

4.09 - La Fisica dei Fulmini

4.09.a) Cosa sono i Fulmini? Da cosa sono Generati?

I *Fulmini* sono una spettacolare manifestazione dell'*Elettricità* in natura e consistono essenzialmente in *Scariche Elettriche* che attraversano la *Troposfera*, (cioè la parte bassa dell'*Atmosfera Terrestre*), a causa della grande *Differenza di Potenziale* raggiunta tra due *Corpi*: le *Nubi* e la *Superficie Terrestre*. Come si collega tutto ciò con quanto studiato finora? Quando i valori di tale *d.d.p.* sono talmente elevati da “rompere” gli *Atomi dell'Aria*, gli *Ioni* già presenti nella *Troposfera*, accelerati da *Forze Elettriche* molto intense, urtano in rapida successione le *Molecole Neutre* producendo ulteriore *Ionizzazione*. Il massiccio *Flusso di Cariche Elettriche* riduce allora la *d.d.p.* e la *Scarica Elettrica* si arresta velocemente.



La *Luce* che rende il *Fulmine* nettamente visibile è dovuta agli *Atomi* che perdono *Energia* dopo averla acquistata a causa degli *Urti* con gli *Ioni*.

I *Fulmini* possono essere *Scariche Elettriche* - improvvise e violente - tra una *Nube* e la *Superficie Terrestre* e sono i più pericolosi perché possono ovviamente colpire l'uomo e causare i maggiori danni. Non sono però fortunatamente i più comuni, i più frequenti sono le *Scariche Aeree* interne alle *Nubi*, il meccanismo è simile a quello precedente e provocano quasi unicamente *Lampi*.

Un fulmine è composto da un *Ramo Principale* e da più *Rami Secondari*, che similmente a un albero hanno un caratteristico aspetto a zig-zag. Come mai? Le *Cariche Elettriche* durante la scarica verso il *Suolo*, sono sempre alla ricerca del percorso di minor *Resistenza Elettrica*. La lunghezza di un *Fulmine* può arrivare anche a 4/5 Km. Quando i *Fulmini* si verificano tra *Nubi*, i percorsi sono mediamente più lunghi e possono anche raggiungere i 10-15 Km.

4.09.b) Differenza tra Fulmine, Lampo e Tuono

Si potrebbe avere un *Fulmine* anche a causa di *d.d.p.* molto elevate nell'ambito dell'*Atmosfera*. Il fenomeno si manifesta con un effetto luminoso (detto *Lampo*) e uno sonoro (detto *Tuono*) che non vengono percepiti simultaneamente dall'osservatore a causa delle diverse *Velocità di Propagazione della Luce* (300.000.000 m/s) e del *Suono* (340 m/s). Il *Lampo* è visto, pertanto, quasi istantaneamente, mentre il *Tuono* è udito dopo un intervallo di tempo tanto più grande quanto più è distante il *Fulmine*. Questo dato di fatto, deve far sorridere ogni qual volta si vede qualcuno che sobbalza per il fragore di un *Tuono*. Se vi dovesse capitare di assistere a una simile scena, dovrete sorridere, rassicurare e spiegare al timoroso individuo, quanto appena letto. In particolare dovrete fargli osservare che udire il *Tuono* vuol dire essere ancora vivi per il semplice fatto che chi è colpito da un *Fulmine*, in genere, quando giunge il *Tuono* è già all'altro mondo!

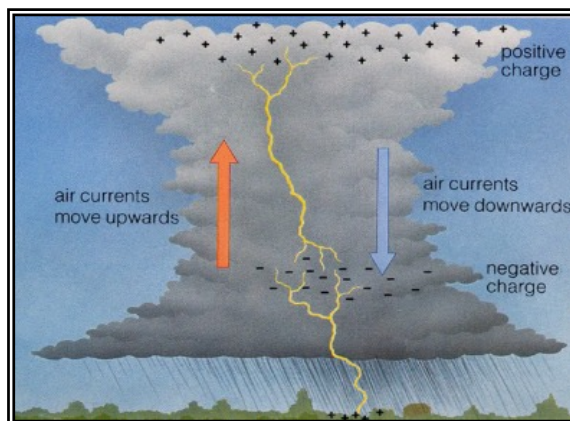
4.09.c) Come nasce un Fulmine? Collegamento con la Teoria dei Condensatori

Dalla *Fisica* è noto che (si pensi per esempio a un *Condensatore Piano*) se si caricano elettricamente due *Corpi Conduttori* con *Cariche di Segno Opposto*, non c'è passaggio di *Corrente Elettrica* se essi sono separati da un *Materiale Isolante* [§4.05.a].

Aumentando il numero delle *Cariche Elettriche* sui *Conduttori*, l'intensità del *Campo Elettrico* aumenta proporzionalmente fino a un certo limite, caratteristico di ogni *Materiale Isolante*, oltre il quale esso cede istantaneamente e conseguentemente, attraverso di esso, avviene un passaggio violento di *Cariche*. La scarica produce la perforazione del *Materiale Isolante* e il valore limite del *Campo Elettrico*, oltre il quale si ha tale fenomeno, è noto come *Rigidità Dielettrica* [§4.05.c]. Nel caso dell'*Aria Pulita e Asciutta* il valore del *Campo Elettrico* è di circa 30 KV/cm, che scende notevolmente, a valori inferiori a 3-4 KV/cm, in presenza di *Umidità*, di *Pulviscolo Atmosferico* o di altre *Impurità*. Il *Fulmine* è l'equivalente atmosferico del fenomeno appena descritto; in tal caso l'*Isolante* è l'*Aria* e i due *Corpi Conduttori* sono la *Nube* ed il *Suolo* oppure *Due* diverse *Nubi* o *Due Diverse Parti di una Stessa Nube*.

Convenzionalmente, si definisce **Polarità di un Fulmine** quella della *Carica* posseduta dalla parte della *Nuvola* con la quale avviene lo scambio delle *Cariche Elettriche*.

Dalle analisi temporalesche risulta che il 90% dei *Fulmini* ha *Polarità Negativa* (vedere l'immagine sulla destra). Per quanto riguarda l'effetto sonoro, la sostanziale differenza tra i *Fulmini di Polarità Positiva* e *Fulmini di Polarità Negativa* è che i primi sono spesso costituiti da più "colpi" e quindi si sentono più scariche che si susseguono mentre i secondi sono sempre costituiti da un unico boato.



E' ormai accertato che le grosse *Nubi Temporalesche* (**Cumulonembi**) sono *Cariche Positivamente* nella parte più alta e *Negativamente* in quella più bassa; esistono diverse teorie che cercano di giustificare tale situazione, una di esse, abbastanza credibile, è che le separazioni delle cariche abbiano origine dalle collisioni fra i vari elementi di nube rappresentati dalle piccole *Gocce di Acqua* o dai *Piccoli Cristallini di Ghiaccio*, formatisi in seguito alla *Condensazione* o alla *Sublimazione* del *Vapore Acqueo*. All'interno delle *Nubi Temporalesche* esistono forti *Correnti Ascensionali* (*Air Currents*) e precipitazioni che innescano complessi procedimenti di crescita e di interazione dei vari elementi, determinando le collisioni sopracitate.

Si è ritenuto che le più piccole *Particelle* tendano ad acquisire *Cariche Negative*, mentre le più grandi acquisiscano *Cariche Positive*. Queste *Particelle* tendono a separarsi per effetto delle *Correnti Ascensionali* e della *Forza di Gravità*, fino a che la *Nube* non assume lo stato elettrico precedentemente descritto (*Positivo* in alto e *Negativo* in basso). La suddetta separazione produce enormi *Differenze di Potenziale* sia all'interno della *Nube* che fra la *Nube* e la *Terra*, che per *Induzione* tende a caricarsi positivamente.

4.09.d) Carica Elettrica , Corrente Elettrica e d.d.p. Associate a un Fulmine

Con un fulmine fra una Nube e il Suolo si trasferisce una Carica Elettrica compresa tra 10 C e 100 C!

Per quanto riguarda la *Corrente Elettrica* associabile a un *Fulmine*, tenendo conto delle rilevazioni fatte nel tempo, si registrano valori di *Corrente* fino a 20 KA ovvero 20.000 A!

Le *Differenze di Potenziale* possono raggiungere le *Centinaia* o *Migliaia di Milioni di Volt*, causando un aumento del *Campo Elettrico* e il conseguente superamento della *Rigidità Dielettrica dell'Aria*: in tale istante scocca il *Fulmine*.

4.09.e) Carica Elettrica , Corrente Elettrica e d.d.p. Associate a un Fulmine

Il meccanismo della scarica è tuttavia alquanto complesso e si manifesta in due tempi:

I Tempo / Inizialmente dalla *Nube* scende verso il *Suolo* una *Scarica Debole* e invisibile composta da *Particelle Cariche Negativamente*, essa è detta **Scarica Pilota** (o **Scarica Guida** o **Stepped Leader**) ed avanza verso il basso con una *Velocità* relativamente piccola (circa 100 Km/s) e con percorsi successivi di breve lunghezza (circa 50 m). Lungo tale percorso a zig-zag si crea un'*intensa ionizzazione* che "prepara la strada" alla seconda fase.

II Tempo / Quando la *Scarica Pilota* si avvicina al *Suolo*, da quest'ultimo parte una **Scarica "di Ritorno"** (**Return Stroke**) diretta verso l'alto e composta da un *Flusso di Cariche Positive* presenti sulla *Superficie Terrestre*. Quando le due *Scariche* si incontrano, esse segnano nell'aria una specie di scia di congiunzione tra cielo e terra; lungo tale traccia risale verso la *Nube* una fortissima *Corrente Elettrica* ad una *Velocità* stimata in circa un terzo di quella della *Luce*. La *Scarica di Ritorno* può durare tra *qualche decina e qualche centinaia di microsecondi* e libera una quantità enorme di *Energia* di tipo *Termico*, *Ottico (Lampo)*, *Acustico (Tuono)* ed *Elettromagnetico*.

4.09.f) Come nasce un Tuono?

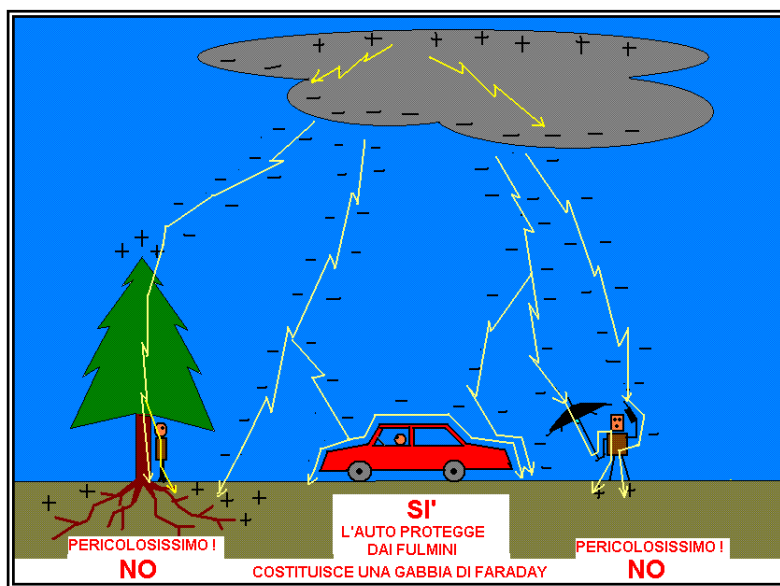
Lungo la *Traiettoria* percorsa dal *Fulmine*, l'*Aria* si riscalda, quasi istantaneamente, fino all'elevatissima *Temperatura* di 15.000 °C, determinando un'*Espansione Esplosiva* che ad una certa distanza si manifesta con un fragore noto come *Tuono*. Se un *Fulmine* cade a una distanza relativamente breve, il *Tuono* è avvertito come un colpo secco; se cade lontano, il *Lampo* è seguito da un rombo sordo e prolungato poiché le onde sonore vengono rifratte dall'*Atmosfera* e fatte rimbalzare da colline, montagne e altre conformazioni del terreno. Poiché il *Suono* si propaga a 340 m/s, mentre la *Luce* a 300.000.000 m/s, si ha uno sfasamento temporale tra la visione del *Fulmine (Lampo)* e la percezione del *Tuono*, che è tanto più rilevante, quanto più lontano si è avuta la *Scarica Elettrica*.

4.09.g) Il Giocino del Babbo

Esiste un vecchio giochino basato su queste informazioni che permette di calcolare a che distanza da noi è caduto un *Fulmine*. Mi diceva mio padre da piccolo: “Quando vedi il *Lampo*, conta i *secondi* e moltiplica per *300*. Il risultato, consideralo in *metri* e aumentalo sempre di un po'!”. Questo metodo, anche se approssimativo, si può spiegare più precisamente a un ragazzo di scuola secondaria in questo modo: “Per calcolare la distanza in metri tra noi e il punto dove è caduto il *Fulmine*, moltiplica per *340 m/s* i secondi che intercorrono tra il *Lampo* e il *Tuono*”.

4.09.h) Dove è più probabile che cada un Fulmine?

Un *Fulmine* segue generalmente il percorso di minor *Resistenza Elettrica* tra la *Nuvola* e il *Suolo*, che non corrisponde tuttavia al percorso più breve dal punto di vista geometrico. Ogni cosa che si sopraeleva sul suolo, come alberi, camini, edifici alti, cime di monti e persino un individuo a piedi, non sono un ostacolo, ma costituiscono un “accorciamento del percorso” e possono dunque diventare un



bersaglio: più l'oggetto è alto, più è probabile che questo venga “baciato” dal *Fulmine*!

La scarica elettrica di un *Fulmine* può anche trasmettersi attraverso *Corpi Conduttori di Elettricità*, come *Tubi Metallici*, *Fili Spinati*, *Mazze da Golf*, *Grondaie*. La *Densità dei Fulmini* è anche influenzata dalla *Consistenza del Terreno*, dalla presenza del *Mare*, di *Laghi* o di *Corsi d'Acqua*.

4.09.i) Effetti di un Fulmine

La caduta di un *Fulmine* può provocare sulle strutture colpite diversi effetti e precisamente:

Effetti Termici. L'Energia Sviluppata da un *Fulmine* ha la capacità di fondere *Materiali Metallici*, provocare l'incendio di materiali combustibili o infiammabili, etc. L'altissima *Temperatura* può sgretolare un *Albero*, facendo evaporare la linfa e, a volte, riesce a fondere la sabbia, trasformandola in schegge di vetro.

Effetti Meccanici. Il passaggio di corrente determina *Sforzi Elettrodinamici* di entità direttamente proporzionale al quadrato del valore della *Corrente* e inversamente proporzionale alla *Distanza fra i Conduttori*. Queste sollecitazioni possono provocare la rottura degli ancoraggi, degli elementi dell'impianto di protezione esterno (*Parafulmine*, ecc.) e dei *Corpi Metallici* della struttura.

Esempio / Una *Corrente Elettrica* di 100.000 A (superata dal 5% dei *Fulmini*) provoca:

- su due *Conduttori Paralleli*, lunghi 1 m, una forza di 4.000 N se distano 0,500 m;
- su due *Conduttori Paralleli*, lunghi 1 m, una forza di 400.000 N se distano 0,005 m.

Forze di quest'ultimo tipo sono estremamente pericolose poiché sarebbero in grado di schiacciare un *Cavo Multipolare ad Alto Grado di Isolamento*, provocando l'estrusione del *Materiale Dielettrico* che isola i cavi di differente polarità con conseguente *Corto Circuito* tra i *Conduttori*.

Effetti Chimici. Le forti scariche causano la formazione di *Ozono* e di *Composti Nitrici* tramite l'*Ossidazione dell'azoto*. In quest'ultimo caso è come se nel suolo fossero iniettate gigantesche quantità di *Materie Azotate*.

Effetti Elettromagnetici. Le scariche sono accompagnate da forti emissioni di *Onde Elettromagnetiche* che producono disturbi nelle *Trasmissioni Radio*, in particolare nel campo delle *Onde Lunghe e Medie*. Le *Sovratensioni* indotte nelle *Linee Elettriche e Telefoniche* possono causare danneggiamenti nelle apparecchiature collegate, in particolare di quelle elettroniche.

4.09.l) Danni sull'Essere Umano Provocati da un Fulmine

Secondo i ricercatori un *Fulmine* può entrare nel *Corpo Umano* attraverso le aperture del cranio, cioè occhi, orecchie, naso e bocca e si scarica a *Terra* dopo aver percorso il *Sangue* e il *Sistema Nervoso*. Come conseguenza più probabile si ha l'arresto del *Cuore* e dei *Polmoni*, ma mentre il primo può riprendere a battere autonomamente, i *Polmoni* hanno bisogno della respirazione bocca a bocca. Per cui la morte può giungere per soffocamento. Sembra che con un adeguato soccorso il 70% delle persone colpite da un *Fulmine* possa sopravvivere senza danni. Nei casi più gravi si possono avere *Carbonizzazione dei Tessuti* dove la *Corrente Elettrica* entra ed esce dal corpo.

4.09.m) Proteggersi dai Fulmini

Durante un temporale conviene cercare subito un riparo adeguato tenendo presente che una casa è il posto più sicuro in particolare se nelle vicinanze iniziano a cadere *Fulmini*.

In casa è opportuno tuttavia seguire alcuni accorgimenti e precisamente:

- evitare di collocarsi vicino a superfici e oggetti metallici;
- non sostare accanto alle pareti;
- non sostare in stanze troppo piccole;
- non accendere apparecchi elettrici;
- spegnere la *TV*, in quanto, l'*Antenna televisiva*, purché opportunamente messa a terra può funzionare da *Parafulmine*;
- non tenere aperte le porte e le finestre.

All'aperto, in mancanza di zone riparate e sicure occorre osservare che *Alberi*, *Tralicci*, *Antenne*, *Bandiere* possono fungere da richiamo e quindi conviene rannicchiarsi su di un qualsiasi *Oggetto Isolante*, evitando di sdraiarsi per terra. In particolare sono molto pericolosi gli *Alberi*, specie se isolati, vecchi e pieni di cavità. Un *Fulmine* che colpisce un *Albero* si scarica attraverso il *Tronco Umido* e pertanto è pericoloso ripararci sotto un *Albero* quando piove. La *Corrente Elettrica* passa attraverso il tronco facendo evaporare all'istante la *Linfa* e provocando spesso l'esplosione del tronco.

E' sconsigliabile fare il bagno in un *Fiume*, o un *Lago* o nel *Mare* e rimanere in acqua durante un temporale, essendo essa un ottimo *Conduttore di Elettricit *. Un buon rifugio, al contrario,   l'*Automobile*, ma perch ? Perch  essa   una *Gabbia di Faraday*, per cui, anche se colpita da una *Scarica Elettrica*, i passeggeri al suo interno restano illesi.

4.09.n) Perch  i Passeggeri di un Aereo Non possono Restare Fulminati?

L'aereo   protetto dai *Fulmini* perch  l'involucro metallico, costituito dalle *Ali* e dalla *Fusoliera*, fa da schermo ai *Campi Elettrici Esterni*. Come sappiamo dalla teoria, (si confronti il [§2.04.c]), dopo una breve fase transitoria, all'interno di un *Conduttore Carico in Equilibrio Elettrostatico* il *Campo Elettrico*   *Nullo*. Ci    vero anche se si ha un *Conduttore Cavo*: la *Carica Elettrica* si distribuisce sulla *Superficie* in modo da schermare l'interno dal *Campo Elettrico Esterno*. Come gi  detto nel [§2.04.c], questa protezione si chiama *Gabbia di Faraday*, dal nome dello scienziato inglese *Michel Faraday* (1791-1867) che l'ha scoperta. Egli si pose all'interno di una *Gabbia Metallica* chiusa, collegando alcuni *Elettroscopi* sia alla *Superficie Interna* che a quella *Superficie Esterna*. Una volta elettrizzata la *Gabbia*, osserv  che le foglioline degli *Elettroscopi* collegati con l'interno rimanevano chiuse, anche quando all'esterno scoccavano scintille, mentre quelle degli *Elettroscopi* a contatto con la *Parete Esterna* si divaricavano, segnalando la presenza di *Cariche Elettriche*.

L'*Esperimento di Faraday* rivela inoltre che non   necessario che l'*Involucro Esterno* del *Conduttore Carico* sia continuo. Per esempio, durante la Guerra Fredda, i servizi segreti americani rivestirono le finestre dell'ambasciata degli Stati Uniti a Mosca con una *Reticella di Filo Metallico Conduttore* e ricoprirono i muri con *Carta da Parati Metallizzata*, trasformando l'immobile in una gigantesca *Gabbia di Faraday*. Lo scopo di questi interventi era quello di impedire l'ingresso degli intensi *Campi Elettrici* di disturbo inviati dal *KGB* russo verso l'edificio.

In linea di principio l'*Involucro Metallico di un Aereo* funziona come una *Gabbia di Faraday*: quando un *Fulmine* lo colpisce, genera un *Campo Elettrico* che attraversa la *Fusoliera* o le *Ali* per poi uscire da un'estremit  come ad esempio la *Coda del Velivolo*. Affinch  la protezione sia efficace, bisogna evitare che, nella *Fase Transitoria*, questi intensi *Campi Elettrici* danneggino i chilometri di fili e le decine di computer presenti sull'*Aereo*, o che inneschino scintille vicino i *Serbatoi di Carburante*. Gli *Aerei*, prima di essere dichiarati idonei al volo, devono superare numerosi test per verificare che siano protetti da tali pericoli.



4.09.o) Leggende Metropolitane

Secondo un'antica "leggenda metropolitana", un *Fulmine* non colpisce mai due volte lo stesso punto; l'esperienza insegna che ciò non è vero, ad esempio, nel 2004, l'*Empire State Building* è stato colpito 48 volte, e la cima di una *montagna svizzera* ben 100 volte!

Problema [Fonte: *Fisica!* – A. Caforio/A. Ferilli – Le Monnier Scuola Editore]

Un temporale sta interessando una località pianeggiante. Una nuvola temporalesca, che staziona a una quota di 1.500 m dal suolo, ha una base pressoché piatta che si estende per 100 km^2 ; la *Differenza di Potenziale* fra la base della nuvola e il suolo è di $3,0 \cdot 10^7 \text{ V}$. Pensa al *Sistema Fisico Nuvola-Suolo* come a un gigantesco *Condensatore Piano* e calcolane *Capacità e Carica Elettrica*.



[Risultati: $5,9 \cdot 10^7 \text{ F}$; 18 C]

[Svolgere per esercizio]