

Il lato oscuro dell'Universo

di Antonio Masiero e Massimo Pietroni

Segnali dall'oscurità

Se, avvicinandosi alla Terra di notte, un astronauta alieno pensasse che la superficie del nostro pianeta fosse tutta ricoperta dagli oceani tranne che nelle poche zone in cui si vedono le luci delle metropoli, commetterebbe un grave errore. Allo stesso modo, se noi pensassimo che l'Universo contenesse solo le cose che possiamo vedere, cioè le stelle, sbaglieremmo di grosso. Una quantità crescente di osservazioni astronomiche porta a concludere che la parte visibile del nostro Universo rappresenta solo una porzione minima del totale, quasi insignificante in termini di massa complessiva. La maggior parte della materia contenuta nel Cosmo non forma stelle o nubi di gas interstellare. Non emette e non assorbe luce, raggi X, raggi gamma o onde radio, che sono diverse forme di radiazione elettromagnetica tutte potenzialmente "visibili" dai nostri telescopi. Interagisce pochissimo con gli atomi della materia ordinaria ed è così esotica da non trovare posto sulla tavola periodica degli elementi. I fisici le hanno dato il nome di *materia oscura*. Ma se è così insolita ed evanescente come facciamo a sapere che questa materia oscura esiste, e che ce n'è così tanta?

La risposta sta nella massa e nella forza di gravità. Tutti i corpi dotati di massa, per quanto oscuri e silenziosi, risentono della forza di gravità dovuta ai corpi circostanti, e a loro volta esercitano una forza su tutti gli altri secondo leggi ben conosciute, scoperte da Galileo, Newton e Einstein. Così, studiando il moto dei corpi celesti, che è governato dalla forza di gravità, è possibile sapere quanta massa c'è nei dintorni di quei corpi. Per fare un esempio, se un giorno si scoprisse un sistema solare lontano, in cui un pianeta orbitasse attorno alla stella centrale alla stessa distanza che c'è tra il nostro Sole e la Terra ma a una velocità doppia, potremmo immediatamente concludere, in base a queste leggi, che quella stella è quattro volte più pesante del nostro Sole.

Un ragionamento di questo tipo fu usato dall'astronomo Fritz Zwicky nel 1933 per stimare la quantità totale di materia contenuta nell'ammasso della Chioma, un gruppo di più di mille galassie distante trecento milioni di anni luce dalla Terra. Zwicky notò che le galassie viaggiano a una velocità così elevata che l'ammasso si disgregherebbe rapidamente se l'unica massa in gioco fosse quella visibile, delle stelle che formano le galassie. Deve esserci invece moltissima materia in più, distribuita nello spazio apparentemente vuoto tra una galassia e l'altra, in grado di tenere insieme l'ammasso con la sua forza di gravità. Una materia che però non emette alcun tipo di radiazione elettromagnetica visibile con i più sofisticati telescopi.

Era nato il problema della "massa mancante", che oggi si preferisce chiamare materia oscura. Quaranta anni più tardi Vera Rubin, studiando la rotazione delle stelle e delle nubi di gas attorno alle galassie, mostrò che la materia oscura esiste non solo nello spazio intergalattico all'interno degli ammassi, ma che anche le stesse galassie, prese individualmente, sono composte in gran parte di materia oscura. Questo tipo di osservazioni sono state ripetute per un numero molto elevato

di galassie, tra cui la nostra Via Lattea, trovando sempre lo stesso risultato. Oggi pensiamo che ogni galassia come la nostra sia immersa in un alone di materia oscura di dimensioni molto maggiori della parte visibile della galassia stessa. Il Sole, la Terra e tutti gli altri pianeti, spostandosi nel cielo fendono questo alone, solo che non ce ne accorgiamo perché le particelle che lo compongono non interagiscono con la materia ordinaria in modo apprezzabile.

Una lente per la materia oscura

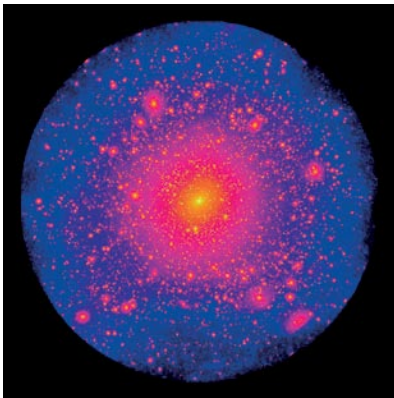
Oltre che dall'effetto sui moti di stelle e galassie, più recentemente la materia oscura è stata smascherata attraverso lo spettacolare fenomeno delle *lenti gravitazionali*.

Dato che i fotoni, le particelle che compongono la luce, portano un'energia, anch'essi risentono dell'attrazione gravitazionale dovuta alle altre forme di energia. Così, nelle vicinanze di concentrazioni di materia la luce non viaggia in linea retta ma curva, come in una lente. Il fenomeno non è nuovo ma fu osservato già nel 1919 da Sir Arthur Eddington, che riuscì a misurare la deflessione dei raggi di luce provenienti da stelle lontane a opera del Sole, fornendo così la prima prova della validità della teoria della gravitazione di Einstein.

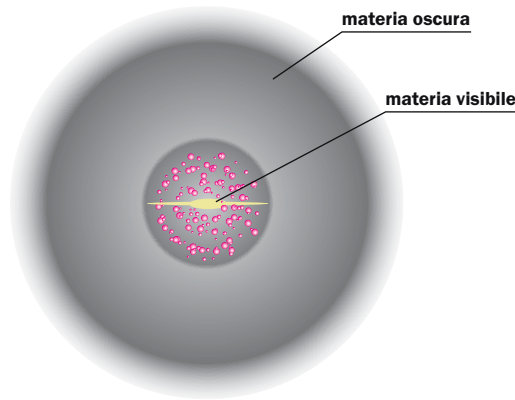
a. Simulazione di un alone di materia oscura.

b. Ogni galassia è circondata da un alone di materia oscura che si estende molto al di là della parte visibile, formata da una galassia (in giallo) e da "ammassi globulari" (in rosa), ossia densi raggruppamenti di stelle al di sopra e di sotto della galassia.

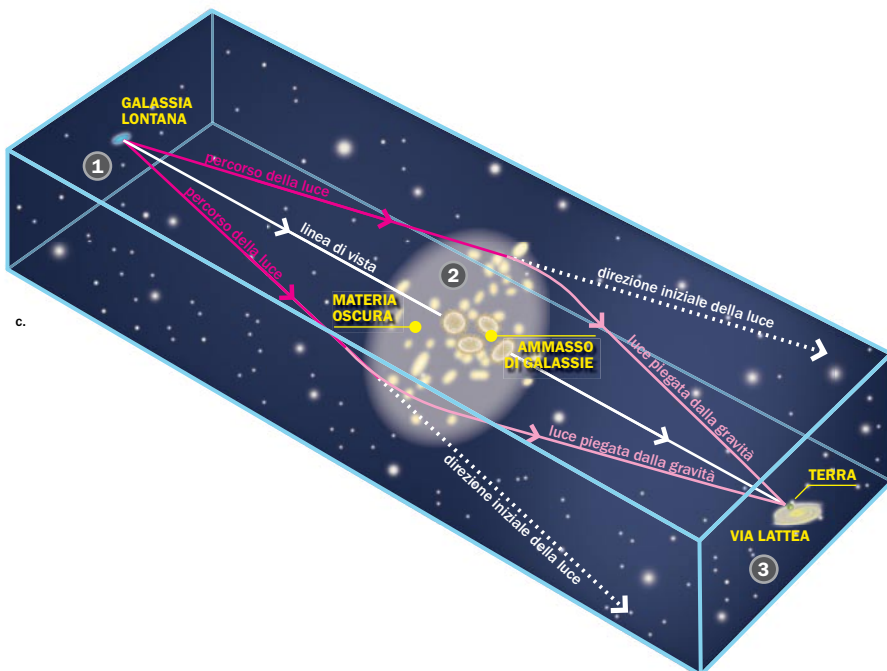
c. Il fenomeno della lente gravitazionale. La luce proveniente da una galassia lontana viene deviata dalla materia che incontra lungo il percorso. Come risultato, dalla Terra si vedono diverse immagini della stessa galassia.



a.



b.



c.

1. Una sorgente lontana. La luce viene emessa da una galassia lontana ai confini dell'universo visibile.

2. Una "lente" di materia oscura. Parte della luce attraversa un grande ammasso di galassie circondato da materia oscura posto fra la Terra e la galassia lontana. La gravità della materia oscura agisce come una lente, piegando le traiettorie della luce.

3. Punto focale: la Terra. Una parte della luce viene focalizzata e diretta verso la Terra, da cui si osservano più immagini distorte della stessa galassia lontana.



2.

[as] La tecnica delle lenti gravitazionali

1.



Le lenti gravitazionali possono essere usate per determinare la quantità totale di materia, sia visibile che oscura, presente all'interno di un ammasso di galassie. Nella figura 1 si vede un esempio chiarissimo di questo effetto, osservato col telescopio spaziale Hubble.

Le numerose "lunette" sono immagini multiple di galassie lontane che si trovano al di là dell'ammasso. Se l'unica materia dell'ammasso fosse quella visibile, contenuta nelle galassie e nelle nubi di gas intergalattico, l'attrazione gravitazionale risultante non sarebbe assolutamente sufficiente a provocare una simile distorsione delle immagini delle galassie nello sfondo. Ci vuole una gran quantità di materia supplementare, che però non si vede, per spiegare foto come queste.

Un altro esempio dell'uso della tecnica delle lenti gravitazionali per rivelare la presenza di materia oscura è fornito dall'ammasso di galassie in figura 2,

che per la sua forma particolare è stato chiamato *ammasso del proiettile (Bullet Cluster)*. Un ammasso di galassie è costituito da materia oscura e materia ordinaria, tipicamente nel rapporto di 5 a 1. A sua volta, la materia ordinaria è composta per il 90% da gas caldo, che possiamo vedere perché emette raggi X in grande quantità, mentre le stelle rappresentano il restante 10%.

In questo caso abbiamo a che fare in realtà con due ammassi distinti che si sono "scontrati" alla velocità di 16 milioni di chilometri all'ora, trapassandosi completamente e lasciandosi dietro nubi di gas caldissimo. La figura è stata ottenuta osservando i due ammassi sia con telescopi (tradizionali e a raggi X) sensibili alla sola materia ordinaria, sia attraverso la tecnica delle lenti gravitazionali, che, dalla distorsione delle immagini delle galassie nello sfondo, permette di individuare tutta la materia, ordinaria e oscura, contenuta nell'ammasso. Per agevolare la lettura della

foto, la regione che emette raggi X (il gas) è stata colorata artificialmente in rosso mentre quella in cui è presente la massa rilevata attraverso l'effetto lente è colorata in blu. Anche in questo caso, la massa contenuta nelle stelle non è assolutamente in grado di rendere conto dell'effetto lente osservato. Ma c'è di più. L'urto tra i due ammassi fornisce la rarissima opportunità di "vedere" la materia oscura separata da quella ordinaria. Infatti, si nota benissimo che la parte in rosso è più schiacciata nella regione della collisione rispetto a quella in blu. Questo può essere spiegato col fatto che nello scontro tra i due ammassi le rispettive nubi di gas caldo interagiscono tra loro e quindi si rallentano reciprocamente, mentre le nubi di materia oscura, non avendo interazioni se non quella gravitazionale, si attraversano senza influenzarsi apprezzabilmente. Una dimostrazione spettacolare della presenza di due componenti diverse, una ordinaria e l'altra oscura, all'interno degli ammassi!

Studiando gli ammassi di galassie con la tecnica delle lenti gravitazionali e con altre ancora, è possibile stimare quanta della massa complessiva sia presente sotto forma di materia oscura e quanta invece sia contenuta nel gas o nelle stelle. Il rapporto che si ottiene da questo tipo di analisi è grosso modo di cinque a uno, a favore della materia oscura.

La tecnica delle lenti gravitazionali è così promettente che si sta lavorando per applicarla non solo agli ammassi di galassie ma a porzioni sempre più estese di Universo, con l'obiettivo di ricostruire una mappa tridimensionale dell'intero Universo oscuro.

Dalla crema primordiale alle galassie

Se la materia oscura è così abbondante, senza dubbio deve aver giocato un ruolo decisivo anche in epoche remote, quelle che dall'Universo caldo e denso seguito al Big Bang hanno portato fino alla formazione delle galassie e delle strutture più complesse, come gli ammassi e i super-ammassi.

Facciamo un salto indietro di tredici miliardi di anni, impresa resa possibile dai dati sulla *radiazione cosmologica di fondo* o CMB (acronimo tratto dall'inglese *Cosmic Microwave Background*), che fornisce la "fotografia" più antica dell'Universo.

Si tratta di una mappa della volta celeste, ottenuta dal satellite Wmap (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*), in cui sono

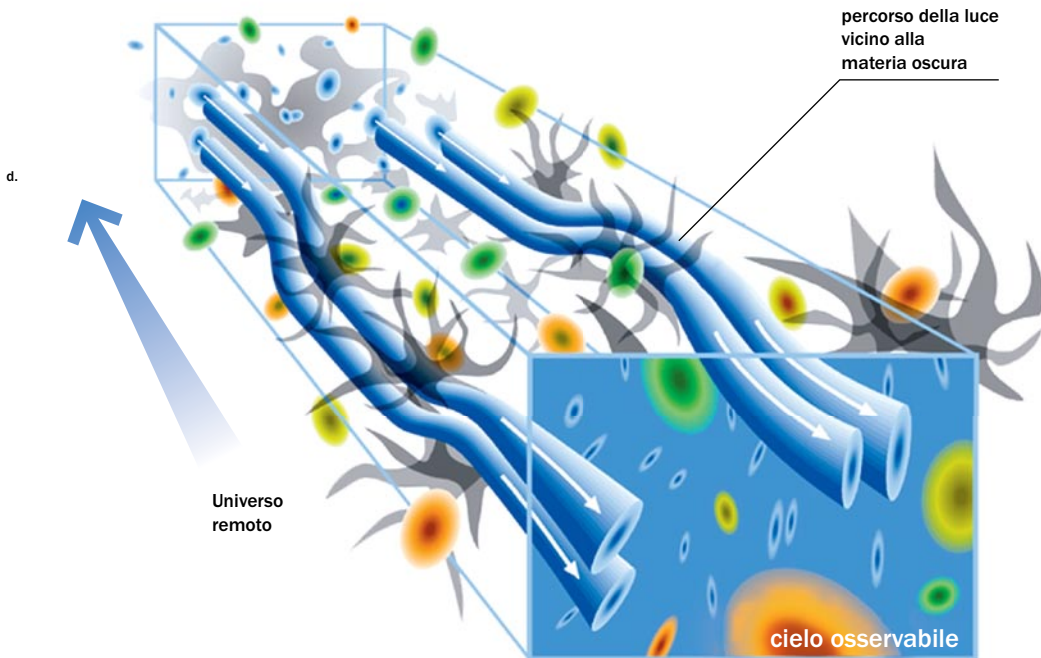
indicate le temperature delle varie zone del cielo, misurate usando i fotoni della radiazione di fondo che raggiungono la Terra da tutte le direzioni.

Questi fotoni sono stati emessi quando l'Universo aveva circa 380.000 anni ed era mille volte più caldo di oggi. In seguito hanno viaggiato fino a noi praticamente indisturbati, semplicemente raffreddandosi a causa dell'espansione dell'Universo, ma conservando l'informazione sulla struttura del Cosmo a quella data. I diversi colori corrispondono a temperature leggermente più alte o più basse del valore medio di 2,73 gradi kelvin, la temperatura attuale media dell'Universo. La differenza fra la tonalità delle macchie ci dà una misura di quanto l'Universo a quell'epoca fosse disomogeneo. Come si vede dalla scala riportata in basso, la differenza di temperatura tra i punti più caldi e quelli più freddi è molto piccola, appena lo 0,001% della temperatura media. Questo significa che l'Universo a quell'epoca era una crema calda di densità quasi perfettamente uniforme. Una situazione completamente diversa da quella attuale, in cui osserviamo invece grandi zone vuote alternate a "isole" ad altissima densità di materia. Per dare un'idea, la densità all'interno della Via Lattea è circa 100.000 volte più grande della media nell'Universo.

Che cosa ha provocato un cambiamento così drastico dalla crema omogenea degli albori all'Universo disomogeneo di oggi?

d.

Un'immagine suggestiva dell'utilizzo della tecnica delle lenti gravitazionali a porzioni estese di Universo. Le ellissi colorate rappresentano le galassie, le zone grigie sono le regioni occupate dalla materia oscura e i quattro "tubi" azzurri mostrano come si propagano, deformandosi, le immagini di quattro galassie lontane. Come si vede, in un Universo dominato dalla materia oscura la luce viaggia su traiettorie tutt'altro che rettilinee! Dalla distorsione delle immagini delle galassie lontane si cerca di risalire alla quantità e alla distribuzione della materia oscura nelle regioni che hanno attraversato per giungere fino a noi.

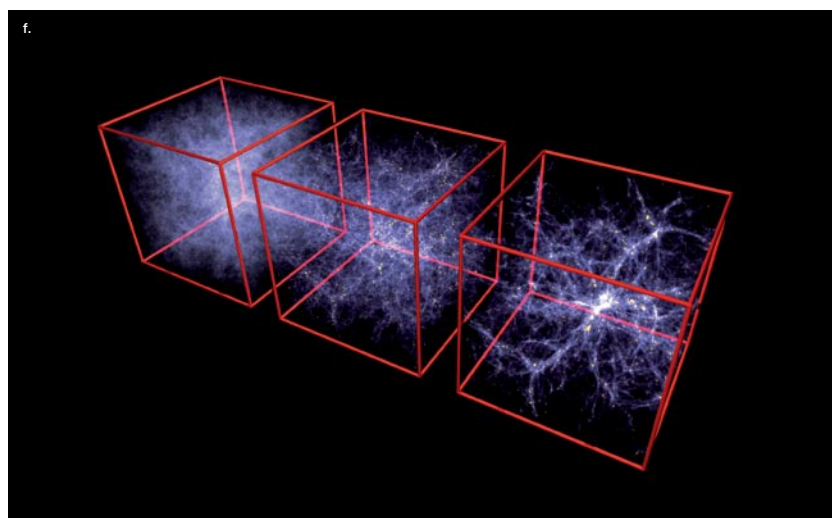
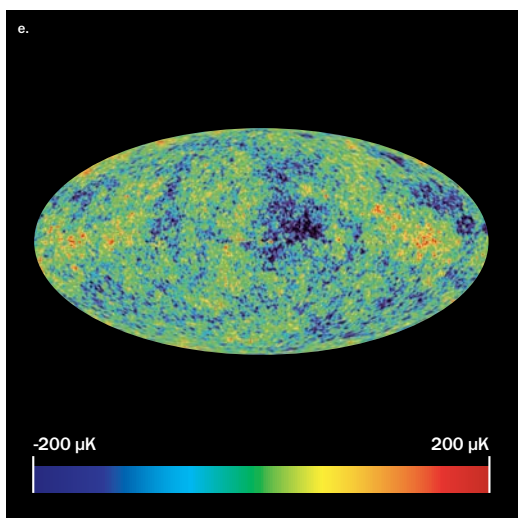


Ancora una volta la risposta è la forza di gravità. Le zone che inizialmente erano un po' più dense della media, anche se di pochissimo, esercitavano una forza di gravità maggiore rispetto a quelle un po' meno dense e cominciarono così ad attrarre materia, in tutte le sue forme, dalle zone circostanti. Il processo continuò e acquisì sempre più forza via via che questi grumi primordiali diventavano più concentrati. Nelle zone in cui la densità raggiunse i valori più elevati si crearono le condizioni per formare prima le stelle e poi le galassie e gli ammassi di galassie. Perché questo processo possa portare alla formazione di un Universo simile a quello che osserviamo oggi è indispensabile che la maggior parte della materia contenuta nell'Universo non abbia interazioni significative con i fotoni, sia cioè elettricamente neutra. Se così non fosse, le piccole disomogeneità iniziali non avrebbero potuto crescere perché la "pressione" dei fotoni si sarebbe opposta alla forza attrattiva della gravità. Per esempio, nel caso in cui fosse stata presente solo materia ordinaria la crescita delle disomogeneità sarebbe rimasta bloccata fino al momento in cui, grazie all'abbassamento della temperatura, i nuclei (positivi) e gli elettroni (negativi) poterono agganciarsi e formare così atomi neutri. Solo da quel momento in poi la materia sarebbe diventata quasi insensibile ai fotoni e la gravità avrebbe potuto cominciare ad agire indisturbata. Ma quel ritardo lo

avremmo pagato caro, e oggi la maggior parte delle strutture che vediamo nel nostro cielo, tra cui probabilmente la stessa Via Lattea, non avrebbero ancora avuto il tempo di formarsi. Come abbiamo visto, chiedere alla materia oscura di non interagire coi fotoni vuol dire impedirle di essere fatta di protoni e elettroni. Questo significa che non è possibile sperare che la materia oscura che forma gran parte delle galassie e degli ammassi odierni sia semplicemente materia normale "spenta", cioè nubi di gas freddo o pianeti troppo piccoli per diventare stelle. Tutti questi oggetti, che pure esistono, sono composti da atomi e quindi, in ultima analisi, da protoni, neutroni ed elettroni. Per la materia oscura, invece, non c'è proprio posto all'interno della tavola periodica! Oggi si parla molto di *Cosmologia di precisione*. Con questa locuzione si intende lo studio dettagliato della radiazione di fondo e della distribuzione delle strutture nell'Universo, oltre che la misura delle quantità di idrogeno, elio e altri elementi leggeri presenti nel Cosmo più profondo. Mettendo insieme tutte queste misure indipendenti, e altre ancora, è possibile ricavare una stima sempre più precisa della sovrabbondanza della materia oscura rispetto a quella ordinaria su scale di distanze pari all'intero Universo. Il risultato è in accordo con quanto osservato negli ammassi di galassie: materia oscura batte materia ordinaria cinque a uno.

e. Immagine della temperatura della radiazione cosmologica di fondo ottenuta dal satellite Wmap (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe). Si tratta di una vera e propria mappa delle temperature della radiazione di fondo. Un μK (micro kelvin) è pari a un milionesimo di grado kelvin.

f. Tre fasi della formazione delle strutture nell'Universo, prima delle stelle, poi delle galassie e degli ammassi di galassie, riprodotte in simulazioni al computer. I cubi rappresentano la stessa porzione di Universo, il cui lato misura oggi 300 milioni di anni luce, rappresentato all'età di un miliardo di anni (cubo di sinistra), 3 miliardi di anni (centro) e oggi (destra), che l'Universo ha 13 miliardi e mezzo di anni. Le zone in giallo indicano le regioni in cui si sono formate le stelle.



A caccia di candidati alla nomina di particella di materia oscura

Abbiamo visto finora che la maggior parte della materia presente nell'Universo è oscura (cioè non emette radiazione elettromagnetica) e più dell'80% della materia presente nell'Universo non è costituito di "materia ordinaria", vale a dire di protoni, neutroni ed elettroni.

Fermo restando l'interesse "astrofisico" della prima affermazione, ciò che veramente interessa il fisico delle particelle è la seconda. Il fascino sta nella sfida di trovare validi candidati particellari di materia oscura. Prima di imbarcarci in questa ricerca, vale la pena di stabilire bene le "regole del gioco", ovvero quali requisiti debba avere una particella per entrare nella lista delle candidature valide per render conto della materia oscura.

Il primo requisito è quello di essere *stabile* o comunque avere tempi di decadimento così lunghi da non essere ancora decaduta sino a oggi, più di 13,5 miliardi d'anni dopo il Big Bang. Calcolare poi il contributo alla materia presente nell'Universo di una tale particella risulta semplice: si tratta di moltiplicare la massa della particella per il numero di particelle sopravvissute. Quest'ultima cruciale informazione si acquisisce studiando la "vita" della candidata durante i primi momenti dell'Universo. Quando ancora non è intercorso un secondo dal Big Bang, l'Universo è ancora caldissimo e le diverse particelle presenti in questa sorta di "brodo primordiale" interagiscono molto velocemente le une con le altre. Le varie specie sono tutte egualmente abbondanti, poiché le interazioni favoriscono la trasformazione di particelle da una specie all'altra, mantenendo così un equilibrio fra le diverse popolazioni. In corrispondenza al progressivo raffreddamento dell'Universo, due diversi destini attendono le varie particelle. La maggior parte di queste decade e a un certo punto l'Universo diviene così freddo da non permettere più il processo inverso in cui le particelle possono essere ricreate. Queste particelle pesanti semplicemente scompaiono dal gioco e torneranno in vita per brevissimi istanti solo 13,5 miliardi di anni più tardi, prodotte negli urti ad altissima energia realizzati nei nostri laboratori!

Completamente diversa è la sorte che attende le particelle stabili. Per loro esiste un momento decisivo che fisserà una volta per tutte il loro numero: il *disaccoppiamento*. Come può accadere a un gruppo di persone che si allontanano e per le quali diventa sempre più raro riuscire a parlarsi finché si arriva al

disaccoppiamento e ognuno prosegue per la sua strada, così per la particella stabile in esame arriva il momento in cui essa non interagisce più con le altre. Da allora in poi l'Universo diventa "trasparente" per questo tipo di particelle e il loro numero non varierà più. Si tratta di particelle "fossili" dell'Universo primordiale. Non è solo una bella "teoria": i fotoni della radiazione di fondo che abbiamo visto in precedenza, sono un esempio di particelle fossili. Si sono disaccoppiati circa 380.000 anni dopo il Big Bang e da allora vagano nel cosmo. I fotoni però non possono costituire la materia oscura che osserviamo, se non altro perché non hanno massa e la loro energia attuale è piccolissima. Quale altra particella fossile possiamo invocare per la materia oscura?

La materia oscura sfida il Modello Standard delle forze e particelle elementari

È dalla fine degli anni '60 che ogni qualvolta abbiamo una domanda che riguarda le particelle elementari e le forze fondamentali (elettromagnetica, debole e nucleare forte) la risposta giusta ci viene fornita da una teoria che è stata chiamata *Modello Standard*. Ebbene, se anche questa volta ci rivolgiamo fiduciosi al Modello Standard, l'unica risposta che riceviamo è la seguente: in una estensione del modello in cui i neutrini possiedono una massa (modifica che si è resa necessaria da quando abbiamo visto i neutrini "oscillare", si veda il numero 3 di Asimmetrie), l'unico candidato possibile di materia oscura è il *neutrino*.

Il neutrino è una particella "simpatica" (a cominciare dal nome attribuitogli da Fermi): di massa estremamente piccola, almeno un miliardo di volte più piccola di quella di un protone o di un neutrone, con interazioni col mondo circostante molto deboli, riveste però un ruolo di primo piano nella storia dell'evoluzione dell'Universo (macrocosmo) come pure nella nostra comprensione del mondo particellare (microcosmo). Sarebbe magnifico se potesse anche essere la fonte della maggior parte della materia esistente nell'Universo! Purtroppo questo non funziona per almeno due buone ragioni.













La prima è che la massa è così piccola che, moltiplicata per il numero di neutrini fossili, non riesce assolutamente ad arrivare a un'abbondanza di materia oscura comparabile a quella necessaria.

La seconda ha a che fare con l'altissima velocità, quasi uguale a quella della luce, che il neutrino possiede quando si disaccoppia, circa un secondo dopo il Big Bang. In un Universo in cui

Modello standard

Leptoni

Quark

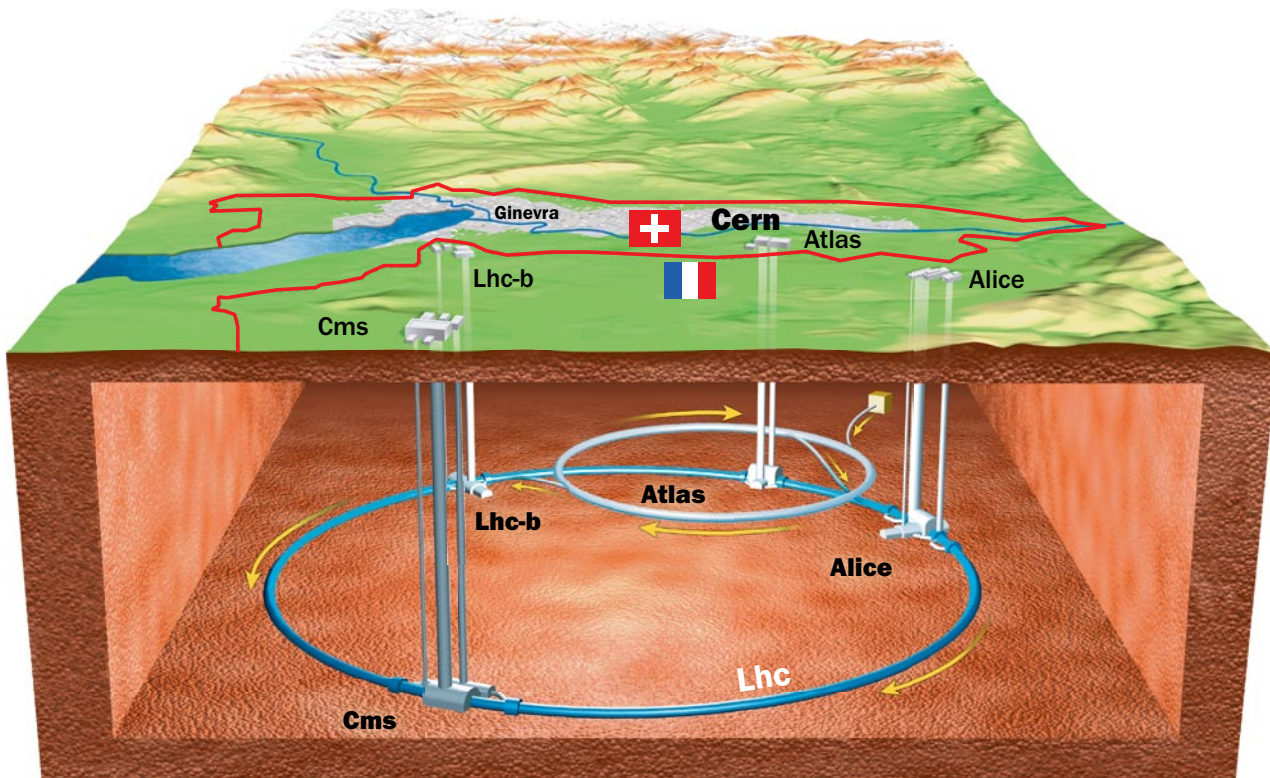
<p>Tutta la materia ordinaria appartiene a questo gruppo</p>	1 ^a famiglia	Neutrino elettronico  Interagisce raramente con il resto della materia. È prodotto in abbondanza nelle reazioni nucleari all'interno del Sole.	Elettrone  È responsabile dell'elettricità e delle reazioni chimiche.	Up  I protoni hanno 2 quark up I neutroni hanno 1 quark up	Down  I protoni hanno 1 quark down I neutroni hanno 2 quark down
	2 ^a famiglia	Neutrino muonico 	Muone 	Charm 	Strange 
	3 ^a famiglia	Neutrino del Tau 	Tau 	Top 	Bottom 
Antimateria Per ogni particella esiste una particella corrispondente, una sorta di immagine negativa					

gran parte della materia oscura fosse fatta di neutrini, la formazione delle galassie sarebbe ritardata dal rapido movimento di queste particelle. Le prime strutture a formarsi sarebbero grandi ammassi, mentre le singole galassie si formerebbero solo più tardi, per frammentazione. Ciò condurrebbe a una mappa delle strutture del nostro Universo molto diversa da quella che ci forniscono gli accurati cataloghi di galassie di cui disponiamo oggi.

Ma il neutrino non cessa di aiutarci nella nostra esplorazione: dietro al suo fallimento quale candidato di materia oscura troviamo l'importante suggerimento che potrebbe funzionare come materia oscura una particella che ha pure interazioni deboli, ma con una massa molto più alta di quella del neutrino in modo da rimanere quasi "seduta" nel momento in cui si disaccoppia. Ecco il primo ritratto di una *Wimp*.

L'importanza di essere una Wimp

Nello slang americano non è certo un complimento se dite a qualcuno che è un *wimp*, cioè un deboluccio che ha paura di tutto. Ma nel mondo delle particelle essere un wimp stabile è un grande privilegio. Infatti, Wimp è un acronimo inglese per "particella con massa che interagisce debolmente" (*Weakly Interacting Massive Particle*), e quindi siamo in presenza di una particella che ha caratteristiche simili a quelle del neutrino, ma con massa molto più alta, almeno 10 miliardi di volte più grande di quella di un normale neutrino. È proprio questa grande massa che fa sì



g.

che quando una Wimp si disaccoppia, nonostante la temperatura ancora elevatissima presente nell'Universo primordiale, esso abbia una velocità molto bassa, che è proprio quello che serve per ottenere una corretta formazione delle strutture. Ma non è tutto. Ciò che veramente ha reso la particella Wimp la star dei candidati di materia oscura è un'impressionante "coincidenza": nel calcolo del momento di disaccoppiamento e quindi del numero di Wimp oggi presenti entrano sia quantità di tipo cosmologico che caratteristiche tipiche della fisica delle particelle elementari. Ebbene, senza fare particolari assunzioni sui valori di queste varie quantità del tutto indipendenti tra loro, per un ampio intervallo di massa delle Wimp, diciamo tra 100 e 1000 volte la massa di protoni e neutroni, si ottengono valori per l'abbondanza di materia oscura in accordo con quelli necessari per rendere conto delle osservazioni astrofisiche e cosmologiche.

Wimp, materia oscura e Nuova Fisica al di là del Modello Standard

Il Modello Standard è stato soggetto ai più svariati test particellari, dalla tradizionale fisica di alta energia allo studio di processi rari e di alta precisione a energie più basse. Curiosamente, le due indicazioni più significative che abbiamo sull'esistenza di una Nuova Fisica al di là del Modello Standard non vengono dalle solite ricerche svolte negli acceleratori di particelle più potenti: si tratta infatti dell'evidenza di oscillazione - e quindi di massa - dei neutrini e della presenza di materia oscura nell'Universo. Data la molteplice e solida evidenza dell'esistenza di materia oscura e l'altresì solida evidenza che il Modello Standard delle particelle non possiede alcun valido candidato di materia oscura, consideriamo la materia oscura una forte indicazione di una Nuova Fisica al di là del Modello Standard.

È ovvia la domanda successiva: che tipo di Nuova Fisica può fornire validi candidati di materia oscura? Naturalmente, dato che l'altra evidenza di Nuova Fisica, cioè le masse dei neutrini, non ci dice quale sia questa Nuova Fisica, per andare al di là del Modello Standard non possiamo che affidarci alle motivazioni teoriche e alla incessante creatività dei fisici teorici particellari. Al momento l'estensione del Modello Standard che appare teoricamente più promettente è rappresentata dalla *supersimmetria* (Susy da *SUPER*SYMMETRY), che è caratterizzata dall'importante predizione che ogni particella nota sia accompagnata da una particella *partner supersimmetrica*.

Nella maggior parte dei modelli supersimmetrici, per ragioni fenomenologiche, viene richiesto che la particella Susy più leggera sia assolutamente stabile. In gran parte dei modelli Susy tale particella

g.

Schema del laboratorio Cern, a Ginevra in Svizzera, dove in un tunnel con circonferenza di 27 km sotto alla periferia della città è in costruzione l'acceleratore di particelle Lhc. L'acceleratore Lhc ospiterà gli esperimenti Atlas, Cms, Alice e Lhc-b.

è il più leggero *neutralino* (anche il nome ci suggerisce che si tratti di una specie di neutrino, molto più pesante degli usuali neutrini).

Si potrà mai vedere una Wimp di materia oscura?

Sarebbe quasi paradossale se, dopo essere riusciti a esplorare la materia ordinaria che ci circonda fino a distanza di miliardesimi di miliardesimi di metro, poi sfuggisse alla nostra osservazione ciò che costituisce più dell'80% della materia dell'Universo. Eppure dare la caccia a una Wimp è un'impresa ardua. Sappiamo che è difficile "vedere" i neutrini. Ebbene, non solo una Wimp interagisce debolmente come fa il neutrino, ma le Wimp sono molto più rare dei neutrini.

Ci vuole grande abilità, astuzia e... un pizzico di fortuna per trovare una Wimp. La si può cercare *direttamente* quando interagisce con un rivelatore composto di materia ordinaria collocato nei nostri laboratori. Oppure si possono cercare le tracce *indirette* della presenza di particelle di materia oscura. Infatti, quando due Wimp nell'alone galattico entrano in collisione, si annichilano, e al loro posto compaiono fotoni e molte altre particelle che, in parte, possono raggiungere la Terra.

L'osservazione di queste particelle, tra le quali ci potrebbero essere neutrini e antimateria (antielettroni, antiprotoni), sarebbe una conferma dell'esistenza delle Wimp, ottenuta grazie alla loro autodistruzione. Ma vi è un ulteriore modo di "vedere" una Wimp che ci conduce al cuore del connubio tra fisica delle particelle, astrofisica e cosmologia. Si tratta della possibilità di andare oltre la ricerca delle Wimp fossili del primo Universo e di studiare le Wimp o le loro tracce tra le particelle prodotte nei nostri acceleratori. Un nuovo acceleratore, il più potente mai costruito, sta per cominciare le sue operazioni al laboratorio Cern di Ginevra: Lhc, *Large Hadron Collider*.

Oltre alla scoperta del fantomatico bosone di Higgs la cui esistenza è predetta nell'ambito del Modello Standard, lo scopo più eccitante di Lhc, diciamo pure la sua missione, è di fornirci quelle indicazioni dirette di una Nuova Fisica al di là del Modello Standard che da tanti anni cerchiamo (invano). Tra queste, primeggia proprio la Wimp della materia oscura. Sarebbe una delle più grandi conquiste della nostra sete di conoscenza se potessimo trovare la materia oscura sia con gli esperimenti a Lhc che nelle ricerche (dirette e indirette) di Wimp fossili del primo Universo. Non solo sapremmo di cosa è fatto l'80% della materia esistente, ma saremmo riusciti a riprodurre all'interno dei nostri acceleratori di particelle un pezzetto dell'Universo di 13,5 miliardi di anni fa.

Biografie

Antonio Masiero è direttore della Sezione di Padova dell'Infn e professore ordinario dell'Università di Padova. La sua attività verte sulla ricerca di Nuova Fisica al di là del Modello Standard con particolare attenzione alle connessioni tra fisica delle particelle e cosmologia.

Massimo Pietroni è ricercatore dell'Infn della Sezione di Padova. In questi ultimi anni si è occupato principalmente del problema della materia e dell'energia oscura nell'Universo e delle sue possibili spiegazioni nell'ambito della fisica delle particelle.

Link sul web

Sulla materia oscura

www.vialattea.net/cosmo/

www.scienzagiovane.unibo.it/darkmatter.html

Un'animazione che ricostruisce lo scontro tra i due ammassi nel Bullet Cluster

<http://chandra.harvard.edu/photo/2006/1e0657/media/bullet.mpg>

Un'animazione che ricostruisce l'effetto lente di una galassia lontana da parte di un ammasso di galassie

www.hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2003/32/video/d/

Varie animazioni sulla formazione e la distribuzione delle strutture cosmiche

www.mpa-garching.mpg.de/galform/virgo/millennium/

<http://qso.lanl.gov/pictures/Pictures.html>