luminosità apparente e quella intrinseca e sapendo che l'intensità luminosa decresce in modo inversamente proporzionale al quadrato della distanza, quest'ultima risulta perfettamente determinata. Siccome era inoltre necessario guardare a grandi distanze, bisognava scegliere oggetti intrinsecamente molto brillanti. Questi potentissimi indicatori di distanza furono individuati nelle stelle **supernovae**, oggetti che alla fine della loro evoluzione esplodono diventando anche dieci miliardi di volte più brillanti del sole, con una luminosità di poco inferiore a quella della stessa galassia a cui appartengono. L'esplosione di una **supernova** in una galassia è un evento che può essere molto raro, si pensi che l'ultima apparsa nel nostro sistema risale al 1604 ed ebbe due osservatori di eccezione, Galileo e Keplero. Tuttavia osservando le galassie esterne si è arrivati oggi a scoprirne qualche centinaio all'anno e tra queste qualche decina è sufficientemente lontana per fornire informazioni su come l'universo si espande. Un ruolo essenziale nella individuazione di queste ultime è svolto dal telescopio spaziale Hubble. La scoperta del 1998 mise in evidenza che supernovae lontane apparivano più deboli di quello che ci si aspettava se la distanza fosse stata quella indicata dalla loro velocità di recessione, dovuta all'espansione dell'universo, nell'ipotesi che questa fosse di tipo decelerato come fino ad allora si pensava. Il fatto che fossero più deboli significava che la loro distanza era più grande e questo era compatibile solo se l'universo anziché essere frenato nel suo moto di espansione dall'azione gravitazionale della materia, fosse accelerato. Un fatto di enorme portata che non era mai stato seriamente considerato prima. Un'analisi più accurata, compiuta in questi ultimissimi anni, ha permesso inoltre di accertare l'andamento di questa accelerazione. Supernove ancora più lontane delle precedenti esplose 10 miliardi di anni fa, quando l'universo era ancora relativamente giovane, indicano invece un'espansione decelerata. Se ne conclude che il nostro universo, che riteniamo abbia un'età di circa 15 miliardi di anni, abbia trascorso i primi 10 miliardi in una fase di espansione con velocità decrescente, e che solo 5 miliardi di anni fa, si è iniziato quel moto per cui la sua velocità di espansione è in continuo aumento nel tempo. Improvvisamente ci si rese conto che l'universo non era semplicemente governato dall'attrazione gravitazionale esercitata dalla materia, ma anche da un'altra entità con proprietà opposte, cioè repulsive, capace di accelerare l'universo, che fu chiamata "energia oscura" sulla cui natura si fanno congetture ma che dallo stato attuale risulta sconosciuta. Lo studio dettagliato di come si allontanano le supernovae permetterà di approfondire le nostre conoscenze sul comportamento del universo. A questo scopo, il dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti e la NASA stanno mettendo a punto un progetto scientifico denominato JDEM (Joint Dark Energy Mission), costituito da un telescopio orbitante dotato di specchio di due metri di diametro particolarmente adatto per individuare le supernovae lontane. Il telescopio sarà lanciato all'inizio del prossimo decennio, quando l'Hubble Space Telescope avrà finito la sua missione. Un risultato astrofisico di notevole rilevanza che ci ha permesso di valutare il ruolo dell'energia oscura nell'universo è stato quello ottenuto da una équipe italo-americana guidata da Paolo De Bernardis dell'Università di Roma "La Sapienza". Con l'esperimento "BOOMERANG" (Balloon Observations Of Millimetric Extragalactic Radiation And Geophysics) è stata studiata la struttura della radiazione di fondo, che ci rivela lo stato dell'universo all'età di circa trecentomila anni, quando le grandi strutture e le singole galassie erano solo in stato embrionale. Questa ricerca, successivamente confermata da altre, ha permesso di stabilire che il nostro universo è piatto, cioè che la sua geometria è quella euclidea, come voleva anche la teoria dell'inflazione primordiale a cui si è accennato. Questo risultato ci permette di concludere che proprio l'energia oscura è la componente che cercavamo, che porta l'universo al limite della chiusura. Facendo i conti risulta quindi che il 73% del contenuto dell'universo è energia oscura, con le sue proprietà di repulsione, il 23% è costituito da materia oscura non barionica e solo il 4% è fatto di materia ordinaria, cioè barionica. Solo una frazione di quest'ultima è materia luminosa. Un risultato sconcertante, in cui assistiamo ad una applicazione estrema del principio copernicano: la materia di cui siamo fatti gioca un ruolo trascurabile nel bilancio cosmico. La

causa dell'energia oscura è stata cercata sia nella **teoria della relatività generale** che nella **meccanica quantistica**. La relatività permette di individuare forme di energia che producono una gravità repulsiva, già introdotta da Einstein quando volle far rimanere in equilibrio il suo primo **modello statico dell'universo**. Si parla anche in termini quantistici di energia del vuoto, che non va pensato come realmente vuoto, ma pieno di particelle virtuali e capaci di esercitare forze di repulsione. A questo punto ci si può chiedere: quale sarà il destino del cosmo nel nuovo scenario in cui l'energia oscura fa da padrona. Ovviamente tutto dipende dalla sua natura, ancora sconosciuta e da come la sua densità varierà col tempo. Se la densità dell'energia oscura diminuirà con il tempo si potrà arrivare ad una situazione in cui la materia ridiventa dominante con gli scenari già descritti. Se invece la densità è costante o addirittura aumenta, entro l'orizzonte cosmologico, definito come quella sfera di raggio pari all'età dell'universo moltiplicata per la velocità della luce, gli oggetti saranno sempre meno numerosi. In 100 miliardi di anni la nostra galassia sarà la sola entro l'orizzonte, tutte le altre saranno sparite dalla nostra visuale. Si è anche ipotizzato che il ruolo dell'energia oscura diventi così rilevante a causa della sua azione repulsiva da lacerare la materia anche nelle sue strutture più intime. Si avrebbe così a che fare con una distruttiva "energia fantasma" che in circa 20 miliardi di anni porterebbe l'universo alla sua fine, che viene chiamata Big Rip, cioè la grande disgregazione. Sessanta milioni di anni prima del Big Rip la nostra galassia sarà distrutta, 3 mesi prima anche il sistema solare si dissolverà, 30 minuti prima la terra esploderà e 10-19 secondi prima del Big Rip anche i nuclei atomici si disgregheranno completamente. Tutto questo può sembrare fantastico, speculazione spinta all'estremo e in un certo senso lo è. Ciò che importa tuttavia è che in futuro si possa essere in grado di fare delle scelte, quando la natura dell'energia oscura diventerà più comprensibile. E a questo traguardo si arriverà mediante l'accurata osservazione astronomica che costituirà sempre la solida base su cui si devono fondare anche le speculazioni più spinte.

BIBLIOGRAFIA Mario Livio, *The Accelerating Universe: Infinite Expansion, the Cosmological Constant, and the Beauty of the Cosmos*, John Wiley and Sons Inc. 2001 Wendy L. Freedman e Michael S. Turner, *Cosmology in the New Millennium*, Sky and Telescope, Ottobre 2003 Adam G. Riess e Michael S. Turner, *E l'universo accelerò*, Le Scienze, Marzo 2004 Autori Vari, *Origin and Fate of the Universe*, Astronomy Special Cosmology Issue, 2004

NB: i termini evidenziati in rosso sono esplicitati nel documento "Definizioni"