

# Tuoni



**Fulvio Stel e Dario B. Giaiotti**

Oss. Meteorologico dell'ARPA Friuli  
Venezia Giulia

Unione Meteorologica del Friuli  
Venezia Giulia -ONLUS-

# e

# Fulmini

## Dissertazione sui fulmini tra mito e realtà

I fulmini hanno da sempre affascinato l'uomo tanto da entrare di forza nell'immaginario collettivo e nei modi di dire quotidiani. Pur se così familiari, però, solo di recente fulmini hanno iniziato a svelare i loro segreti e solo negli ultimi anni la scienza ha cominciato ad avere un quadro abbastanza coerente e completo delle loro caratteristiche e del loro comportamento. Non tutte le caratteristiche dei fulmini, comunque, sono a tutt'oggi note e molto lavoro si deve ancora fare prima di poter comprendere appieno la natura di questo fenomeno. In questo articolo i fulmini vengono raccontati partendo dai primi tentativi di spiegazione mitologica, passando attraverso le ipotesi dei filosofi naturali dell'antichità per approdando infine alla spiegazione data dalla scienza moderna. Vengono descritti quelle che sono le loro caratteristiche e il loro comportamento con un particolare riferimento alla montagna. Infine vengono presentati alcune delle problematiche relative alla climatologia dei fulmini che, si spera, potranno essere chiarite anche grazie agli studi attualmente in corso in Italia.

### INTRODUZIONE

"Qual fulmin scagliato dal cielo la mia mano colpirti saprà". Queste furono le parole che Rigoletto rivolse al suo signore; le immaginiamo sibilate a denti stretti, a stento trattenendo l'odio che le muoveva e quasi pregustando il momento in cui la lama del suo pugnale avrebbe trafitto il cuore del padrone, scaricando in un solo istante tutto l'enorme fardello di frustrazioni, angherie e soprusi subiti negli anni passati; un fulmine, appunto. La storia di Rigoletto andò a finire come sappiamo: il "fulmine" non colpì il signore tanto odiato ma la figlia dell'infelice giullare, divenuta l'amante del padrone e nemico. Una vicenda triste che, tra i mille spunti di riflessione, ci dà anche la possibilità di iniziare a parlare di uno dei più "innaturali" tra i fe-

nomeni naturali: il fulmine. Questo fenomeno, a differenza di quanto accade per i terremoti o le inondazioni, interessa uno spazio e un tempo molto ristretto, spesso colpisce un singolo albero lasciando pressoché intatto tutto quanto lo circonda e, nonostante questa suo essere estremamente "localizzato", rilascia in brevissimo tempo una notevole quantità di energia. Nel suo svilupparsi, inoltre, mostra quasi una volontà ben precisa nel cercare di raggiungere un fissato obiettivo (vedremo in seguito che il fulmine effettivamente "cerca" la sua strada), comportamento che non si osserva negli altri fenomeni naturali che, al contrario, mostrano piuttosto una forza cieca. È quindi abbastanza naturale che i fulmini siano stati sempre associati all'azione di una qualche divinità.

### I FULMINI DALLA MITOLOGIA ALLA FILOSOFIA DELLA NATURA

Nella mitologia greco-romana, i fulmini venivano considerati come le frecce di Giove scagliate contro i mortali che si erano macchiati di qualche colpa; il termine saetta, sinonimo di fulmine, deriva proprio dal vocabolo latino "sagitta" cioè freccia. Nel museo archeologico di Aquileia (UD) è conservato un curioso bassorilievo raffigurante Giove nell'atto di colpire un malcapitato fermatosi a fare "pipì" in un luogo proibito; forse l'analogo dei cartelli "manteniamo pulito il verde pubblico" che si trovano anche ai nostri giorni. Nella mitologia nordica, al contrario, i fulmini erano visti come le scintille prodotte dal battito del martello di Thor su un incudine. Non quindi

Fulmine fotografato da Rudy Gratton a Gorizia alle ore 15 48' (UT) del 24 luglio 2001. Il fulmine aveva un'intensità di -20.1 kA (fonte CESI-SIRF).

un'interpretazione di merito, ma più una analogia con quanto i fabbri dell'epoca dovevano aver osservato forgiando i loro strumenti e le loro armi. Curiosamente, con questa similitudine, i popoli del nord si avvicinarono di più a quella che è la reale natura del fulmine, cioè quella di una grande scintilla atmosferica. Se la mitologia ha cercato di inquadrare i fulmini in un contesto, se non comprensibile, almeno accettabile per la maggior parte delle persone, sicuramente questo tentativo non poteva bastare ai "filosofi naturali", gli antesignani dei moderni scienziati, per i quali i fulmini dovevano avere anche una causa materiale e un meccanismo generatore. Il filosofo Empedocle (490-430 a.C.), cercando di dare una risposta a questa necessità, sosteneva che il fulmine era una parte della luce del sole catturata dalle nubi più dense che, con fragore, riusciva a liberarsi dalla sua trappola. Anassagora (500-426 a.C.), al contrario, sosteneva che il fulmine era una parte dell'etere, una sostanza estremamente tenue che riempiva i cieli ove si trovavano i pianeti, attirato verso il basso e fatto cadere nel mondo materiale. Aristotele (384-322 a.C.), contestando entrambi, sosteneva che il fulmine era il risultato di un'esalazione secca che si liberava dalle nubi a seguito



della condensazione dell'aria in acqua. Questa esalazione, diceva Aristotele, era "espulsa dalla parte più densa della nube verso il basso così come i semi che schizzano dalle dita [quando cerchiamo di schiacciarli]". L'urto dell'esalazione secca contro le nubi circostanti era, sempre secondo Aristotele, la causa del tuono. Lucrezio (98-55 a.C.), nel suo "De rerum natura", sposando la teoria atomistica di Democrito di Abdera, considerava il fulmine come dovuto al movimento di particelle molto piccole e leggere che, proprio per la loro leggerezza, riuscivano a passare anche attraverso agli oggetti materiali. In questo modo Lucrezio rendeva conto degli incendi alle volte appiccicati dai fulmini anche all'interno delle case. Il tuono e il fulmine, sempre secondo Lucre-

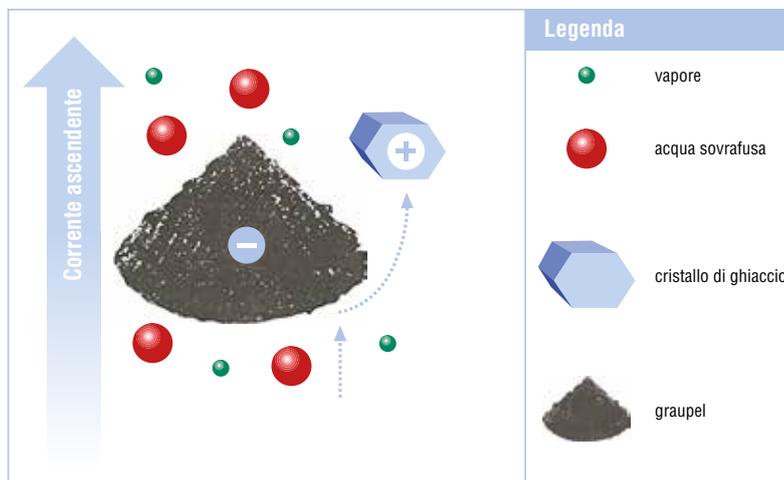
zio, avevano una causa comune ma erano indipendenti: l'urto tra le nubi causava sia il rimbombo (tuono) che la liberazione degli atomi leggeri che andavano a formare il fulmine.

Questi tentativi di spiegazione possono sembrare a prima vista inconsistenti, ma, se calati nella realtà dei tempi in cui questi pensatori vissero, denotano una fervida fantasia e soprattutto una capacità di osservazione della natura invidiabile. Forse, tra qualche migliaio d'anni, gli scienziati del futuro sorrideranno delle nostre teorie.

## I FULMINI NELLA STORIA DELLA SCIENZA

Tutte le idee avanzate dai filosofi del passato sulla formazione dei fulmini e dei tuoni, pur se ammirevoli, erano destinate a fallire in quanto a loro mancava un ingrediente fondamentale per la comprensione del fenomeno, cioè il concetto di elettricità, sviluppatosi e maturato solo a cavallo tra il 1700 e 1800. In questo periodo molte furono le esperienze e le osservazioni effettuate sull'elettricità sia in generale che nell'ambito dell'atmosfera, tutte in qualche modo importanti. Probabilmente la più famosa è quella di Franklin (1706-1790)

Figura 1: Schema di funzionamento di uno dei più accreditati meccanismi di separazione delle cariche elettriche. L'efficienza di questo meccanismo è fortemente dipendente dalla temperatura. Sperimentalmente si è verificato che vi sono degli intervalli di temperature in cui il cristallo di ghiaccio più piccolo cede al graupel una carica positiva anziché negativa, cioè il contrario di quanto mostrato in figura.



che, con un aquilone e un filo imbevuto di acqua salata, dimostrò che il fulmine era proprio una scarica elettrica al pari di quelle che si osservavano sfregando tra loro materiali diversi. Il tuono, inoltre, era proprio un effetto del fulmine così come lo era il crepitio delle scintille elettriche prodotte nei laboratori dagli scienziati dell'epoca. Oltre a questo fondamentale contributo sperimentale, Franklin propose anche una teoria, poi rivelatasi essenzialmente corretta, secondo la quale il fulmine era dovuto al movimento di un "fluido" (il fluido elettrico) tra due nubi o tra una nube e il suolo. In seguito altri scienziati dimostrarono che questo "fluido" era composto da tante piccole particelle portatrici della carica elettrica e per questo chiamate elettroni. Curiosamente questi costituenti della materia fanno parte di una classe di particelle elementari che i fisici chiamano "leptoni", vocabolo che deriva dal greco e significa "leggero"; una bella soddisfazione per Lucrezio e per la sua teoria del fulmine di due millenni fa!

L'origine elettrica del fulmine permise di inquadrare il fenomeno in un ambito ben preciso della scienza, mettendo un po' d'ordine nella conoscenza ma nello stesso tempo produsse nuove domande e problemi, alcuni dei quali non ancora risolti. Che cos'è, infatti, che produce l'accumulo di carica elettrica all'interno delle nubi? Perché i tuoni sono alle volte lunghi e dal suono cupo, mentre altre volte sono corti e crepitanti? Molti brillanti scienziati cercarono di rispondere a queste domande, alcuni lavorando assieme, altri contemporaneamente ma in competizione e spesso in contraddizione. Abbandoneremo quindi la trattazione storica per

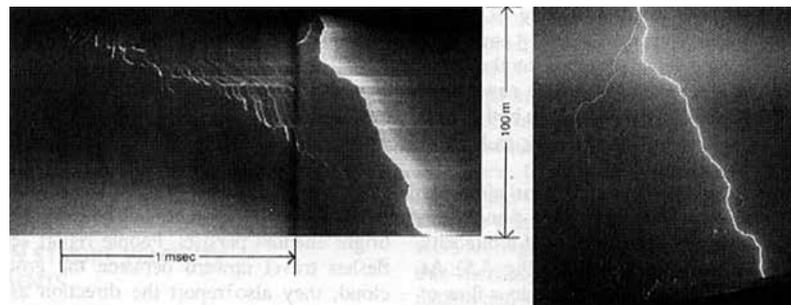


Figura 2: Immagine di un fulmine ottenuta con una pellicola fotografica in movimento. Nel pannello di sinistra si osserva la formazione del canale ionizzato e la scarica vera e propria che si ha quando il canale ionizzato collega la nube al terreno. Il pannello di destra mostra come è stato osservato il fulmine a occhio nudo. (Foto scattata da Berger e Vogelsanger nel 1966).

passare direttamente a descrivere la moderna teoria che cerca di spiegare l'origine dei fulmini.

## LA MODERNA TEORIA SUI FULMINI

Oggi sappiamo, come riteneva Franklin, che i fulmini sono una scarica elettrica tra nube e nube o tra nube e cielo o tra nube e terra che si sviluppa a seguito dell'accumulo di cariche elettriche in zone relativamente circoscritte dell'atmosfera. Il meccanismo che produce questi accumuli di carica non è ancora del tutto noto e, molto probabilmente, ne esistono diversi che sono più o meno efficienti a seconda della particolare condizione meteorologica nella quale hanno luogo. Quello che oggi è assodato è che tutti questi meccanismi necessitano di intensi moti verticali delle masse d'aria. Questo il motivo per cui i fulmini sono più frequenti durante il periodo estivo piuttosto che in quello invernale; infatti è in estate che i bassi strati dell'atmosfera si riscaldano maggiormente, dando origine ai temporali che sono essenzialmente degli intensi moti verticali d'aria che, sollevandosi, si espande, si raffredda e condensando dà origine alle nubi e alle precipitazioni. Un altro aspetto assodato riguarda l'importanza del ruolo svolto dalle precipitazioni, siano esse costituite da gocce d'acqua o da particelle di ghiaccio, per la separazione delle cariche. Uno dei meccanismi attualmente più promettenti introdotti per spiegare la separazione delle cariche

è infatti quello che ha luogo quando una grossa particella di ghiaccio (un graupel, embrione di grandine) si trova immerso in un ambiente ricco di goccioline d'acqua sovrappia (acqua a temperatura inferiore allo 0 °C ma ancora allo stato liquido), a vapore acqueo e a piccoli cristalli di ghiaccio, tutti sostenuti da una corrente ascendente. In questo caso, i piccoli cristalli di ghiaccio che urtano contro il graupel gli cedono una piccola carica negativa diventando, in seguito a questa cessione, leggermente positivi. I piccoli cristalli di ghiaccio, portati in alto dalla corrente ascendente, producono l'accumulo di cariche positive nella parte alta delle nubi mentre i graupel, cadendo verso il suolo perché più pesanti, accumulano la carica negativa negli strati inferiori delle nubi (si veda figura 1.). Questo meccanismo è stato riprodotto con successo in laboratorio, inoltre nelle nubi temporalesche è stata spesso osservata la stratificazione della cariche positive in quota e negative vicino al suolo. A sostegno di questa teoria c'è anche il fatto che nelle nubi estive si ha spessissimo la convivenza di acqua liquida e ghiaccio a temperature anche di -10 °C, rendendo l'ambiente particolarmente favorevole al meccanismo stesso. Uno degli svantaggi di questo meccanismo è che, pur se riproducibile in laboratorio, non è stata ancora trovata una teoria in grado di spiegarlo e non si sa se è abbastanza efficiente da rende-

# GLOSSARIO

**CUMULO:** nube isolata, generalmente densa e con contorni netti, che si sviluppa verticalmente in forma di cupole, torri, sporgenze crescenti, in cui la parte rigonfia superiore spesso somiglia ad un cavolfiore. Le parti illuminate dal sole sono per lo più di un bianco brillante e la base è relativamente scura e approssimativamente orizzontale.

**CUMULONEMBO:** nube densa e imponente a forte sviluppo verticale, in forma di montagna o di enorme torre. Almeno parzialmente la sua parte superiore è solitamente liscia o fibrosa o striata, e quasi sempre appiattita: questa parte spesso si allarga in forma di incudine o di vasto pennacchio. Sotto la base di questa nube, che spesso è molto scura, ci sono frequentemente nubi basse e frastagliate, e precipitazione talvolta in forma di striature che non raggiungono il suolo.

## **PIOGGIA:**

precipitazione di acqua liquida in forma di gocce di più di 0.5 mm di diametro o di gocce sparse più piccole.



## **ROVESCIO:**

precipitazione, spesso breve e intensa, derivante da nubi convettive. Un rovescio è caratterizzato da un inizio ed un termine improvvisi, e generalmente da variazioni di intensità rapide e notevoli.



**FULMINE:** manifestazione luminosa che accompagna una improvvisa scarica elettrica che ha luogo da o dentro una nube.

**TUONO:** un suono secco o roboante che accompagna il fulmine. È originato dalla rapida espansione dell'aria lungo il canale seguito dalla scarica elettrica.



**GRANDINE:** precipitazione di particelle di ghiaccio trasparenti, o parzialmente o completamente opache, solitamente sferoidali, coniche o di forma e diametro irregolari, di dimensioni tra i 5 ed i 50 millimetri, che cadono dalle nubi sia singolarmente che unite in agglomerati irregolari.



**RAFFICA:** breve ed improvviso aumento della velocità del vento rispetto al suo valore medio.

**TORNADO:** violento vortice di piccolo diametro.

Si produce nei temporali molto intensi e si presenta come una nube ad imbuto che si estende dalla base di un cumulonembo fino al suolo.



re conto delle grandi quantità di carica elettrica che si liberano in un temporale. Molto lavoro resta da fare ma le strade imboccate sembrano promettenti e i mezzi a nostra disposizione sono molto migliori di quelli su cui potevano contare gli illustri scienziati che ci hanno preceduto.

## IL COMPORTAMENTO DEI FULMINI

Se i meccanismi che portano alla separazione delle cariche non sono ancora del tutto chiari, quasi compresa appieno è invece la struttura e l'evoluzione del fulmine stesso. Già nella metà del 1900, infatti, le tecniche di fotografia erano abbastanza sviluppate da permettere di riprendere la struttura e l'evoluzione del fulmine. Il fulmine, grazie a quelle tecniche fotografiche che si basano su pellicole mobili, rivela chiaramente la sua natura di fenomeno articolato che avviene secondo una successione di fasi distinte che giungono a compimento in pochi millesimi di secondo. Quando a causa della repulsione elettrostatica la carica in una zona della nube è tale da non essere più sostenuta, da lì inizia a svilupparsi un canale di ionizzazione. Questo canale si sviluppa a scatti, allungandosi di una cinquantina di metri a ogni passo, lungo la direzione che offre minor resistenza al passaggio della corrente (in questo senso il fulmine "cerca la sua strada"). Questo canale non è ancora il fulmine che noi conosciamo, infatti questa prima fase non è direttamente osservabile ad occhio nudo poiché ogni "scatto" avviene in una piccola frazione di secondo; troppo poco per i nostri occhi. Mano a mano che questo canale si avvicina alla terra o ad un'altra porzione di nube, la terra o la porzione di nube iniziano a sentire l'attrazione elettrostatica

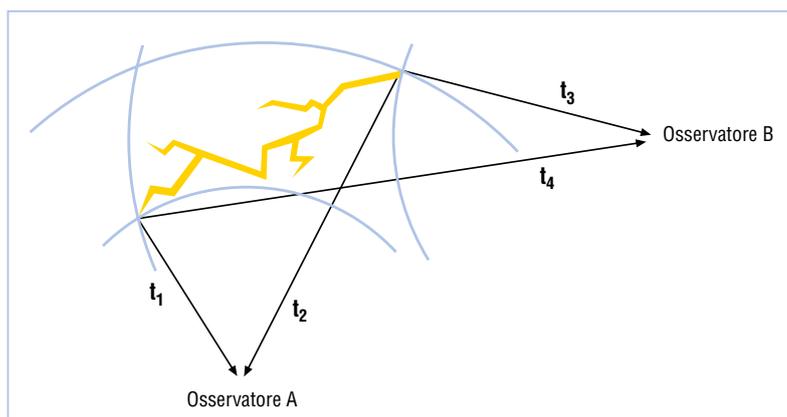


Figura 3: Rappresentazione schematica del perché uno stesso fulmine produce un tuono sentito in maniera diversa da due osservatori. Grazie all'alta velocità di propagazione della luce, l'osservatore A e l'osservatore B vedranno il fulmine nello stesso istante  $t_0$  ma l'osservatore A sentirà il tuono nell'intervallo compreso tra il tempo  $t_1$  e il tempo  $t_2$ , contati a partire da quando il fulmine è stato visto; l'osservatore B, al contrario, lo sentirà tra il tempo  $t_3$  e il tempo  $t_4$ . Poiché i quattro tempi differiscono, diversa sarà anche la durata del tuono per A e B.

ca delle cariche e un analogo canale inizia a svilupparsi da questo punto incontro al canale principale. Quando questi due canali si congiungono allora il "circuitto si chiude" e ha inizio il fulmine come noi lo conosciamo, cioè la scarica elettrica vera e propria (si veda figura 2). Alle volte, se l'accumulo di carica che ha dato origine al fulmine è particolarmente grande, ci possono essere più scariche in rapida successione. Queste scariche multiple sono all'origine del baluginio che si osserva nei fulmini più grandi, i quali danno l'impressione di affievolirsi e

poi velocemente di riprendere vigore, cosa che effettivamente accade, anche se noi riusciamo a notarlo a malapena.

## I FULMINI E I TUONI

Le correnti elettriche che passano attraverso il canale ionizzato possono essere dell'ordine delle centinaia di kilo Ampère e così, proprio come accade nei conduttori metallici, anche l'atmosfera che costituisce il canale ionizzato si scalda. Viste le correnti in gioco, la temperatura raggiunta nei pressi di un fulmine è dell'ordine dei 30 000 °C, temperatura che provoca una violenta

e subitanea espansione dell'aria e l'onda d'urto che è all'origine del tuono. Quando la velocità dell'onda d'urto è superiore alla velocità del suono nell'aria, allora il rumore del tuono è simile ad un crepitio, mentre quando la velocità dell'onda d'urto si riduce, allora il rumore diventa il classico rimbombo.

Mentre la velocità della scarica è tanto elevata da sembrare istantanea ai nostri occhi, non lo stesso si può dire del tuono, che si propaga alla velocità del suono (circa 300 metri al secondo). Questo è anche il motivo per cui lo stesso fulmine produce tuoni diversi a seconda della posizione dell'osservatore. La cosa può sembrare strana ma se immaginiamo come istantaneo il fulmine, un osservatore sentirà prima il rumore del tuono associato alla parte del fulmine più vicina e per ultimo il suono proveniente dalla parte più lontana; possiamo quindi facilmente renderci conto del perché alle volte i fulmini ci sembrano interminabili e alle volte molto corti (si veda fig. 3). Con un cronometro e con un po' di pazienza si possono fare interessanti osservazioni e raccogliere misure quantitative sui fulmini e sui loro tuoni.

Gli intensi moti verticali determinano la condensazione dando origine a nubi e precipitazioni. Quest'ultime, a causa della quota delle nubi, sono più abbondanti sui rilievi.

## LA CLIMATOLOGIA DEI FULMINI

Un altro aspetto non ancora del tutto chiarito sui fulmini è relativo alla loro climatologia. È opinione comune che in montagna i fulmini siano più frequenti che in pianura in quanto, a causa della maggiore esposizione dei versanti al sole, i temporali sono più frequenti sui rilievi.

Forse questo è vero, ma la questione potrebbe essere anche più complessa.

Da alcuni studi fatti negli Stati Uniti e indipendentemente anche in Italia, in particolare in Friuli Venezia Giulia, sono infatti emersi dei comportamenti apparentemente contraddittori.

Nella parte orientale degli USA, così come in Friuli Venezia Giulia, il numero di fulmini diminuisce con la quota, mentre nella parte occidentale degli USA il numero di fulmini aumenta con la quota.

Questo apparente paradosso potrebbe essere spiegato introducendo una nuova variabile per interpretare i dati, cioè l'altezza delle nubi.

In Friuli e sulla costa orientale degli USA, infatti, a causa di un maggior quantitativo di vapore acqueo nei bassi strati

atmosferici, le nubi hanno una base più bassa di quelle degli USA occidentali. Ora, l'altezza della base delle nubi è legata al punto in cui i meccanismi di separazione delle cariche visti in precedenza iniziano ad operare quindi, in qualche modo non ancora noto, all'efficienza dei meccanismi stessi.

## L'UNIONE METEOROLOGICA DEL FRIULI VENEZIA GIULIA -ONLUS-

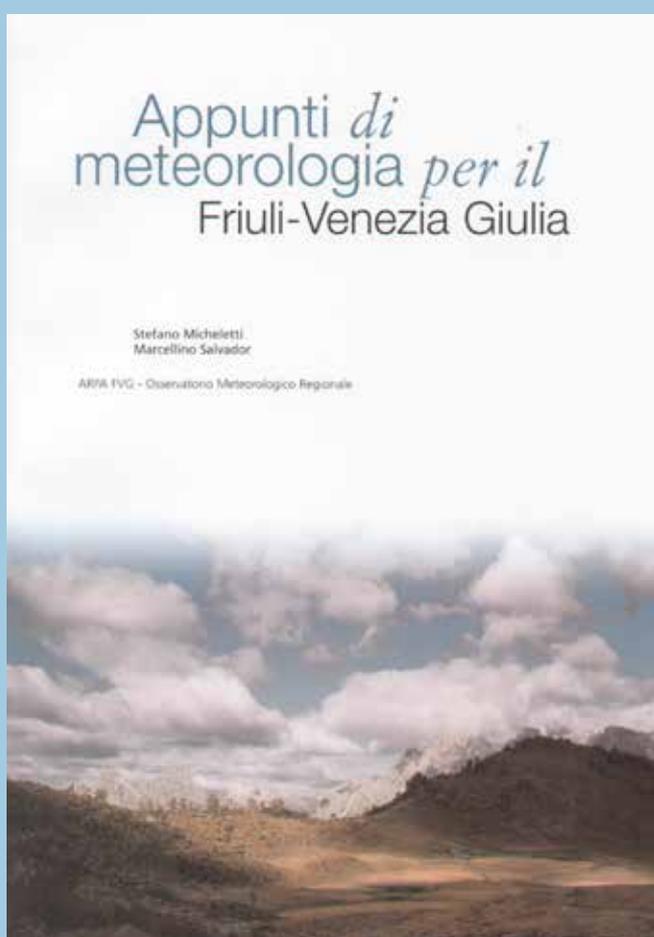
L'Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia -ONLUS- è un'Associazione senza fini di lucro costituitasi per creare un punto di incontro tra il mondo dei professionisti e degli appassionati e per contribuire alla divulgazione delle tematiche legate alla meteo-climatologia. Dell'Associazione fanno parte sia personalità del mondo accademico di Udine e Trieste, del Centro di Fisica Teorica di Miramare ma anche numerosi privati cittadini. Tra le attività dell'Associazione vanno ricordate l'organizzazione annuale di un convegno dedicato alla divulgazione e di una tavola rotonda, oltre alla pubblicazione del periodico "Meteorologica" dedicato al commento sull'andamento climatico in regione. Maggiori informazioni si possono trovare al sito [www.umfvg.adriacom.it](http://www.umfvg.adriacom.it) o scrivendo a [info@umfvg.adriacom.it](mailto:info@umfvg.adriacom.it)



## L'OSSERVATORIO METEOROLOGICO REGIONALE DEL FRIULI VENEZIA GIULIA

L'Osservatorio Meteorologico Regionale del Friuli Venezia Giulia (OSMER) fa parte della locale Agenzia Regionale di Protezione dell'Ambiente (ARPA) e, nell'ambito del territorio regionale, si occupa del monitoraggio meteorologico, dell'emissione e diffusione di vari tipi di previsioni meteorologiche, dello studio dei fenomeni atmosferici e della divulgazione delle conoscenze acquisite. Il sistema di monitoraggio meteorologico è di tipo integrato ed è costituito da un RADAR polarimetrico Doppler, da una rete di stazioni alla mesoscala che soddisfano i criteri del WMO, da una rete di rilevamento della grandine gestita da volontari

e, grazie al sistema SIRF, gestito dal CESI, dispone anche dei dati relativi alla posizione e intensità dei fulmini nube-suolo. Recentemente è stata anche istituita una rete di osservatori volontari di fenomeni di local severe weather (gropi di vento, tornado, etc) per la raccolta sul campo delle informazioni relative a questi eventi. Gli studi svolti dall'OSMER sono principalmente rivolti alle precipitazioni orografiche, ai fenomeni legati alla convezione profonda e alla determinazione della climatologia regionale e della sua variazione. Maggiori informazioni si possono trovare al sito [www.osmer.fvg.it](http://www.osmer.fvg.it) o scrivendo a [info@osmer.fvg.it](mailto:info@osmer.fvg.it)



*Gli "Appunti di meteorologia per il Friuli Venezia Giulia" sono una raccolta di schemi, disegni e grafici piuttosto elementari, realizzati negli anni '90, per conferenze e lezioni di meteorologia, aventi lo scopo di divulgare e spiegare in modo semplice il tempo e il clima della regione, ad un pubblico di "non addetti ai lavori". Per questo, il testo non ha assolutamente la pretesa d'essere rigorosamente scientifico, ma considerato solo come supporto per il profano che desidera capire un po' di più di quanto gli succede sopra la testa, sulla base di pochi concetti elementari, di un buon spirito osservativo e di intuito fisico anche se non si conoscono le equazioni della fisica dell'atmosfera, cioè le leggi che effettivamente regolano il movimento delle masse d'aria e i fenomeni atmosferici. Pur avendo come oggetto la meteorologia del Friuli V. G. il testo è strutturato in modo tale da poter essere consultato anche da chi non è interessato a questa regione. Ciò è consentito dalla divisione in capitoli che comunque partono da elementi di base che sono gli stessi per qualsiasi località. I capitoli iniziano con l'analisi delle "grandezze fondamentali" quali temperatura, umidità, pressione, ecc., per poi proseguire con la "circolazione atmosferica in generale" e quindi con i "fronti e gli anticicloni sull'Europa" e, più in particolare, sugli "effetti delle Alpi". Si prosegue poi con "le circolazioni e i fenomeni locali" di cui "i temporali", "le gelate", "le nevicate" e "la quota delle nevicate". Si termina infine con le "situazioni tipiche e la loro evoluzione".*

**L'opuscolo è disponibile scrivendo all'OSMER, via Carso3, 33052 Cervignano del Friuli (UD), inviando 3.62 euro in francobolli per il contributo spese postali e indicando il proprio indirizzo postale.**

L'apparente paradosso osservativo potrebbe perciò non essere tale e anzi fare luce proprio sui meccanismi microfisici alla base del fulmine.

Altri studi sono necessari per chiarire questo e altri aspetti che

fanno parte del comportamento dei fulmini. Ciò che è comunque innegabile è che le spiegazioni scientifiche del fulmine e dei suoi comportamenti sono, se possibile, ancora più poetiche e affascinanti di quelle mitologiche.

### Bibliografia

- Tito Lucrezio Caro. "La natura delle cose". Collana Classici Greci e Latini. Oscar Mondadori 2000, Milano.
- Aristotele. "Meteorologica". Micromegas. Guida Editori 1982, Napoli.
- Knowles Middleton. "A History of the theories of rain". Franklin Watts Inc. 1966 New York.