

Strane luci dal cielo: dalle Aurore Boreali ai Fulmini Ionosferici

Roberto Mussa



Art&Science
Liceo Copernico, 18/3/2025

Elan Azriel
Photography

Le Aurore nella Storia dell'Arte

Olanda 1729



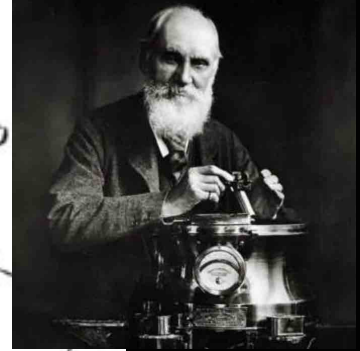
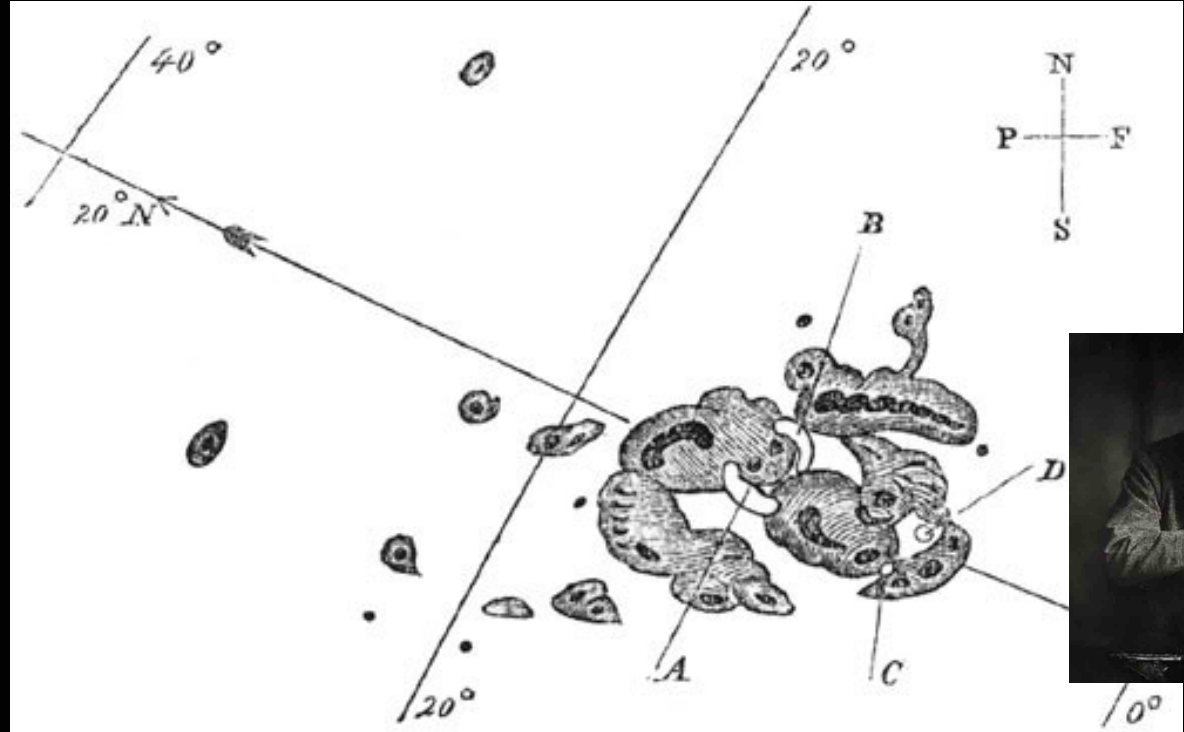
Giappone 1770



F.E.Church, Artico 1865

Carrington Event (1-2 Settembre 1859)

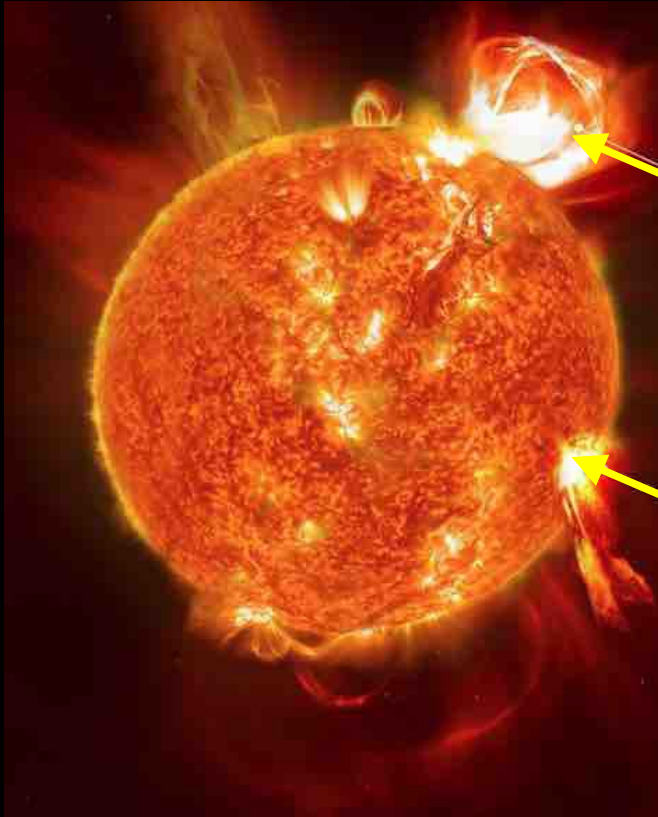
Disegno originale della macchia solare, eseguito da Richard Carrington a fine agosto del 1859



La piu' forte tempesta solare osservata nell'Era Moderna: per fortuna, l'unica rete elettrica presente allora era quella dei telegrafi... le aurore vengono osservate fino ai tropici!



Tempeste Solari



Eruzioni Coronali di Massa

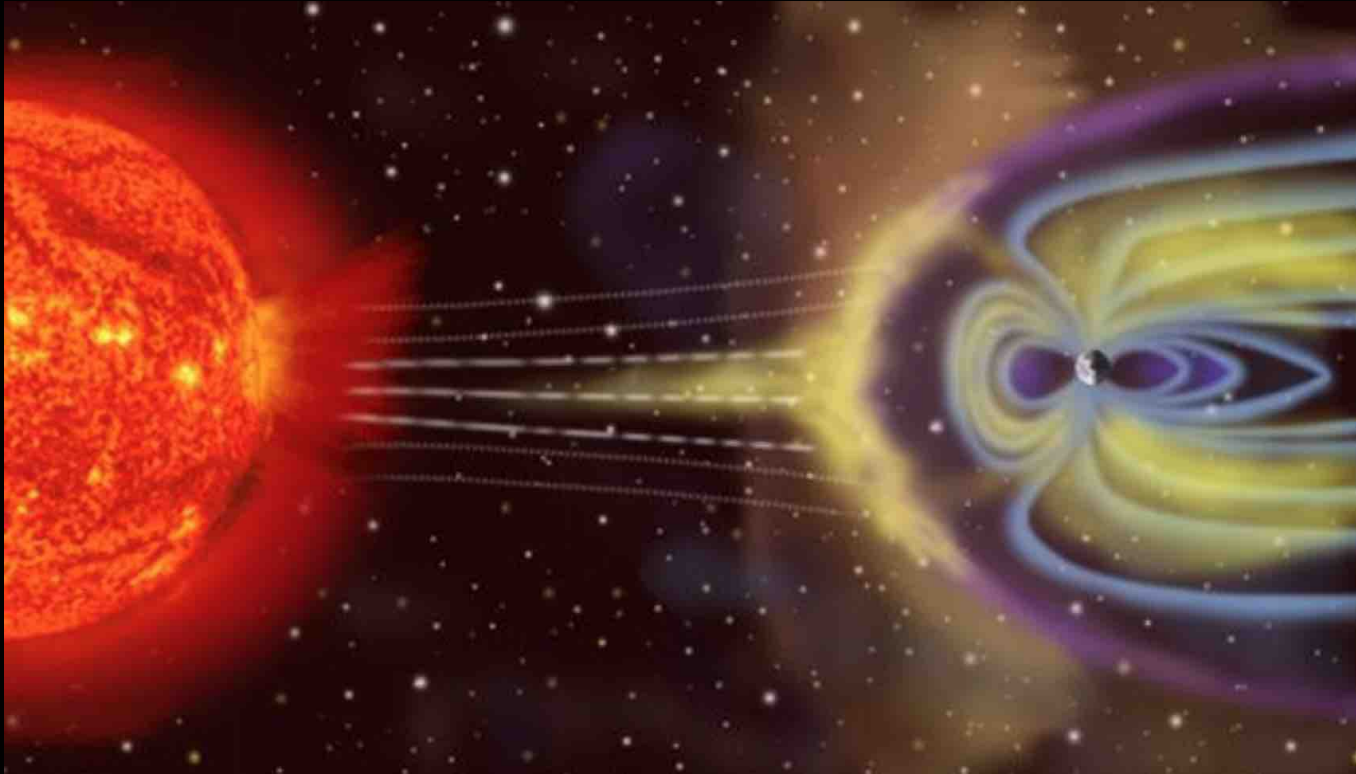
Bolle di plasma (ioni carichi positivamente) sparate verso la terra a $v \sim 6-800$ km/s

Brillamenti Solari

Esplosioni miliardi di volte piu' potenti di Hiroshima: fiotti di raggi X e elettroni relativistici che arrivano a Terra in 8-20 minuti



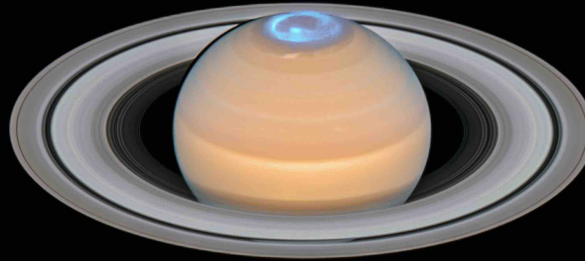
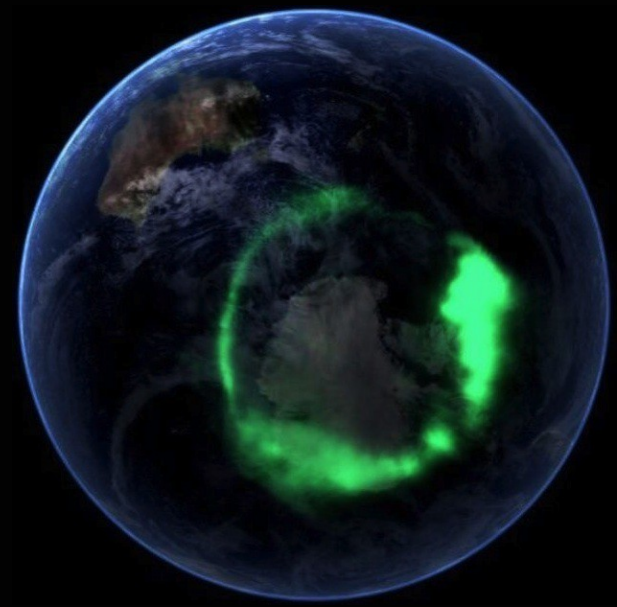
Dal Sole alla Terra



Il campo magnetico terrestre cattura le particelle cariche che tendono a spiraleggiare intorno alle linee di campo e 'cadere' verso Terra concentrandosi sui poli.



Aurore boreali, australi ..extraterrestri



Aurore boreali, australi ..extraterrestri



I colori dell'aurora

Rosso

- Ossigeno Atomico (O) a $h=300-400$ km
- Azoto Molecolare (N_2) a $h=100$ km

Verde

- Ossigeno Atomico (O) a $h=100-300$ km

Blu

- Ione Azoto Molecolare (N_2^+) a $h=100-300$ km

Indaco - Violetto

- Idrogeno (H) e Elio (He) a $h=300-400$ km

Rosa

- Molecole Azoto (N_2) neutre e ionizzate

Arancio

- Atomi e Ioni Ossigeno

2024: Aurore a gogo'

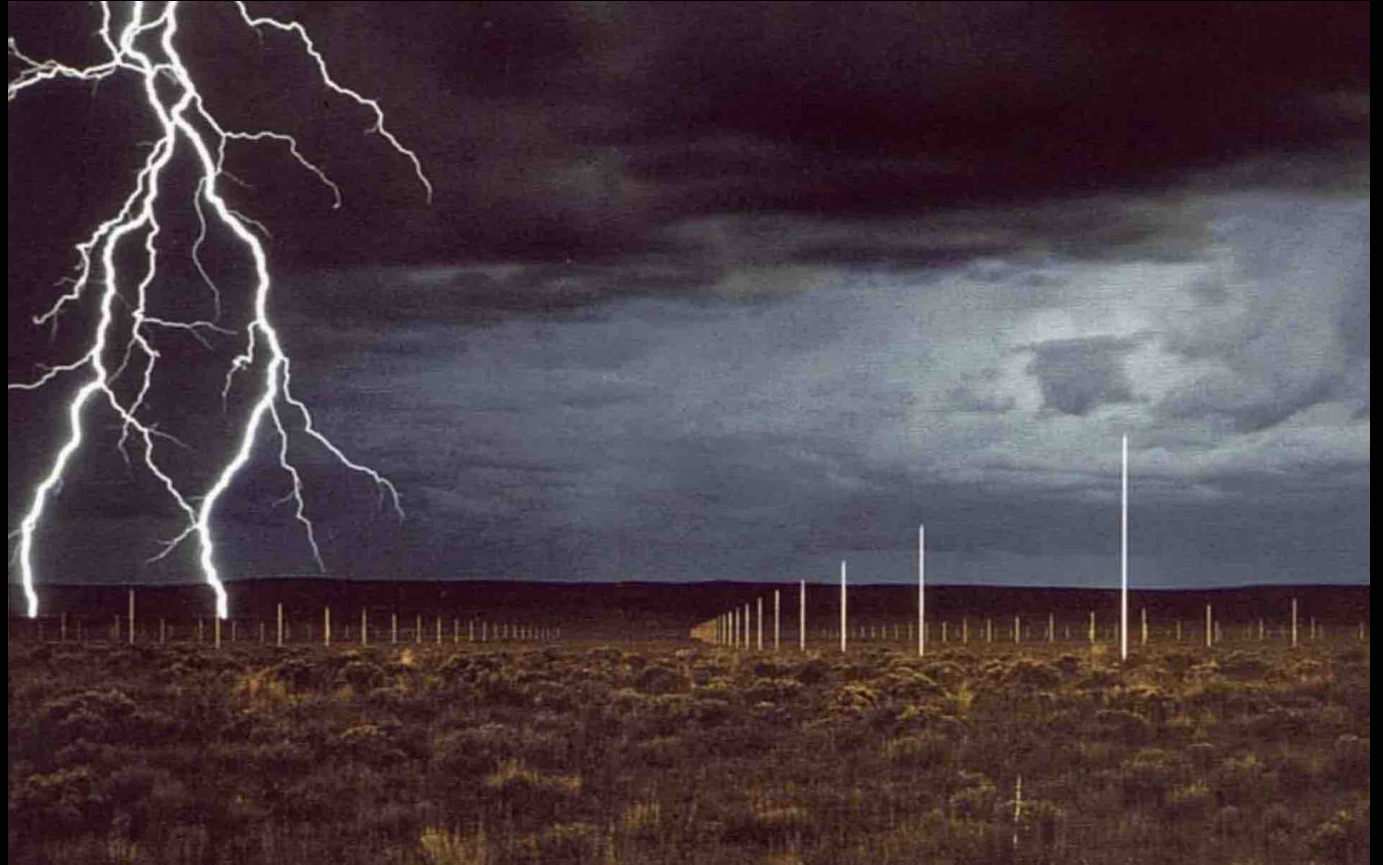


L'Irresistibile fascino dei fulmini



Landscape Art coi fulmini

Walter De Maria
Lightning Field (1977)
Quemado, New Mexico



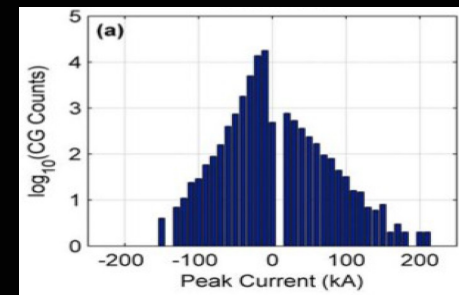
Fulmini piu' comuni



Piu' rari quelli tra terra e nuvole (GC)



I fulmini con carica positiva sono MENO frequenti ma ... PIU' FORTI !
(correnti elettriche piu' intense)



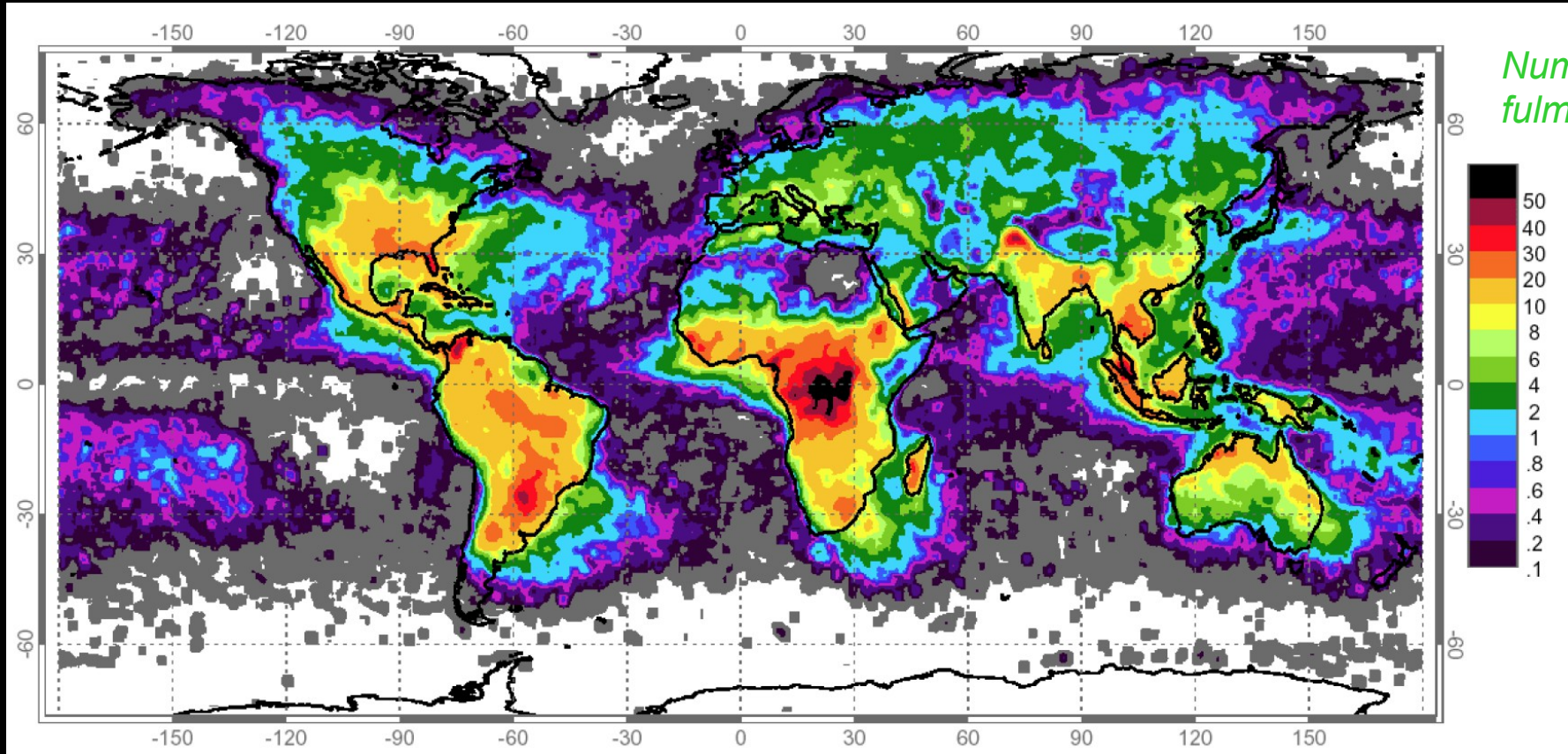
... e meno comuni



Antropogenici

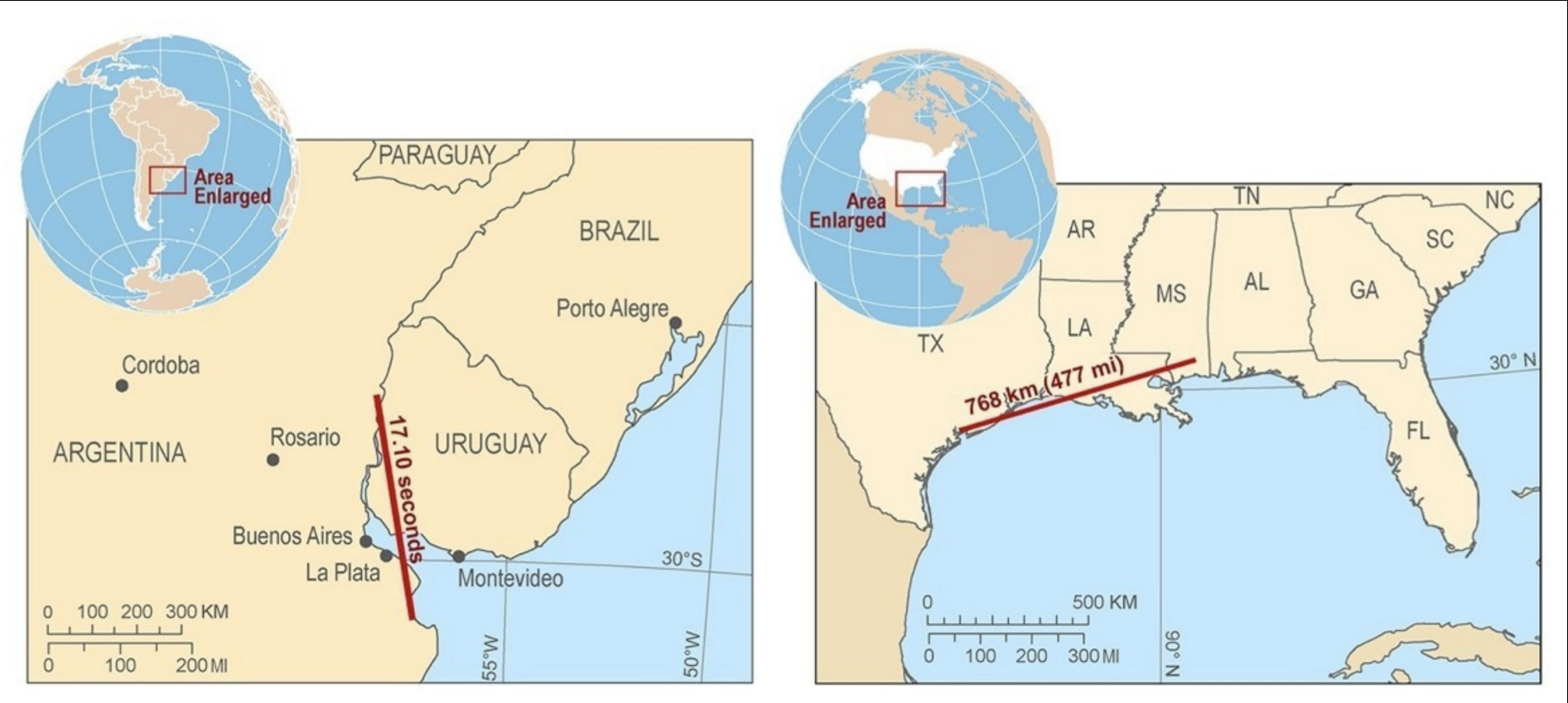


Fulminerie ...



Fonte: satellite Mikrolab-1, Optical Transient Detector

Fulmini da record



Ma quanto DURA un fulmine?

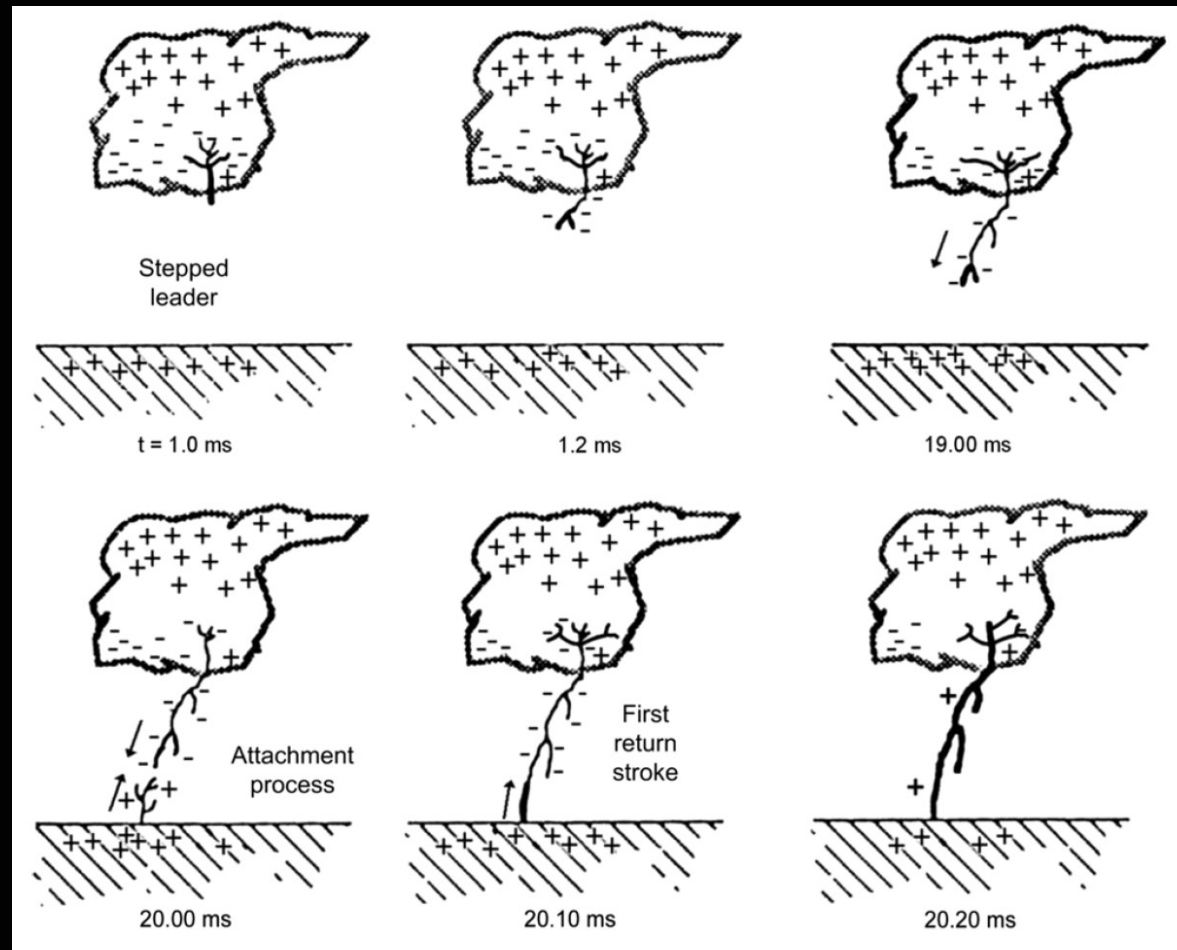
Velocità tipiche delle cariche pilota (dette **leaders**):

200 km/s

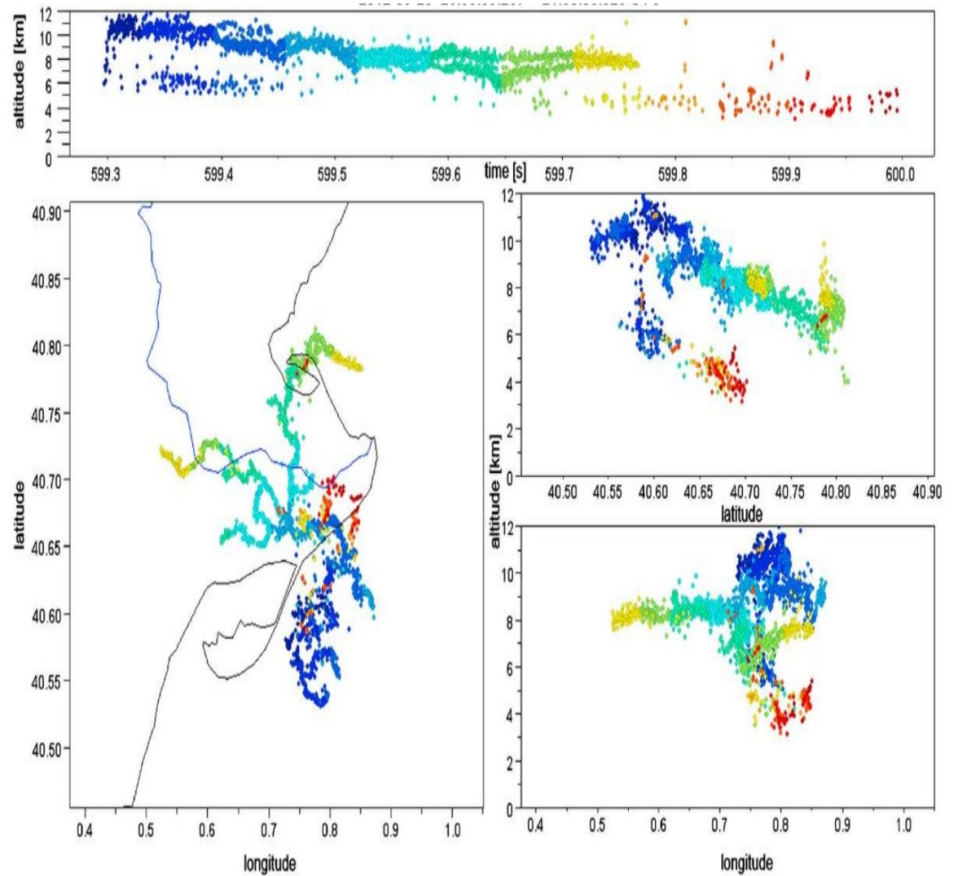
(nb: la luce va a 300000 km/s !!!)

Tipicamente, il leader ci mette **parecchi millisecondi** per percorrere un km e arrivare a terra, e può toccar terra parecchie volte, distanziate **decine di millisecondi**.

Solo negli ultimi dieci anni si sono sviluppate tecniche capaci di visualizzare la formazione delle fasi iniziali del fulmine



Ricostruzione 3D dei fulmini



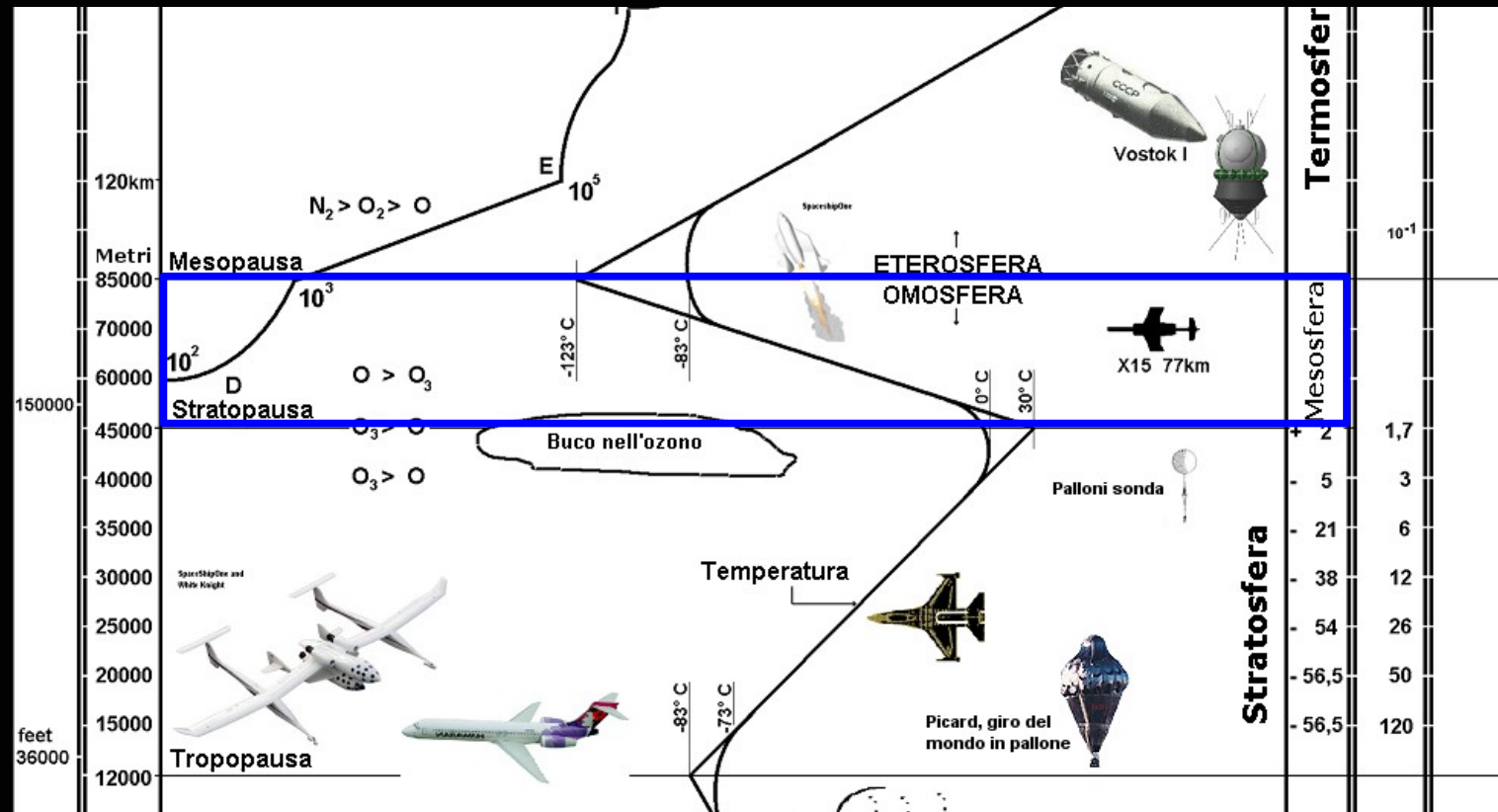
Fulmini al rallentatore (7000 fps)



Ignorosfera

Troppo bassa
per un satellite

Troppo alta per
un pallone
sonda



CTR Wilson e la Gloria



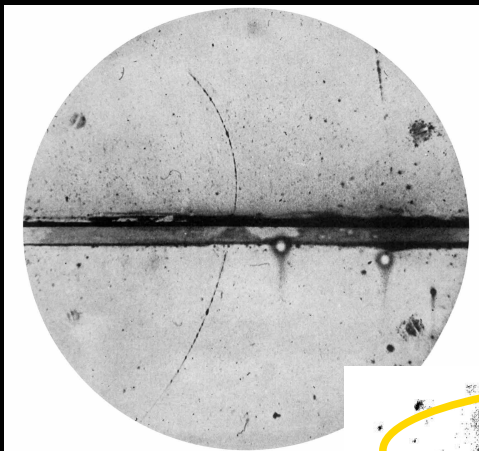
Spettro del
Monte Brocken
(Blocksberg)

Luce di Buddha
($\xi \bar{A}$)

Camera a
Nebbia (1915)

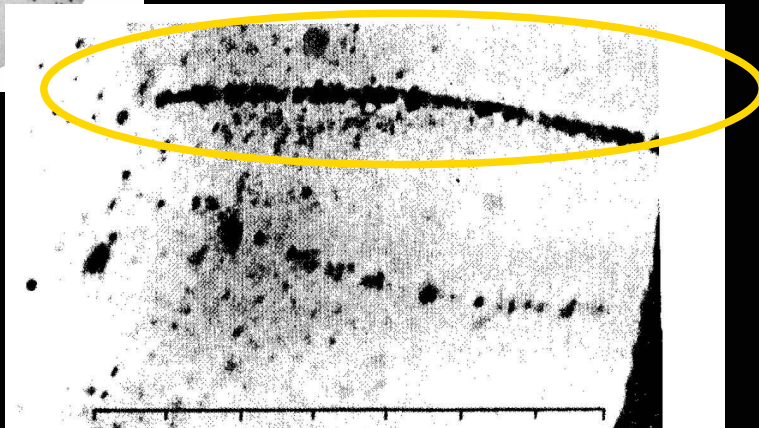


CTR Wilson e la Gloria



Scoperta
del
positrone

Scoperta del muone



Premio Nobel 1927



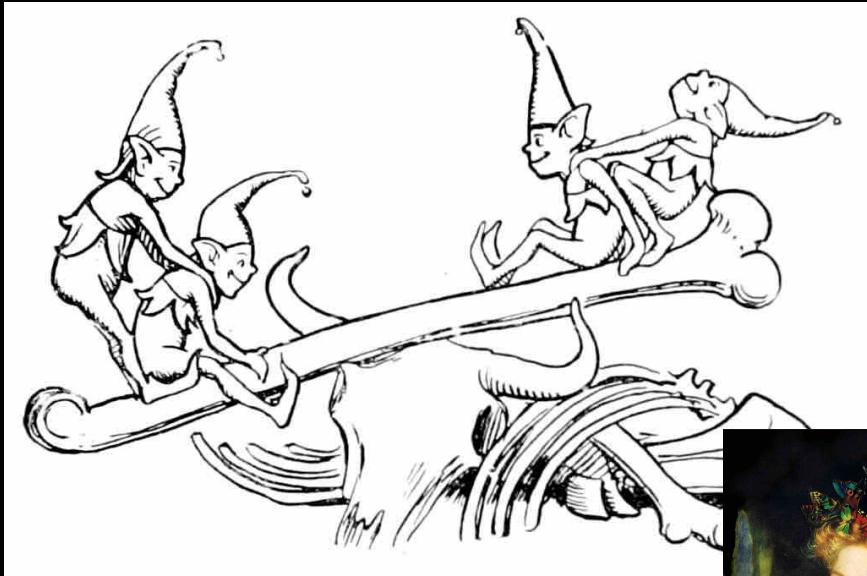
CTR Wilson e la Gloria

Nel 1925, CTR Wilson ipotizza che i campi elettrici prodotti in un temporale possano causare scariche elettriche anche nelle parti alte della nostra atmosfera, a **70-90 km di altezza!**

Sostiene di riuscire a vedere dei lampi di luce sopra i temporali lontani ma nessuno gli crede (nonostante il Nobel)...



Sprites ...



Fonte: Wikipedia



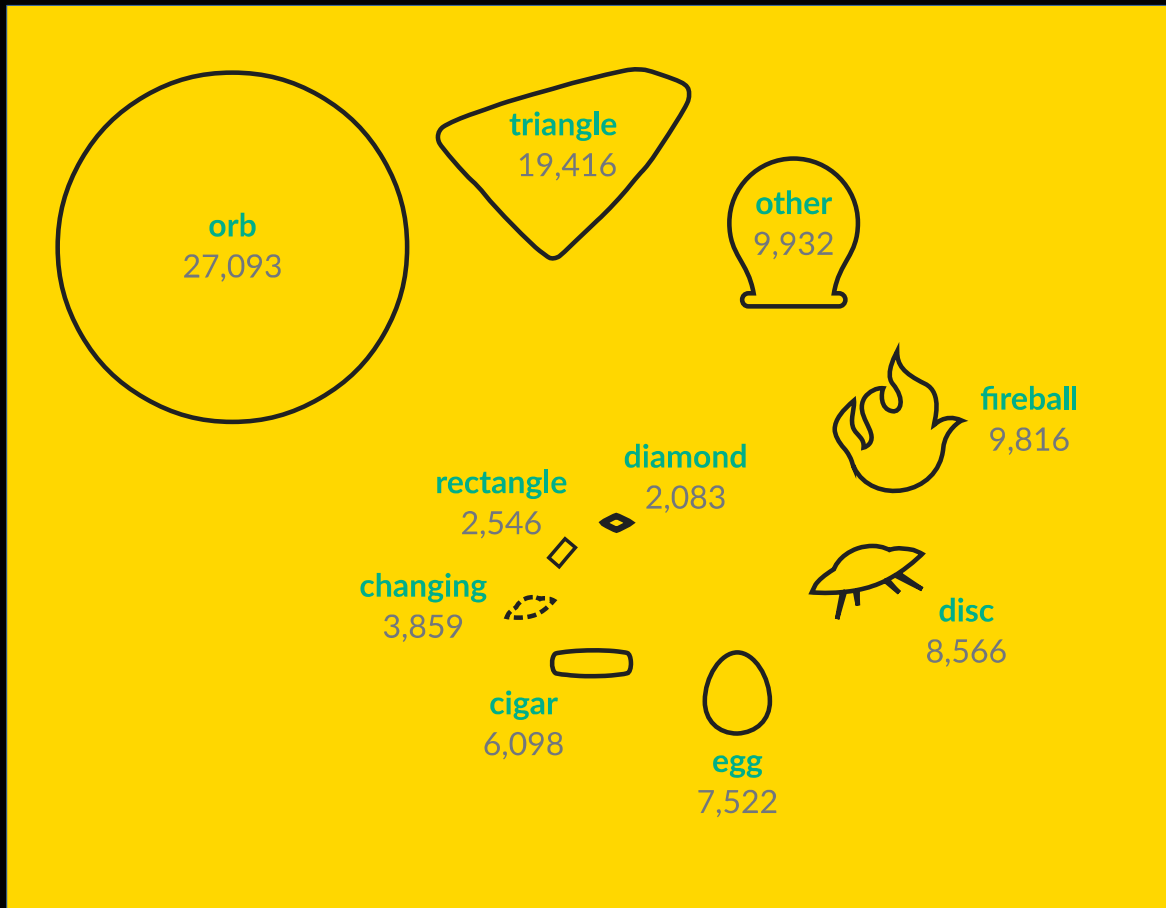
La scoperta degli SPRITE

Stratospheric/mesospheric Perturbations Resulting
from Intense Thunderstorm Electrification

5/7/1989, Univ. Of Minnesota



SPRITE e UFO



La bellezza degli SPRITE



La bellezza degli SPRITE



La bellezza degli SPRITE



Paul M Smith
Photography



Spritechaser.com

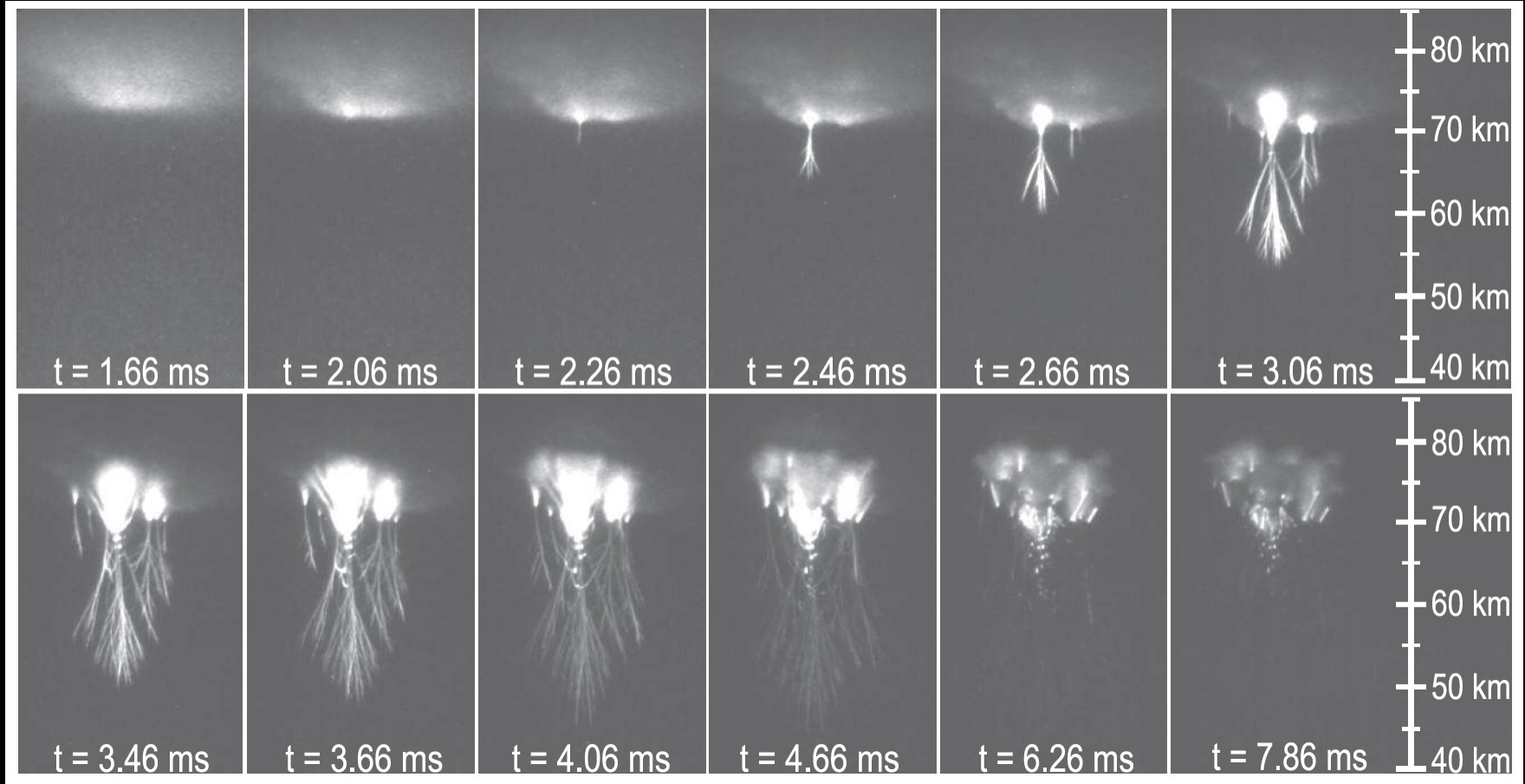
La bellezza degli SPRITE



SPRITE al rallentatore (5000 fps)



SPRITE al rallentatore (5000 fps)



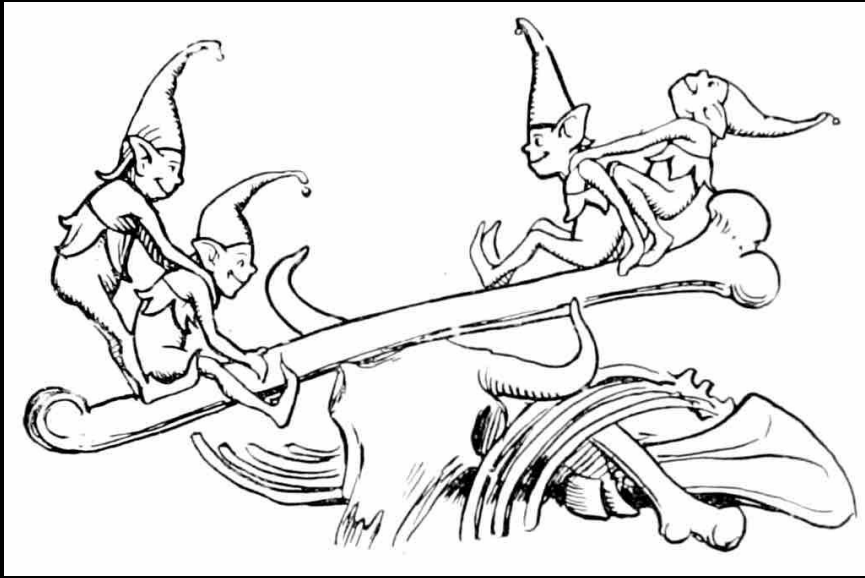
Blue Jets



Mauna Kea, Hawaii



Elves ...



A MIDSUMMER-NIGHT'S DREAM
BY WILLIAM SHAKESPEARE

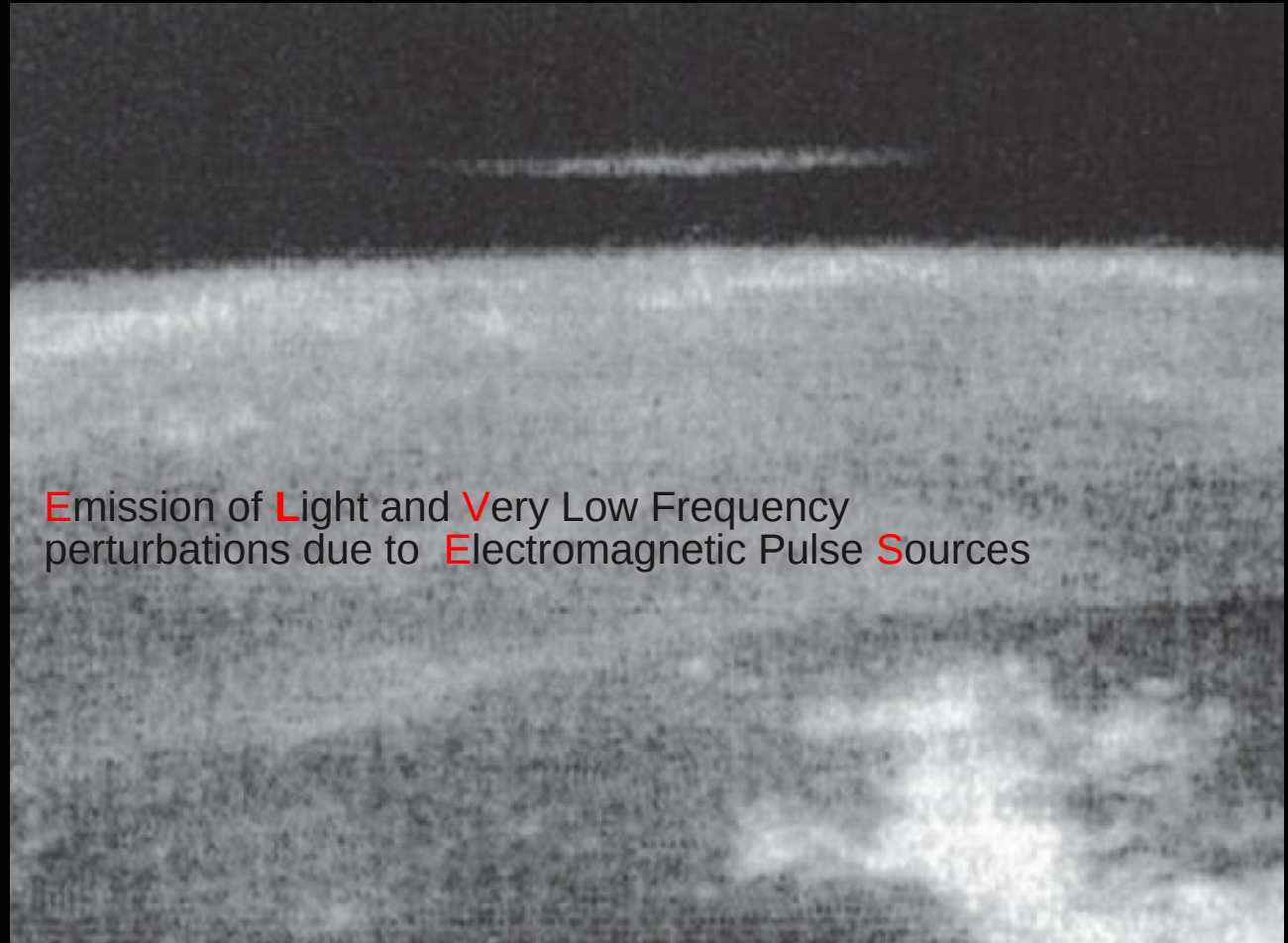


WITH ILLUSTRATIONS BY
ARTHUR RACKHAM, R.W.S.

La scoperta degli ELVES

Emission of Light and Very Low Frequency
perturbations due to Electromagnetic Pulse Sources

La prima foto di un ELVES,
dallo Space Shuttle
Boeck et al (1992)



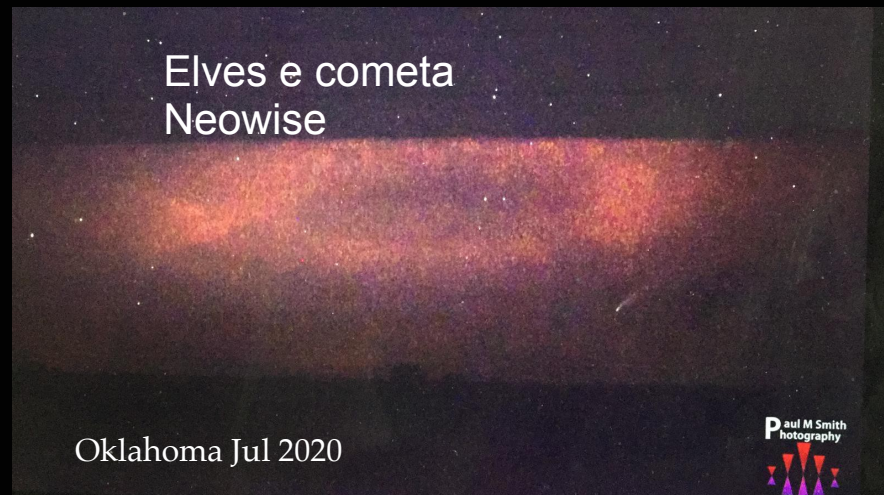
Galleria di ELVES

Elves e Sprites



Image: Timo Kantola, Ismo Luukkonen/Tähdet ja avaruus

Elves e cometa
Neowise



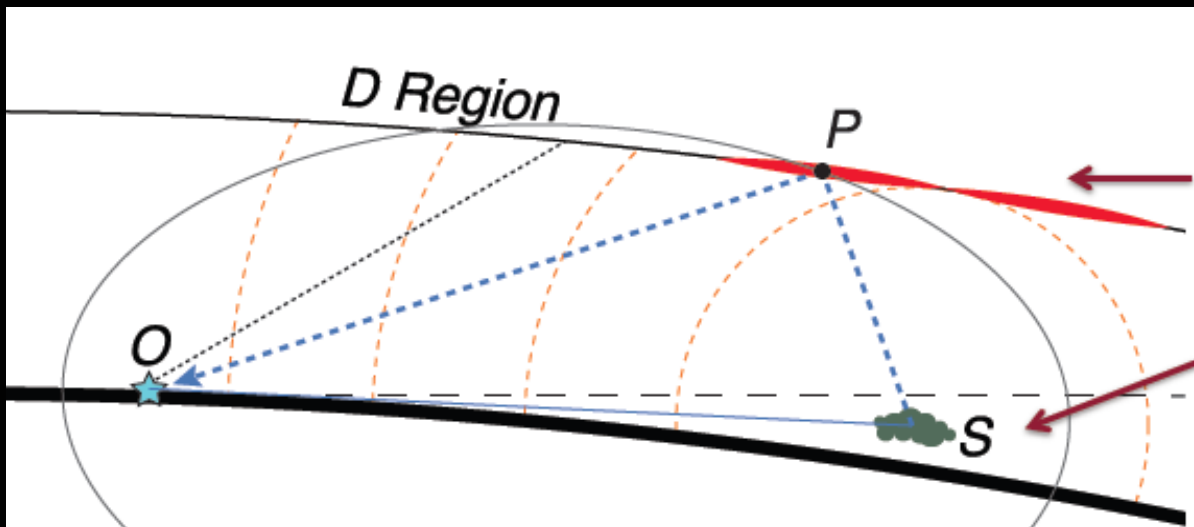
Oklahoma Jul 2020

ELVES sopra l'Adriatico
Trento 27/3/2023



Cosa sono gli ELVES ???

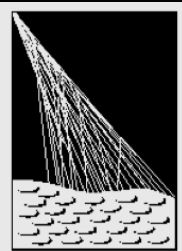
U.Inan (1989) : “gli intensi campi elettromagnetici prodotti in un fulmine possono raggiungere la base della ionosfera, accelerare gli elettroni liberi, che ecciteranno le molecole di azoto e ossigeno. Queste, diseccitandosi, riemetteranno luce visibile o ultravioletta.”



L'emissione di luce avviene a
80-95 km di altezza
(base della Ionosfera)

La sorgente dell'impulso e'
un fulmine in troposfera,
(nascosto dalla curvatura terrestre)



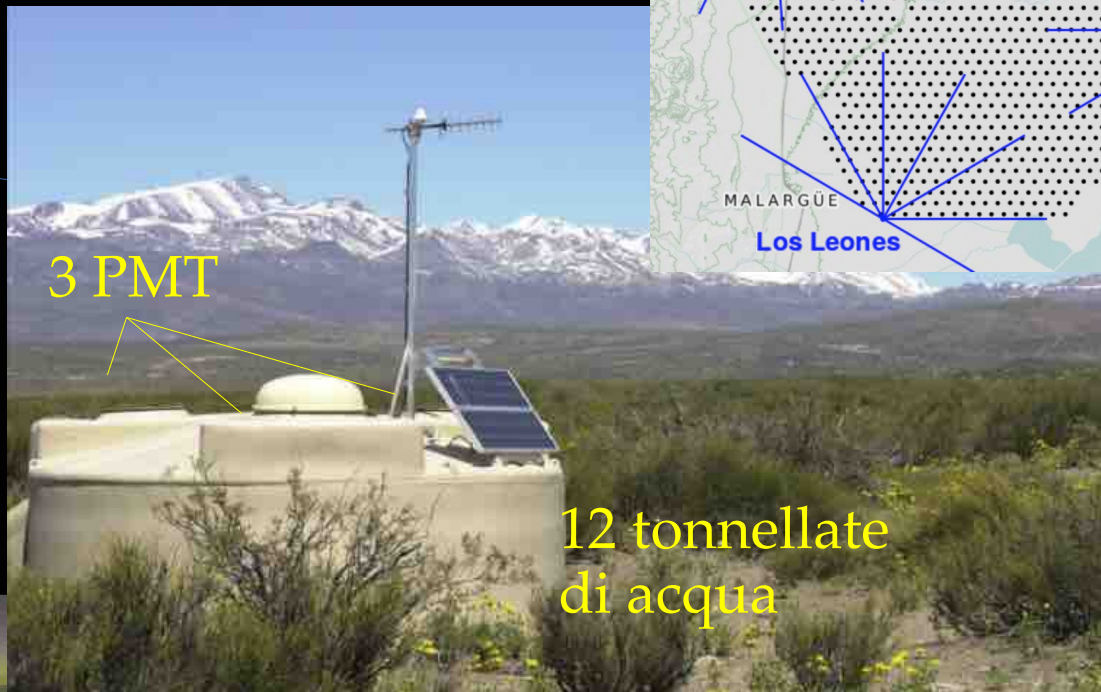
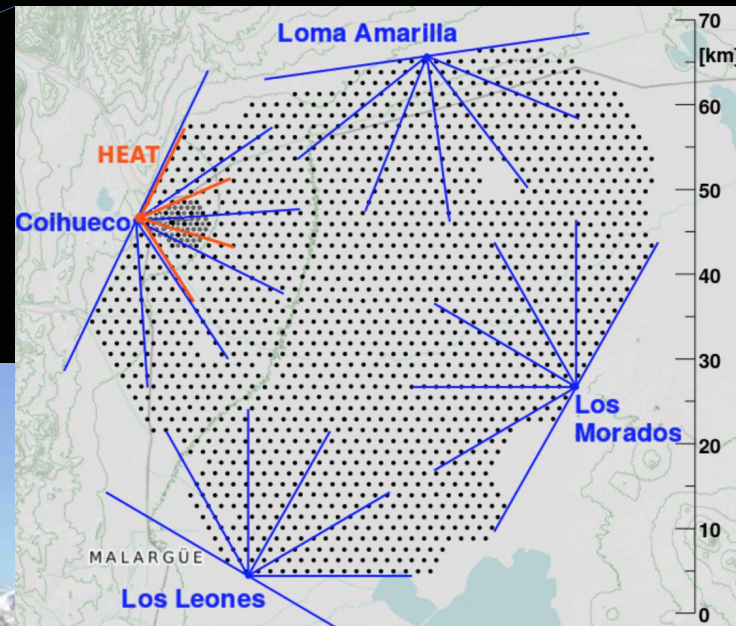


PIERRE
AUGER
OBSERVATORY

Il piu' grande osservatorio di raggi cosmici del mondo

Malargüe, Mendoza, Argentina (35°28'S, 69°20'W)

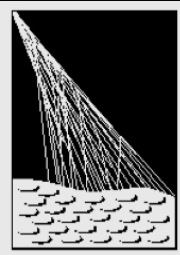
1660 rivelatori su
un'area di 3000 km²



12 tonnellate
di acqua

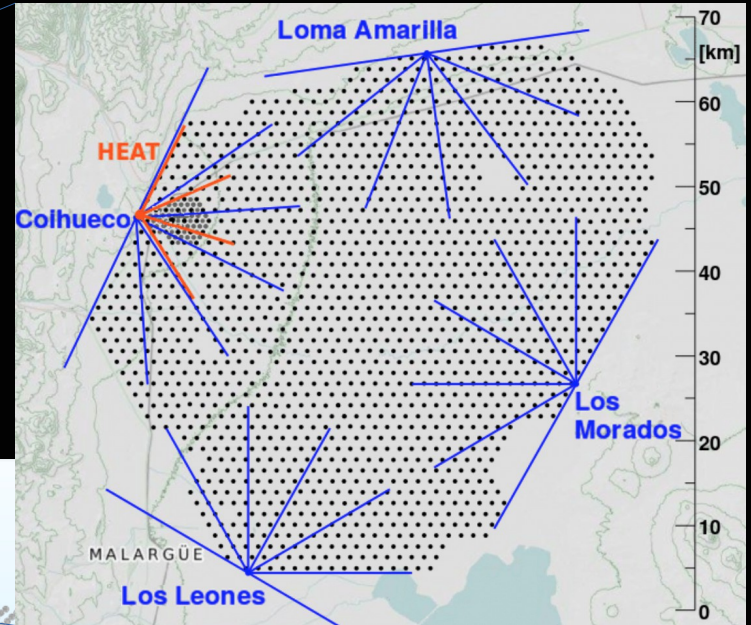
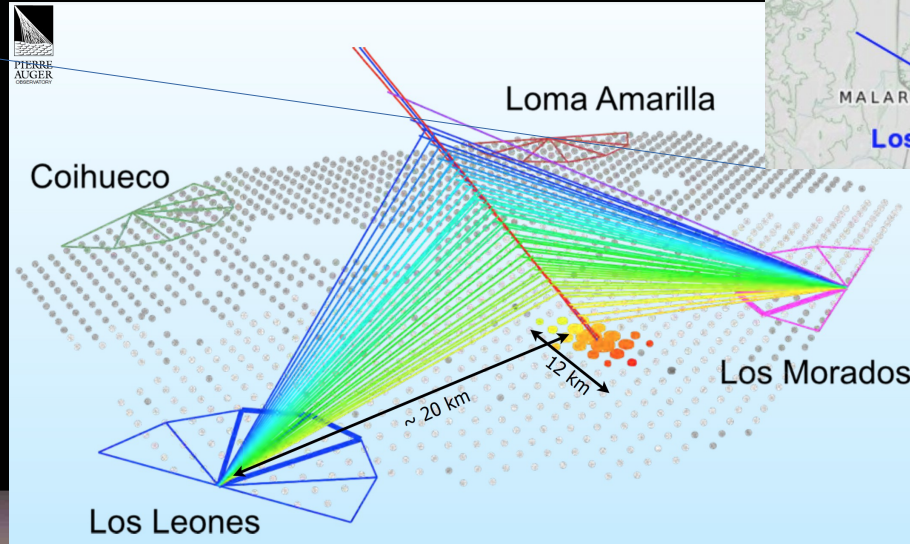
Il piu' grande osservatorio di raggi cosmici del mondo

Malargüe, Mendoza, Argentina (35°28'S, 69°20'W)



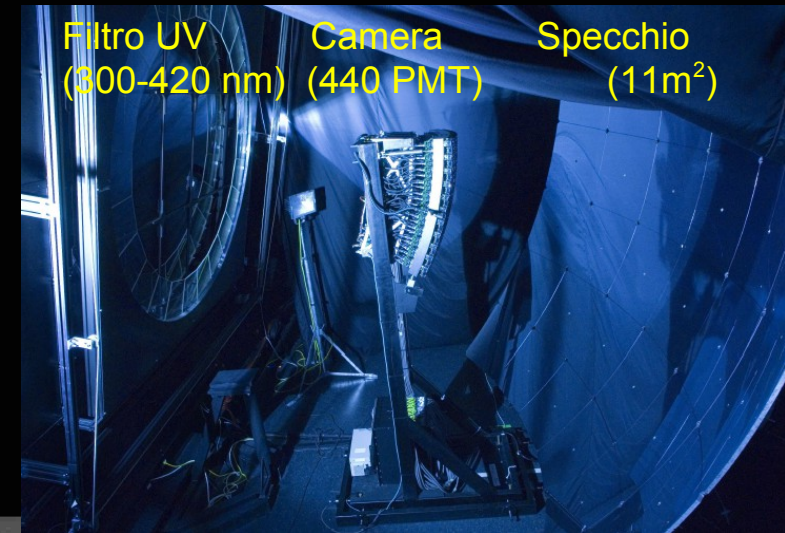
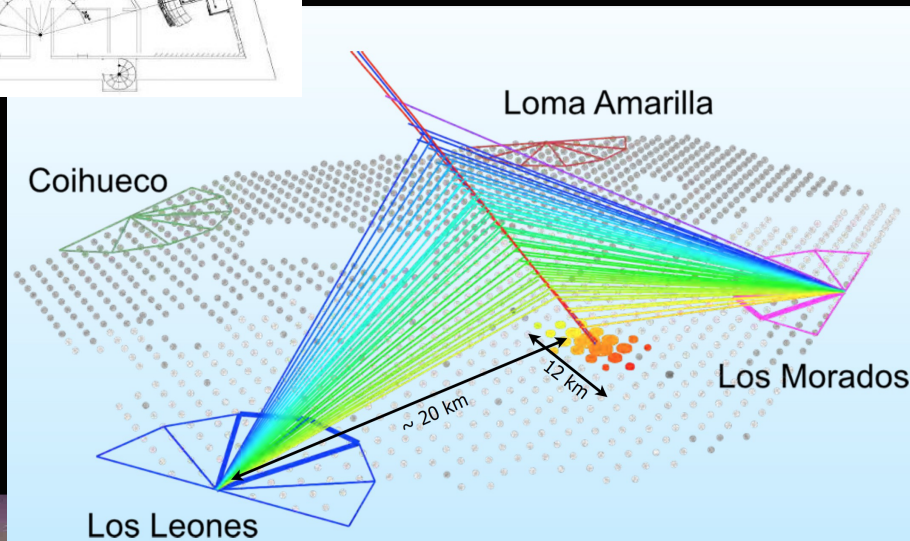
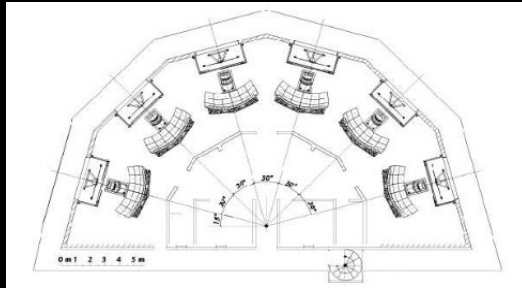
PIERRE
AUGER
OBSERVATORY

1660 rivelatori su
un'area di 3000 km²

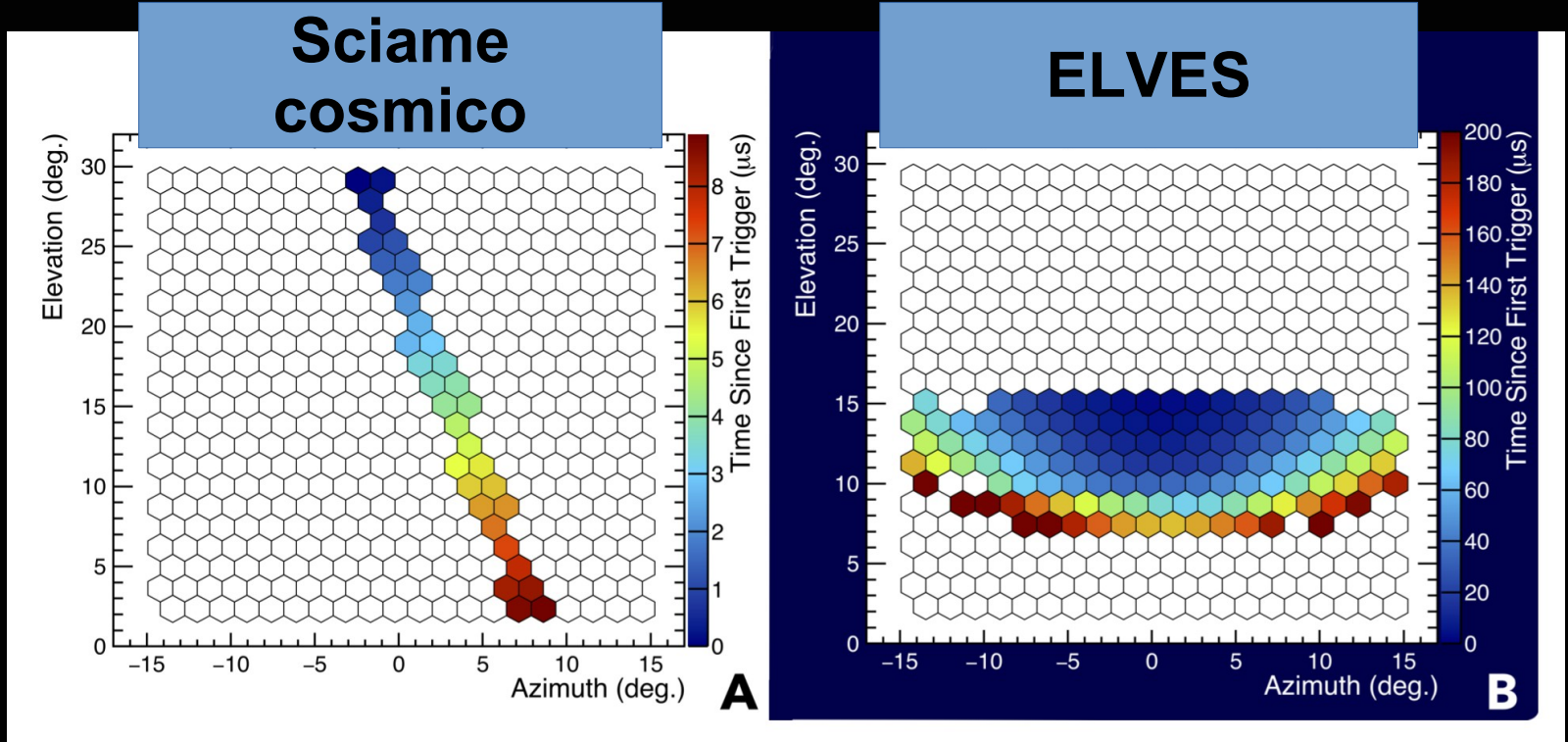


Rivelatori di Fluorescenza

24+3 telecamere da 10 Milioni di fotogrammi al secondo !!!



2005: Riscoperta degli ELVES in Auger



Qui il colore indica il tempo di arrivo dell'impulso luminoso : dal **blu** al **rosso**.



ELVES visto da due telescopi FD di Auger



Qui il colore indica l'intensita' di luce (a 500 kfps)



Proiettando l'Elves sulla base della ionosfera...

Trasportando i segnali nella regione di emissione alla base della ionosfera, vediamo un'onda circolare che sembra percorrere 200 km in 0.46 millisecondi ... Più' veloce della luce !

Per giunta, l'onda sembra allontanarsi da noi : cosa succede?



Proiettando l'ELVES sulla base della ionosfera...

Ci siamo dimenticati che la velocità della luce non è infinita !

Se teniamo conto che la luce fa 300 km in un millisecondo, il fronte luminoso inverte la sua direzione....



Sommando la luce si compone l'immagine dell'ELVES



TLE Cameras in Auger

Montatura controllata da un Arduino

- Dic.2023 :
Sony a7-III / 7artisans 50mm f/0.95

- Apr.2024 :
ZWO ASI294MC / Sigma 20mm f/1.4



Prima ELVES, poi SPRITE



24 Gennaio 2025: notte degli SPRITEs



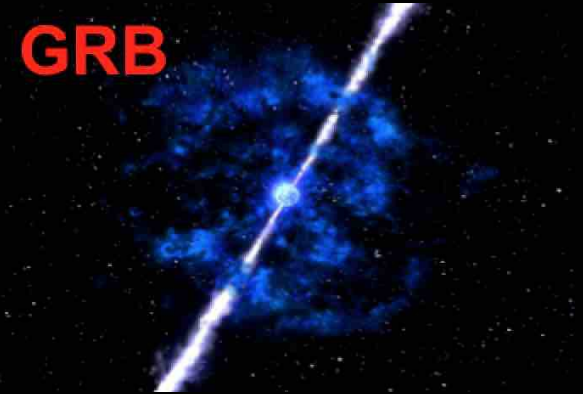
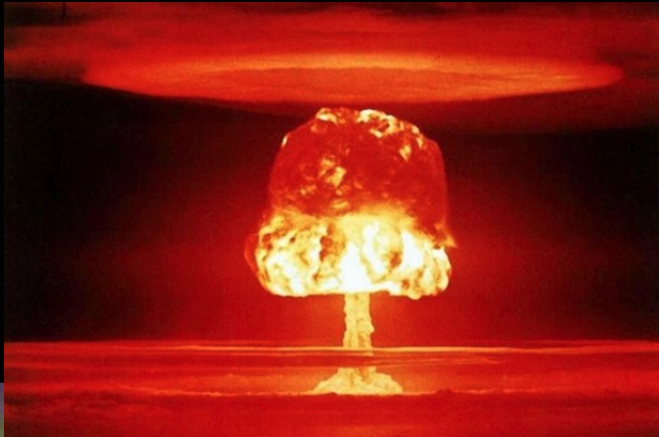
La strana storia dei Raggi Gamma Terrestri

1963: in piena guerra fredda, USA e URSS firmano il primo trattato per il bando dei test nucleari in atmosfera. Gli USA inviano i satelliti militari VELA per monitorare il rispetto del trattato dallo spazio.



Anni 70-80: i VELA scoprono delle esplosioni che producono enormi fiotti di raggi Gamma... Vengono dallo spazio profondo!

Sono i Gamma Ray Bursts (GRB)



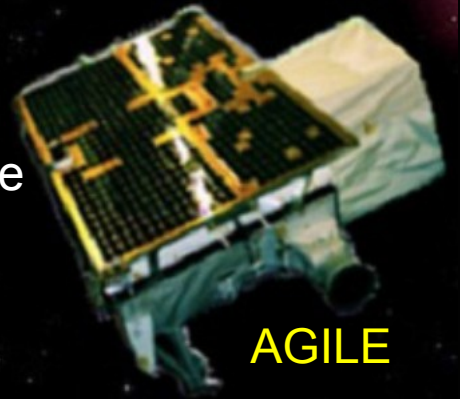
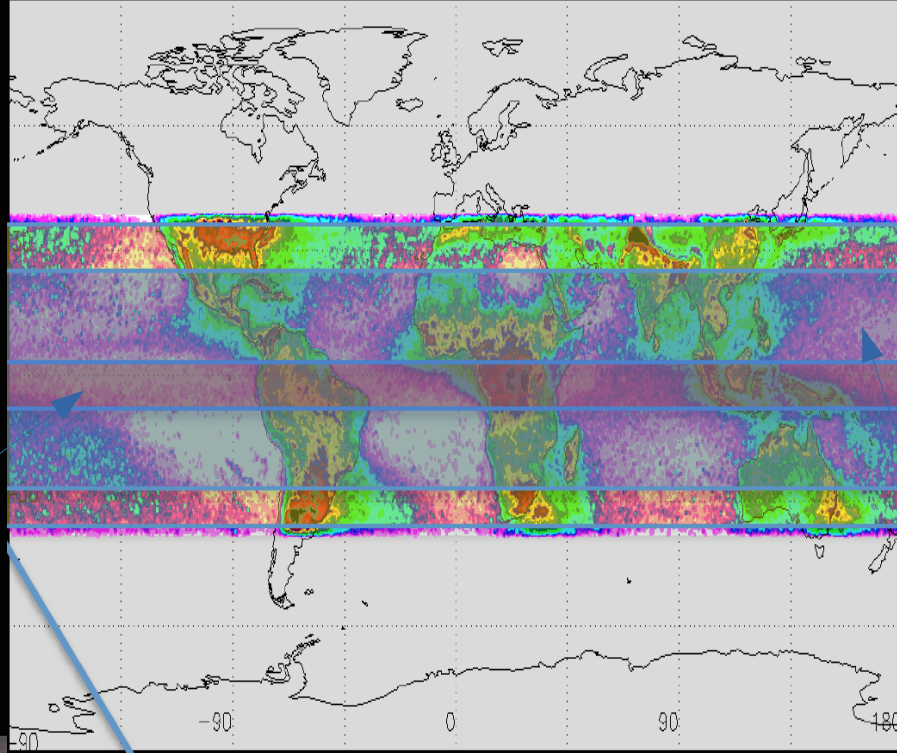
La strana storia dei Raggi Gamma Terrestri



BATSE

Scoperta di GRB.... che arrivano da terra!!!

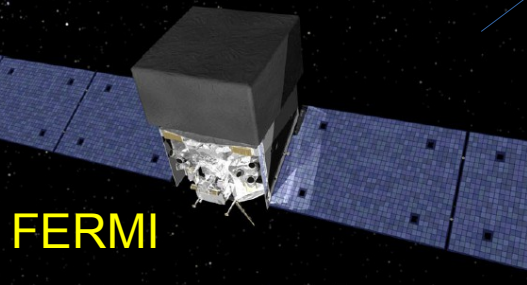
1991-2000: la guerra fredda e' finita. Molti satelliti scientifici vengono lanciati per studiare i GRB ...



AGILE



RHessi



FERMI

Fatti e misteri sui Raggi Gamma Terrestri (TGF)

Sono FOTONI, quanti di luce emessi da elettroni **accelerati a energie relativistiche nelle scariche temporalesche** : **I FULMINI SONO ACCELERATORI DI PARTICELLE NATURALI !!!**

Durano 10-100 microsecondi. A volte si ripetono, con periodi tra 1 e 2 millisecondi

Raggiungono energie altissime, fino a 20 milioni di elettronvolts

Nei TGF si producono anche positroni = anti-elettroni

Sono molto piu' energetici e rapidi dei Blue Jets

In che fase del fulmine vengono prodotti?

Possono anche dirigersi verso terra?

Sono collegati agli ELVES?



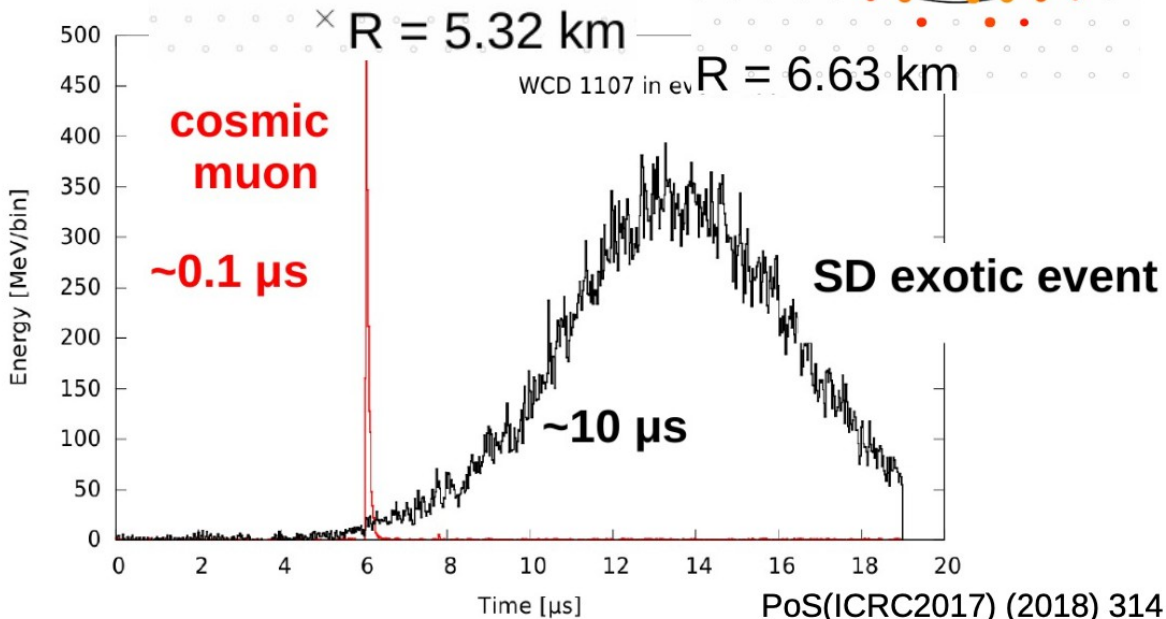
TGF verso terra

Scoperti in fulmini generati dall'uomo nel 2005



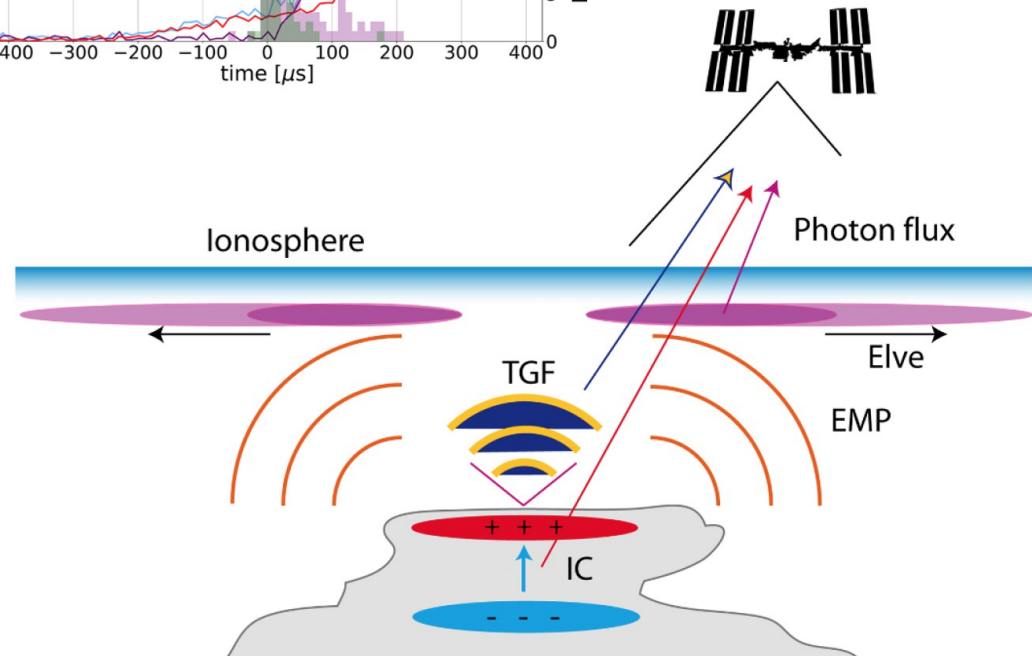
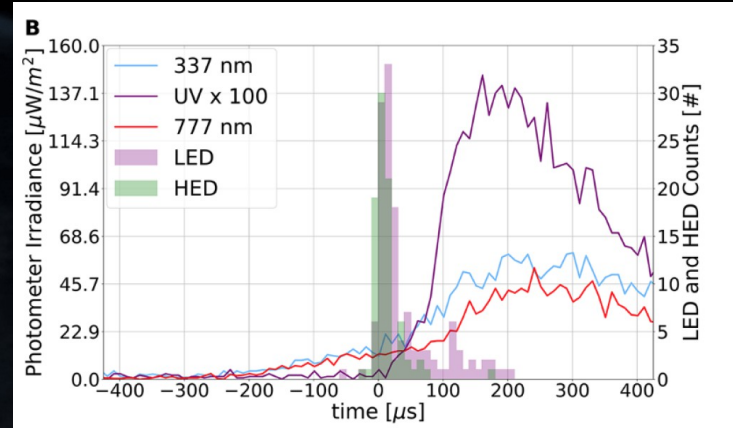
Osservati nei rivelatori di raggi cosmici in superficie:

- Telescope Array (Utah)
- Pierre Auger (Argentina)



2019: ASIM sulla ISS rivela contemporaneamente

ELVES e TGF



Grazie per l'attenzione!



Sul web: <https://spritacular.org/>

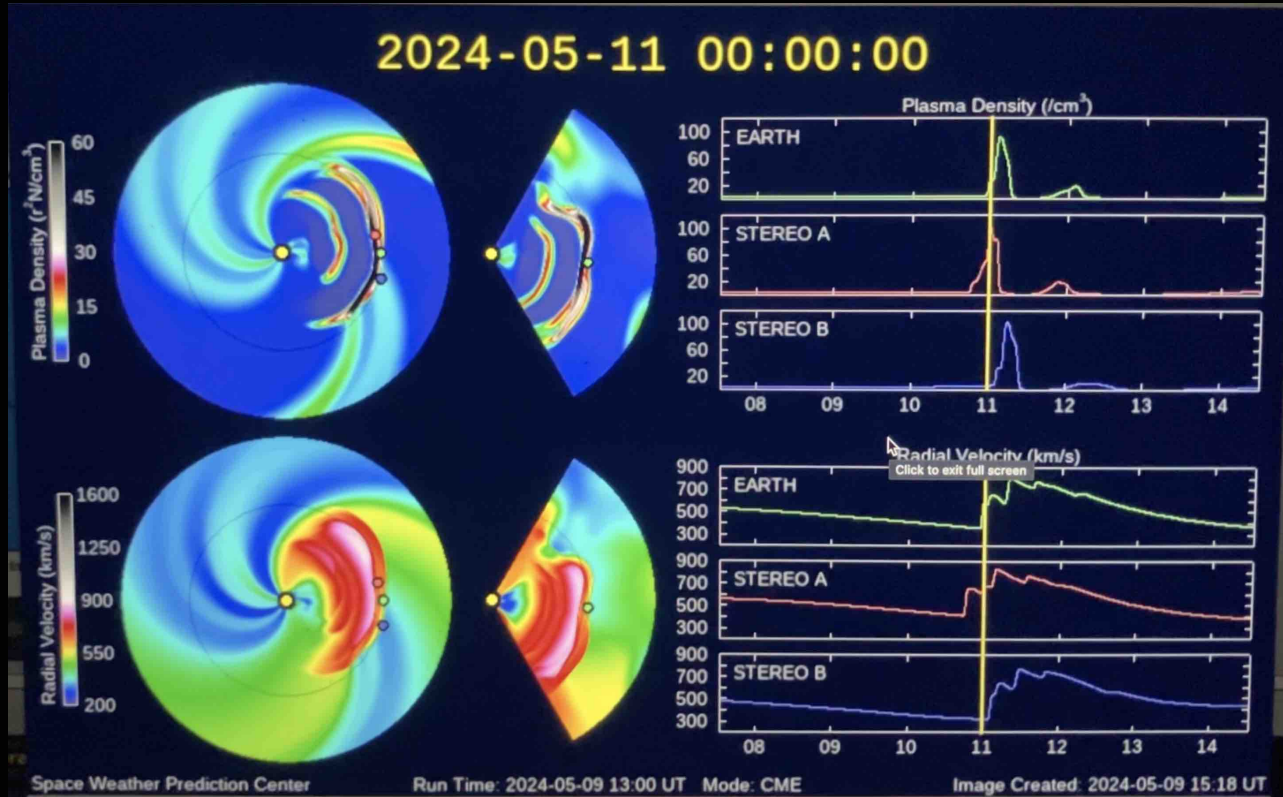
Su FB: <https://www.facebook.com/groups/376355972487572>

International Observers of Upper Atmospheric Electric Phenomena





Aurora del 10-11 Maggio 2024



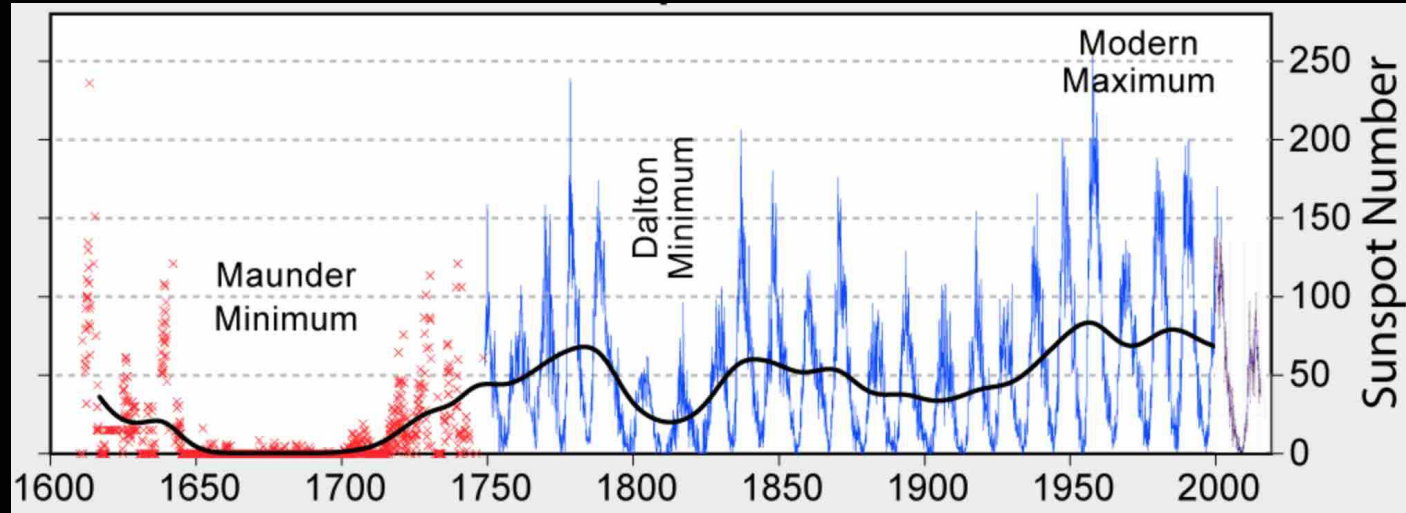
Aurora e SAR



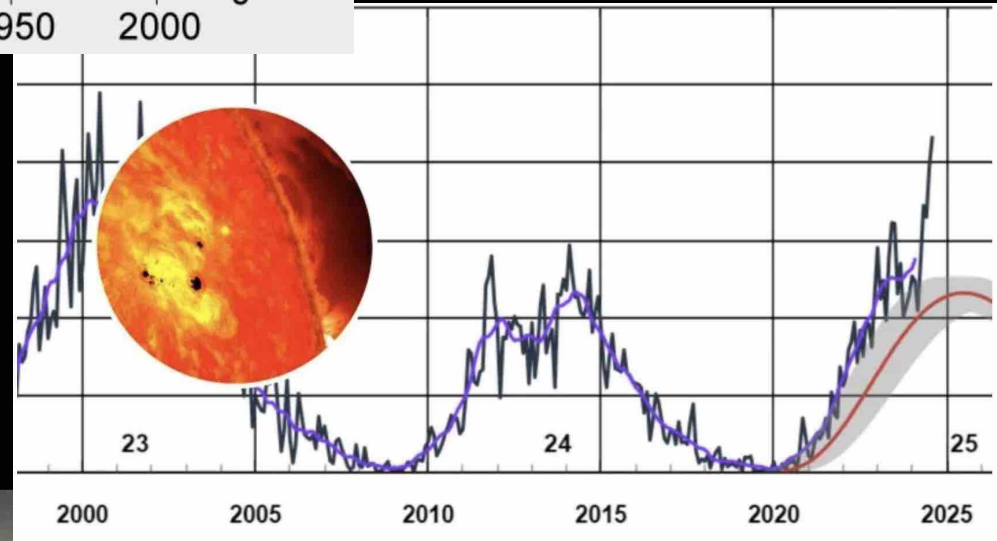
Abbassamento delle fasce di Van Allen che interagiscono con l'ossigeno atomico dell'alta atmosfera e producendo **archi rossi luminosi** (SAR) che si possono osservare guardando verso SUD



Macchie Solari e Clima Terrestre



Tamigi nel 1677



Le Aurore nell'Antichità

« Sotto il regno di Tiberio Cesare le coorti accorsero in aiuto alla colonia di Ostia come se fosse in fiamme mentre si trattava di **una vampa celeste brillante** durata gran parte della notte, di **un fuoco grasso e fumoso**. »

Seneca, *Naturales Quaestiones*, Libro I (62-64 d.C.)

« ... **vi è qualcosa che pare sangue, e il più terribile fenomeno fra quelli che spaventano i mortali: un incendio che dal cielo cade sulla Terra**, come avvenne al terzo anno della 107a Olimpiade (349 a.C.), mentre il re Filippo sconvolgeva la Grecia. Ora io penso che tutti questi eventi sorgano in tempi prefissati per forza naturale, come del resto ogni cosa, e non hanno quindi (come ritiene la maggior parte) motivazioni svariate, che si possono escogitare aguzzando la mente; **è vero che sono stati forieri di disastri**, ma io stimo non che i fatti siano accaduti perché quelle manifestazioni li avevano anticipati, ma, all'opposto, che quei fenomeni sono nati perché quei fenomeni stavano per verificarsi.... »

Plinio il Vecchio, *Naturalis Historia*, Libro II (78 d.C.)

