

Relatività Le curve di rotazione delle galassie sono veloci e non lente come vorrebbe la teoria: per colmare la distanza tra modello e dati reali, si è ipotizzata l'esistenza della materia oscura. Uno studio italiano sulla Via Lattea, grazie alle osservazioni del satellite Gaia, risolve il problema senza aggiungere l'ingrediente misterioso. Grazie a Einstein. La capofila dello studio, Mariateresa Crosta, ne parla con l'astrofisico Luigi Guzzo

La materia oscura è diventata meno oscura

Uno studio pubblicato a giugno sulla rivista «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society» da Mariateresa Crosta dell'Inaf, Istituto nazionale di Astrofisica, con Marco Giammaria, Mario Lattanzi ed Eloisa Poggio, riesce a spiegare la velocità di rotazione della Via Lattea (la nostra galassia) senza la necessità di ipotizzare la materia oscura, oggetto fantomatico ideato proprio per colmare le discrepanze tra calcoli e dati osservati riguardo anche (ma non solo) le velocità di rotazione delle galassie. Risultato eclatante, frutto di un'ipotesi all'apparenza semplice ma in realtà assai complessa perché prevede l'utilizzo della Relatività generale di Einstein, in genere non richiesta per calcoli di questo tipo. Anche se gli studiosi avvertono: non significa che la materia oscura non esista. La materia oscura è ancora il solo modo in cui riusciamo a far quadrare i conti con l'accelerazione dell'universo o con lo stato dell'universo come lo conosciamo. Però fa capire che il lavoro di Einstein ha ancora molto da dire. Lo racconta la stessa fisica in dialogo con Luigi Guzzo, docente di Cosmologia alla Statale di Milano.

Cos'è la materia oscura e perché gli scienziati l'hanno «inventata» introducendola nel modello standard dell'universo, il «modello lambda Cdm» («Cold Dark Matter», materia oscura fredda)?

LUIGI GUZZO — La materia oscura è una materia la cui presenza, dal punto di vista gravitazionale — dal punto di vista dell'effetto che noi osserviamo sulla massa visibile — si manifesta come necessaria, anche se finora non ne abbiamo evidenze dirette, bensì solo indirette. La prima evidenza di materia oscura è venuta negli anni Trenta del Novecento appunto dallo studio delle velocità delle galassie, che in certe zone del cielo si trovano concentrate in gruppi di cento, mille e oltre, come nell'ammasso Chioma di Berenice. Fritz Zwicky, astronomo svizzero-americano, mostrò che le velocità di quelle galassie erano troppo alte rispetto alla materia presente. Ciò che agiva gravitazionalmente in quei sistemi appariva essere molto di più della materia visibile. Sappiamo che negli ammassi c'è altra materia che pur non essendo visibile è comunque materia normale, cioè gas caldo visibile ai raggi x, ma non sufficiente a provocare tali effetti: dobbiamo postulare che esista un'altra materia.

Il che è vero anche per galassie come la nostra, la Via Lattea.

LUIGI GUZZO — Anche qui le parti esterne sono molto più veloci di quanto

di IDA BOZZI

ci si sarebbe aspettati se ci fosse stata solo la materia visibile. Altro motivo della necessità della materia oscura: è indispensabile per conciliare l'omogeneità dell'universo primordiale con la disomogeneità che vediamo oggi. Se c'è solo la materia visibile, l'attuale strutturazione dell'universo non si riesce a realizzare. E questa è la cosa più complessa.

Che cosa dice il nuovo studio?

MARIATERESA CROSTA — Il mio studio riprende il problema che citava Luigi Guzzo sulla questione delle curve di rotazione delle galassie. Per curva di rotazione qui s'intende la velocità: queste curve hanno un andamento sostenuto costante. Se seguissero la gravità di Newton dovrebbero invece abbassarsi notevolmente: invece no. Questo gap tra le previsioni della gravità newtoniana e quello che si osserva dai dati ha fatto supporre che per mantenere sostenute quelle velocità ci fosse un alone di materia oscura intorno alle galassie. Un'assunzione *ad hoc*, che serve per aggiustare i dati. Invece il nostro approccio è diverso. Noi abbiamo beneficiato dei dati della missione Gaia (ci tengo a ringraziare l'Agenzia spaziale italiana che finanzia la nostra partecipazione a questa missione europea), satelliti che ha il compito principale di fare una mappa tridimensionale della nostra galassia, con accuratezza impensabile fino

a poco tempo fa, che ci consente di tracciare il potenziale gravitazionale della galassia *dall'interno* (nei dati di galassie esterne consideriamo la massa luminosa, i gas eccetera ma non conosciamo il dettaglio delle velocità). Quindi abbiamo scelto le stelle ottimali, un campione il più possibile omogeneo, e abbiamo applicato i dati sia a un modello relativistico sia al modello classico previsto dalla teoria *lambda Cdm*, cioè il modello standard che prevede una materia oscura fredda.

Perché usare il modello relativistico?

MARIATERESA CROSTA — Da decenni lavoro in questo campo e i dati di Gaia sono dati analizzati utilizzando la Relatività generale di Einstein: cioè Gaia considera i campi gravitazionali sempre mutevoli del nostro sistema solare. Se noi non tenessimo conto del fatto che il Sole deflette la luce che viene dalle stelle, questo implicherebbe introdurre un errore enorme sulla stima delle distanze degli oggetti celesti. Ecco, il tentativo è di vedere se anche la nostra galassia ha una dinamica relativistica. Quindi si è applicata la relatività alla dinamica della galassia.

In breve: in genere si usa la teoria di Newton, per misurare le curve di rotazione. Voi avete usato Einstein.

MARIATERESA CROSTA — Abbiamo introdotto una nuova geometria piuttosto ben conosciuta (dove per geometria si

intende ciò che dà la soluzione delle equazioni di campo di Einstein), selezionata in modo da essere coerente con un'ipotesi di lavoro o *Ansatz*: una galassia stazionaria, in cui le stelle sono in uno spaziotempo assi-simmetrico e stazionario (cioè sono in quiete tra di loro, non interagiscono) e quindi soggette alle leggi della gravitazione del campo di Einstein. Le equazioni di Einstein sono almeno dieci, una di queste fornisce il profilo di velocità e un'altra fornisce la densità: mettendoci dentro i dati di Gaia, costruendoci dentro un altro pezzo di geometria (cosa che gli astronomi non sono abituati a fare) e cioè definendo anche degli osservatori opportuni, abbiamo trovato che queste velocità dipendono da un pezzo di geometria — guarda caso il pezzo di geometria che non viene mai considerato (perché giudicato trascurabile) in altri modelli. I conti della curva relativistica ci sono tornati senza dover aggiungere materia dovuta all'alone. La cosa bella del lavoro è che allo stesso tempo l'abbiamo confrontato con la parte classica, col modello *lambda Cdm*. E i due risultati sono statisticamente equivalenti. Ciò suggerisce che forse è il caso di considerare equazioni di campo più complicate, geometrie più opportune per descrivere la dinamica della galassia.

LUIGI GUZZO — Magari posso aggiungere qualcosa prima di mettere altra carne al fuoco, visto che Mariateresa Crosta ne ha messa tanta. Quando parliamo di teoria di Einstein parliamo di Relatività generale, cioè la teoria della gravitazione formulata da Einstein all'inizio del Novecento, che ha generalizzato la teoria di Newton: ovvero, in determinate condizioni e approssimazioni, in cui la forza di gravità è sufficientemente bassa e le velocità non sono tanto grandi, piccole rispetto a quella della luce, la teoria di Newton funziona benissimo. Questa è l'assunto con cui tutti vanno a misurare la curva di rotazione delle galassie, l'assunto standard è che non c'è bisogno di Relatività generale. Assunto che si fa volentieri perché applicarla è molto complicato.

MARIATERESA CROSTA — Esistono

A destra: l'ammasso di galassie Macs J0717, a 5,4 miliardi di anni luce; la sua massa è 700 mila miliardi quella del Sole (foto Hubble)



i



Gli scienziati

Mariateresa Crosta

(Campobasso, 1969) dopo la laurea in Fisica a Torino e il dottorato in Scienze e Tecnologie spaziali a Padova, dal 2008 è ricercatrice Inaf (Istituto nazionale di AstroFisica) a Torino. I suoi campi di ricerca sono la Relatività generale e la Metrologia gravitazionale applicate all'astronomia. Da un decennio è tra i pionieri del modello relativistico di validazione dei dati della missione Gaia (Esa/Asi).

Luigi Guzzo (Torino, 1962) è docente di Cosmologia all'Università degli Studi di Milano e ricercatore associato dell'Inaf e dell'Infn. È stato visiting scientist presso gli istituti Max Planck ed Eso a Monaco di Baviera e in altre università tra cui Princeton. Nel 2011 ha ottenuto un Erc Advanced Grant dell'European Research Council. È tra i fondatori e uno dei coordinatori della missione Euclid dell'Esa, che verrà lanciata nel 2022 per comprendere l'origine delle componenti oscure dell'universo

La missione Gaia

Il satellite Gaia dell'Agenzia spaziale europea (Esa), lanciato nel 2013, ha il compito di compilare un catalogo di circa un miliardo di stelle, con misure di altissima precisione. La missione, che doveva terminare nel 2017, è stata prorogata fino al 2022

poche soluzioni esatte per le equazioni di campo di Einstein, perché è complicato.

LUIGI GUZZO — Sì, dovrete usare metodi numerici, e così via. Insomma, una cosa cui credo fortemente e che questo lavoro ci sta insegnando, è che non abbiamo ancora esplorato del tutto le implicazioni complesse della Relatività generale. Quanto alla materia oscura, un episodio ci fa capire perché si è fatto così finora. È il caso di Nettuno: il pianeta venne scoperto intorno al 1850 grazie al fatto che si osservavano perturbazioni gravitazionali nel moto di Urano. Cioè dopo aver scoperto Urano, misurata la sua orbita, ci si accorse che non poteva essere giustificata se si applicava la legge di Newton al sistema noto, Sole, Giove, Saturno e gli altri pianeti. Questo indicava che ci voleva un altro pianeta lì vicino (una «massa oscura») e dopo pochissimo tempo fu scoperto, proprio lì dove ci si aspettava.

g

MARIATERESA CROSTA — Infatti è un elemento storico citato nello studio, si pensava che anche lì ci fosse «materia oscura». Pensiamo anche all'etere: un tempo si credeva che l'etere fosse fatto da una forza molecolare. Einstein ha introdotto un nuovo postulato, anche lui ha fatto una *Ansatz*, un'ipotesi, ha detto che la velocità della luce doveva essere costante e ha imposto una nuova cinematica. Un po' la rivoluzione che si potrebbe fare con Gaia, una nuova cinematica relativistica. In genere si dice: «Ma gli effetti relativistici sono piccoli, quindi in realtà non sono osservabili...». Risposta: dipende. Piccoli rispetto a che cosa?

LUIGI GUZZO — Il paragone con l'etere o anche con gli epicicli tolemaici è molto appropriato. Prendiamo il modello cosmologico standard: abbiamo un modello eccezionale, dopo la scoperta dell'accelerazione cosmica: l'evidenza che l'universo non solo si espande ma che l'espansione accelera. Il solo modo per ottenere ciò è postulare una volta ancora l'esistenza di una sostanza che chiamiamo energia oscura, che genera un campo di forza repulsiva che a un certo punto ha il sopravvento sulla forza attrattiva. Questa combinazione di massa oscura, materia e campo di forze produce esattamente tutto ciò che vediamo nel cosmo: però contiene il 95% di ingredienti che non sappiamo cosa siano, materia oscura ed energia oscura. Ecco perché sarei contento se venisse fuori qualcosa che mi dice: no, queste entità oscure sono conseguenza di un'applicazione non del tutto corretta della Relatività generale. E ciò mi viene suggerito dal fatto che tutte queste evidenze siano di tipo gravitazionale.

MARIATERESA CROSTA — Il discorso è proprio questo, capire fino a che punto posso considerare la mia galassia relativistica. Il che implica trovare la geometria opportuna. Il nostro tentativo va nella direzione di provare quello che diceva John Archibald Wheeler: «La massa dice allo spazio come curvarsi, lo spazio dice alla massa come muoversi».

