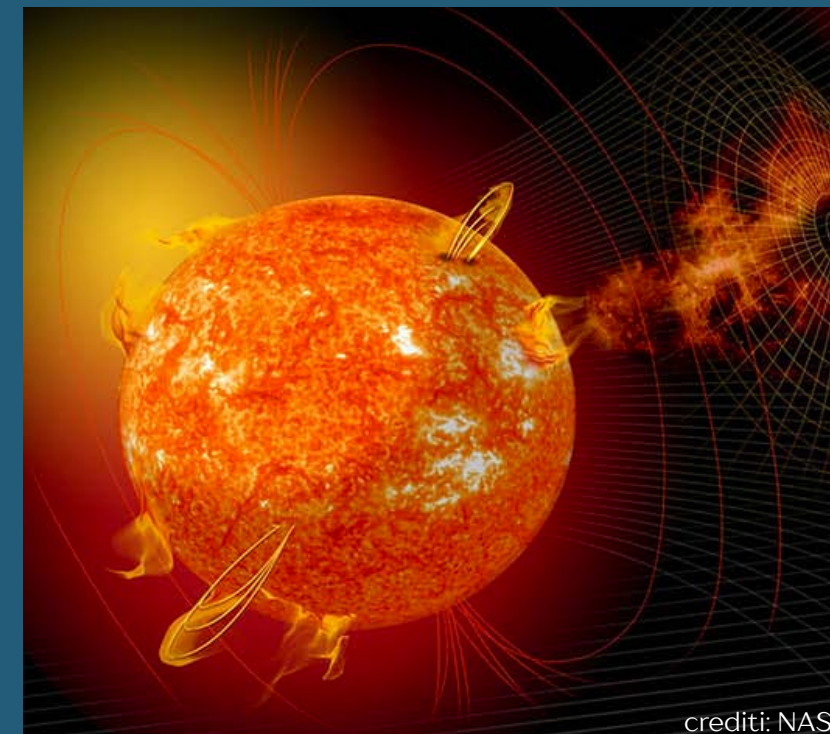


SPACE WEATHER: RADIOASTRONOMIA SOLARE

Diana Pollini

OUTLINE

- Introduzione e cenni storici
- Il Sole: struttura e fenomeni
- Radioastronomia → il radiotelescopio di Medicina
- Come si analizzano le mappe solari → la mia esperienza

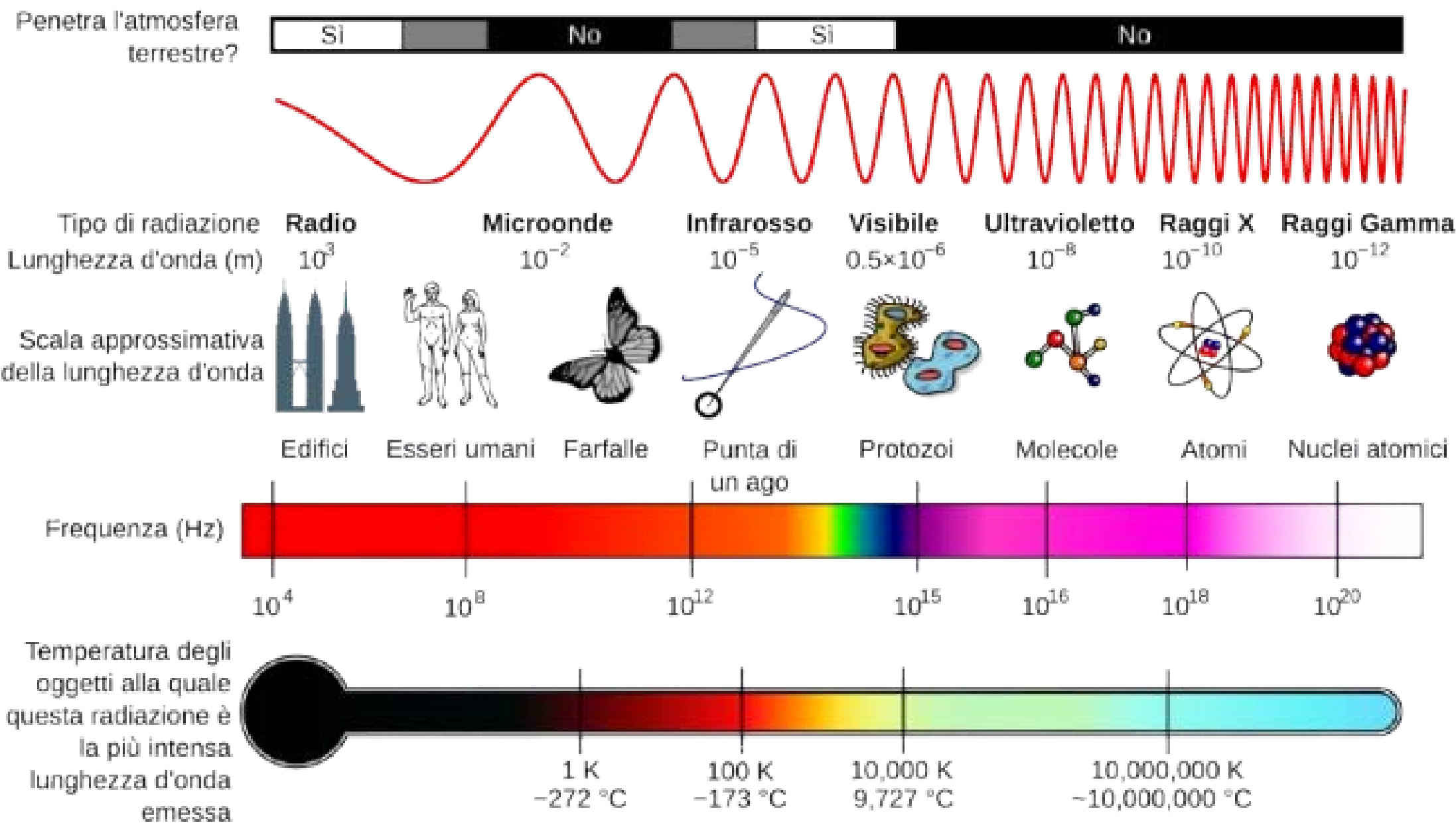


SPACE WEATHER

disciplina che studia i fenomeni fisici spaziali, principalmente quelli di origine solare, in grado di generare impatti significativi sulla salute dei naviganti e sui sistemi tecnologici di uso operativo

RADIOASTRONOMIA SOLARE

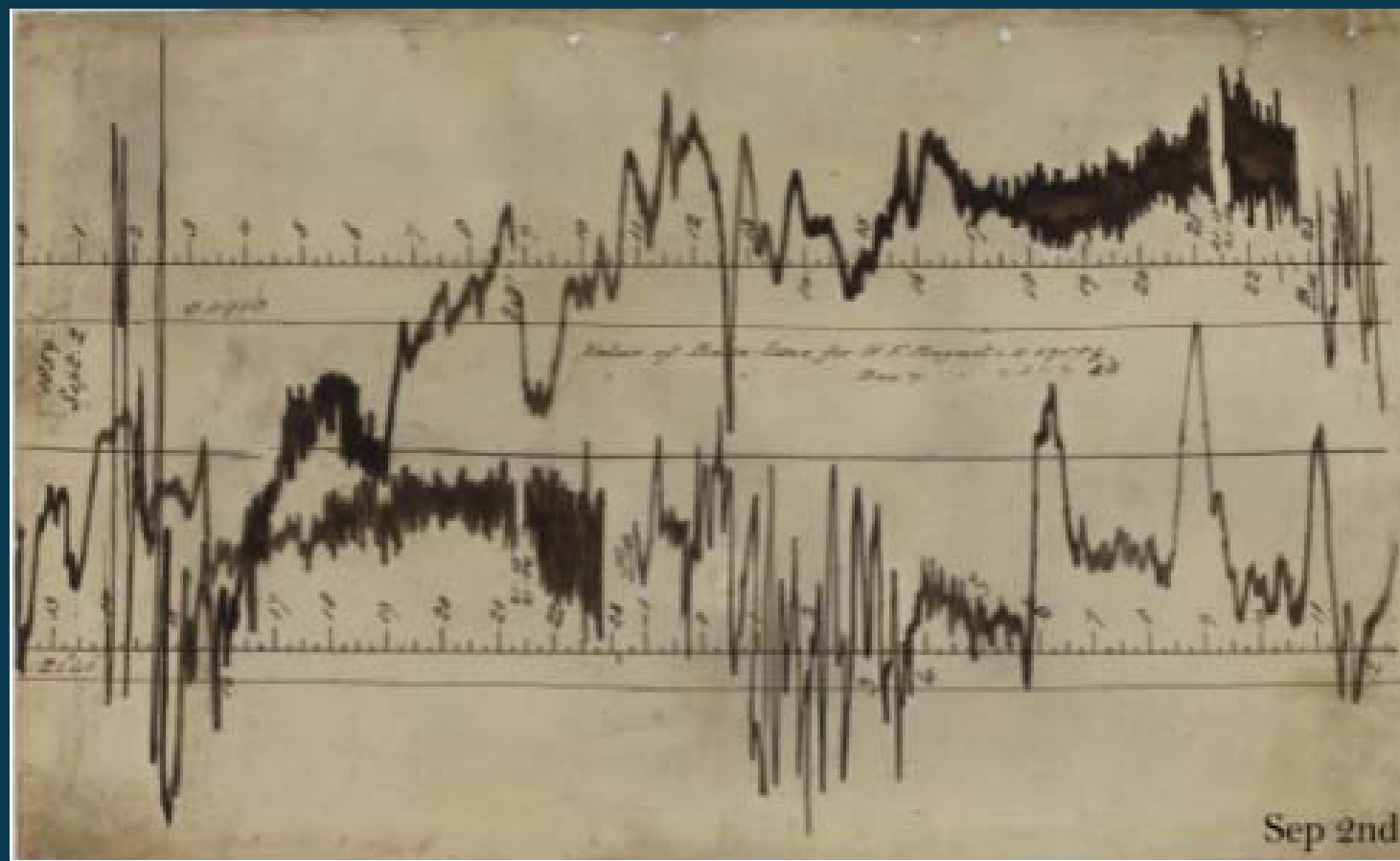
studia l'attività solare analizzando le onde radio emesse dal Sole; in particolare si concentra su cromosfera e corona solare



Frequency Range	Wavelength Range	Band Name	Usage
3-30 MHz	10-100 m	HF	Coastal radar systems
30-300 MHz	1-10 m	VHF	Very long range
300-1000 MHz	0.3-1 m	UHF	Very long range
1-2 GHz	15-30 cm	L-band	Long range
2-4 GHz	7.5-15 cm	S-band	Terminal air traffic control, marine radar
4-8 GHz	3.75-7.5 cm	C-band	Satellite transponders, synthetic aperture radar
8-12 GHz	2.5-3.75 cm	X-band	Marine radar, weather, ground surveillance, synthetic aperture radar
12-18 GHz	1.67-2.5 cm	Ku-band	Satellite transponders
18-24 GHz	1.11-1.67 cm	K-band	Satellite transponders, radar guns, weather
24-40 GHz	0.75-1.11 cm	Ka-band	Mapping, surveillance

UN PO' DI STORIA...

Evento di Carrington – 1859



Magnetogrammi registrati nei giorni 1 e 2 settembre 1859 presso l'Osservatorio di Greenwich, Londra.

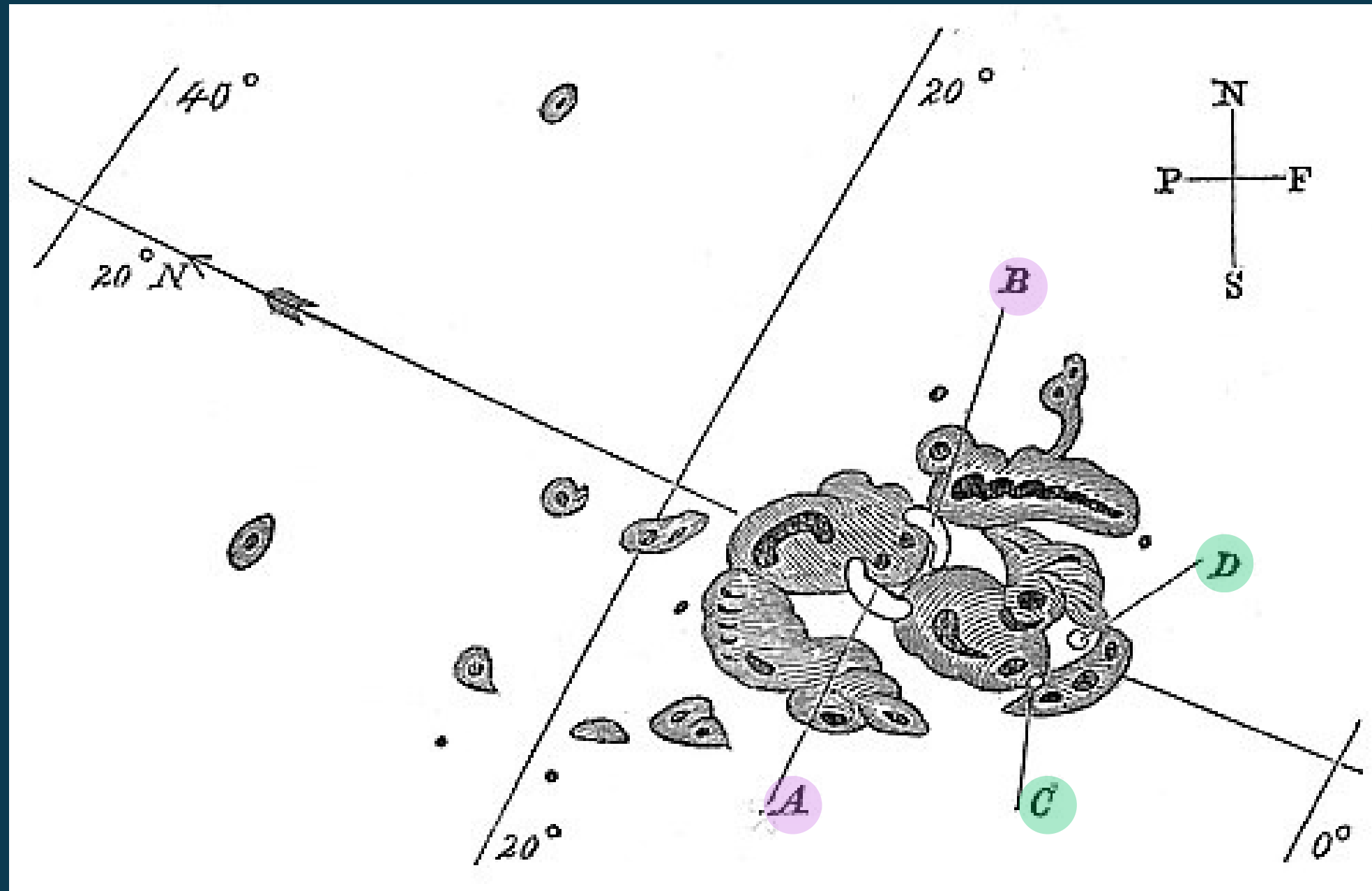
L'astrofilo Richard Carrington osserva un brillamento solare con il suo telescopio

18 ore dopo si verifica la più potente tempesta geomagnetica finora registrata

Si vede l'aurora boreale persino dai Caraibi, gli americani leggono il giornale alla luce dell'aurora, le comunicazioni tramite telegrafo sono interrotte

UN PO' DI STORIA...

Evento di Carrington – 1859

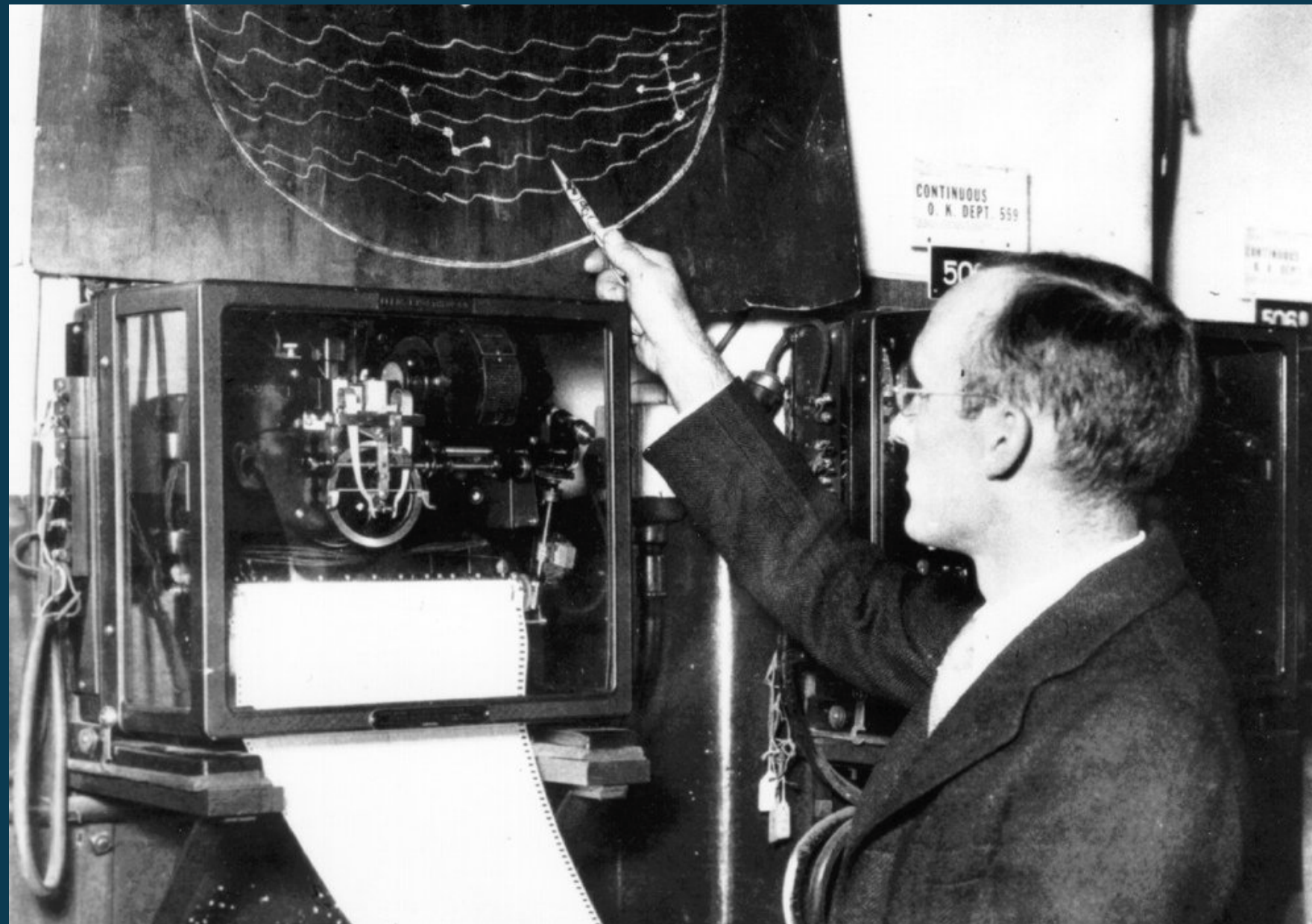


Rappresentazione dell'espulsione coronale e della macchia solare interessata dal fenomeno, disegnata da Carrington.

Con A e B sono indicate le zone di comparsa delle macchie, con C e D i punti in cui esse scomparvero.

UN PO' DI STORIA...

anni '30 – una scoperta accidentale



Karl Guthe Jansky, un ingegnere della Bell Telephone, studiando le interferenze nelle comunicazioni transoceaniche scopre le onde radio di origine galattica.

Il Jansky è un'unità di misura dell'intensità energetica usata in radioastronomia.

UN PO' DI STORIA...

I pionieri della radioastronomia

Grote Reber (USA) nel 1937 costruisce il primo radiotelescopio, conferma gli esperimenti di Jansky e pubblica la prima Radio Mappa a $\lambda=2\text{m}$ (150MHz).

James Stanley Hey (GB) nel 1942 scopre l'emissione in banda radio del Sole e la prima radio sorgente extragalattica localizzata nella costellazione del Cigno.

Harold Irwing Ewen e Edward Mills Purcell (USA) nel 1951 captano per la prima volta la riga spettrale dell'idrogeno neutro a $\lambda=21\text{cm}$.

UN PO' DI STORIA...

Radioastronomia in Italia



Grazie a Marcello Ceccarelli inizia la costruzione del radiotelescopio “Croce del Nord” a Medicina (BO), inaugurato nel 1964 e operativo dal 1967. Nel 1983 verrà poi inaugurata la parabola.

Grazie alla qualità delle registrazioni possibili con i nuovi radiotelescopi venne rafforzata la teoria dell’Universo in espansione e non stazionario.

GLI EFFETTI SULLA TERRA

ELIOSFERA: regione dello Spazio permeata dal plasma (gas ad alta ionizzazione) emesso continuamente dal Sole sotto forma di vento solare



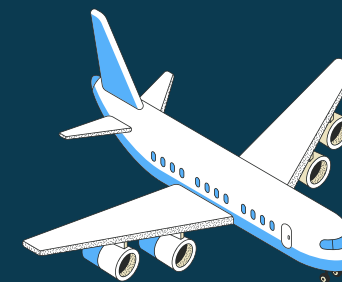
Radiazioni
dannose per gli
astronauti



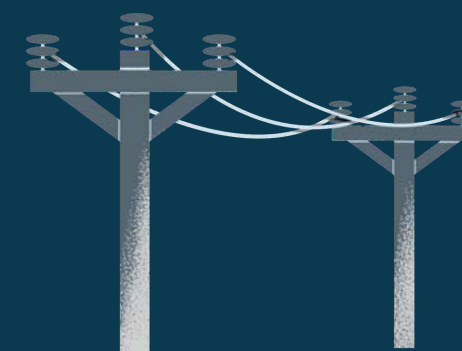
Satelliti:
danneggiamento
pannelli solari ed
errori di
navigazione



Telecomunicazioni:
disturbi a onde
radio HF

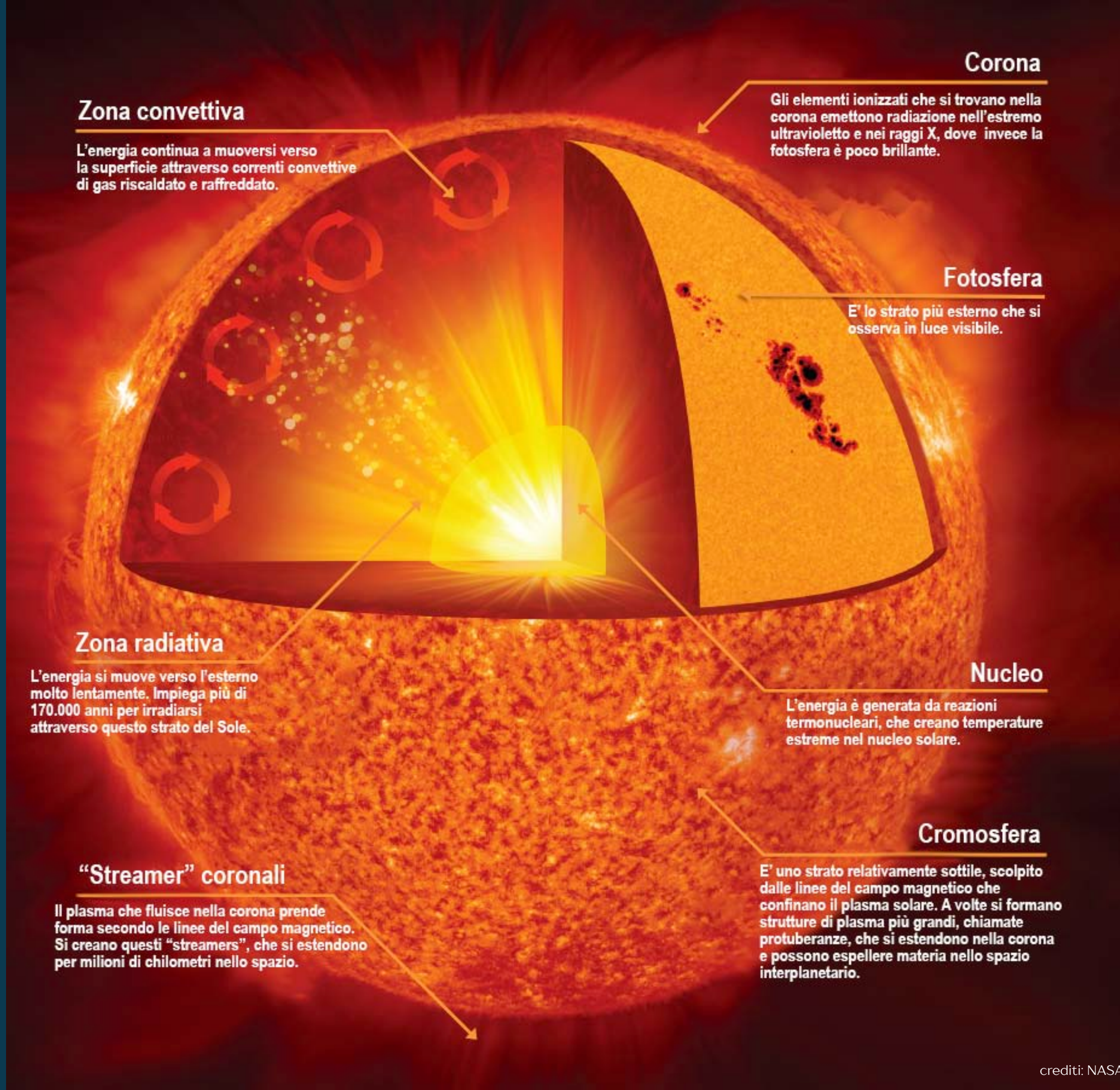


Aerei che
volano ad alta
quota



Correnti
indotte nelle
reti elettriche

	Temp. (°C)	Densità
Nucleo	> 15 milioni	150 g/cm ³
Zona radiativa	2 milioni	da 20 g/cm ³ a 0,2 g/cm ³
Zona convettiva	da 2 milioni a 5700	2 x 10 ⁻⁷ g/cm ³
Fotosfera	5700 (media)	10 ⁻⁹ g/cm ³
Cromosfera	da 5700 a 20000	10 ⁻¹² g/cm ³
Corona	da 22000 a 1 milione	2 x 10 ⁻¹³ g/cm ³



IL SOLE E I FENOMENI CHE LO CARATTERIZZANO

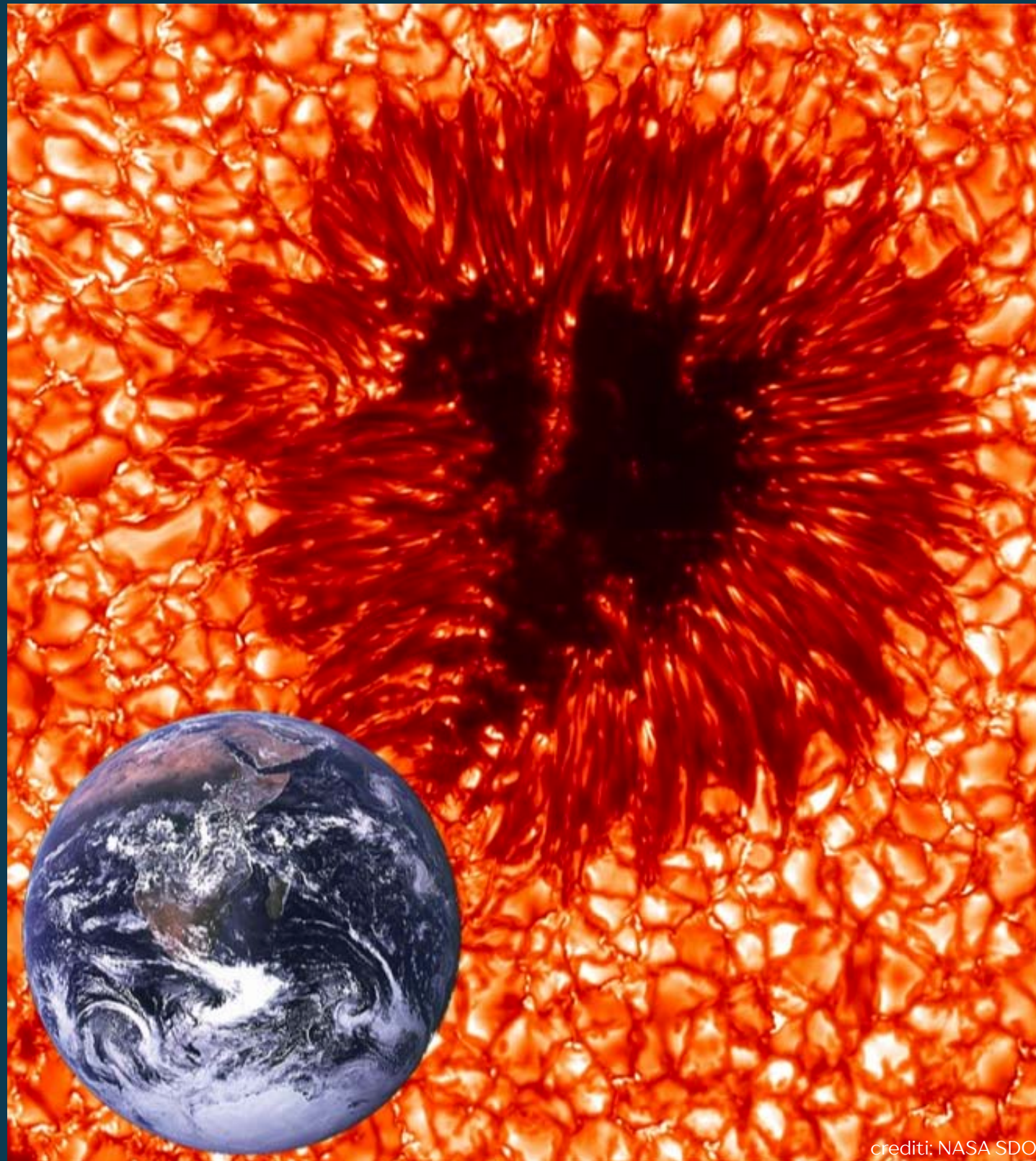
BRILLAMENTI: esplosioni con grandi emissioni energetiche, sono classificati in cinque classi di potenza (A B C M X) a seconda della loro luminosità nei raggi X, misurata a Terra in W/m^2 e nella banda tra 0,1 e 0,8 nm

PROTUBERANZE: getti di plasma solare che si allontanano dalla superficie spinti dal campo magnetico

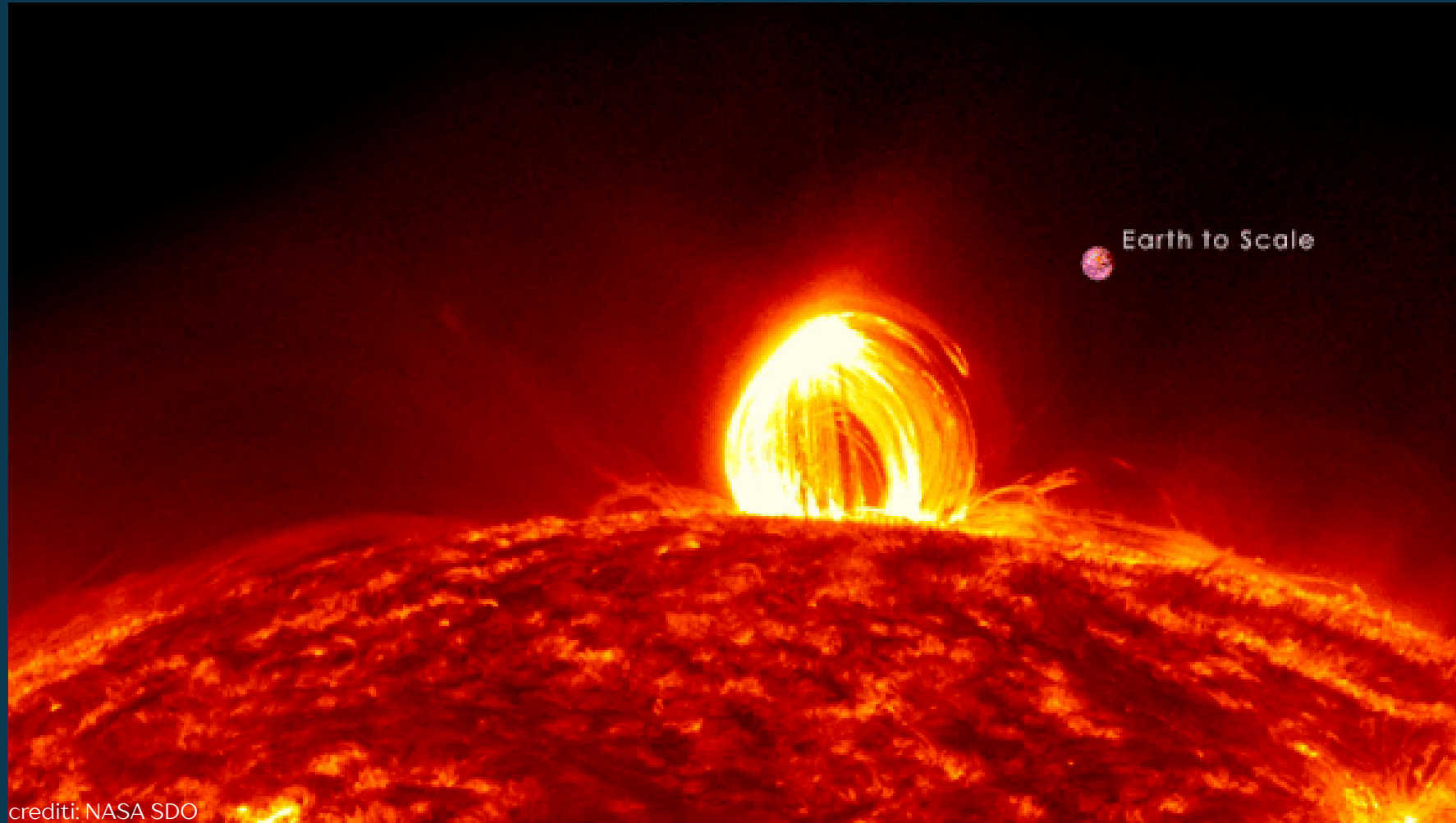
CME (espulsione di massa coronale): significativa espulsione di materiale dalla corona solare nell'eliosfera

MACCHIE SOLARI: aree scure e più fredde sulla superficie solare con intense attività magnetiche

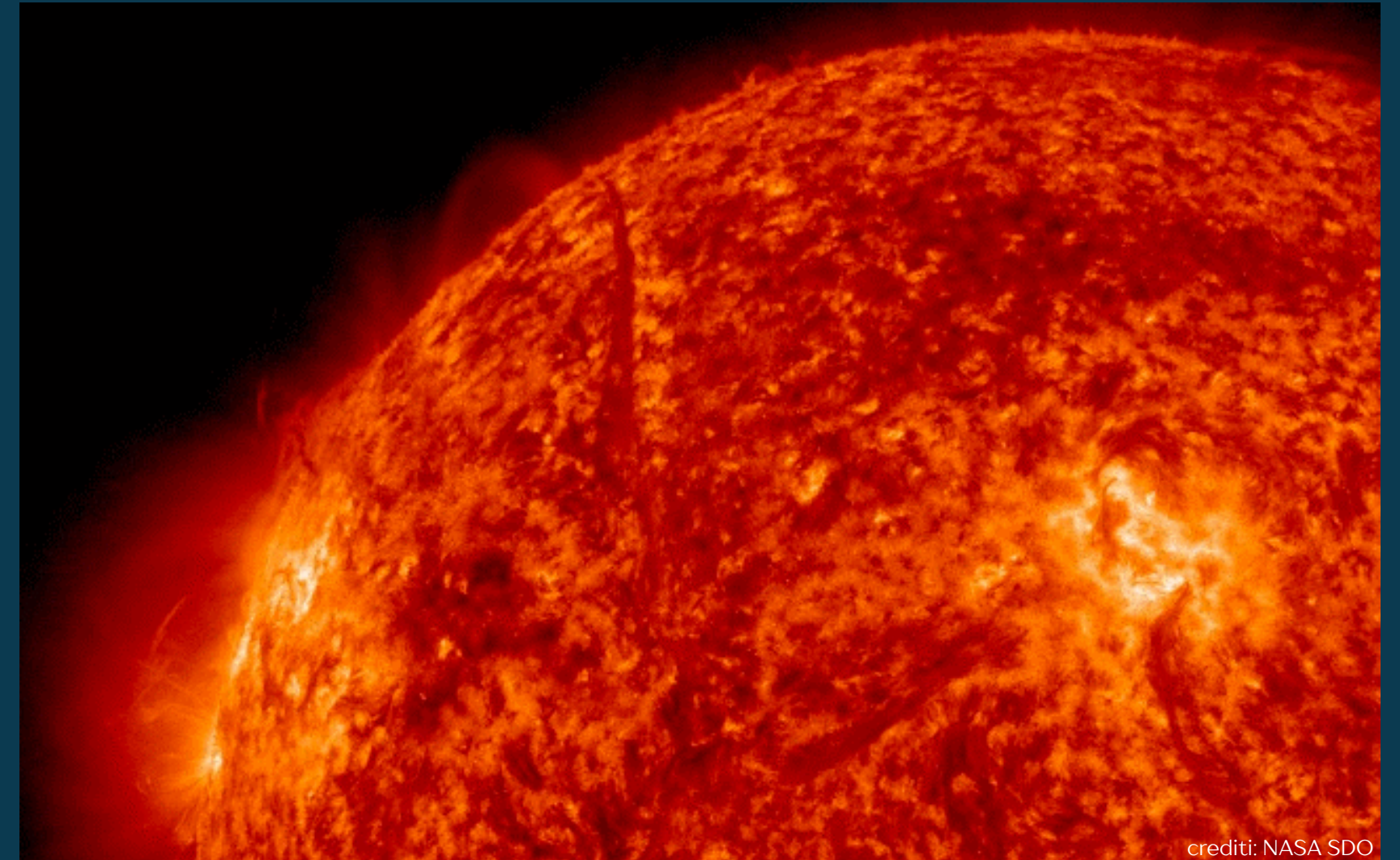
Dimensioni a confronto...



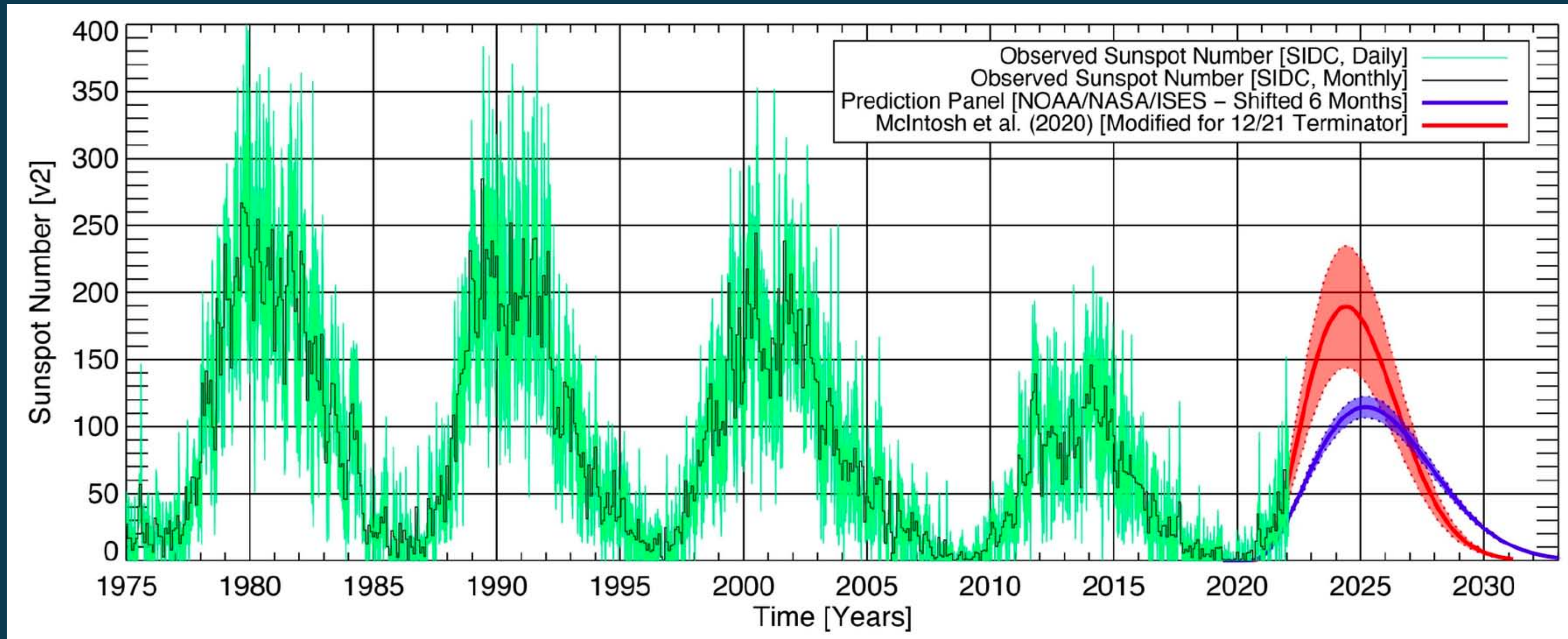
Il Sole è estremamente dinamico



Pioggia coronale di plasma



Rottura di un filamento che provoca una CME
rivolta verso la Terra (24 febbraio 2012)



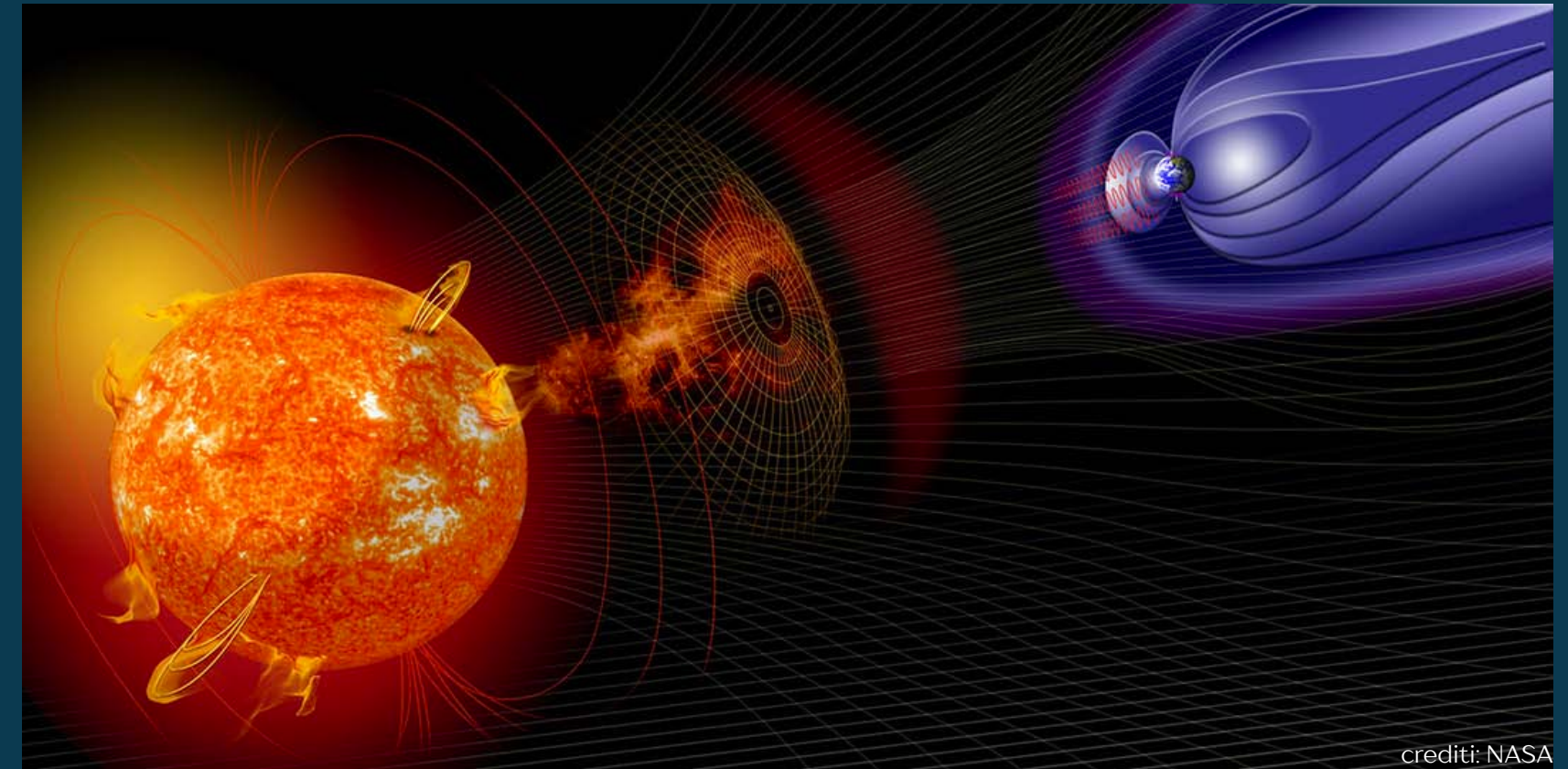
L'attività del Sole è ciclica (11 anni).

Il numero di macchie solari presenti sulla superficie è legato al livello di intensità dell'attività solare

TEMPESTE GEOMAGNETICHE

Si verificano quando c'è un efficiente scambio energetico tra il vento solare e lo spazio che circonda la Terra.

Sono il risultato di variazioni nel vento solare (spesso CME) che causano cambiamenti sostanziali nelle correnti, nel plasma e nei campi della magnetosfera terrestre.



Vengono classificate dal NOAA in una scala, con valori da G1 a G5.

Condizioni migliori:

- vento solare ad alta velocità
- campo magnetico del vento solare orientato in direzione opposta a quella del campo terrestre sul lato diurno della Terra.

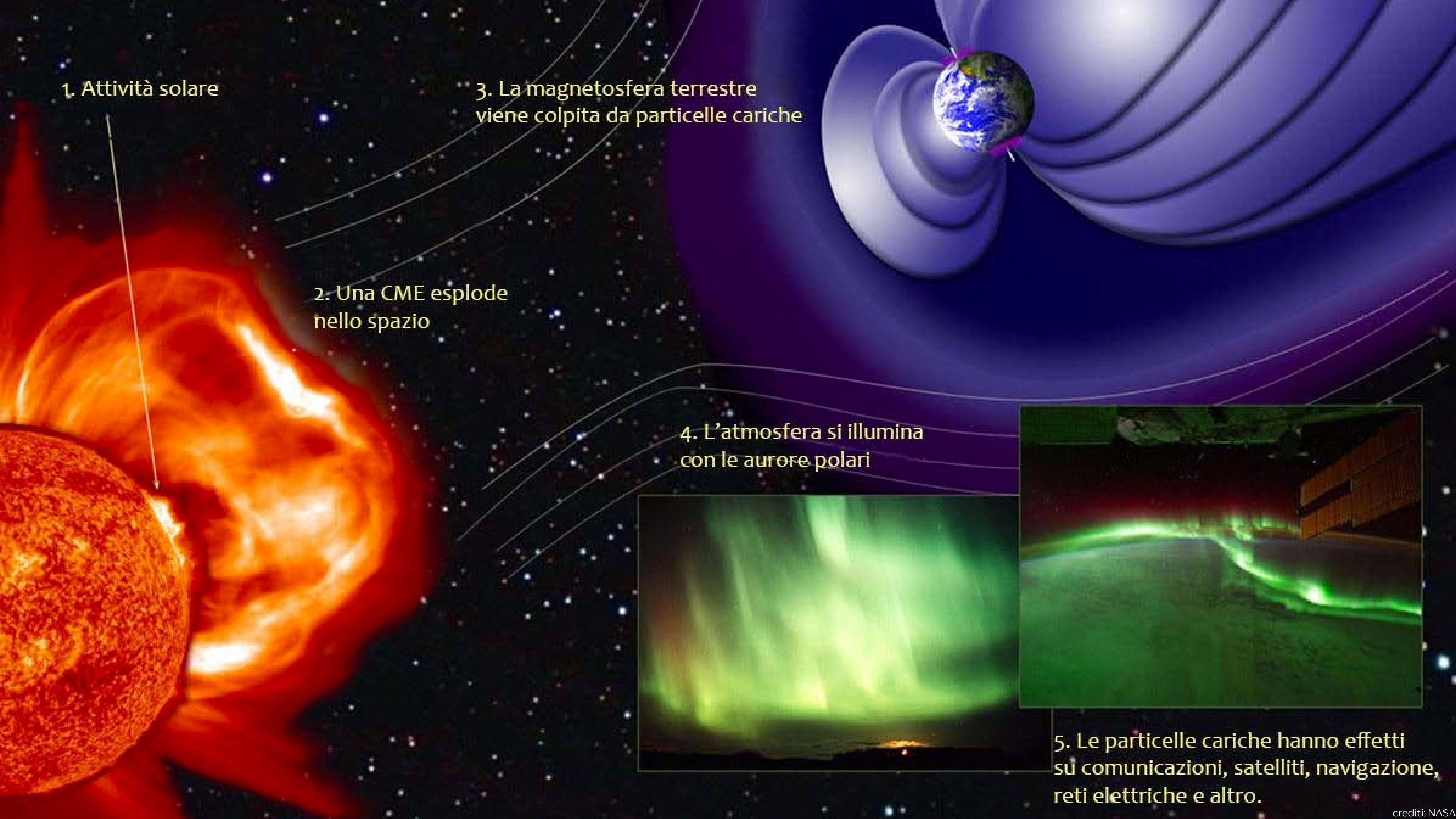
1. Attività solare

3. La magnetosfera terrestre
viene colpita da particelle cariche

2. Una CME esplode
nello spazio

4. L'atmosfera si illumina
con le aurore polari

5. Le particelle cariche hanno effetti
su comunicazioni, satelliti, navigazione,
reti elettriche e altro.



AURORE

Sono il risultato della collisione di elettroni con atomi di ossigeno e molecole di azoto presenti negli strati superiori dell'atmosfera terrestre.

A seguito della collisione gli atomi si eccitano e quando ritornano a strati di energia inferiore rilasciano energia sotto forma di luce.
L'entità del fenomeno è legata al livello di attività geomagnetica.



Ossigeno atomico eccitato, ad alta quota

Visibili solo in condizioni di intensa attività solare, per via della bassa concentrazione di ossigeno ad alta quota.

Sopra 241.4 km

Ossigeno atomico eccitato, a quota inferiore

L'emissione diventa verde per la maggiore concentrazione di ossigeno

Fino a 241.4 km

Azoto molecolare ionizzato

A bassa quota non si trova ossigeno atomico. Le aurore blu e viola dovute all'azoto sono rare, associate alla attività solare più intensa.

Sopra 96.6 km

Fino a 96.6 km

La super aurora boreale

Dagli Usa al centro Italia, una tempesta solare estrema ha colorato i cieli di tutto il mondo. Fenomeno di livell...



È in corso una tempesta solare, aurora boreale visibile fino a New York



Nella notte tra l'1 e il 2 giugno nei cieli italiani potremmo vedere l'aurora boreale: una tempesta solare rende possibile il fenomeno

I RADIOTELESCOPI

Il radiotelescopio è composto principalmente da 4 elementi:

- l'**antenna**: converte un segnale elettromagnetico in un segnale elettrico
- il **ricevitore**: amplifica il segnale ed è progettato in funzione della banda di frequenza da ricevere
- il **back end**: è il sistema che acquisisce i segnali e ne esegue l'elaborazione
- la **montatura**: si occupa del puntamento della sorgente da studiare

...ed è caratterizzato da due parametri fondamentali:

- **sensibilità**, ovvero l'intensità della più debole radiosorgente rilevabile dallo strumento
- **risoluzione**, cioè la capacità di distinguere due sorgenti adiacenti; questo parametro è legato alle caratteristiche dell'antenna

Per fronteggiare problemi di realizzabilità e migliorare la risoluzione molte antenne sono collegate tra loro sintetizzando elettronicamente un unico enorme radiotelescopio. In particolare con la tecnica VLBI (Very Long Baseline Interferometry) le antenne possono essere poste a distanza di migliaia di km tra loro sulla superficie terrestre.





radiotelescopio di Arecibo, Porto Rico



radiotelescopio Lovell, Inghilterra



LOFAR (Low Frequency Array), Paesi Bassi

Parabola:

- 32 metri di diametro
- misura onde radio alle frequenze di 18,3 GHz e 25,8 GHz



Croce del Nord:

- due serie di antenne, in direzione N-S e E-W
- riceve onde radio alla frequenza di 408 MHz

IL RADIOTELESCOPIO DI MEDICINA

Considerando i tempi di preparazione, di puntamento e le spese generali, ogni sessione di osservazione standard richiede un tempo totale di 3 ore e 30 minuti



e non solo....

Sardinia Radio Telescope (Cagliari)

radiotelescopio di Noto

PROGETTO SUNDISH

Obiettivo: realizzazione di mappe radio del Sole, con cadenza ~settimanale, alle frequenze di circa 18 e 26 GHz

→ caratterizzare la cromosfera solare nelle diverse fasi di attività solare

Strumenti: radiotelescopi INAF

“L'ambiente solare e la sua fenomenologia possono essere sfruttati come un laboratorio naturale multidisciplinare per una vasta gamma di applicazioni scientifiche, tecnologiche ed educative. La scienza della fisica solare offre un ricco terreno interdisciplinare su astrofisica, fisica del plasma, fisica nucleare e fisica fondamentale. Inoltre, l'attività magnetica e radiativa della nostra stella ha un impatto enorme sulle magnetosfere e ionosfere planetarie, che va da sottili dipendenze climatiche a gravi fenomeni radiazionali che influenzano le operazioni e la sicurezza delle nostre tecnologie sulla Terra.....”

<https://sites.google.com/inaf.it/sundish/the-sundish-project>

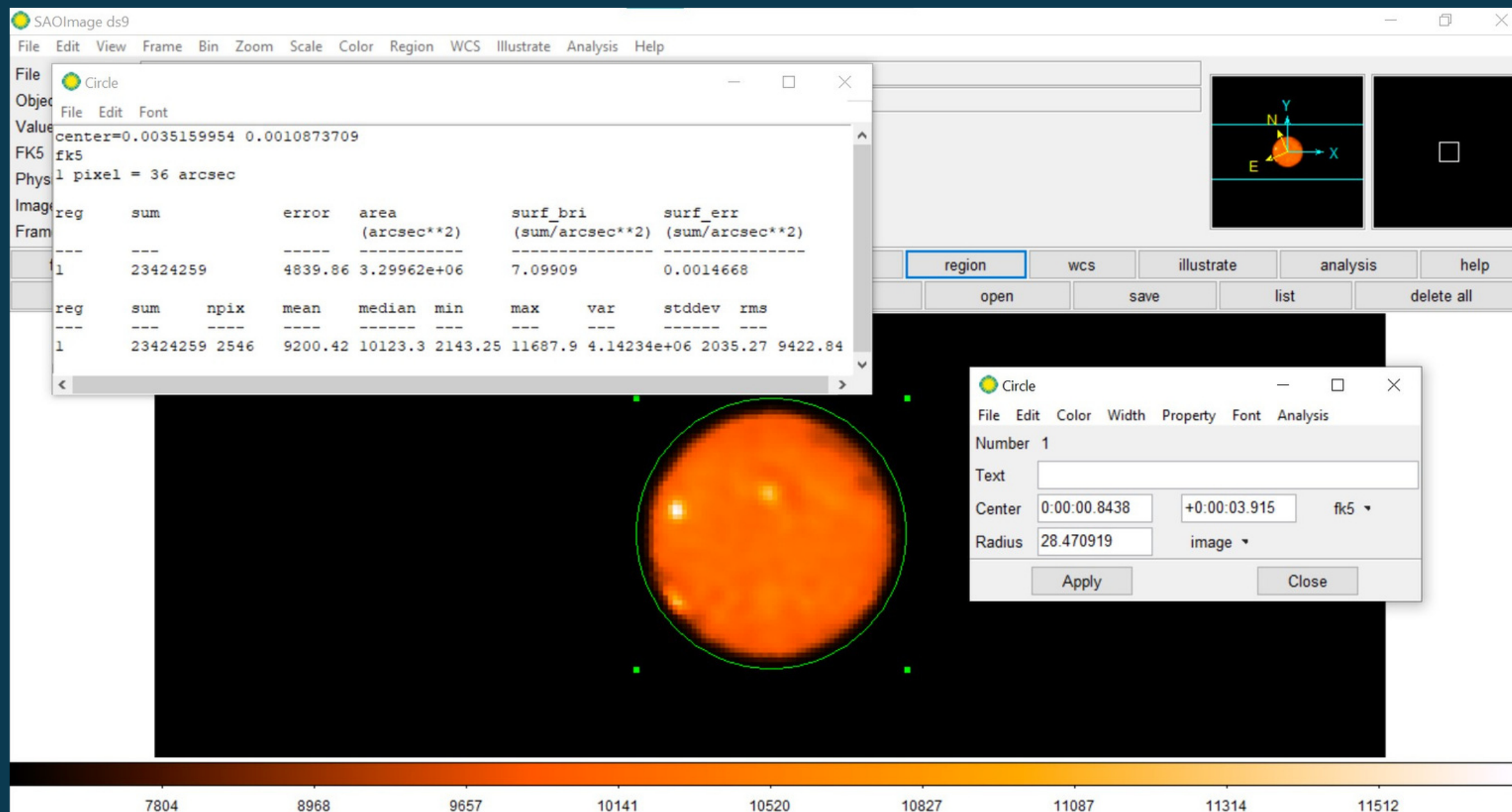
COME SI ANALIZZANO I DATI?

Le regioni attive (AR) sono caratterizzate da campi magnetici locali intensi, forniscono energia per i brillamenti solari e le espulsioni di massa coronale (CME).



SAOImageDS9

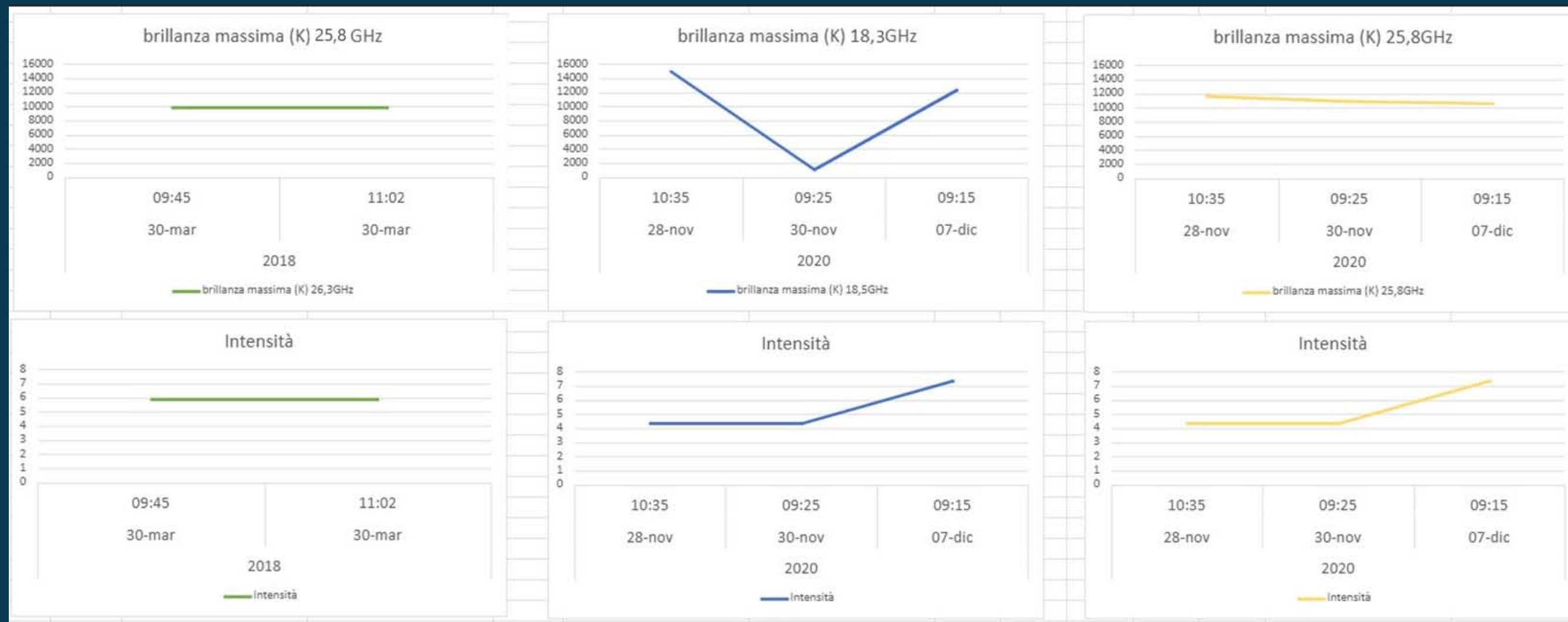
SAOImage DS9 is an astronomical imaging and data visualization application.



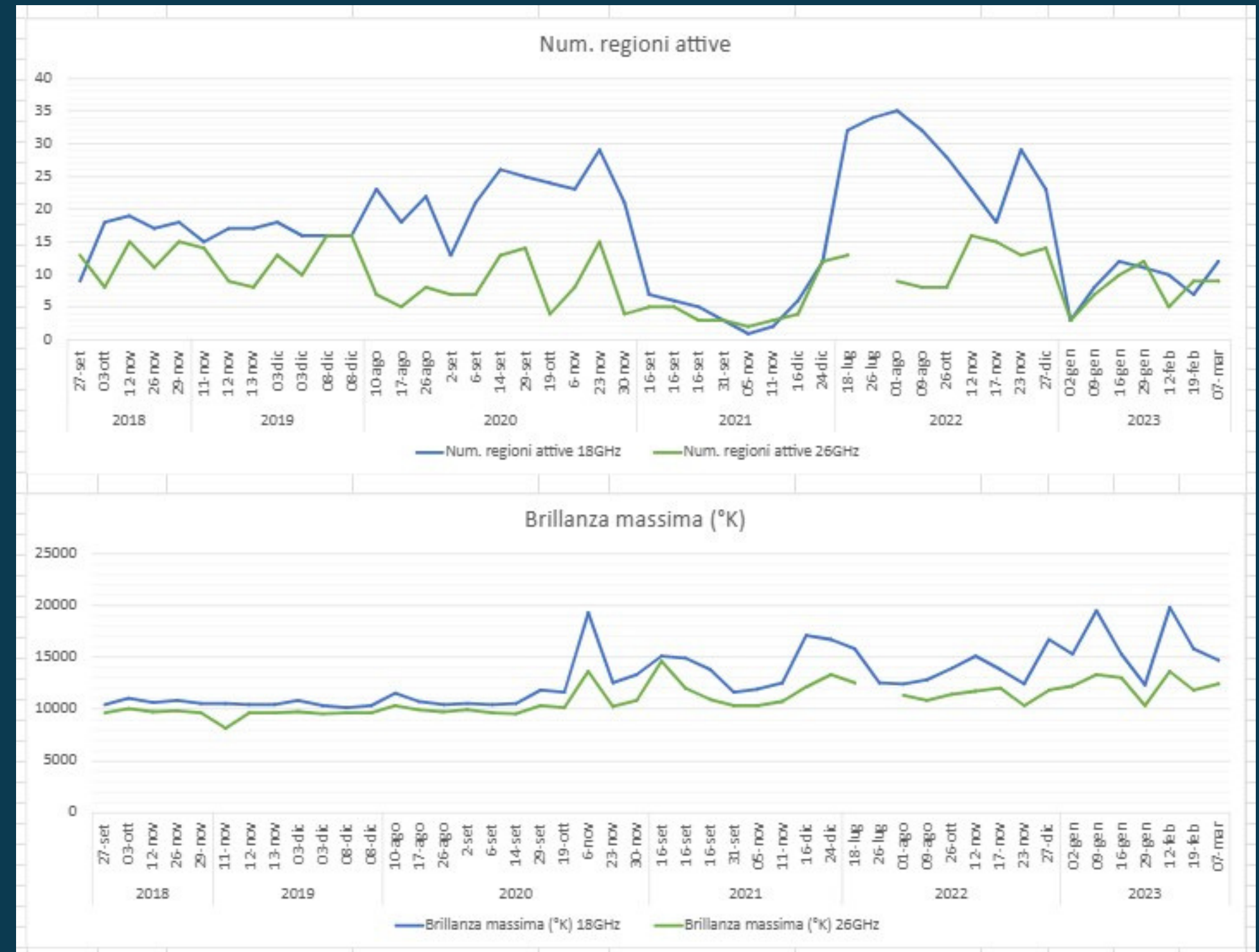
LA MIA ESPERIENZA

- Analizzare con il software SAOImageDS9 un insieme di mappe solari prodotte dal radiotelescopio di Medicina relative agli anni 2018–2023. L'analisi consiste nel contare il numero di regioni attive ed estrarre la temperatura massima di brillanza.
- Confrontare due database: l'elenco completo delle mappe solari realizzate a Medicina e un elenco di brillamenti solari rilevati dai satelliti del NOAA (considerando fenomeni di classe C5 o superiore)
- Produrre un elenco delle mappe di Medicina acquisite in un intervallo di 48 ore dal verificarsi del brillamento

- Nelle mappe individuate misurare la temperatura di brillanza di picco delle regioni attive



- Produrre grafici relativi all'andamento della temperatura di brillanza massima e al numero di regioni attive in funzione del tempo
- Vi è una correlazione tra la temperatura di picco della regione attiva e l'intensità del brillamento?



The background of the image is a vibrant display of the Aurora Borealis (Northern Lights) in shades of green and blue, set against a dark, starry night sky. The light patterns are dynamic and flowing, creating a sense of movement and wonder.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

Bibliografia e sitografia:

Radioastronomia: introduzione al cielo invisibile, F. Bradaschia

<https://www.med.ira.inaf.it/history-it.html>

<https://sorvegliatispaziali.inaf.it>

<https://www.swpc.noaa.gov/>

<https://sorvegliatispaziali.inaf.it/meteorologia-spaziale/>

<https://www.spaceweatherlive.com/>

<https://sites.google.com/inaf.it/sundish>