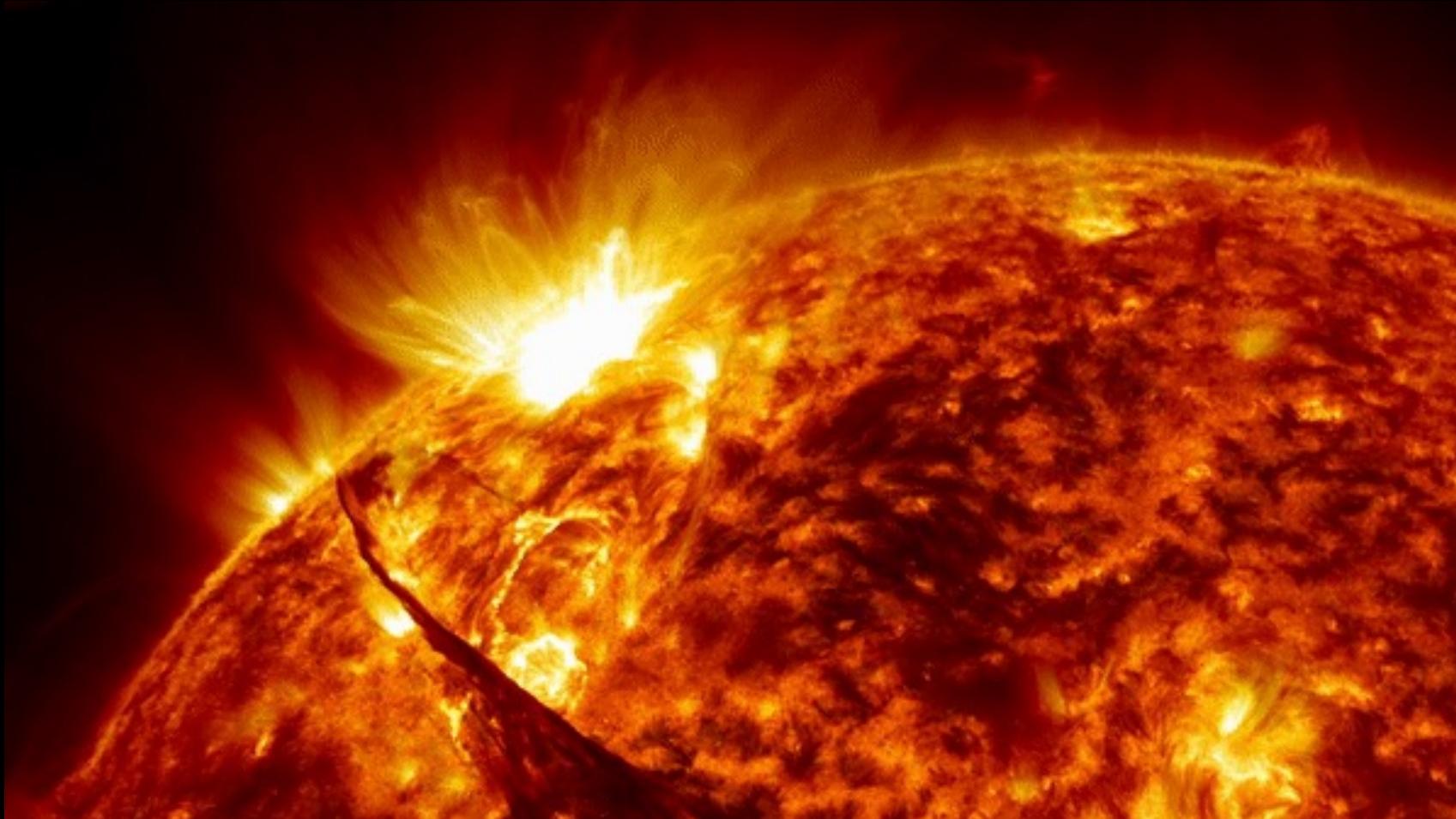


# Il Sole: brillamenti, esplosioni, e tempeste

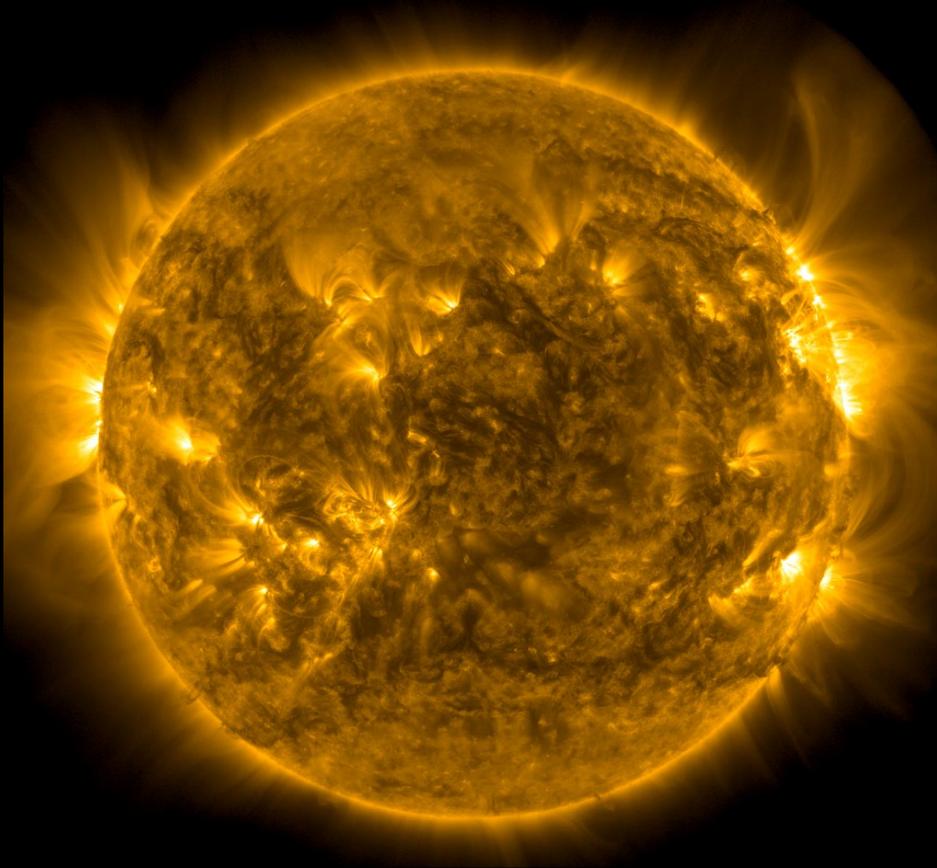
Ruggero Biondo

Istituto Nazionale di Astrofisica - Osservatorio Astrofisico di Torino



# Perché il Sole?

Antares

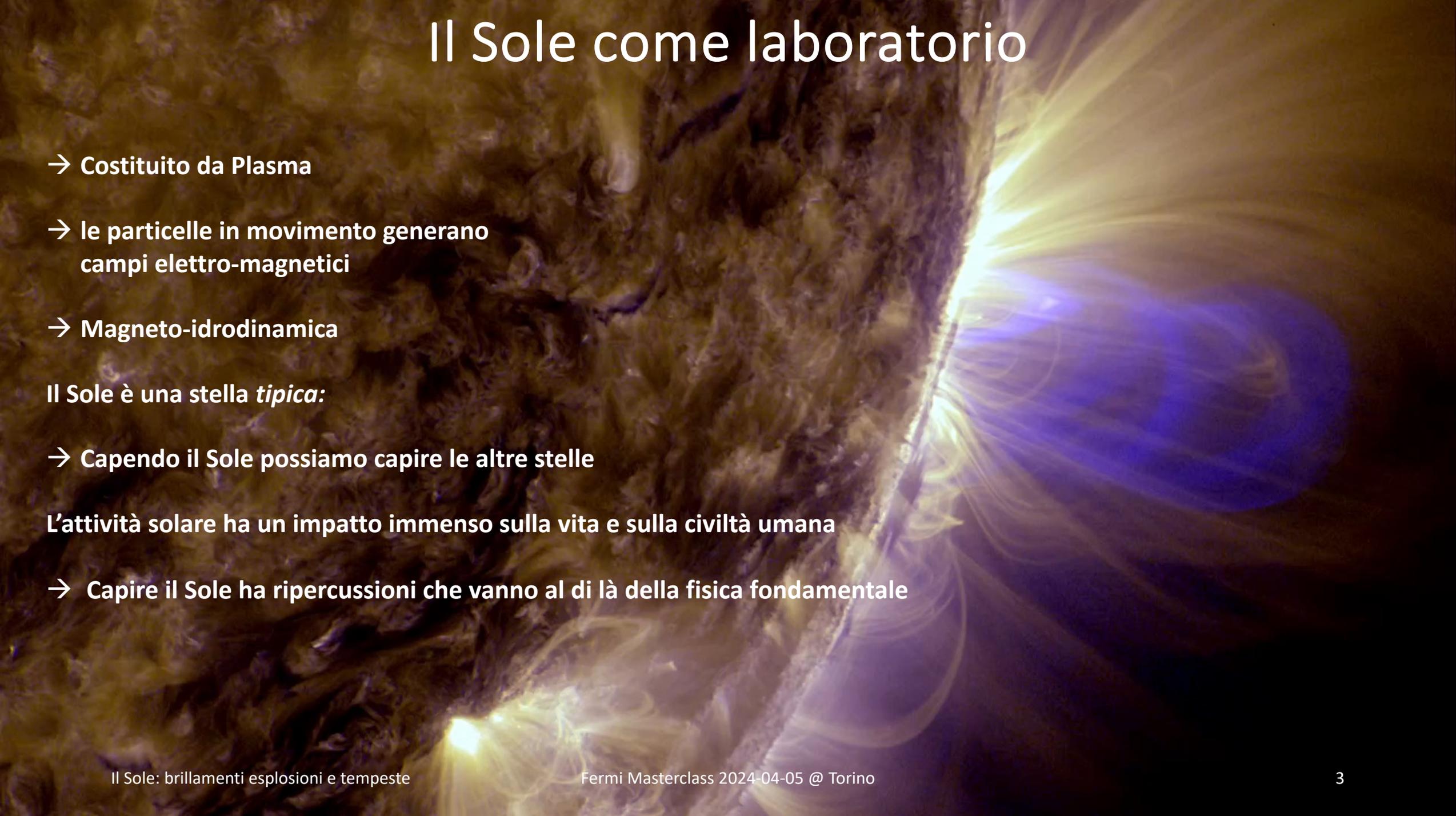


Solar Dynamics Observatory's Atmospheric Imaging Assembly  
(NASA)



Very Large Telescope Interferometer  
(European Southern Observatory)

# Il Sole come laboratorio



→ Costituito da Plasma

→ le particelle in movimento generano  
campi elettro-magnetici

→ Magneto-idrodinamica

Il Sole è una stella *tipica*:

→ Capendo il Sole possiamo capire le altre stelle

L'attività solare ha un impatto immenso sulla vita e sulla civiltà umana

→ Capire il Sole ha ripercussioni che vanno al di là della fisica fondamentale

# Struttura del Sole

Massa =  $2 \cdot 10^{30}$  kg = 330 000  $M_{\text{Terra}}$

Raggio = 696 000 km = 109  $R_{\text{Terra}}$

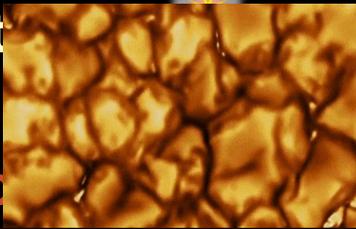
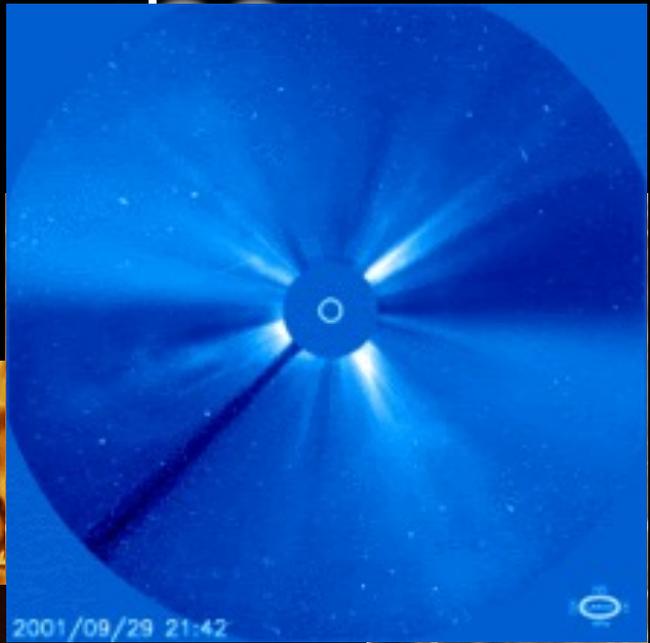
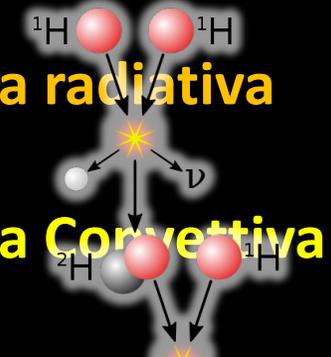
## Nucleo

Zona radiativa

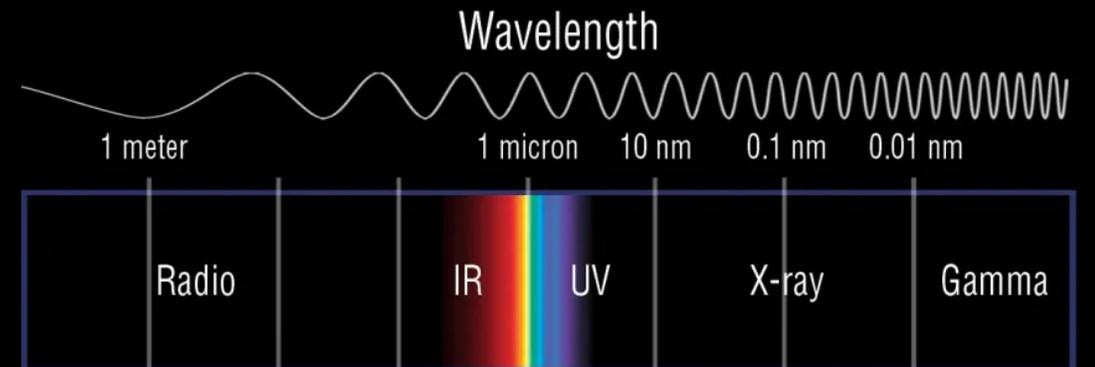
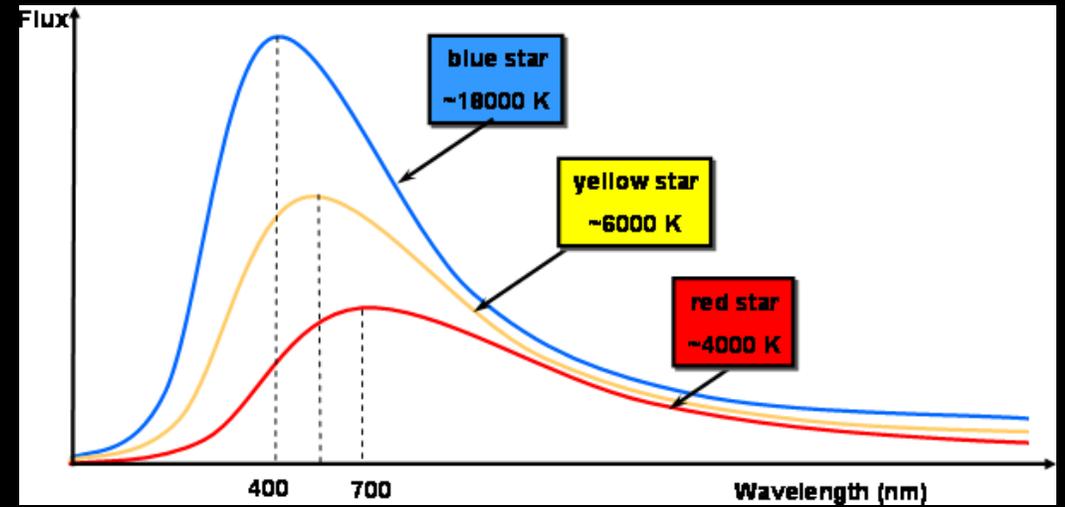
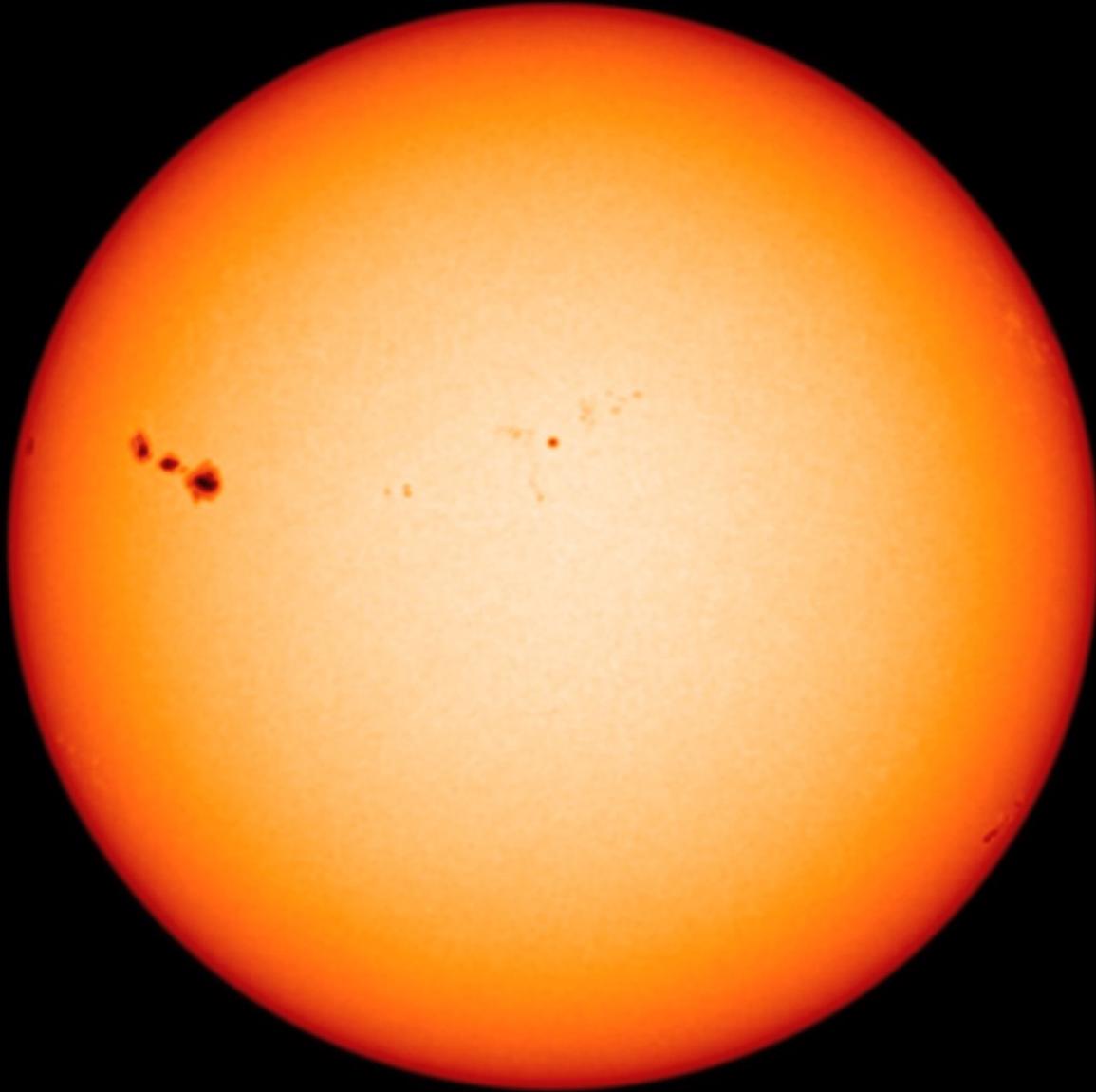
Zona Convettiva

Foto

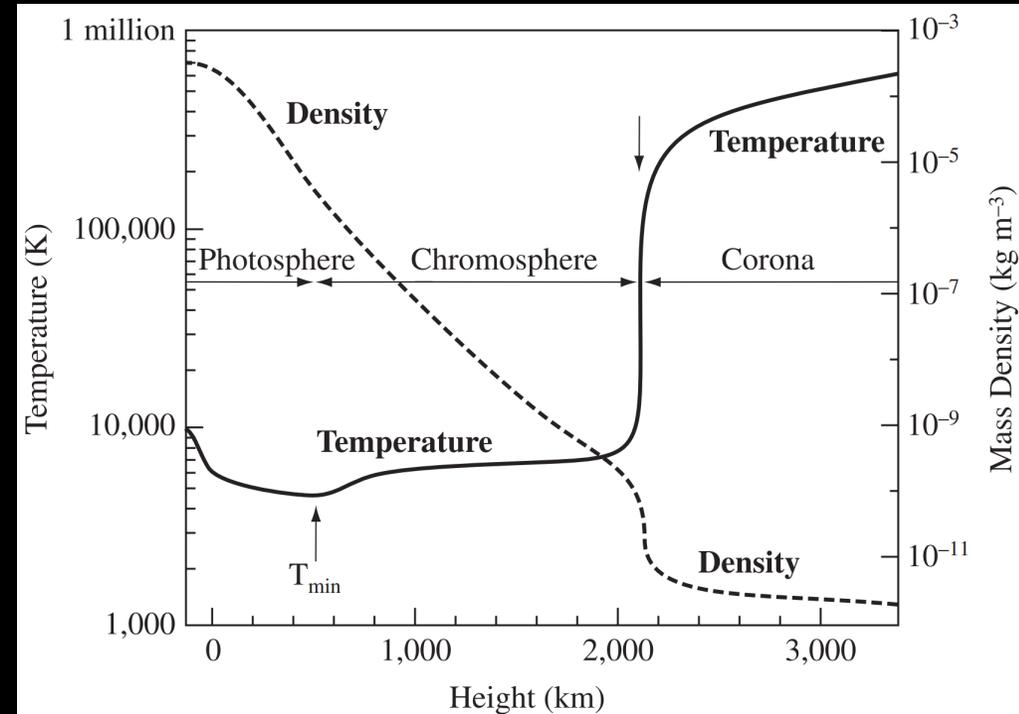
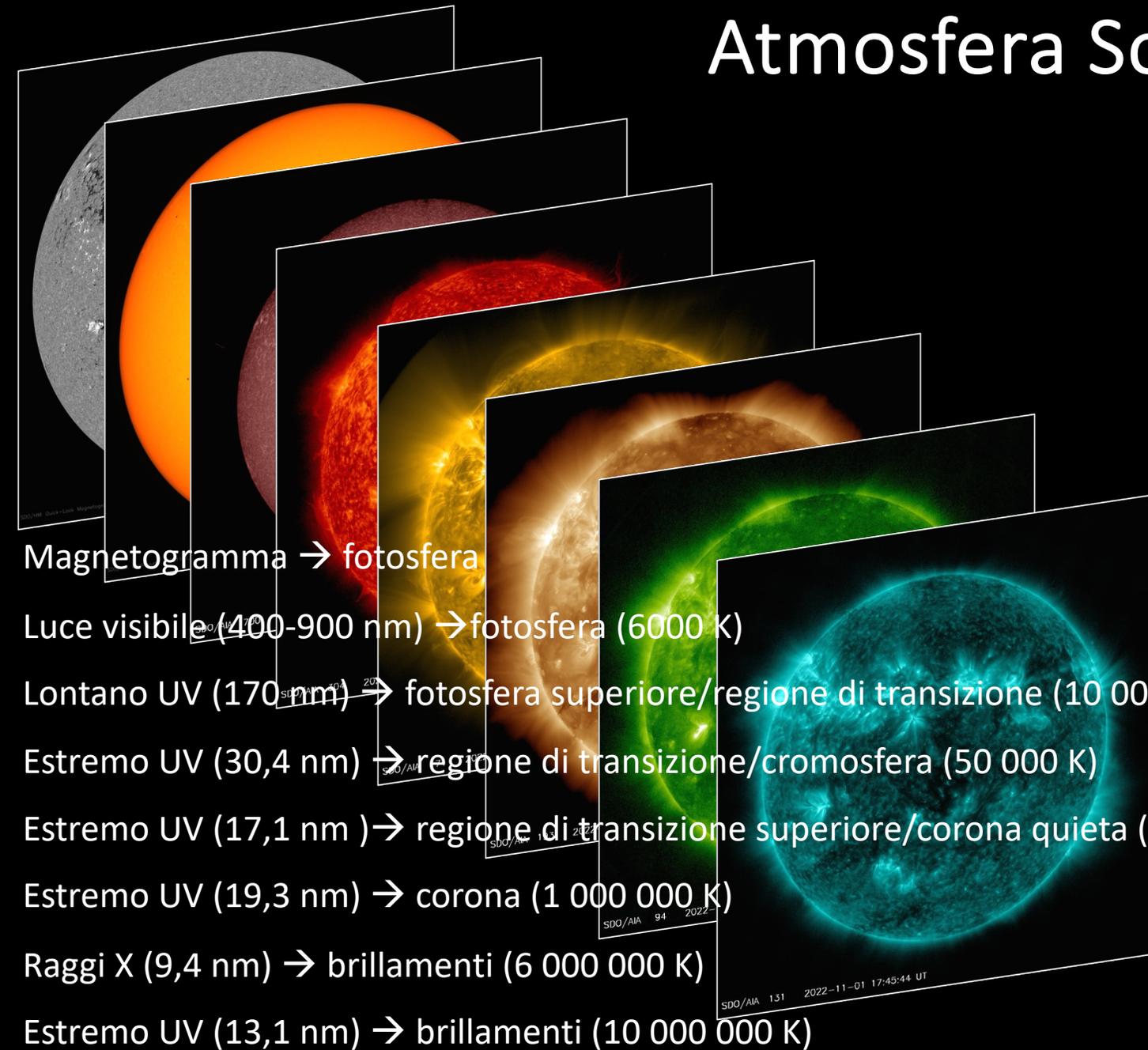
Cro



# Atmosfera Solare



# Atmosfera Solare



Magnetogramma → fotosfera

Luce visibile (400-900 nm) → fotosfera (6000 K)

Lontano UV (170 nm) → fotosfera superiore/regione di transizione (10 000 K)

Estremo UV (30,4 nm) → regione di transizione/cromosfera (50 000 K)

Estremo UV (17,1 nm) → regione di transizione superiore/corona quieta (600 000 K)

Estremo UV (19,3 nm) → corona (1 000 000 K)

Raggi X (9,4 nm) → brillamenti (6 000 000 K)

Estremo UV (13,1 nm) → brillamenti (10 000 000 K)

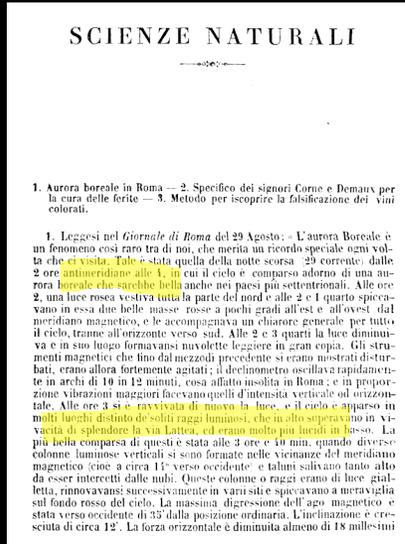
# L'Evento di Carrington



Image courtesy of the Earth Science and Remote Sensing Unit, NASA Johnson Space Center. Editing: Hirai Mamoru

2 Settembre 1859

Aurore boreali avvistate a basse latitudini: in Europa occidentale (compresa l'Italia), Messico, Giappone, Cina, Cuba, e perfino in Colombia!

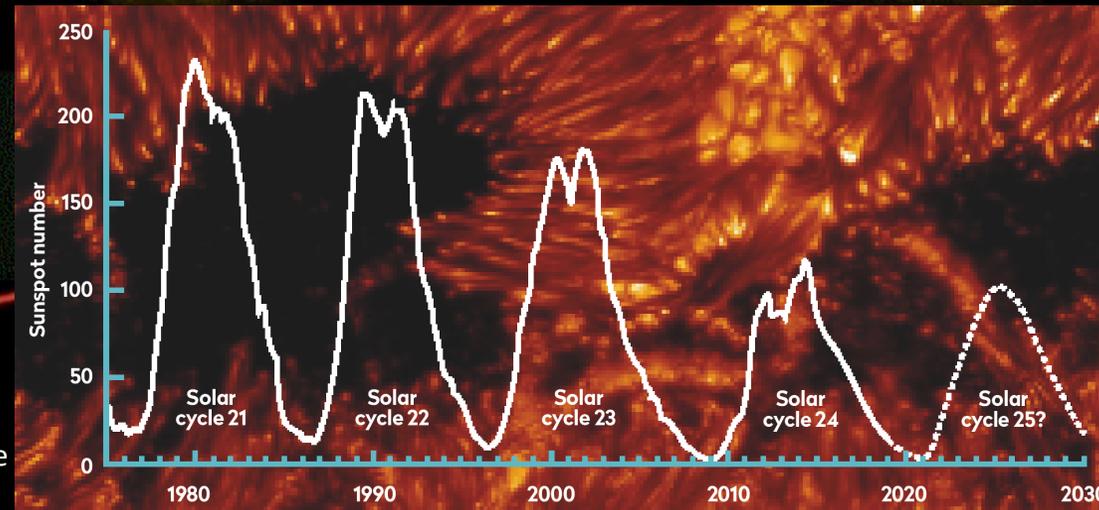


La Settembrina 1859, il 2 settembre (UK) ed Europa collassa, i cavi prendono fuoco, alcuni operatori **Riccardo Carrington** osserva per la prima volta un brillamento solare

**Qual è il collegamento?**

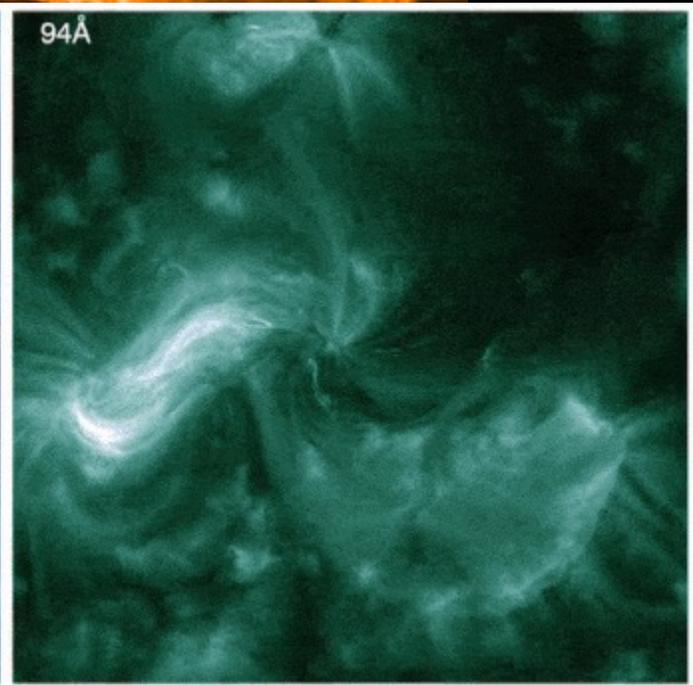
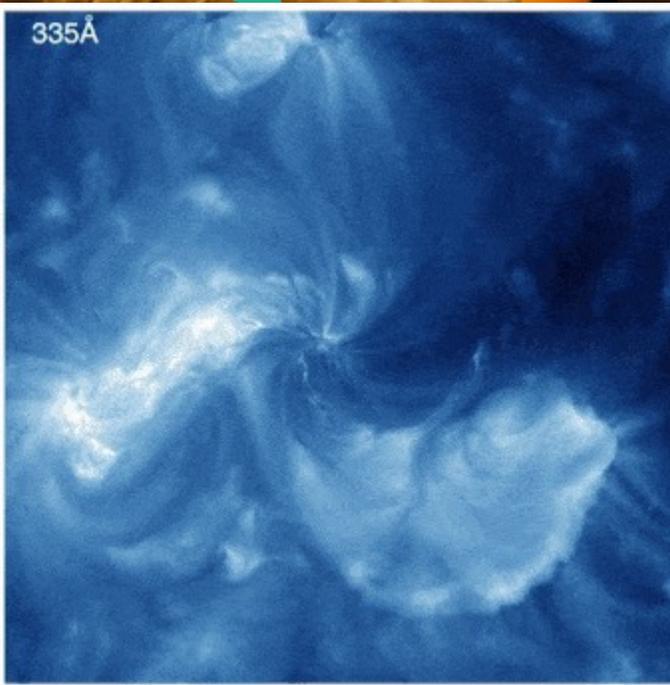
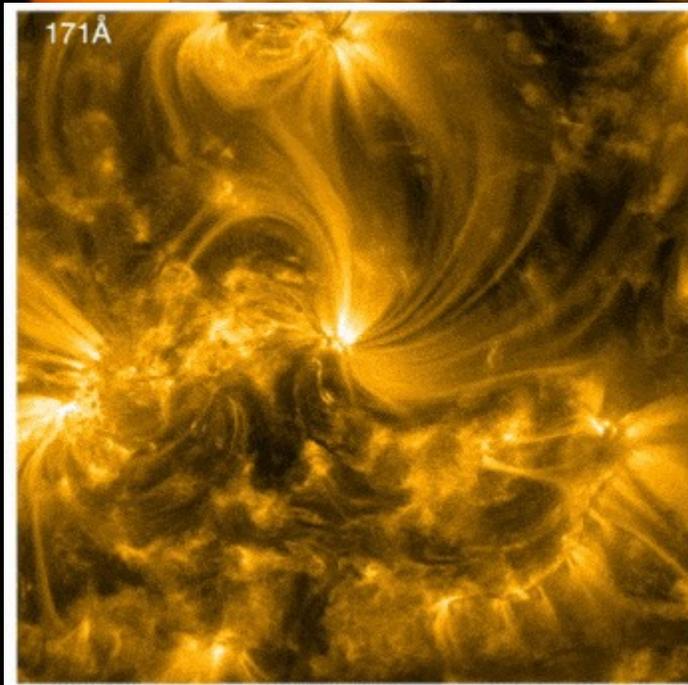
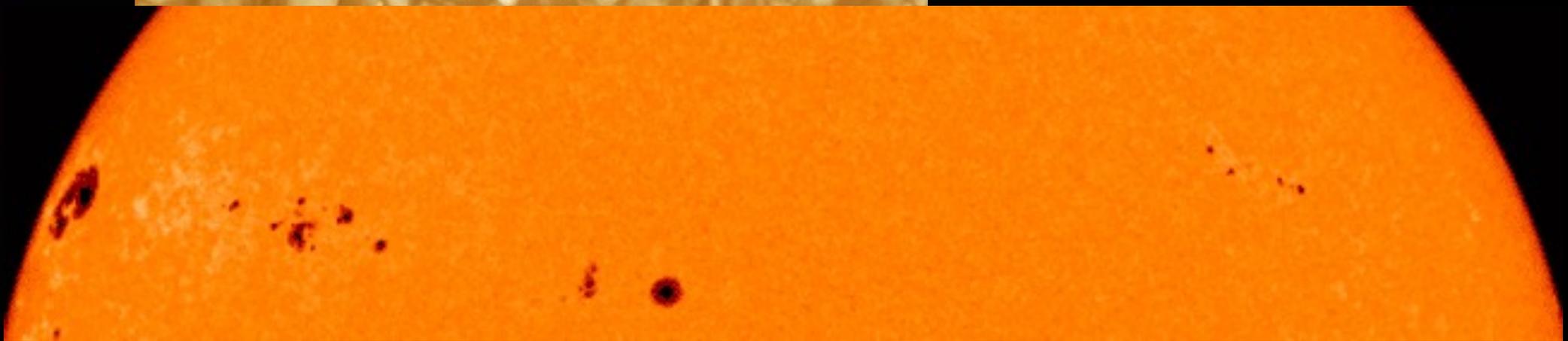
# Il Campo Magnetico

SOLAR MINIMUM    Solare    SOLAR MAXIMUM



Il Sole: brillanti esplosioni e tempeste

# Macchie Solari e Regioni

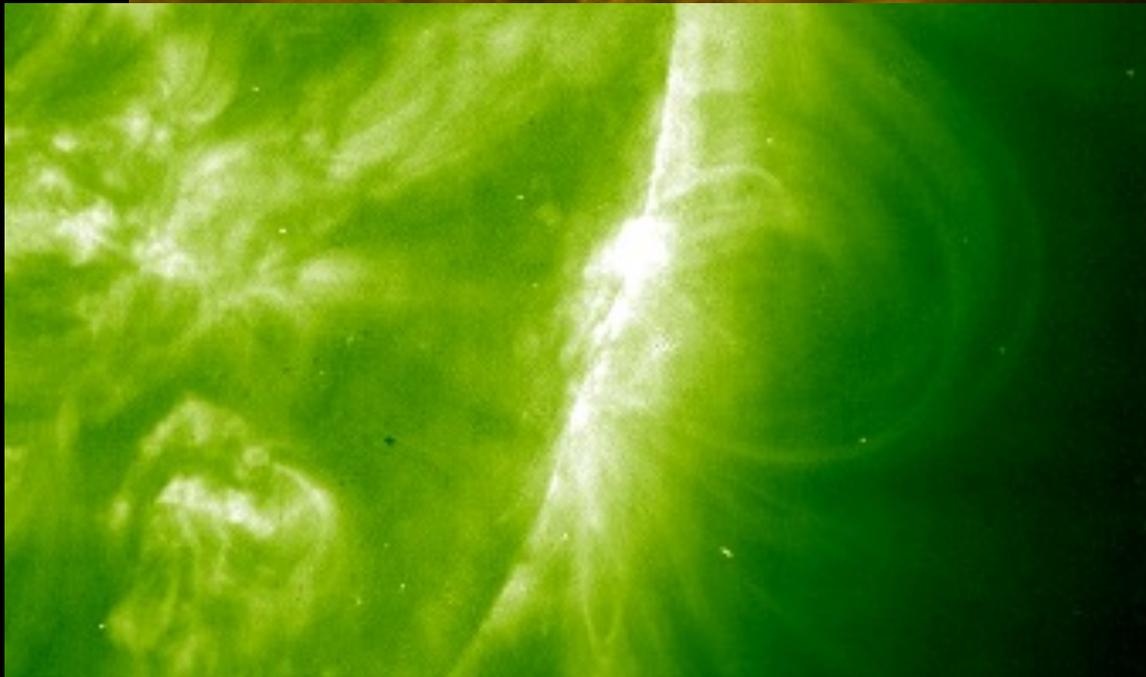


# Brillamenti

$10^{28}$ - $10^{32}$  erg rilasciati in pochi minuti

Hiroshima  $\sim 10^{20}$  erg  $\rightarrow$  almeno 100 milioni di volte più intensa, fino a 1000 miliardi di volte

Durante alcuni brillamenti intensi, il Sole diventa la sorgente più luminosa nel **cielo gamma**!



4 Novembre 2003, dal satellite GOES

Scala d'intensità logaritmica:

- A (A1, A2, ... A9)
- B (B1, B2, ... B9)
- C (C1, C2, ... C9)
- M (M1, M2, ... M9)
- X (X1, X2, ... X9)

A2 è il doppio più intenso di A1

B2 è 10 volte più intenso di A2

C2 è 100 volte più intenso di A2, 200 volte di A1

X9 è 90 000 volte più intenso di A1

2003/11/04 19:42

Brillamento più intenso mai registrato: **X28**, poi ristimato come **X45** (simile a Carrington)

AIA 131 2024-02-21T22:01:30.622

# Espulsioni Coronali di Massa

Enormi quantità di plasma ( $10^{13}$  kg) lanciati a **migliaia di km/s!**

La loro frequenza varia con il ciclo solare:

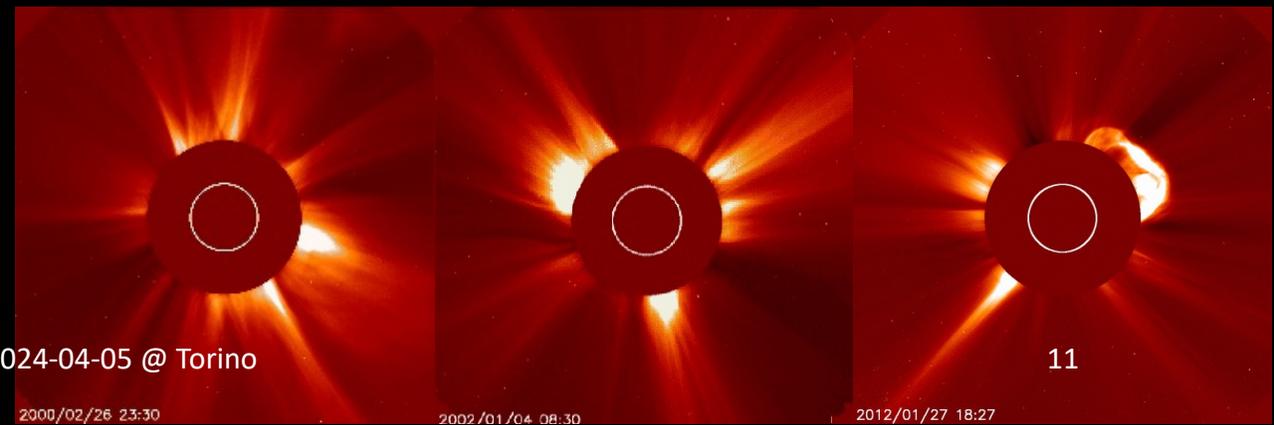
- circa **0.2/giorno** durante i periodi di minimo
- fino a **5/giorno** durante i periodi di massimo

Spesso preceduti da brillamenti, si verificano in corrispondenza delle regioni attive.



Il Sole: brillamenti esplosioni e tempeste

2021-10-28T14:29:33.342

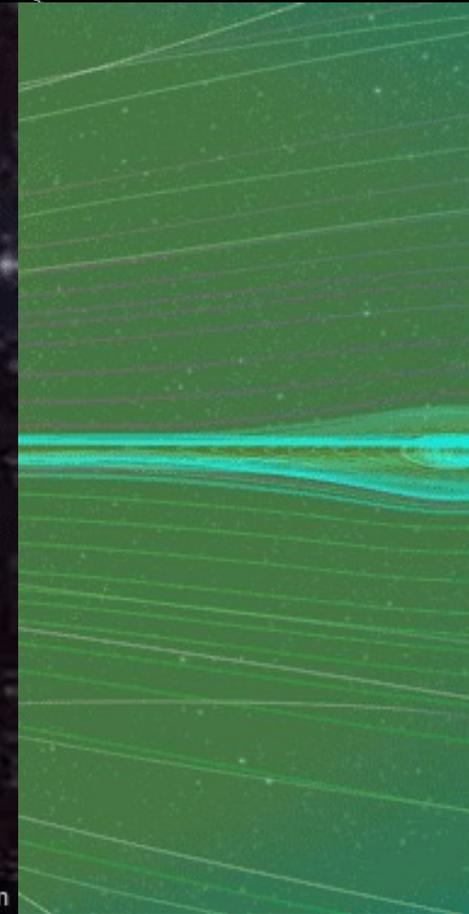
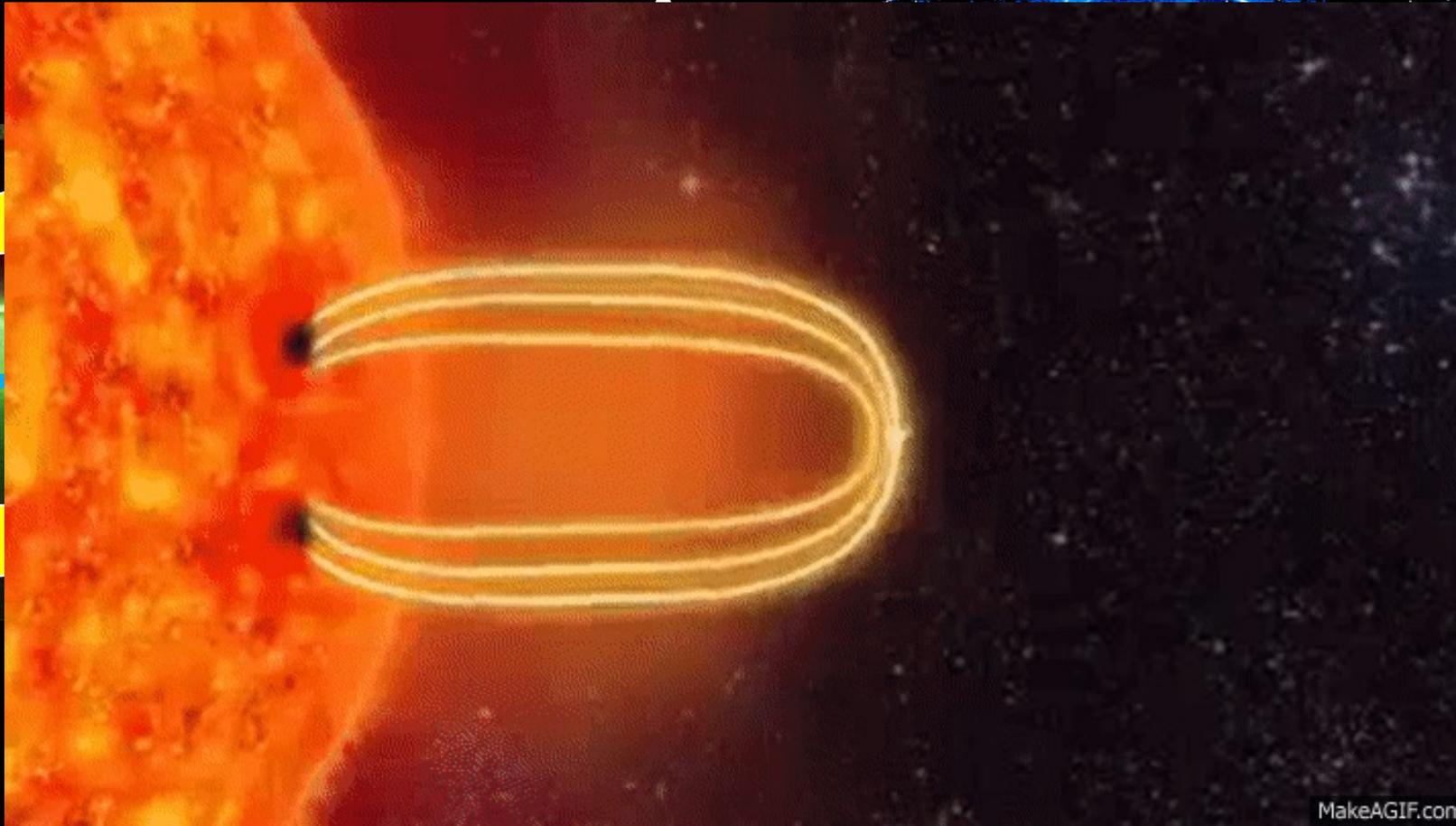
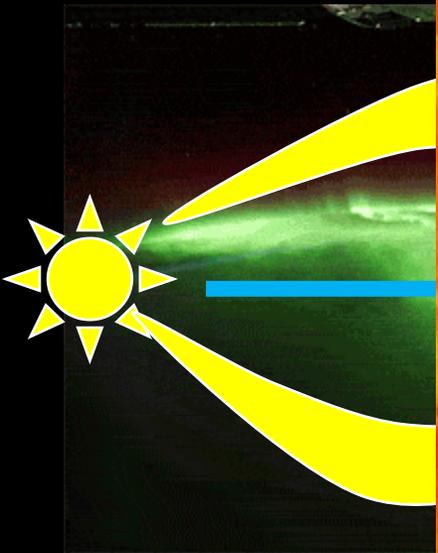


2000/02/26 23:30

2002/01/04 08:30

2012/01/27 18:27

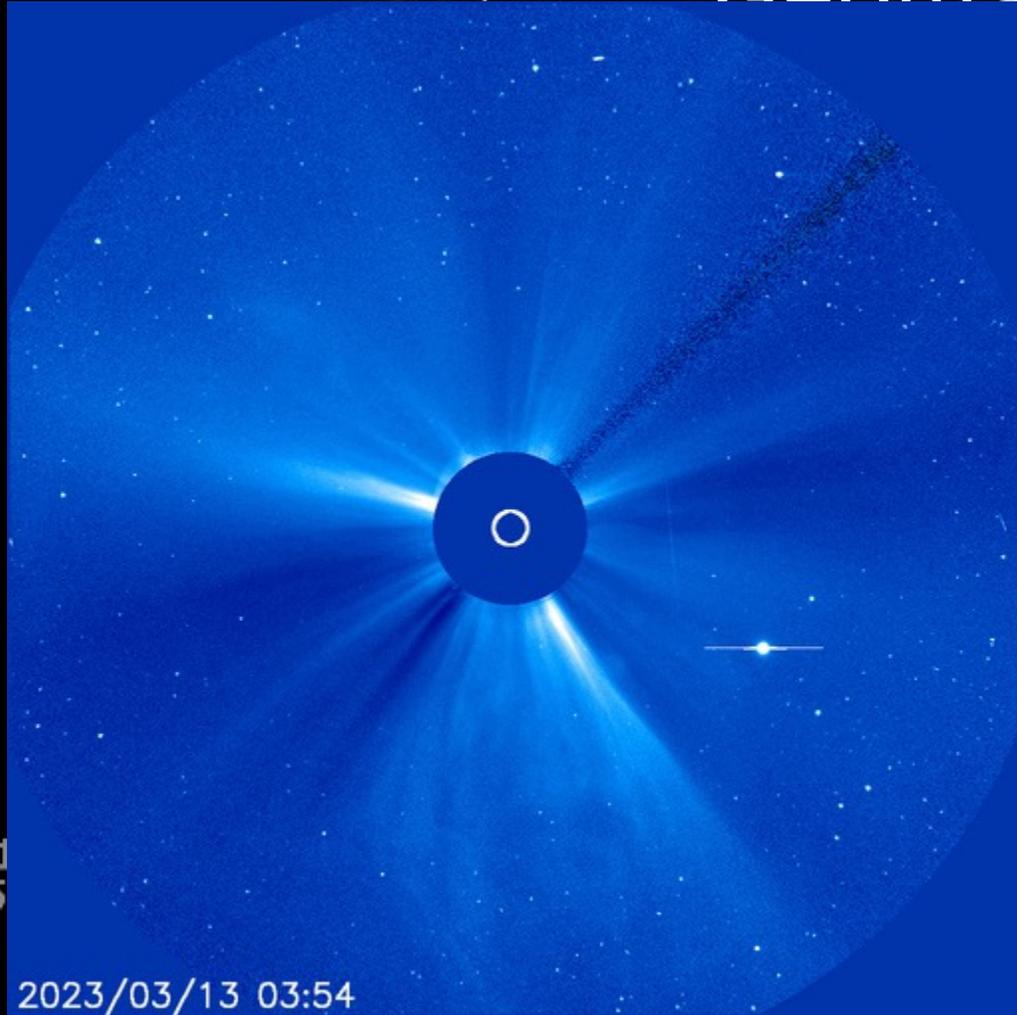
# Espulsioni Coronali di Massa



# Tempeste

## Geomagnetiche

*Disturbi temporanei della magnetosfera terrestre, causati dall'interazione con perturbazioni di origine solare.*



March 1  
07:45

2023/03/13 03:54



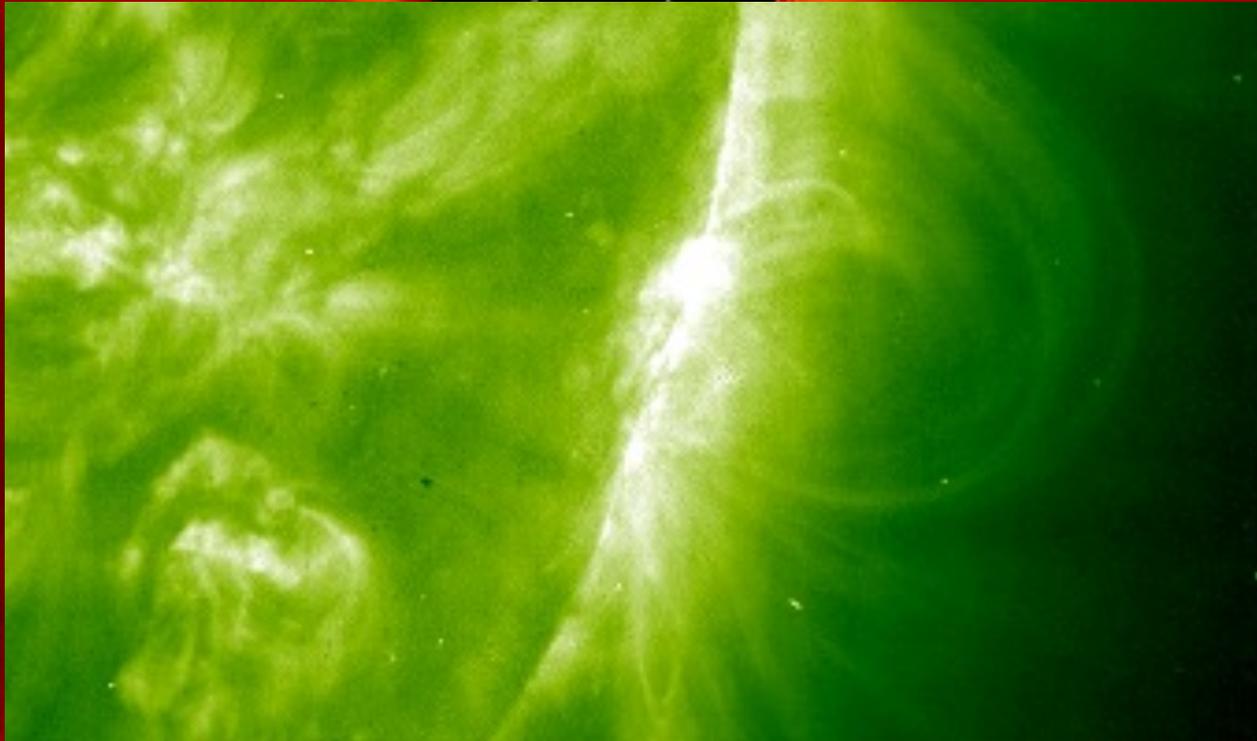
Le CME sono gli unici eventi in grado di causare tempeste geomagnetiche estreme



# L'Evento di Carrington

Oggi

23 Luglio 2012



Brillamento X45

Brillamento X2.5,  
ma CME estremamente veloce (3000 km/s!)

La CME non colpì la Terra: se l'avesse fatto, i danni ad infrastrutture (nei soli US) sarebbero ammontati da **600 a 2600 miliardi di dollari**

Si stima che servirebbe almeno un decennio per riparare i danni (Eastwood et al. 2017)

2003/11/04 19:42

# Heliophysics Missions

## La meteorologia spaziale

Space weather

IBEX

EUVST

2021-11-02 13:00:00

Plasma Density (1/cm<sup>3</sup>)

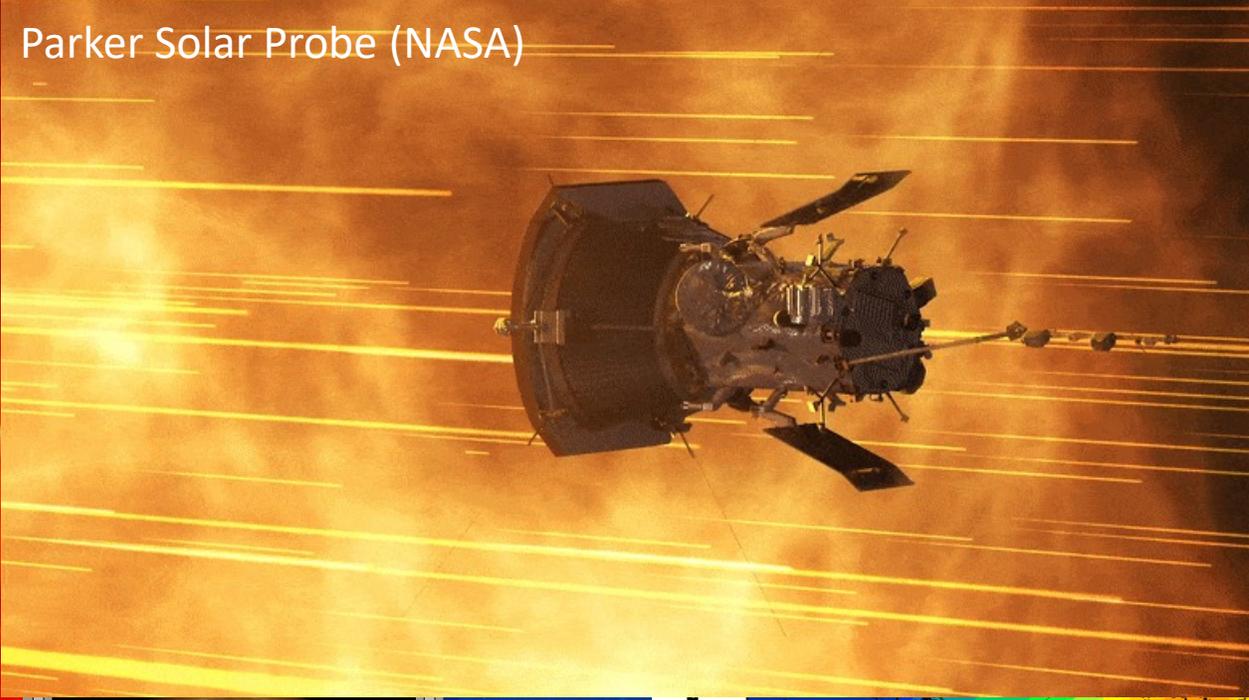
  **SPACE WEATHER PREDICTION CENTER**  
NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION

Thursday, April 04, 2024 17:45:42 UTC

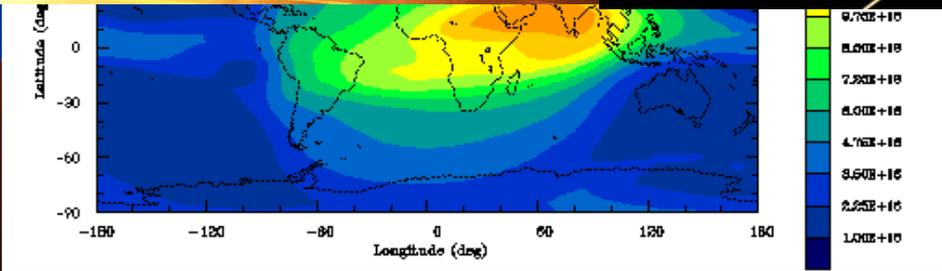
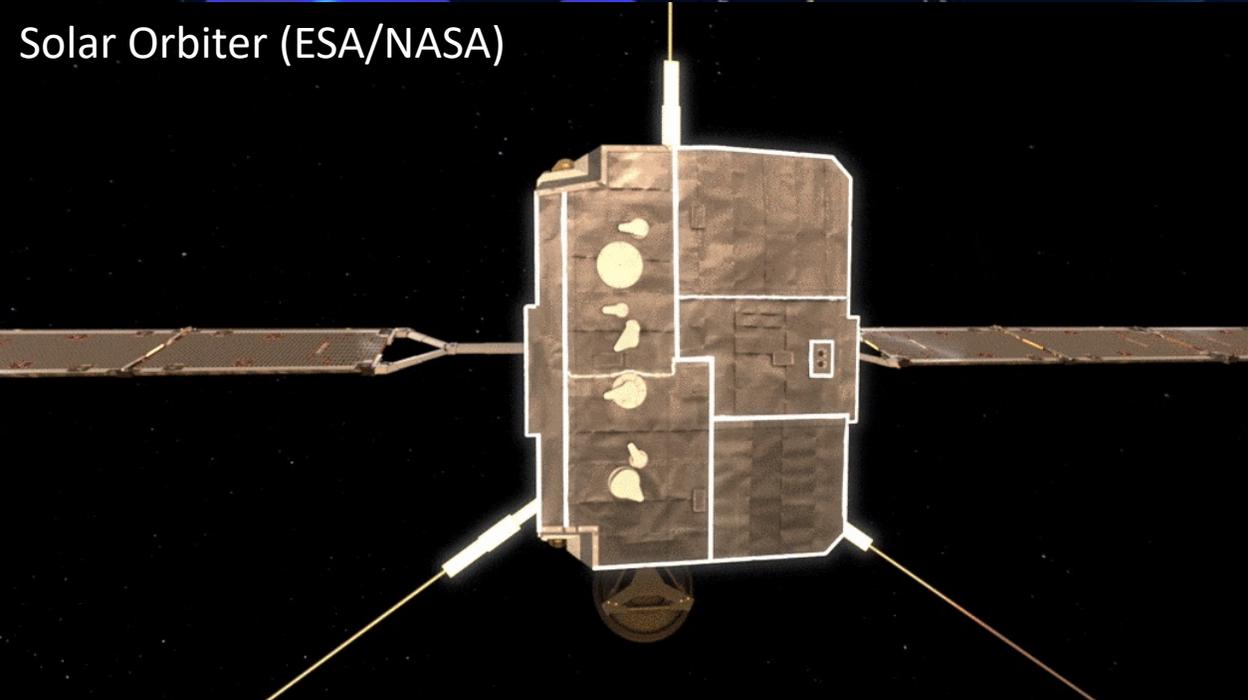
HOME ABOUT SPACE WEATHER PRODUCTS AND DATA DASHBOARDS MEDIA AND RESOURCES SUBSCRIBE ANNUAL MEETING FEEDBACK

Search

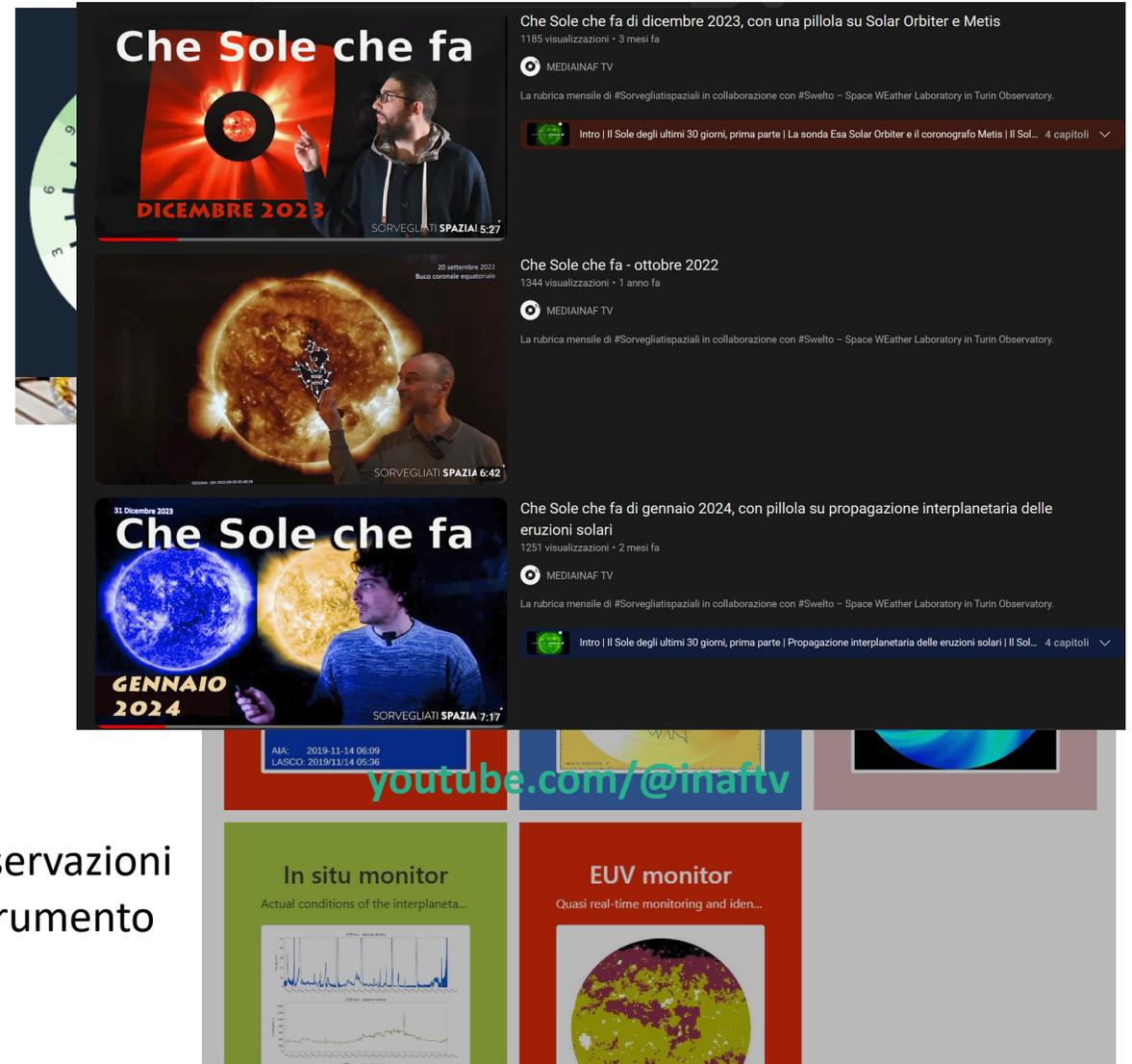
Parker Solar Probe (NASA)



Solar Orbiter (ESA/NASA)



# Il Sole splende anche a Torino

**Che Sole che fa**  
DICEMBRE 2023  
SORVEGLIATI SPAZIA 5:27

Che Sole che fa di dicembre 2023, con una pillola su Solar Orbiter e Metis  
1185 visualizzazioni • 3 mesi fa  
MEDIANAF TV  
La rubrica mensile di #Sorvegliatispaziali in collaborazione con #Swelto - Space WEather Laboratory in Turin Observatory.

Intro | Il Sole degli ultimi 30 giorni, prima parte | La sonda Esa Solar Orbiter e il coronografo Metis | Il Sol... 4 capitoli

**Che Sole che fa - ottobre 2022**  
30 settembre 2022  
Buco coronale equatoriale  
1344 visualizzazioni • 1 anno fa  
MEDIANAF TV  
La rubrica mensile di #Sorvegliatispaziali in collaborazione con #Swelto - Space WEather Laboratory in Turin Observatory.

**Che Sole che fa di gennaio 2024, con pillola su propagazione interplanetaria delle eruzioni solari**  
31 Dicembre 2023  
1251 visualizzazioni • 2 mesi fa  
MEDIANAF TV  
La rubrica mensile di #Sorvegliatispaziali in collaborazione con #Swelto - Space WEather Laboratory in Turin Observatory.

Intro | Il Sole degli ultimi 30 giorni, prima parte | Propagazione interplanetaria delle eruzioni solari | Il Sol... 4 capitoli

**In situ monitor**  
Actual conditions of the interplaneta...

**EUV monitor**  
Quasi real-time monitoring and iden...

[youtube.com/@inaftv](https://www.youtube.com/@inaftv)

Space Weather Laboratory in the Observatorio visibile e UV  
Sviluppo e test di routine per l'analisi in tempo reale di osservazioni  
A Torino e Sviluppo del concept, del disegno ottico e dello strumento



*Grazie e buon Sole a tutti*