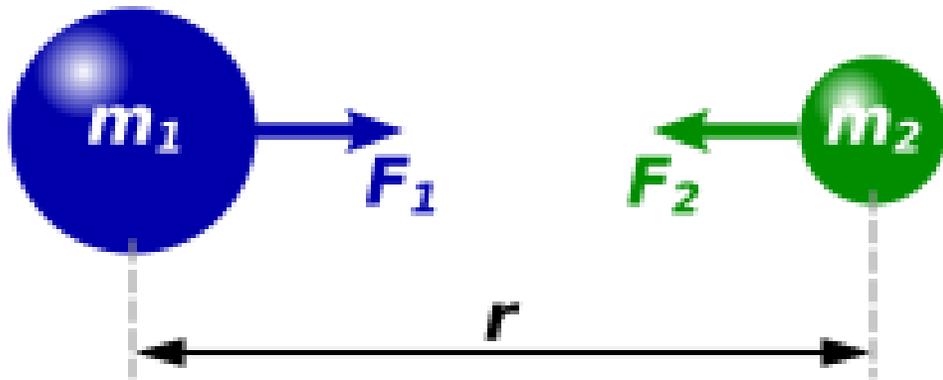
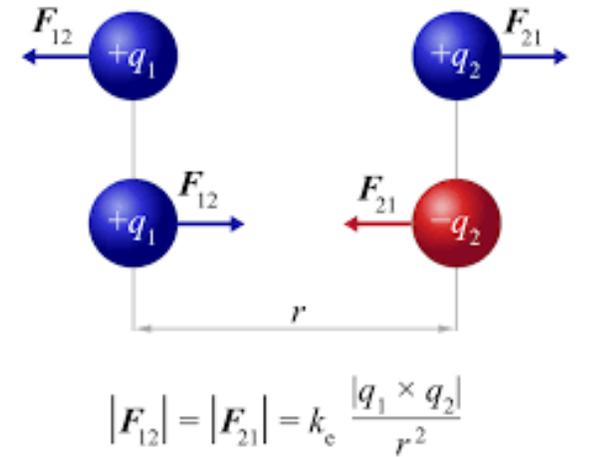


Forza gravitazionale forza elettrica campo elettrico

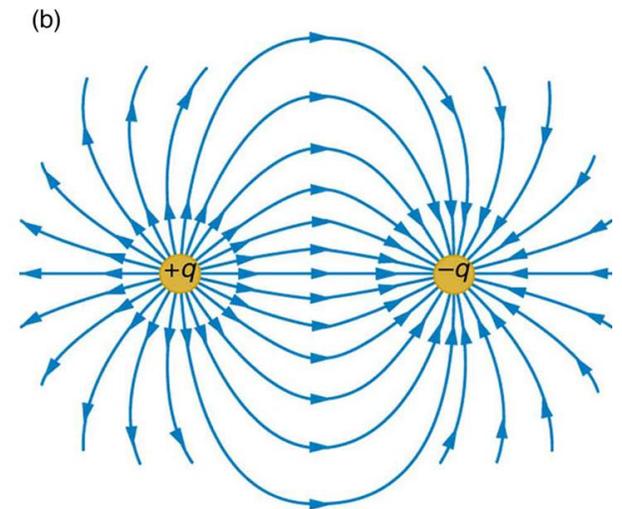
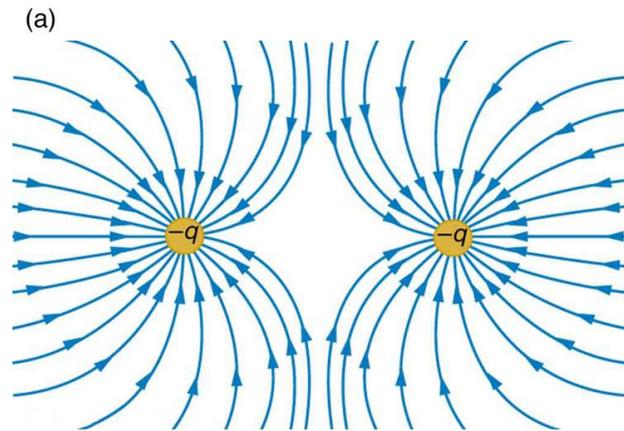


Questa foto di Autore sconosciuto è concesso in licenza da CC BY-SA

$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$



$$|F_{12}| = |F_{21}| = k_e \frac{|q_1 \times q_2|}{r^2}$$



Newton e l'attrazione fatale della mela!

Nell'aprile del 1665, per sfuggire alla pestilenza di Londra, Newton ritorna nella sua tenuta a Woolsthorpe.

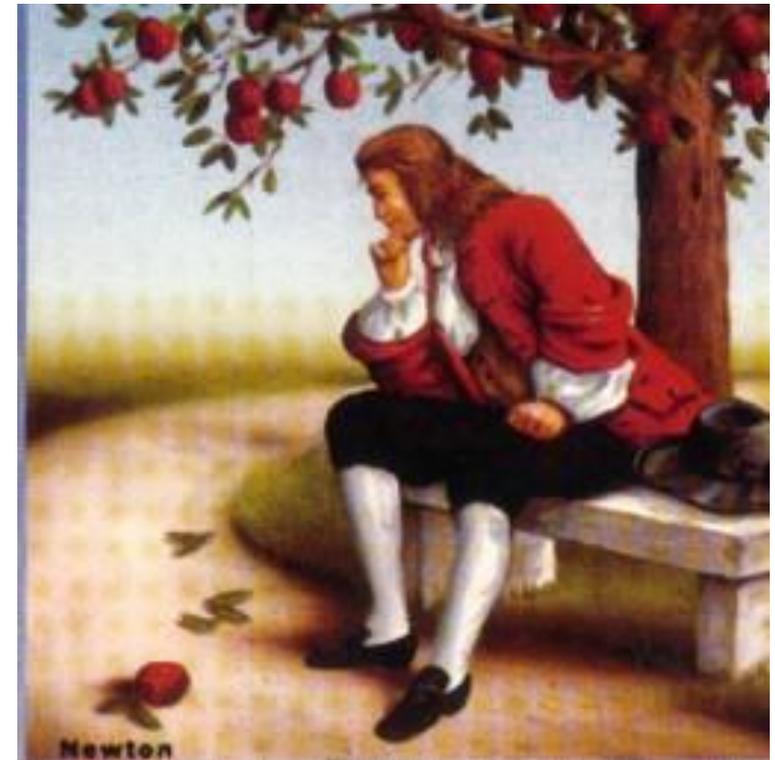
Leggenda narra di Newton seduto sotto un albero in meditazione e colpito dalla caduta di una **mela**. Quindi ipotizzò l'esistenza di una "**forza invisibile**" che attraeva la mela al centro della Terra. Questa forza la chiama "**gravità**", dal latino "*gravitas*", letteralmente "pesantezza" o "peso". Newton arrivò probabilmente a comprendere quasi subito l'importanza della

forza di attrazione esercitata tra due corpi, ma non pubblicò le sue intuizioni.

Nel 1684, Newton espose la sua teoria all'amico astronomo britannico **Edmond Halley**.

La legge di gravitazione universale però sarà dimostrata due anni e mezzo dopo nei

Philosophiae naturalis principia mathematica.



In occasione del 350esimo anniversario della Royal Society, istituzione scientifica di cui Newton fu presidente, un ramo del melo è stato spedito nello spazio. Come già successo in un'altra missione della Nasa con il cannocchiale di Galileo Galilei, così anche all'albero di Newton è stato riservato il privilegio di essere portato sulla Stazione Spaziale Internazionale.

Gli astronauti della Nasa che hanno preso parte alla missione STS-132, in partenza da Cape Canaveral, in Florida, il 14 maggio 2010, hanno portato con loro il cimelio, simbolo della scoperta della gravità, proprio là dove la gravità non c'è. Insieme al pezzo di legno, è andata in orbita un'immagine del venerato scienziato inglese: entrambi sono stati esposti al pubblico al ritorno sulla Terra, prima nell'ambito della mostra celebrativa della fondazione dell'organizzazione e poi come parte di quella permanente.

La mela di Newton è restata nello spazio 12 giorni, quelli programmati per la missione STS-132, una delle ultime della Nasa con lo Space Shuttle, in procinto di andare in pensione.

“Sono certo che Sir Isaac sarebbe stato contento di assistere a questo viaggio. E di constatare che, lassù, la sua mela non sarebbe mai caduta”, ha detto l'astronauta britannico Piers Sellers, il membro dell'equipaggio a cui è stato affidata la responsabilità dei due simboli celebrativi.

Storia

Una recente valutazione (di Ofer Gal) sulla storia iniziale della legge dell'inverso del quadrato sottolinea che "verso la fine degli anni 1660", l'ipotesi di una "proporzionalità inversa tra gravità e il quadrato della distanza era abbastanza comune ed era stata avanzata da un certo numero di persone per motivi diversi". Lo stesso autore attribuisce a Robert Hooke un contributo significativo, ma tratta come poco interessante la pretesa di priorità di Hooke sulla questione dell'inverso del quadrato, dal momento che diverse persone oltre a Newton e Hooke l'avevano almeno accennata, e sottolinea invece, come contributi significativi di Hooke, l'idea della "composizione dei moti celesti" e l'aver convertito il pensiero di Newton dalla 'forza centrifuga' alla 'forza centripeta'.

Nel 1686, quando il primo libro di Newton "Principia" fu presentato alla Royal Society, Robert Hooke accusò Newton di plagio, sostenendo che egli aveva preso da lui la "nozione" de "la regola della diminuzione della Gravità, agendo essa in modo reciproco come i quadrati delle distanze dal Centro".

La difesa di Newton

Nel carteggio con Newton del 1679-1680, Hooke citò non solo la supposizione sull'inverso del quadrato per la diminuzione dell'attrazione con l'aumentare della distanza, ma anche, nella sua lettera a Newton del 24 novembre 1679 a proposito del moto celeste dei pianeti, un approccio alla "composizione di un moto diretto per la tangente con un moto di attrazione verso il corpo centrale".

Nel maggio 1686 Newton, a fronte della rivendicazione di Hooke sulla legge dell'inverso del quadrato, negò che questi dovesse essere accreditato come autore dell'idea. Tra le ragioni addotte, Newton ricordò che l'idea era stata discussa con Sir Christopher Wren precedentemente alla lettera di Hooke del 1679.

Newton inoltre difese il suo lavoro sostenendo che se anche avesse sentito Hooke parlare di proporzione inversa del quadrato, egli avrebbe ancora dei diritti derivanti dalle sue dimostrazioni circa l'accuratezza dell'idea.

Hooke, senza prove a favore della supposizione, poteva solo immaginare che la legge dell'inverso del quadrato a grandi distanze dal centro fosse valida in modo approssimativo. Secondo Newton, mentre i 'Principia' non erano ancora stati pubblicati, c'erano a priori tante ragioni per dubitare della precisione della legge che "senza le mie (di Newton) dimostrazioni, alle quali il signor Hooke è estraneo, un Filosofo giudizioso non poteva credere che fosse precisa dappertutto".¹

Newton accettò e riconobbe, in tutte le edizioni dei 'Principia', che Hooke (ma non soltanto lui) aveva per proprio conto mostrato apprezzamento per la legge dell'inverso del quadrato nel sistema solare.

A questo proposito, Newton ebbe riconoscimenti anche per Wren e Halley alla Proposizione 4 del Libro 1. Ad Halley disse che il suo carteggio con Hooke del 1679-80 aveva risvegliato in lui un latente interesse in campo astronomico, ma ciò non significava che Hooke gli avesse detto qualcosa di nuovo o di originale:

"non gli sono grato per avermi illuminato in questo lavoro, ma solo per avermi distolto da altri miei studi per riflettere su queste cose; è l'arroganza dei suoi scritti, come se avesse scoperto il moto nell'Ellisse, che mi ha spinto a studiarlo..."[[]

Nell'Universo due corpi si attraggono con una forza direttamente proporzionale (G) al prodotto delle loro masse e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza (r):

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

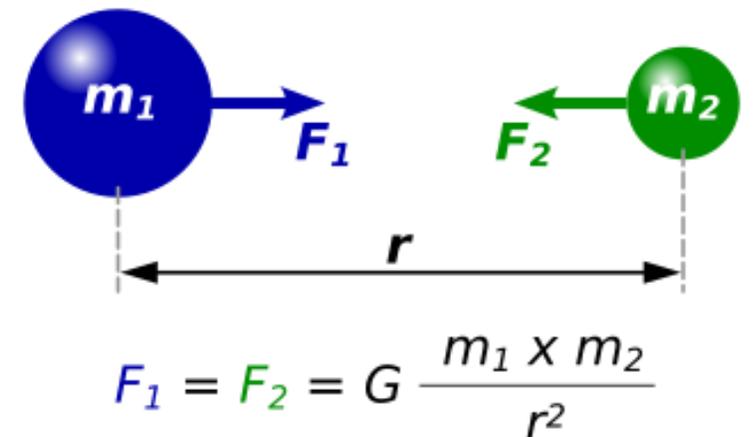
F = forza

G = costante di gravitazione universale

m_1 = massa dell'oggetto 1

m_2 = massa dell'oggetto 2

r = distanza tra i centri delle masse

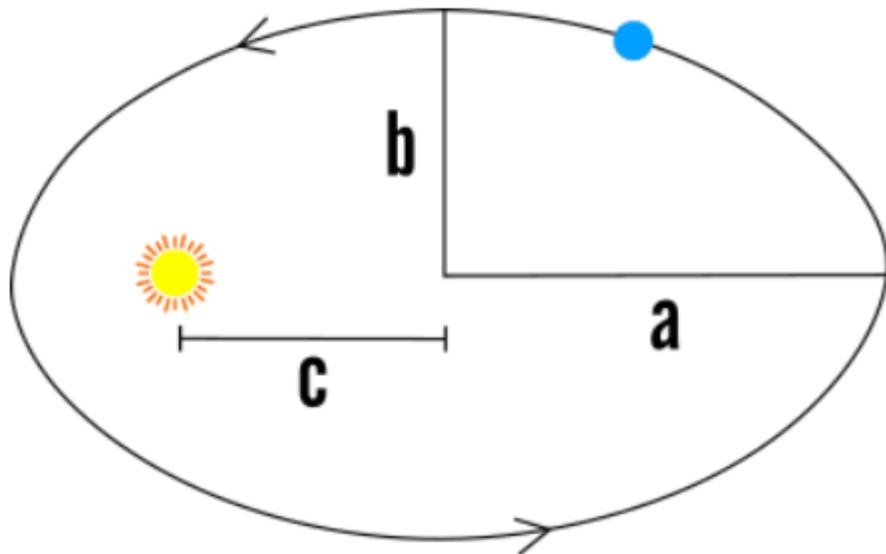


Dimostrazione

Newton riuscì a determinare la legge di gravitazione universale grazie alle leggi di Keplero e ai lavori di Galileo, che dicevano che i fenomeni naturali erano regolati da leggi universali.

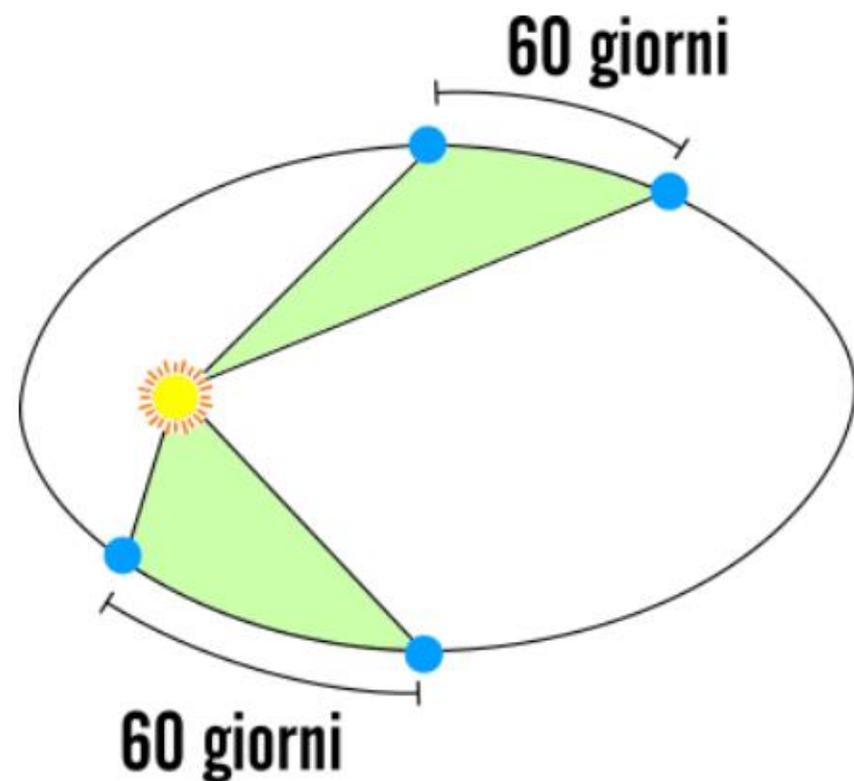
Prima di tutto bisogna riscrivere le leggi di Keplero immaginando che le orbite dei pianeti siano circolari invece che ellittiche. Le tre leggi diventano così:

- 1°) I pianeti descrivono intorno al Sole orbite circolari aventi tutte al centro il Sole; (*i pianeti descrivono intorno al sole orbite ellittiche e il sole occupa uno dei due fuochi*)
- 2°) Il moto dei pianeti è uniforme; (*il raggio che va dal sole al pianeta spazza aree uguali in tempi uguali*)
- 3°) I quadrati dei tempi impiegati dai pianeti a descrivere le orbite sono proporzionali ai cubi dei raggi delle orbite. (*il quadrato del periodo di rivoluzione del pianeta intorno al sole è proporzionale al cubo della distanza media dal sole al pianeta*)



Prima legge di Keplero: orbita ellittica
e Sole in uno dei due fuochi.

$$T^2 = k r^3$$



Seconda legge di Keplero: un esempio.

I pianeti esercitano una forza sul Sole di pari forma e di verso opposto di quella che il Sole esercita su di loro. Chiamando F ed F' le forze rispettivamente del pianeta sul Sole e del Sole sul pianeta risulta:

$$F = m_p \cdot a_{centr} = m_p \cdot (\omega^2 R) = m_p \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot R = m_p \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot R$$

In base alla terza legge di Keplero che dice che $T^2 = kr^3$ con K costante per tutti i pianeti, la formula diventa:

$$F = m_p \cdot \frac{4\pi^2}{R^2 \cdot K}$$

Ponendo $4\pi^2/K$ uguale a C_s diventa:

$$F = C_s \cdot \frac{m_p}{R^2}$$

Per lo stesso procedimento risulta:

$$F' = C_p \cdot \frac{m_s}{R^2}$$

Siccome le due forze sono uguali, allora

$$C_p \cdot m_s = C_s \cdot m_p \Rightarrow \frac{C_s}{m_s} = \frac{C_p}{m_p} = G \Rightarrow C_s = m_s \cdot G$$

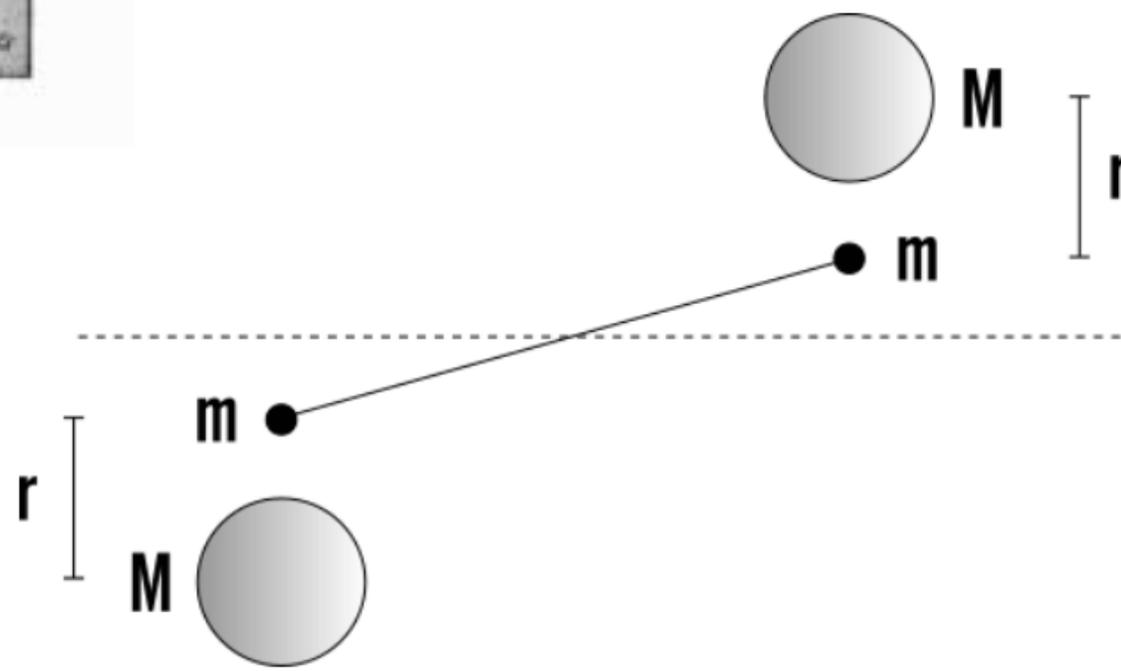
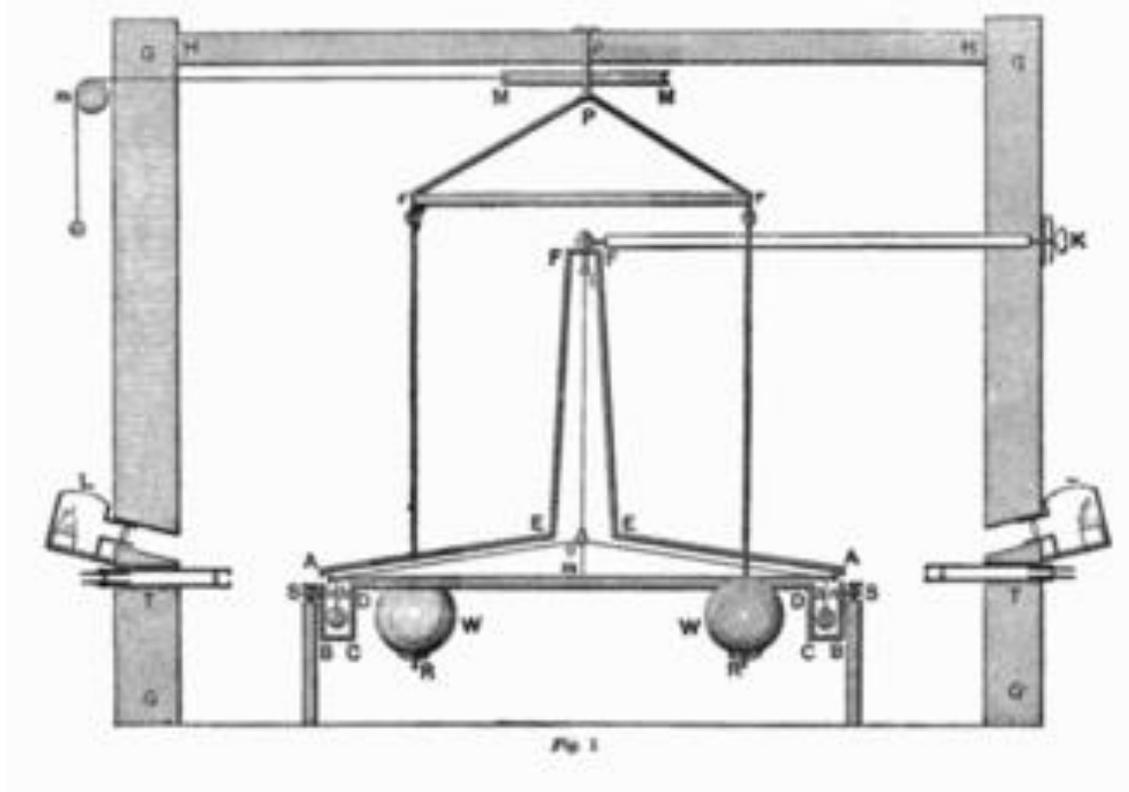
Quindi risulta che:

$$F = C_s \cdot \frac{m_p}{R^2} = G \cdot \frac{m_s \cdot m_p}{R^2} = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$

Il valore di G venne ricavato da Cavendish nel 1798 tramite la bilancia di torsione

$$G = 6.67430 \times 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$$

G = costante di gravitazione universale



La bilancia di torsione dell'esperimento di Cavendish

Significato della legge di gravitazione universale

- A parità di distanza se una massa raddoppia, la forza raddoppia; a parità di masse se la distanza raddoppia la forza diventa $\frac{1}{4}$.
- La costante di gravitazione rimane invariata in tutto l'universo, indipendentemente dal luogo e dalle condizioni considerate.
- E' valida per corpi puntiformi. Si può immaginare tutta la massa di un corpo esteso nel suo centro di massa, che diventa il punto di applicazione della forza; la forza si considera che agisca lungo la linea congiungente tali centri.
- La forza agisce a distanza e non richiede la presenza di un mezzo tra di essi. Maggiore è la distanza, tanto più piccola sarà la forza, ma non diventerà mai nulla.

Esempio

Proviamo a calcolare il modulo della forza di attrazione gravitazionale tra un libro di 0,4 kg poggiato su una scrivania e una persona di 65 kg posta a una distanza di mezzo metro.

$$F \simeq 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{(0,4 \text{ kg}) \cdot (65 \text{ kg})}{(0,5 \text{ m})^2} \simeq 6,94 \cdot 10^{-9} \text{ N}$$

Circa sette miliardesimi di newton!

Ora supponiamo che tra il libro e il tavolo vi sia un coefficiente di attrito statico pari a 0,15 e calcoliamo la forza d'attrito che bisognerebbe vincere per mettere in moto il libro da fermo.

$$F_A = \mu mg = 0,15 \cdot (0,4 \text{ kg}) \cdot \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \simeq 0,589 \text{ N}$$

La forza di attrito statico è circa 85 milioni di volte più grande di quella gravitazionale.

È quindi facile capire perché gli oggetti non ci si appiccicano addosso a causa della forza di attrazione gravitazionale, e anche perché non ci sentiamo per nulla attratti da alcun corpo che ci circonda. L'esempio mette ben in luce il ruolo fisico della costante di gravitazione universale nell'interazione tra oggetti di piccola massa.

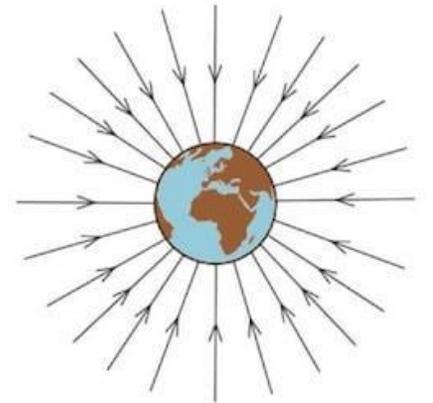
Campo gravitazionale

Il **campo gravitazionale** è una modificazione o perturbazione dello spazio causata dalla presenza di una **massa**.

Detta F la forza di gravitazione universale che spiega l'attrazione tra due masse che chiamiamo M , quella che genera il campo,

ed m , massa di prova che si trova nel campo, detta d la distanza tra i loro centri di massa definiamo il vettore campo gravitazionale \vec{g} il rapporto tra la forza di attrazione tra le due massa e la massa di prova m :

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}$$



Ricordando l'espressione della **forza di gravitazione**

otteniamo che l'**intensità del campo gravitazionale** generato da un corpo di massa

M vale:

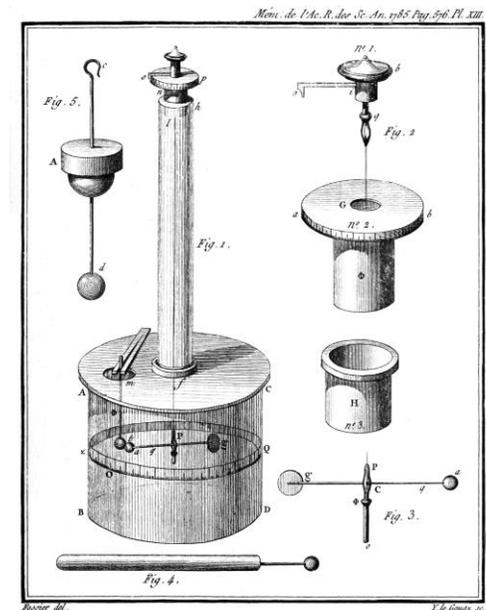
$$g = G \cdot \frac{M}{d^2}$$

Direzione e verso del campo gravitazionale sono i medesimi della forza gravitazionale, ovvero la direzione è la congiungente i centri delle due masse mentre il verso è attrattivo.

Forza elettrica, legge di Coulomb

- Le prime indagini sulla forza elettrica si hanno in Grecia nel 600 a.C. con Talete di Mileto e Teofrasto e riguardano esperimenti di elettrostatica con l'ambra e la seta (o in alternativa la lana). Successivamente, studi più approfonditi presero luogo dal XVI al XIX secolo: in particolare, fino alla metà del XVIII secolo erano noti solo gli aspetti qualitativi della forza elettrica: si iniziò allora a studiarne anche le proprietà quantitative, così che si fece strada l'idea di una somiglianza con la forza di gravità. Aspetti come:
 - la presenza di una costante universale indipendente dal sistema di misura adottato;
 - la proporzionalità diretta tra le particelle puntiformi interagenti;
 - la proporzionalità inversa con il quadrato della distanza.

Tra il 1777 e il 1785 fu Charles Augustin de Coulomb a provare sperimentalmente che effettivamente la forza elettrica era proporzionale all'inverso del quadrato della distanza; ma non fu il primo, dato che gli stessi esperimenti di Coulomb furono precedentemente condotti dall'inglese Henry Cavendish, il quale per la sua bizzarra personalità non pubblicò la maggior parte dei suoi lavori. Questo è stato il primo tentativo di capire il funzionamento della *forza elettrica*.



Questa foto di Autore sconosciuto

L'enunciato della legge di Coulomb è il seguente:

La forza di attrazione e repulsione fra due corpi dotati di carica elettrica è direttamente proporzionale al prodotto tra le cariche possedute da due corpi e inversamente proporzionale alla loro distanza.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

F = forza elettrica

k = costante di Coulomb

q_1, q_2 = cariche

r = distanza di separazione

K_0 è detta costante di Coulomb e vale nel vuoto $9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$

CONFRONTO TRA

LEGGE DELLA GRAVITAZIONE UNIVERSALE DI NEWTON

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

LEGGE DI COULOMB

$$F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

ANALOGIE

1. hanno **stessa formula matematica**, anche se le grandezze coinvolte sono differenti

Newton
masse

Coulomb
cariche

2. sono forze che agiscono **a distanza**, ovvero non esiste contatto

3. entrambe le forze agiscono lungo la **linea congiungente i due oggetti**

4. le due forze sono entrambe

direttamente proporzionali al prodotto delle grandezze coinvolte

Newton
masse

Coulomb
cariche

inversamente proporzionali al quadrato della distanza tra le grandezze coinvolte

DIFFERENZE

1. la forza di gravitazione è solo **attrattiva**, mentre quella descritta di Coulomb può essere sia **attrattiva che repulsiva**

2. la legge di Coulomb è **influenzata dalla massa**, che cambia a seconda del materiale nel quale sono immerse le cariche. la forza di attrazione gravitazionale invece **è sempre valida**

3. la forza di attrazione gravitazionale agisce su tutti i corpi (perché dotati di massa) mentre quella di Coulomb agisce solo su corpi elettricamente carichi

Costante K

Anche nella legge di Coulomb è presente una costante che si indica con k_0 oppure k_r secondo che le cariche siano nel vuoto o in un mezzo.

$k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ se nel vuoto oppure ϵ_r se si è in un mezzo

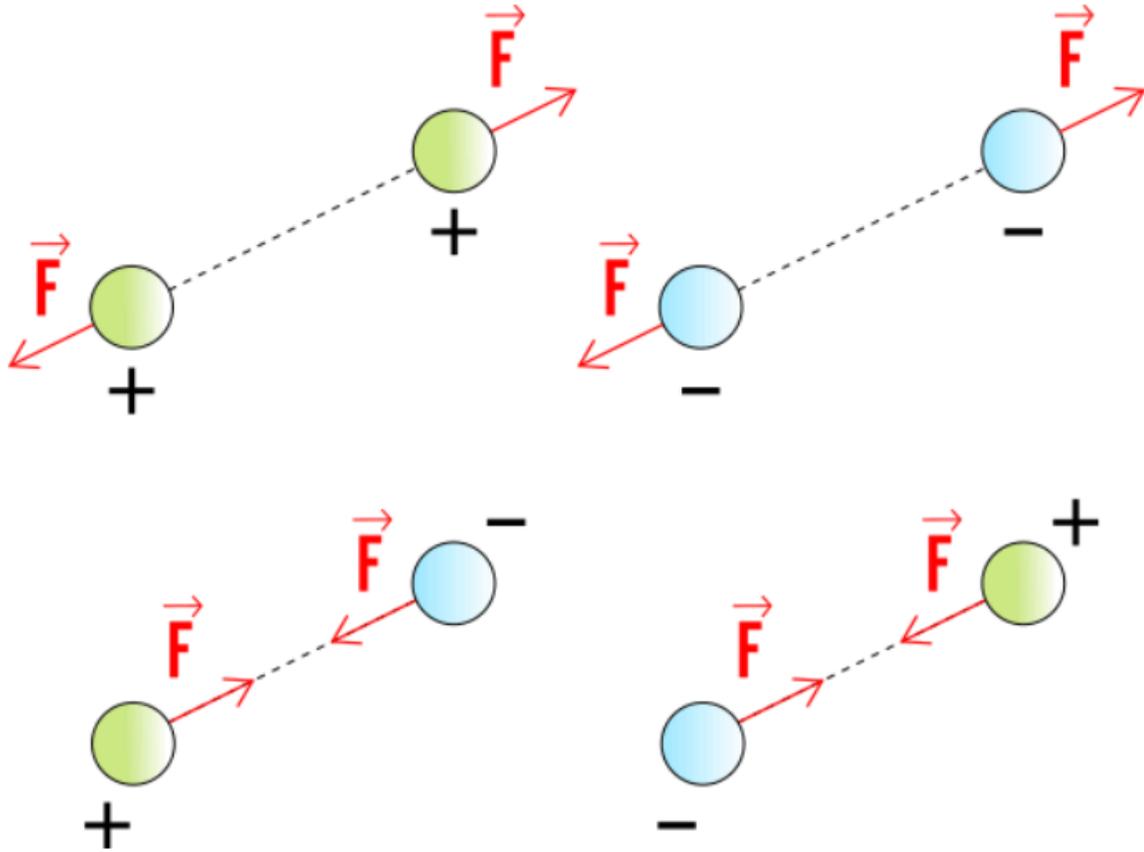
ϵ è chiamata costante dielettrica

I mezzi materiali hanno l'effetto di indebolire sempre la forza elettrica; *ogni sostanza è infatti caratterizzata da un proprio valore di ϵ che esprime quanto è capace di schermare l'**interazione elettrostatica**.*

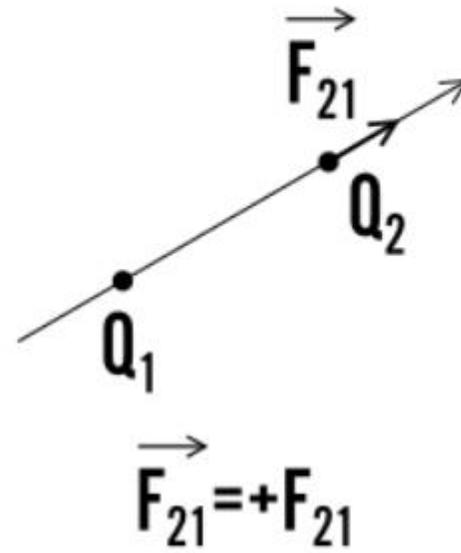
Gli **atomi** che compongono una sostanza sono **eletttricamente neutri** solo perché le particelle cariche di cui sono composti sono disposte in modo da bilanciarsi reciprocamente. La presenza di *cariche elettriche esterne*, come Q1 e Q2, tendono a *modificare la forma degli atomi intorno a sé*, attraendone le cariche opposte. L'effetto complessivo è che Q1 e Q2 appaiono come ricoperte da una specie di guscio di carica opposta che ne indebolisce la reciproca capacità di attrarsi o respingersi.

$$\epsilon_0 = 8,99 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

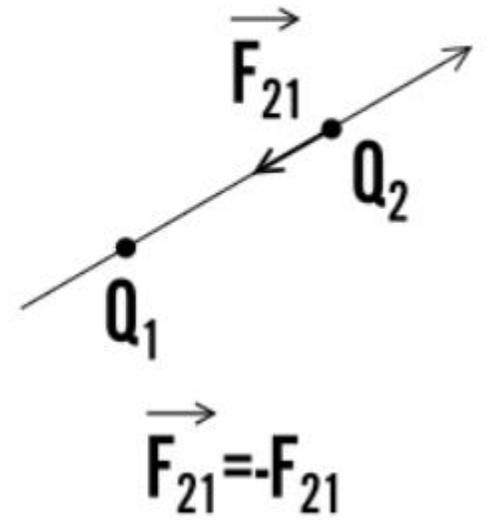
La forza di Coulomb può essere: attrattiva, repulsiva o nulla



Q_1, Q_2 concordi



Q_1, Q_2 discordi



Test

Assegna a ogni simbolo della legge di Coulomb $F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ il significato o l'aspetto sperimentale correlato:

Coulomb si accorse che l'interazione tra due masse decresce con l'inverso del quadrato della distanza che le separa.

Quale azione delle seguenti NON ha come effetto un quadruplicamento della forza?

- raddoppio di entrambe le cariche
- quadruplicamento di una sola delle cariche
- dimezzamento della distanza
- riduzione della distanza a un quarto del suo valore

Campo elettrico

Per fornire la definizione di campo elettrico consideriamo una carica Q . La sola presenza di tale carica genera attorno ad essa un campo elettrico nello spazio che la circonda. Qualsiasi altra carica q che venga introdotta nella regione di spazio in cui agisce il campo generato da Q risentirà di una forza di Coulomb, attrattiva o repulsiva a seconda del segno delle cariche interagenti.

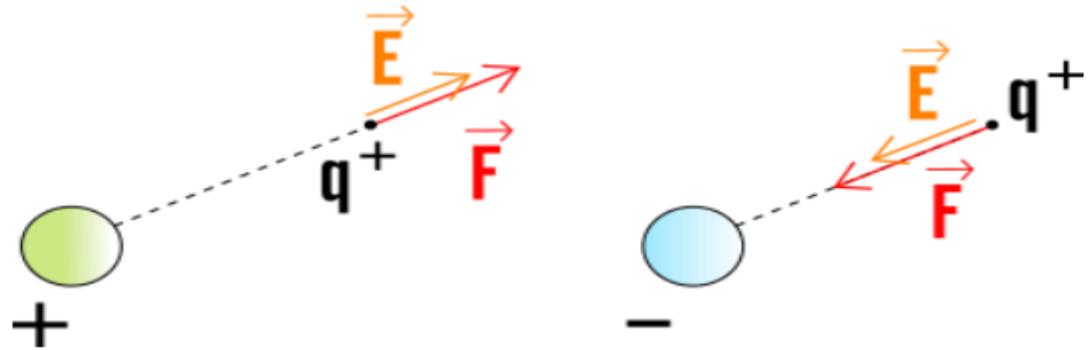
Per definizione il **campo elettrico generato da una carica Q** in un punto dello spazio circostante è dato dal rapporto tra la forza che la carica Q eserciterebbe su una carica q^+ collocata in tale punto, detta *carica di prova* e considerata convenzionalmente positiva.

Da qui possiamo scrivere la prima **formula del campo elettrico**, che indichiamo con il simbolo \vec{E} .
Detta \vec{F} la forza elettrica esercitata dalla carica Q sulla carica di prova q^+ :

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q^+} \quad (\text{definizione generale})$$

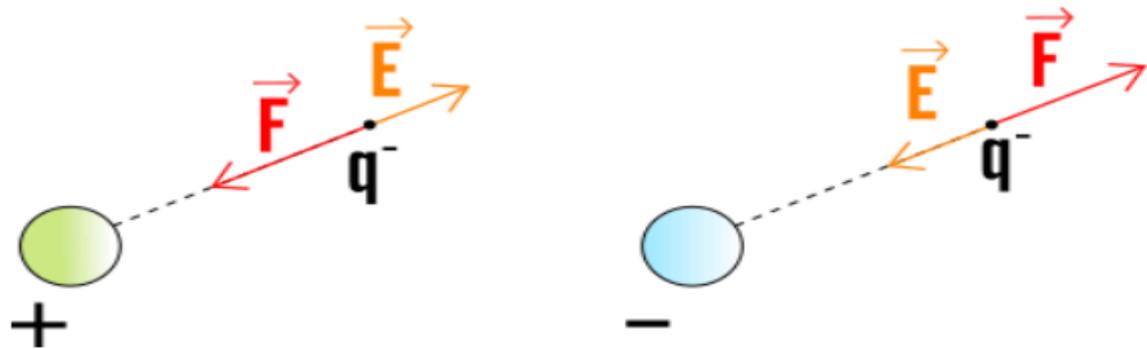
Una carica di prova introdotta in un campo elettrico, altera il valore del campo?

- con una carica di prova positiva il verso di \vec{E} coincide con il verso di \vec{F}



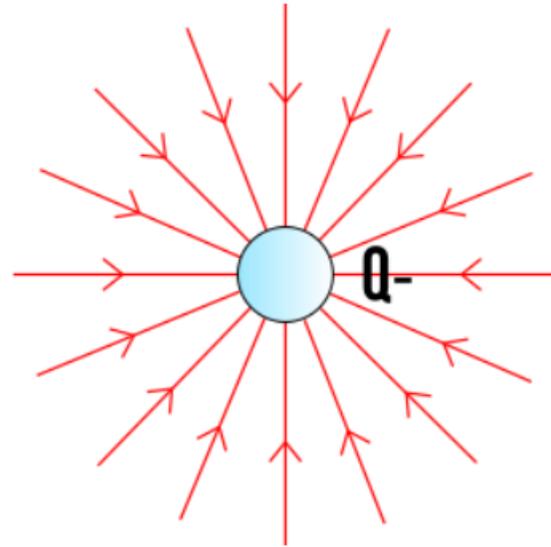
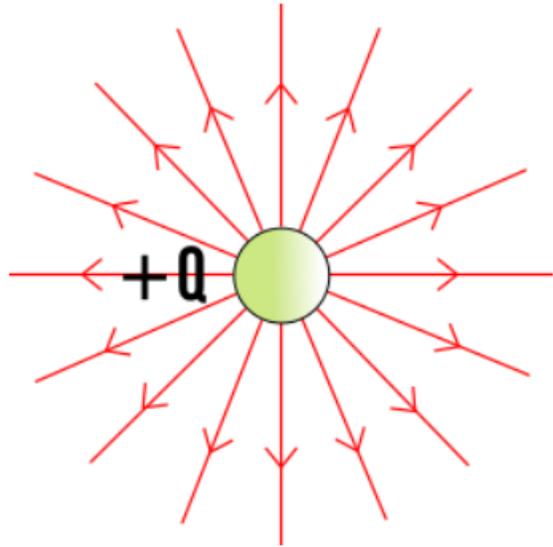
Campo elettrico con carica di prova positiva.

- con una carica di prova negativa il verso di \vec{E} è discorde rispetto al verso di \vec{F}

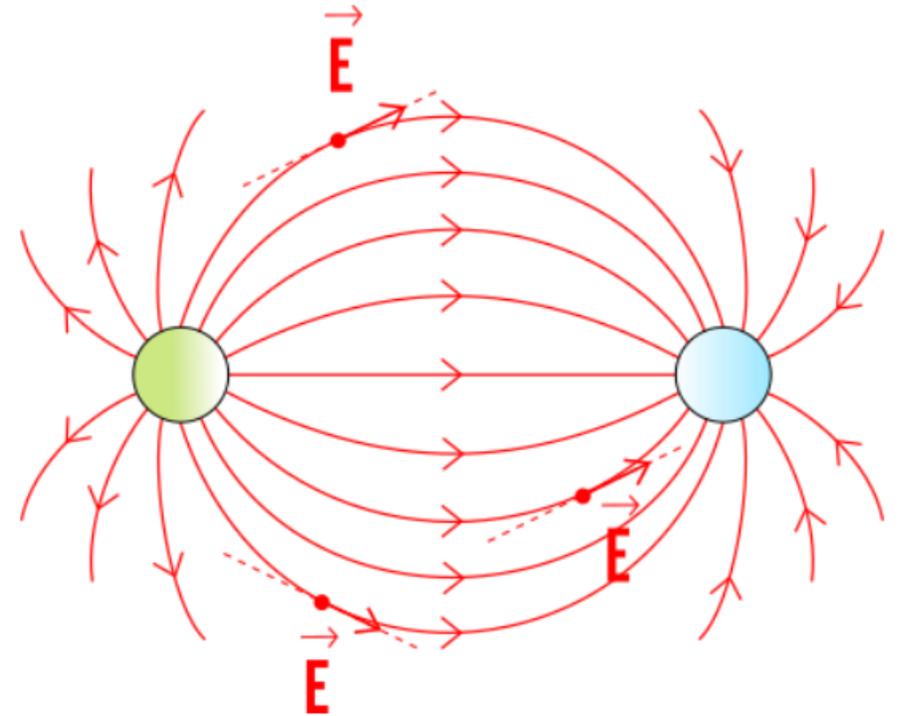


Campo elettrico con carica di prova negativa.

Linee di campo



Linee di campo elettrico generato da una carica puntiforme.

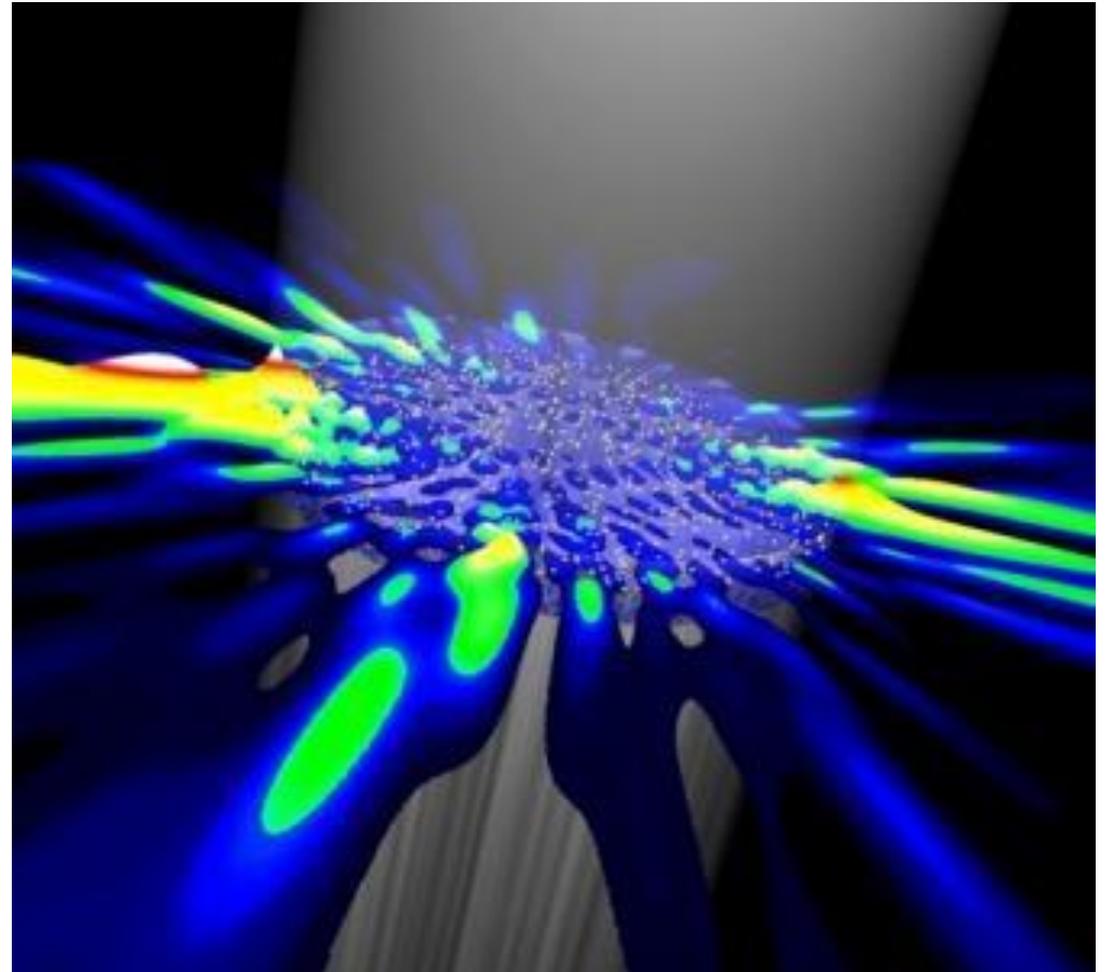


Dal campo elettrico punto per punto alle linee di campo elettrico, e viceversa.

Arte

Un'immagine ingrandita, che sembra un dipinto di arte astratta, rappresenta la **resa tridimensionale del campo elettrico**, nella quale le sferette gialle rappresentano le **nanoparticelle** in un mezzo potenziato e cilindricamente simmetrico.

Il colore e l'altezza indicano l'intensità del campo elettrico.



Nuvole di elettricità? Un'altra sorprendente scoperta sulle api

Le **api**, insetti preziosissimi per la vita stessa della Terra, perché agenti impollinatori imprescindibili e tasselli fondamentali dell'ecosistema, ma in drastico calo in tutto il mondo, non finiscono di stupire.

Sono stati infatti pubblicati degli studi che ne svelano aspetti molto diversi, ma affascinanti.

Lo studio, pubblicato sulla rivista *Science*, rivela che, quando le api volano, minuscoli peli sui loro corpi vibrano, raccogliendo una piccola quantità di carica elettrostatica. Se le api si trovano in grandi gruppi (qui possono dare vita a superfici cariche elettricamente che creano un campo elettrico collettivo molto più grande di quanto gli scienziati avessero immaginato finora, e paragonabile in certi casi a quello che si determina quando ci sono eventi atmosferici di portata significativa, quali i temporali. La presenza di queste nuvole di elettricità, a sua volta, può influenzare – secondo gli studiosi – il clima del luogo in cui i grandi sciami si trovano.



Campi elettrici creati da insetti: la “potenza” delle locuste

Con valutazioni analoghe è possibile calcolare anche i campi elettrici creati da altri insetti. Le locuste, per esempio, che quando sono in sciame cambiano colore e comportamento, e raggiungono densità elevatissime (in media, 80 milioni di esemplari in circa 2,6 chilometri quadrati), possono creare campi elettrici di intensità notevole, molto superiore a quella dei campi generati dalle api.

