

FISICAST

SxT
per

Tuoni e Fulmini

di
Gianluca Li Causi



Tuoni e Fulmini

Gianluca Li Causi

Abstract:

Cosa avviene in un temporale? Come si producono i tuoni e i fulmini? Un fenomeno comune visto con gli occhi della fisica, che solo recentemente comincia a comprenderlo nella sua interezza.

INIZIO

Tuoni e fulmini, per la loro imponenza e spettacolarità, hanno da sempre atterrito e al tempo stesso affascinato gli uomini di ogni epoca. Ma perché si producono? Quali leggi fisiche ne sono coinvolte? Ce ne parla Gianluca Li Causi dell'Istituto Nazionale di Astrofisica.

Rumore di un forte temporale con pioggia e tuoni di vario tipo con un tuono gigante in primo piano (rimane in sottofondo per le prime battute)

Q: Mamma mia! Che tuono assordante!

A: ...e che fulmine accecante!

Q: Ma... da dove viene tutto quel fracasso? E poi, perché nel temporale si producono i fulmini?

A: Domande antiche quanto l'essere umano!

Q: Già. Perciò immagino che ormai sarà parecchio che ne sappiamo la risposta... mi sa che solo io non so ancora come avvengono...

A: Eh no, ti sembrerà strano, ma non è così: solo negli ultimi vent'anni la scienza ha davvero compreso come funzionano i tuoni e i fulmini! C'è più fisica in un temporale di quanta tu ne possa immaginare.

Q: Dici sul serio? Beh, io penso che il tuono può essere due cose: o il rumore delle nuvole che si scontrano, o lo schianto del fulmine

sul terreno come quello che abbiamo appena sentito, che non sembrava per niente venire dal cielo, ma proprio da qui sotto casa!

A: Beh no, il fulmine non è certo un oggetto pesante che fa rumore quando sbatte per terra... e del resto anche una nuvola è fatta di impalpabile vapore acqueo e quando ne incontra un'altra non può produrre un tuono, le due nuvole si mescolano silenziosamente. La tua idea tuttavia è abbastanza comune e deriva da Lucrezio, che nel I secolo a.C., nel suo poema "De Rerum Natura", proponeva varie cause del tuono e del fulmine in analogia con la forgiatura del metallo, che produce scricchiolii e scintille.

Q: ...oggi però sappiamo che i fulmini sono scariche elettriche, giusto?

A: Eh sì. La leggenda racconta che fu Benjamin Franklin a dimostrarlo 250 anni fa col suo celebre esperimento dell'aquilone, in cui avrebbe mostrato scintille elettriche che uscivano dal filo che teneva un aquilone quando questo era colpito da un fulmine. Credo che abbiamo tutti esperienza di piccole scariche elettriche, come per esempio quelle che sentiamo sulle dita se tocchiamo una maniglia dopo aver camminato sulla moquette...

Q: Beh sì, a me è capitato. Ma come nasce una scintilla elettrica?

A: Quelle che scoccano dalle dita nascono perché camminando le scarpe asportano parecchi elettroni dagli atomi della moquette e queste cariche negative si accumulano nel nostro corpo, che così acquista un "potenziale elettrostatico" negativo.

Q: Ok.

A: Ora, così come nello spazio intorno a un pianeta c'è sempre un "campo gravitazionale", nello spazio attorno a una carica elettrica c'è sempre un "campo elettrico". Perciò ci sarà un campo elettrico anche attorno a noi che, camminando sulla moquette, ci siamo caricati negativamente. Questo campo, la cui intensità si misura in Volt al metro, esercita una forza di repulsione tra tutti gli elettroni, che li farebbe schizzare via dal nostro corpo se non fosse che l'aria, in condizioni normali, non conduce corrente elettrica, ma è un isolante, che in fisica chiamiamo "dielettrico".

Q: Per questo non siamo circondati da scintille quando camminiamo sulla moquette?

A: Esattamente. Quando però avviciniamo il dito a una maniglia di metallo, che è un conduttore perché contiene elettroni liberi non legati agli atomi, il nostro campo elettrico allontana gli elettroni liberi della maniglia, lasciandola a un potenziale elettrostatico positivo: un meccanismo che chiamiamo "induzione". La differenza tra il potenziale negativo del dito e quello positivo della maniglia diventa tanto maggiore quanto più ci avviciniamo e determina un corrispondente aumento del campo elettrico attorno al dito. Perciò, se siamo abbastanza carichi e avviciniamo il dito a sufficienza, a un certo punto il campo elettrico supererà la soglia dei

3 milioni di Volt al metro, chiamata "campo di scarica disruptiva". In queste condizioni l'aria perde improvvisamente le sue proprietà isolanti e diventa un conduttore elettrico. A quel punto gli elettroni, liberi di schizzare via dal nostro dito, scorrono rapidamente fino alla maniglia. Avviene cioè la cosiddetta "rottura del dielettrico", che scarica il dito e annulla il campo elettrico, producendo anche una scintilla azzurra, che al buio si può vedere molto bene.

Q: E perché si genera luce quando gli elettroni passano nell'aria?

A: Come ricorderai dalla nostra puntata sull'argomento, gli elettroni accelerati emettono onde elettromagnetiche, che a secondo della frequenza si manifestano come onde radio, luce visibile, raggi X, o raggi gamma. La luce di una scintilla elettrica è causata dalla "ionizzazione" dell'aria, cioè dal fatto che il fortissimo campo elettrico, di 3 milioni di Volt al metro, strappa dalle molecole dell'aria alcuni elettroni, che però ritornano rapidamente al loro posto e in questo processo di "ricombinazione" subiscono una serie di accelerazioni che gli fanno perdere energia sotto forma di radiazione luminosa.

Q: Ho capito, il fulmine quindi è la stessa cosa! È come una grossa scintilla elettrica, che invece di passare da un dito a una maniglia scocca tra una nuvola e il terreno?

A: Questo è ciò che si pensava ai tempi di Franklin, ma oggi sappiamo che non è così semplice. Infatti, il campo elettrico nei temporali, che è stato misurato, arriva al massimo a 200 mila Volt per metro, molto al di sotto di quel che serve a rompere l'isolamento dell'aria!

Q: Ma allora... come si spiega?

A: Partiamo dall'inizio: per cominciare serve che si formi un campo elettrico tra le nuvole e il terreno.

Q: Perciò serve che si accumulino delle cariche sulle nuvole... ma le nuvole mica strusciano sul terreno come le scarpe sulla moquette?

A: No, infatti le nuvole temporalesche si elettrizzano perché al loro interno la temperatura è abbastanza bassa, intorno ai 10 gradi sottozero, da formare chicchi di grandine e cristalli di ghiaccio, che si scontrano continuamente. In questi scontri i chicchi di grandine si caricano negativamente, come avveniva per le scarpe sulla moquette, mentre i cristalli di ghiaccio si ritrovano con carica positiva. La grandine però è pesante e pian piano cade verso il basso, mentre i leggeri cristallini di ghiaccio vengono spinti in alto dalle correnti d'aria ascendenti.

Q: ...perciò alla fine la base della nuvola diventa negativa e la sommità positiva?

A: Proprio così, e questa separazione delle cariche genera un campo elettrico tra la base e la sommità della nube. E anche un campo elettrico

tra la nube e il terreno che, per induzione, diventa positivo, come la maniglia nell'esempio di prima. A questo punto il campo elettrico è pronto, ma cos'è che innesca il fulmine?

Q: ...viene scoccata una saetta dal dio Giove?

A: Eh... quasi. Ci sei andata vicino! L'innesco infatti proviene dallo spazio!

Q: ...che? Dallo spazio?

A: Devi sapere che la Terra è investita costantemente dai cosiddetti "raggi cosmici", particelle elementari prodotte da eventi energetici nelle profondità dell'Universo. Secondo la teoria corrente, il fulmine si innesca quando un protone cosmico molto energetico colpisce una molecola di ossigeno o di azoto nell'alta atmosfera, producendo di conseguenza una valanga di particelle secondarie. Tra queste particelle vi sono molti elettroni che vengono ulteriormente accelerati dai campi elettrici prodotti dalla nube, fino ad arrivare a velocità vicine a quella della luce ed emettendo raggi X e raggi gamma.

Q: Raggi X come quelli delle radiografie?

A: Sì, proprio quelli. Ma soprattutto perdono energia perché si scontrano con altre molecole dell'aria alle quali strappano elettroni, e così facendo creano un canale di aria "ionizzata", che può estendersi fino a 50-100 metri, prima che la loro energia sia esaurita. Come abbiamo visto prima, l'aria ionizzata è conduttrice, perciò nuovi elettroni che entrano nel canale ripetono il processo prolungandolo per altri 50-100 metri e così via. In pratica quel che avviene è che la carica elettrica viene spostata in basso a piccoli passi e ogni volta la direzione cambia leggermente, creando un invisibile percorso conduttivo a zig-zag chiamato "scarica guida". Alla fine, l'ultimo passo della scarica guida toccherà terra, mettendo così la nube in contatto elettrico col terreno e dando il via all'immediata scarica di una gran quantità di elettroni accumulatisi nella nube e lungo il canale, che ricombinandosi con le molecole ionizzate emettono l'intensa luce del fulmine che vediamo.

Q: Accidenti! E i tuoni allora sono il rumore di tutto questo scontrarsi tra gli elettroni e le molecole d'aria?

A: No, no. Quando un elettrone energetico ionizza una molecola d'aria non si produce alcun suono. Invece, l'improvviso flusso di corrente che percorre il canale guida riscalda l'aria fino a una temperatura di 30 mila gradi (pensa, 5 volte di più che la superficie del Sole!) e quest'aria rovente si espande di colpo, in una frazione di secondo: letteralmente esplose (un'esplosione infatti non è altro che un'espansione rapidissima di un gas) ed è l'onda di pressione che si genera a creare il caratteristico boato, che chiamiamo "tuono".

Q: Wow! ...però una cosa non mi torna: il fulmine dura solo un attimo, perciò mi aspetterei un botto secco, invece il tuono di solito è molto lungo e composto di parecchi rimbombi, com'è mai?

A: Buona osservazione! Il fatto è che anche se quest'unica esplosione si produce simultaneamente lungo tutta la traccia del fulmine, che è sottile solo pochi centimetri ma si estende per chilometri da terra fino all'interno della nube, il suo rumore non arriva al tuo orecchio tutto insieme, perché il suono si propaga nell'aria soltanto a 340 metri al secondo. Perciò il suono della base del fulmine ti raggiungerà prima del suono delle parti via via più alte, fino all'interno della nuvola, per questo il tuono dura parecchi secondi. E le tortuosità e le ramificazioni del fulmine spiegano perché il tuono si compone di vari rimbombi. In alcuni casi poi lo stesso canale può essere percorso da varie scariche in una frazione di secondo, producendo boati multipli.

Q: ...però a volte puoi sentire un tuono anche senza che sia stato un fulmine!

A: No, se senti un tuono prima c'è sempre stato un fulmine. Infatti non è strettamente necessario che il canale guida raggiunga il suolo, perché la scarica può generarsi anche all'interno della nube, per via della differenza di potenziale tra la base e la sommità, o tra una nube e l'altra: questi fulmini non li vedi, ma il loro rumore lo senti eccome. Per i fulmini visibili invece puoi sapere quanto sono distanti contando quanti secondi passano tra il fulmine e il tuono: ogni secondo sono 340 metri, perciò se passano 10 secondi vuol dire che il fulmine era distante quasi 3 chilometri e mezzo. Se poi registri un tuono da varie angolazioni e ne studi il profilo del suono puoi perfino ricostruire l'evoluzione della scarica sin da quando parte all'interno della nube e dedurre informazioni sulla fisica in gioco: è così che sono state scoperte molte delle cose che ti ho appena raccontato.

Q: ...certo che la prossima volta che incapperò in un temporale ne avrò una visione d'insieme molto più ampia di prima!

A: Beh a dirla tutta il fenomeno nel suo complesso è ancora più esteso, perché non ti ho detto che, in contemporanea al fulmine, la sommità della nube può anche emettere delle scariche verso la ionosfera, fino a 80 km di altezza, dove può generare degli effimeri fuochi d'artificio di colore rosso chiamati "folletti" e osservati recentemente sia da terra che dallo spazio.

Q: Fantastico! ...ma lasciami chiedere un'ultima cosa: come fa un semplice parafulmine a proteggerci da un fenomeno così imponente?

A: Il parafulmine è un'asta metallica alta e sottile collegata al terreno, che serve a creare un percorso conduttivo alternativo per il fulmine. Il percorso di ogni passo della scarica guida è piuttosto casuale, ma se questa si trova a passare vicino alla punta di un parafulmine dove il campo elettrico è più forte, come lo era per il dito vicino alla maniglia, i percorsi che vanno in direzione del parafulmine diventano più probabili e lo sviluppo del canale guida è favorito in quella direzione. In altre parole, il parafulmine non "attira" la scarica, come si crede, ma le propone un percorso alternativo facendo in modo che i fulmini che gli passano vicino,

entro una distanza minore della sua lunghezza, si scarichino attraverso di lui invece che sull'edificio su cui esso è posto.

Q: Quindi stare ai piedi di un albero durante un temporale mi dovrebbe salvare dai fulmini perché l'albero fa da parafulmine?

A: ...uhm, io non lo farei, perché il tronco dell'albero è meno conduttore del tuo corpo: se ti metti vicino a un albero perciò, sarà più probabile che il fulmine passi attraverso di te che attraverso l'albero, o che dopo aver colpito l'albero salti verso di te. Per proteggerti, in generale, devi metterti vicino a un parafulmine migliore del tuo corpo!

Q: Beh, menomale che questo temporale è finito, così possiamo uscire tranquilli... Guarda laggiù che bell'arcobaleno!

A: Meraviglioso!

Q: Di quello però so già tutto: me l'ha spiegato Giovanni qualche puntata addietro!

A: Eh già!

FINE