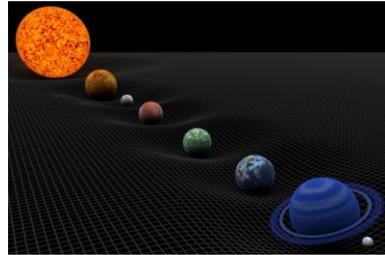
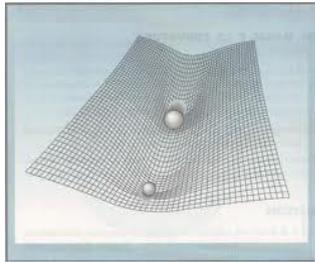


## Cos'è la gravità



La parola **gravità** deriva dal latino "gravis", che significa pesante. **Gravità** significa pertanto "essere pesanti".

Perché gli oggetti cadono sulla terra o i pianeti orbitano attorno al Sole. La risposta la conosciamo tutti, è per effetto della gravità. Da sempre ci hanno insegnato che la gravità è una forza di attrazione che esiste tra qualunque oggetto: tra noi e la terra; tra la terra e il sole; insomma, tra qualunque massa nell'universo.

Però, secondo la fisica moderna c'è un modo migliore di vedere le cose. In realtà non esiste nessuna forza di gravità. La vera ragione per cui gli oggetti cadono, ha a che fare con il modo in cui il tempo scorre quando ci si avvicina a una massa. Che significa? Proviamo a capirlo.

Più di tre secoli fa Isaac Newton capì che esistono forze che agiscono sugli oggetti e li fanno muovere nello spazio. Per la precisione Newton capì che quando una forza agisce su una massa, la massa accelera e cambia velocità.

La velocità può cambiare, non solo perché la massa percorre uno spazio più grande in un tempo più piccolo, come quando spingiamo l'acceleratore di una macchina, ma la velocità cambia perché cambia la direzione in cui si muove, come quando la macchina fa una curva.

In entrambi i casi serve una forza che agisca sul soggetto per spingerlo a cambiare velocità e direzione.

Ma cosa succede se non c'è nessuna forza che agisce su un oggetto; quell'oggetto continua a muoversi a velocità costante e in linea retta.

In effetti, la grande intuizione di Newton fu proprio che gli oggetti hanno una inerzia, cioè una condizione naturale di moto senza accelerazione che può essere cambiata solo tramite l'azione di una forza.

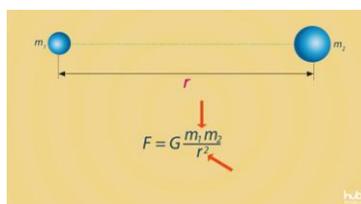
Naturalmente, siccome il moto è sempre relativo, se un oggetto è fermo rispetto a noi, continuerà a restare fermo fino a quando non entrerà in azione una forza.

Quindi per Newton una massa che si trova nello spazio vuoto dove non c'è nessuna forza che intervenga, non può fare altro che muoversi lungo una linea retta, sempre alla stessa velocità.

Per esempio, un'astronave che abbia una certa velocità iniziale, anche a motori spenti continuerà a muoversi per sempre con quella velocità.

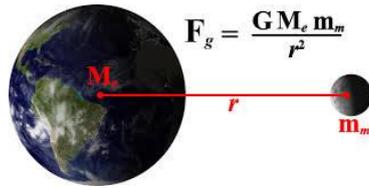
Ma che succede se l'astronave passa dalle parti di un'altra Massa, per esempio un pianeta?

Per Newton a questo punto entra in gioco una forza di attrazione tra le due masse, la forza di gravità.



accelerazione di gravità  $G=9.81\text{m/s}^2$

$M_e$ =massa della terra     $m_m$ =massa della luna  
 $r^2$ = quadrato della distanza

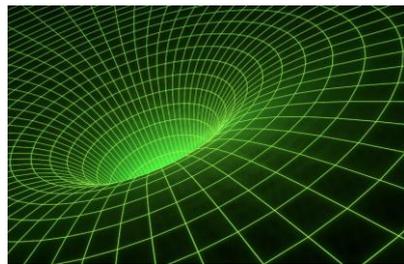


La forza di gravità newtoniana è descritta da una legge universale e proporzionale al prodotto tra le masse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra le masse.  $F_g = M_1 * M_2 / D^2$  (distanza)

Il risultato è che l'astronave, che prima si muoveva liberamente nello spazio andando a velocità costante in linea retta, adesso, a causa della forza di gravità accelererà.

Quindi cambierà direzione e andrà più veloce.

Questo è il modo in cui Newton ha spiegato la gravità e ha funzionato molto bene per secoli.



Poco più di un secolo fa Einstein ha capito che c'era un modo migliore di vedere le cose.

Secondo Einstein non esiste una forza tra le masse, il suo modo di interpretare la gravità è che la presenza di una massa altera la geometria dello spazio-tempo, ovvero lo curva, quello che aveva capito Newton continua a essere corretto. Anche per Einstein, un oggetto su cui non agisce nessuna forza continua a muoversi per inerzia, senza accelerare.

Solo che per Einstein lo spazio-tempo nei dintorni di una massa è curvo, quindi quando un oggetto è lasciato libero di muoversi per inerzia, il moto non avviene lungo una retta avviene lungo quello che i matematici chiamano una geodetica. Cioè semplicemente il percorso più breve tra due punti.

Se due punti sono su un foglio di carta, la geodetica è una linea dritta. Ma se invece volete collegare due punti che si trovano su una sfera, la curvatura della superficie sarà un arco di cerchio.

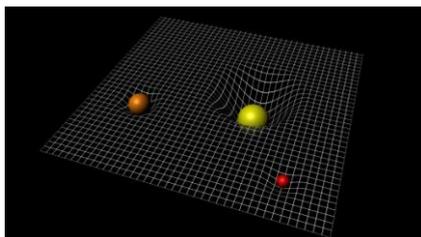
Quindi per Einstein non c'è bisogno di nessuna forza tra le masse per spiegare il loro cambio di velocità e di direzione.

Gli oggetti si muovono liberamente nello spazio-tempo curvo e questo crea l'illusione che ci sia una forza che li fa deviare, mentre in realtà loro stanno semplicemente andando dritti per la loro strada, ovvero lungo la geodetica.

Questo si può capire con un esempio: *se voi e un vostro amico, partite da due punti diversi della terra camminando entrambi dritti verso nord, vi capiterà di avvicinarvi lungo il percorso fino a incontrarvi. Non avete mai cambiato direzione. Ma siccome state camminando su una superficie curva, sembrerà come se una forza invisibile vi abbia spinto l'uno verso l'altro. In realtà, però non c'è nessuna forza.*

Dunque Einstein ci dice che ogni massa, curva lo spazio-tempo e che la gravità non è una forza, ma è una manifestazione di questa curvatura.

Questa cosa la si può far capire, usando l'esempio del telo elastico che si deforma e delle palline che si muovono sul telo. Se un oggetto si muove su una superficie curva, la sua traiettoria non è una linea retta, ma è una geodetica. Per Einstein bisogna sempre ragionare in termini di spazio tempo; la massa non curva solo lo spazio, ma anche il tempo.



Se due masse sono inizialmente ferme, l'una rispetto all'altra nello spazio, non possono fare a meno di muoversi nella dimensione temporale.

Andiamo con ordine, per semplificare un po' le cose, consideriamo una sola dimensione spaziale, invece delle tre che esistono in realtà. *Ora rappresentiamo il tempo nella direzione perpendicolare.*

Se lo spazio-tempo non è curvo, gli orologi etichettano allo stesso ritmo. Potremmo dire che ogni punto dello spazio si muove nel tempo, alla stessa velocità. Un oggetto che rimane fermo nella stessa posizione dello spazio, si sposterà lungo la dimensione temporale in linea retta.

Quindi anche un oggetto fermo nello spazio si muove nello spazio-tempo.

Ora vediamo cosa succede se verso il basso della direzione spaziale mettiamo una grande massa, per esempio la terra. La relatività ci dice che il tempo scorre più lentamente vicino a una massa. Il tempo si dilata avvicinandosi alla superficie terrestre, ovvero gli orologi in basso etichettano più lentamente. Ed è proprio la curvatura del tempo a spiegare come mai gli oggetti cadono verso il basso; lo spazio-tempo curvo sarà molto diverso da quello che avevano nello spazio-tempo piatto.

La stessa cosa ci spiega come mai ci sentiamo incollati alla terra come se ci fosse una forza che ci spinge in giù.

In realtà la relatività di Einstein ci dice che questa forza è illusoria, esattamente come quella che ci spinge sullo schienale quando una macchina accelera.

Di fatto, la visione di Einstein è una generalizzazione di quella di Newton.

Per Newton, un corpo su cui non agisce nessuna forza non cambia velocità nello spazio e anche per Einstein è così.

**Ok, tutto questo significa che Newton ha sbagliato tutto? Assolutamente no.**

La formula di Newton è ancora valida in quasi tutte le circostanze pratiche e la usiamo tranquillamente per mandare le sonde nello spazio per calcolare le orbite dei pianeti o le traiettorie dei corpi lanciati sulla Terra.

*Possiamo continuare a pensare alla gravità come una forza, proprio come abbiamo fatto per secoli prima di Einstein. Ma la descrizione di Einstein è migliore e ci ha fatto scoprire cose che altrimenti non avremmo mai scoperto, come i buchi neri, o l'espansione dell'universo.* Conviene sempre capire le cose meglio che possiamo e poi scegliere qual'è la descrizione migliore a seconda del problema che dobbiamo affrontare.

**Dopo, la NASA ha scoperto che lo spazio-tempo è assolutamente rigido, quindi non si piega.**



L'uomo che sfida Einstein



Ed ecco che è venuto fuori **Erik Peter Verlinde**, fisico teorico all'Università di Amsterdam, le cui idee sulla gravità sono radicalmente diverse da quelle accettate, che si rifanno a Newton e Einstein. *La gravità è un'illusione. La materia oscura non esiste. E l'universo funziona come un ologramma.* A queste radicali conclusioni è giunto, dopo uno studio di sei anni, **Verlinde**.

*Affermazioni azzardate? Provocazioni?* Non la pensa così l'**European Research Council**, la più importante istituzione dell'Unione Europea nel campo della scienza, che ha finanziato la ricerca con oltre 2 milioni di euro. E dall'astronomia arrivano i primi risultati a favore di **Verlinde**. C'è già chi lo acclama come *l'Einstein dei nostri giorni*.

**CAUSA O EFFETTO.** «*La mia è una nuova teoria della gravità*», racconta il fisico olandese.

«**Per Isaac Newton** era la forza con cui due corpi dotati di massa, per esempio la Terra e la Luna, si attraggono reciprocamente.

Invece **la relatività generale di Albert Einstein** descrive la gravità grazie alla geometria: una massa deforma lo spazio-tempo nelle sue vicinanze e quindi, per esempio, la Luna orbita attorno alla Terra perché si muove lungo questa curvatura». Un po' come una biglia segue la pista disegnata sulla sabbia. Le due differenti visioni sono accomunate dal fatto che considerano la gravità una forza fondamentale. Invece **Verlinde** ritiene che la gravità sia un'illusione.

Attenzione, questo non vuol dire che non sia reale, altrimenti la proverbiale mela non ci cadrebbe in testa! Però non sarebbe più la causa dei movimenti di stelle e pianeti, bensì un effetto:

«Pensiamo alla temperatura. Ritenuta per tanto tempo una grandezza fondamentale, si è poi compreso che deriva dai movimenti di ciascuna della miriade di atomi e molecole che ci compongono».

Ma toccando una teiera piena di acqua bollente avvertiamo il calore del recipiente (e magari ci scottiamo), senza percepire i moti delle singole particelle. Allo stesso modo, secondo **Verlinde**, la gravità è il prodotto di processi microscopici.



**INFORMAZIONE.** Che cosa c'è sotto, allora? La risposta si nasconde in uno dei concetti più all'avanguardia della fisica contemporanea: i **bit quantistici**. Per capire di che cosa si tratta bisogna partire dai **"bit"**, cioè quelle sequenze di **0 e 1** che sono l'unità base dell'informazione per computer e telecomunicazioni (infatti la velocità della nostra connessione internet si misura in bit al secondo). Le particelle elementari seguono le regole della meccanica quantistica, che per esempio consentono loro di essere contemporaneamente in luoghi e stati diversi (una sorta di "ubiquità"). Quindi anche le loro caratteristiche devono essere espresse in termini di bit quantistici, o **Qbit**, con i quali si possono svolgere operazioni inaccessibili con i **bit classici**.

**Verlinde** ha sviluppato una complessa trattazione matematica per analizzare la trasmissione dei **Qbit** a livello microscopico. «Le informazioni associate alla materia e alla sua posizione si influenzano a vicenda», spiega. «Alla nostra scala umana non percepiamo il flusso di informazioni, che cambia istante per istante, ma solo il risultato, cioè materia che muta posizione nel tempo. Ecco come emerge la gravità». Questa visione porta con sé un'altra bizzarria: il cosmo può essere descritto *come un enorme ologramma*, cioè una *rappresentazione in due dimensioni di un oggetto 3D*.

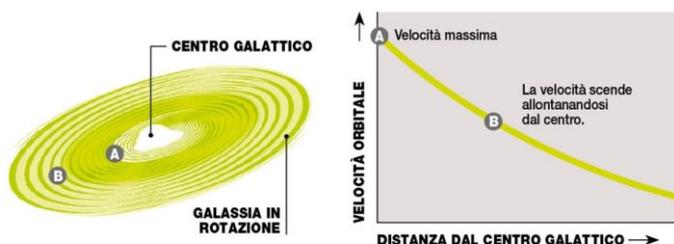
**Verlinde**, infatti, esprime l'universo e le relazioni tra le particelle che lo compongono in termini di **Qbit** disposti su un piano: in pratica, è come dire che il cosmo può essere trascritto in un enorme foglio.

**OSCURO.** La teoria è ardita, ma ha un punto di forza:

spiega in modo naturale le osservazioni astronomiche senza chiamare in causa la materia oscura, oggi ritenuta necessaria dalla maggioranza degli studiosi per spiegare certi fenomeni.

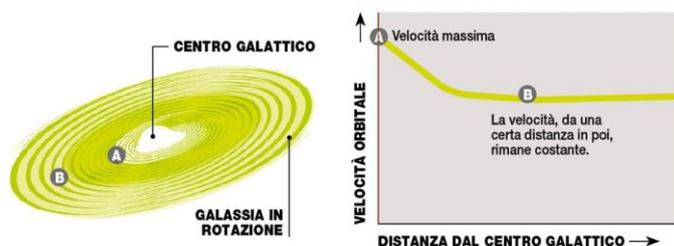
Per esempio, in una galassia le stelle sono più addensate verso il centro. Quindi ci si aspetterebbe che, nelle zone periferiche, la forza di gravità diventi più debole e la velocità con cui le stelle orbitano attorno al centro diminuisca, perché sono meno attratte.

## Secondo Newton ed Einstein



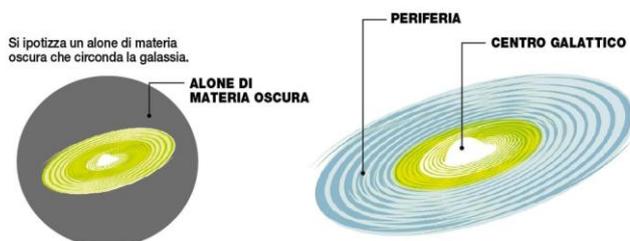
**Il problema secondo Newton ed Einstein.** In una galassia "normale", cioè senza materia oscura, la velocità con cui le stelle orbitano attorno al centro galattico, da una certa distanza in poi, deve diminuire in modo costante più si va verso la periferia. Così fanno i pianeti del Sistema solare, le cui velocità orbitali calano con la distanza dal Sole.

## Il comportamento osservato



**Il comportamento osservato.** Invece, nella maggior parte delle galassie a spirale, la velocità orbitale delle stelle, in regioni lontane dal centro, dapprima diminuisce, ma poi, allontanandosi ulteriormente, rimane circa costante. Come se attorno ci fosse della materia invisibile che "tira" le stelle sulle proprie orbite.

## La possibile soluzione



**La possibile soluzione ipotizzando la materia oscura.** A oggi, la materia oscura (se esiste) non si sa di che cosa sia composta. Le ipotesi parlano di particelle non ancora scoperte, dette Wimps. La presenza di un alone di materia oscura permetterebbe di spiegare perché le stelle vicine al nucleo galattico (nella zona verde del disegno) si comportino in modo “normale” mentre quelle più distanti (nella regione azzurra) orbitino a una velocità maggiore di quella prevista dalle leggi della dinamica di Newton e da quelle della relatività di Einstein: è la forza di gravità esercitata dalla materia oscura a tirare le stelle della periferia galattica. Quelle verso il centro, invece, sono troppo addensate l’una all’altra per risentirne.

Così avviene nel Sistema solare, dove i pianeti lontani dal Sole si muovono più lentamente di quelli vicini. Ma le osservazioni dicono che oltre una certa distanza dal centro galattico la velocità orbitale delle stelle non cala, come se ci fosse una grande quantità di materia invisibile capace di mantenere elevata la gravità e dare una “spinta” alle stelle.

Un discorso simile vale per gli ammassi di galassie, dove la somma della gravità dovuta alle singole galassie componenti è inferiore a quella necessaria per tenerle insieme negli ammassi (foto sotto). Per questo gli astrofisici hanno introdotto la materia oscura, chiamata così perché non emette luce né altre radiazioni elettromagnetiche, ma rivela la propria presenza solo grazie ai suoi effetti gravitazionali.

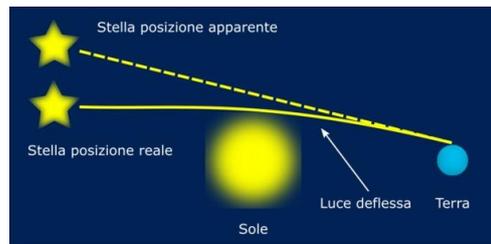


L'ammasso di galassie Bullet Cluster, a 4,5 miliardi di anni luce. In blu, dove si troverebbe la materia oscura.

**SI CERCANO PROVE.** A questo punto ci si potrebbe chiedere se esiste un modo per verificare tesi così audaci. Ci ha provato un gruppo guidato da **Margot Brouwer**, dell'Università di Leida, nei Paesi Bassi, che ha studiato ben 33.000 galassie che producono lenti gravitazionali.

Questo fenomeno si manifesta perché la massa di una galassia curva lo spazio circostante in modo che la luce emessa da un'altra che si trova dietro (quindi più lontana) possa “aggirarla” e arrivare ugualmente ai nostri telescopi.

Di fatto, la galassia più vicina concentra la luce di quella più distante verso di noi, come una lente. Questo effetto è già descritto dalla relatività.



Ma la deviazione dei raggi luminosi prevista dalla teoria di Einstein combacia con i valori misurati da Brouwer e colleghi solo ipotizzando, di nuovo, l'esistenza di una giusta quantità di materia oscura. I dati sono invece in buon accordo con quanto predetto da **Verlinde**. L'interessato, però, non canta vittoria: «Ci vorranno ancora anni di lavoro perché la mia teoria spieghi con sufficiente precisione la struttura a grande scala dell'universo».

**NOVITÀ IN ARRIVO?** Recenti osservazioni compiute con il **Very Large Telescope** in Cile suggeriscono che circa 10 miliardi di anni fa le galassie, allora giovanissime, fossero prive di materia oscura: la velocità di rotazione delle stelle più lontane dal centro calava drasticamente, invece di rimanere costante.

La materia oscura si sarebbe aggiunta in un secondo tempo, e questo comportamento "ritardatario" ha sorpreso un po' tutti: al momento non c'è una spiegazione chiara.

**C'È UN'ALTRA NOVITÀ.** Qualche mese fa, due team di ricerca hanno individuato nei dati dei satelliti Chandra della Nasa e Xmm-Newton dell'Esa le possibili tracce di un'ipotetica particella, il "**neutrino sterile**", che potrebbe essere uno dei costituenti della materia oscura.

Intanto sta entrando in azione la versione avanzata di *Virgo* (*INFN Sez. di Pisa*), il cacciatore europeo delle onde gravitazionali previste da Einstein, che darà indicazioni sull'abbondanza nell'universo dei buchi neri, altri candidati per la materia oscura.

Chissà che **Verlinde** non sia costretto a rivedere le proprie idee grazie a un satellite con il nome di *Newton* e a uno strumento realizzato per verificare la teoria di Einstein.

La sfida della gravità è ancora aperta.

