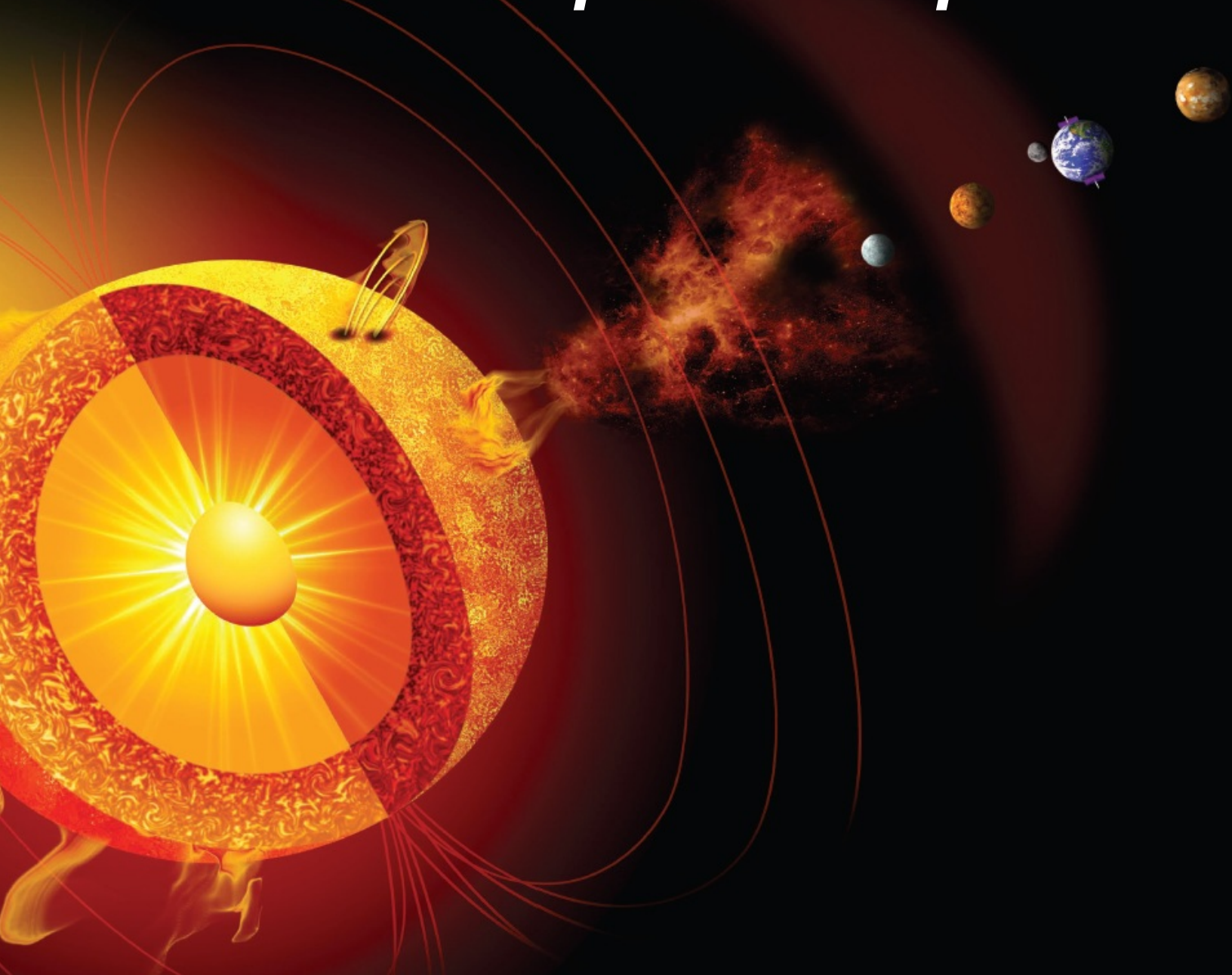
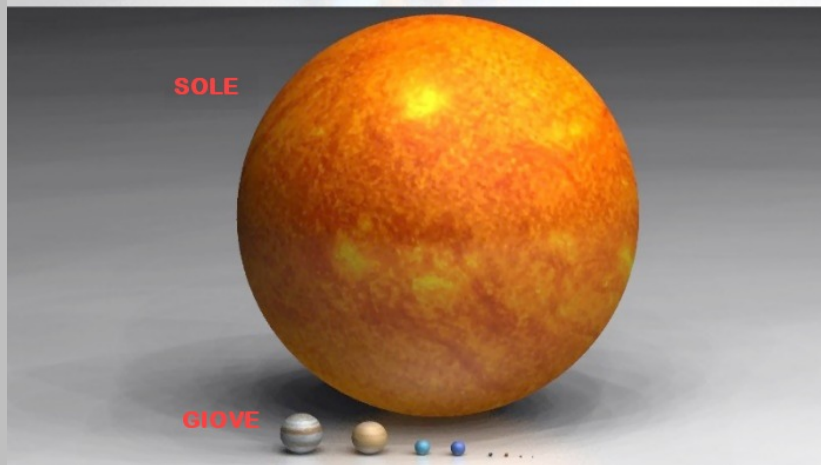
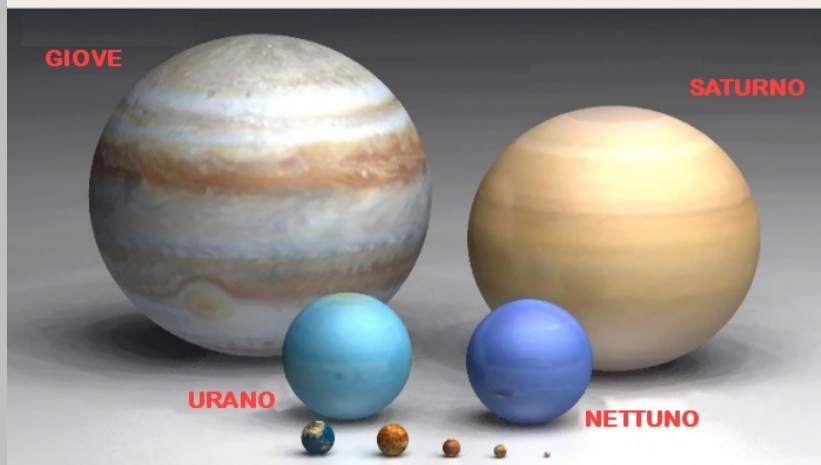
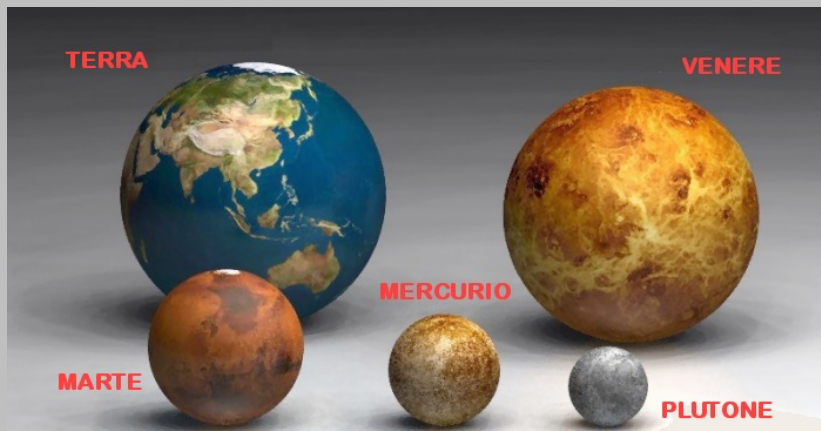


# ***Il Sole e lo Spazio Interplanetario***





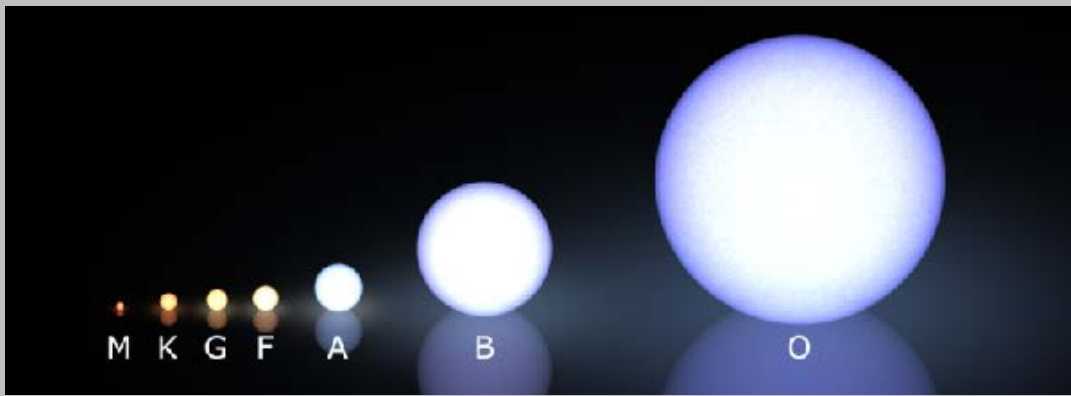
## Corpi del Sistema Solare

Oltre la Terra nel sistema solare orbitano altri 8 pianeti.

Per le loro composizioni e dimensioni si possono suddividere in

- Pianeti Rocciosi; che hanno diametri da 2.300 km (Plutone) a 12.700 km (Terra)
- Giganti Ghiacciati (Urano e Nettuno)
- Giganti Gassosi (Giove e Saturno)  
Il diametro di Giove è circa 143.000 km (più di 10 volte la Terra)

Il Sole ha un diametro di circa 1,4 milioni di km (100 volte la Terra)



Class	Temperatura	Colore	Massa	Raggio
<a href="#"><u>O</u></a>	$\geq 33.000$ K	blu	$\geq 16$ <a href="#"><u><math>M_{\odot}</math></u></a>	$\geq 6,6$ <a href="#"><u><math>R_{\odot}</math></u></a>
<a href="#"><u>B</u></a>	10.000–33.000 K	azzurro	2,1–16 <a href="#"><u><math>M_{\odot}</math></u></a>	1,8–6,6 <a href="#"><u><math>R_{\odot}</math></u></a>
<a href="#"><u>A</u></a>	7.500–10.000 K	bianco	1,4–2,1 <a href="#"><u><math>M_{\odot}</math></u></a>	1,4–1,8 <a href="#"><u><math>R_{\odot}</math></u></a>
<a href="#"><u>F</u></a>	6.000–7.500 K	bianco-giallo	1,04–1,4 <a href="#"><u><math>M_{\odot}</math></u></a>	1,15–1,4 <a href="#"><u><math>R_{\odot}</math></u></a>
<a href="#"><u>G</u></a>	5.200–6.000 K	giallo	0,8–1,04 <a href="#"><u><math>M_{\odot}</math></u></a>	0,96–1,15 <a href="#"><u><math>R_{\odot}</math></u></a>
<a href="#"><u>K</u></a>	3.700–5.200 K	arancione	0,45–0,8 <a href="#"><u><math>M_{\odot}</math></u></a>	0,7–0,96 <a href="#"><u><math>R_{\odot}</math></u></a>
<a href="#"><u>M</u></a>	$\leq 3.700$ K	rosso	0,08–0,45 <a href="#"><u><math>M_{\odot}</math></u></a>	$\leq 0,7$ <a href="#"><u><math>R_{\odot}</math></u></a>

## Le Stelle

Le stelle non sono tutte uguali ma differiscono per dimensioni e per caratteristiche spettrali (luminosità e temperatura).

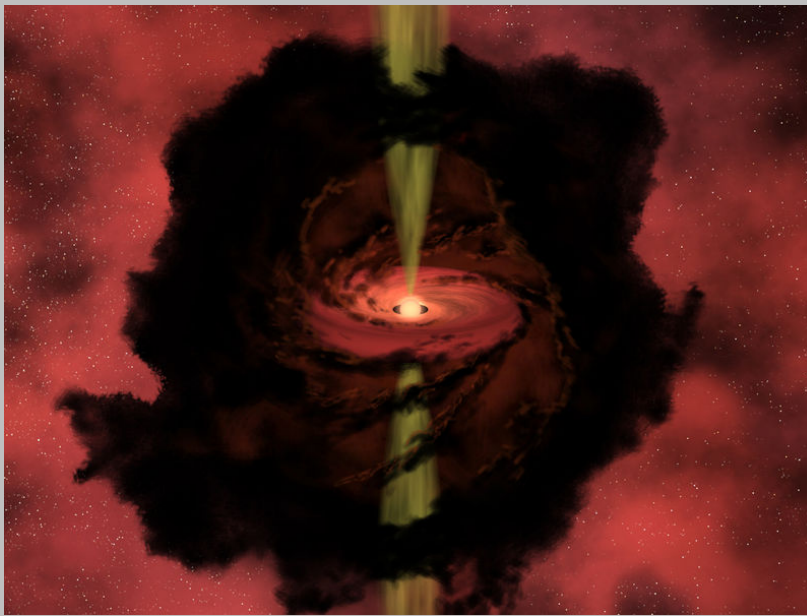
Il Sole è una stella di classe spettrale G2

Le stelle più grandi e luminose hanno una vita più breve

Una stella di classe O può consumare l'idrogeno in circa 10 milioni di anni

Una stella di classe K o M può consumare idrogeno per centinaia di miliardi di anni

Una stella come il Sole vive per 10 miliardi di anni



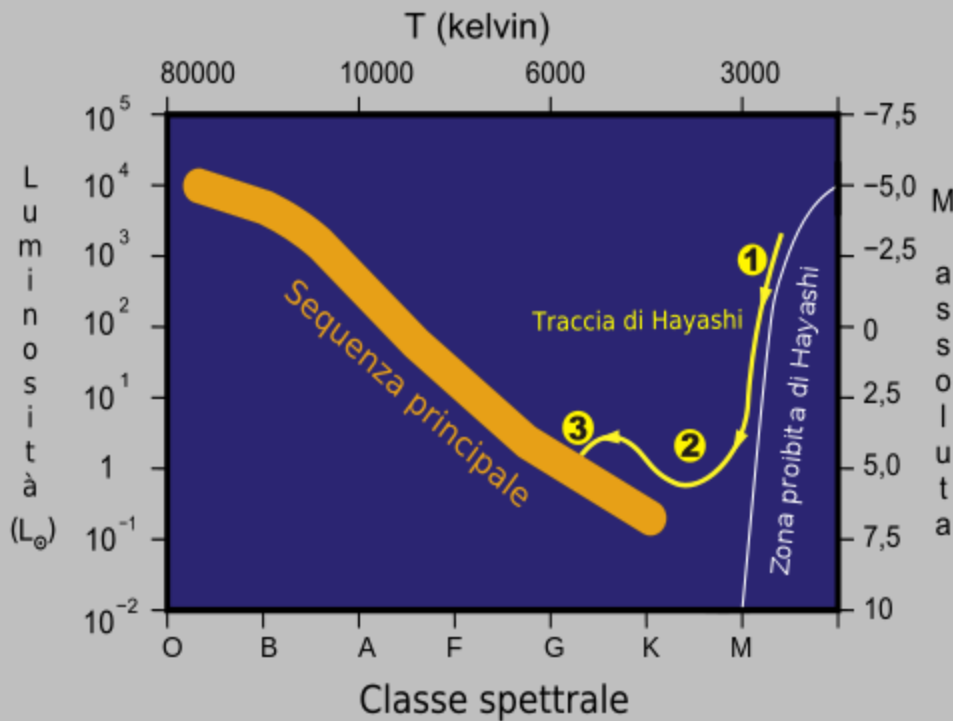
## Come nasce una stella

Quando in enormi regioni gassose (idrogeno ionizzato) transita una perturbazione può iniziare un collasso gravitazionale che porta alla formazione di un embrione stellare.

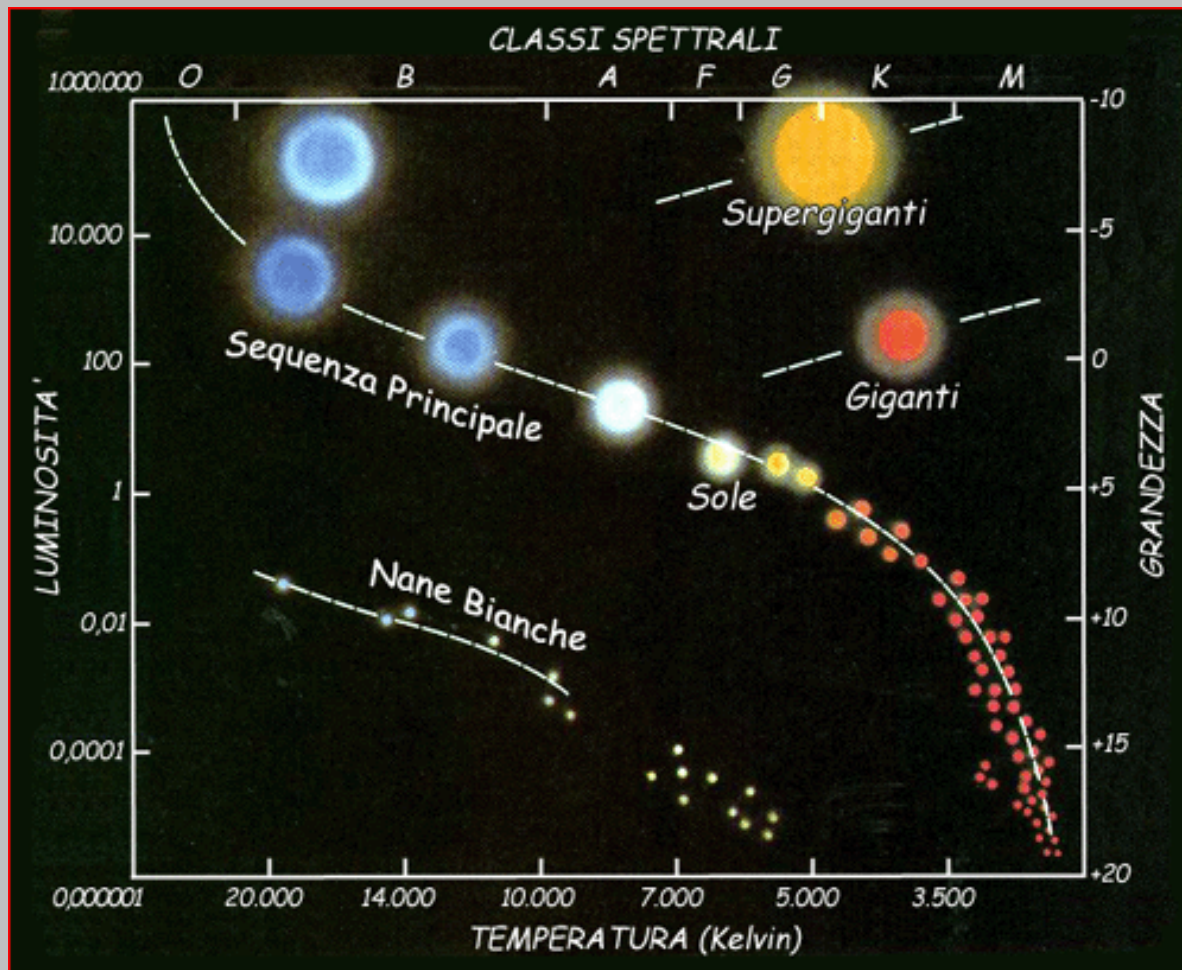
Man mano che accresce la massa, nella proto-stella aumentano densità e temperatura.

Quando la densità è tale da inibire lo scambio di calore con l'esterno la temperatura del nucleo raggiunge valori critici (milioni di gradi).

Inizia così la Fusione dell'idrogeno in elio e la stella prende vita ed entra nella sua 'sequenza principale'.







## Caratteristiche stellari

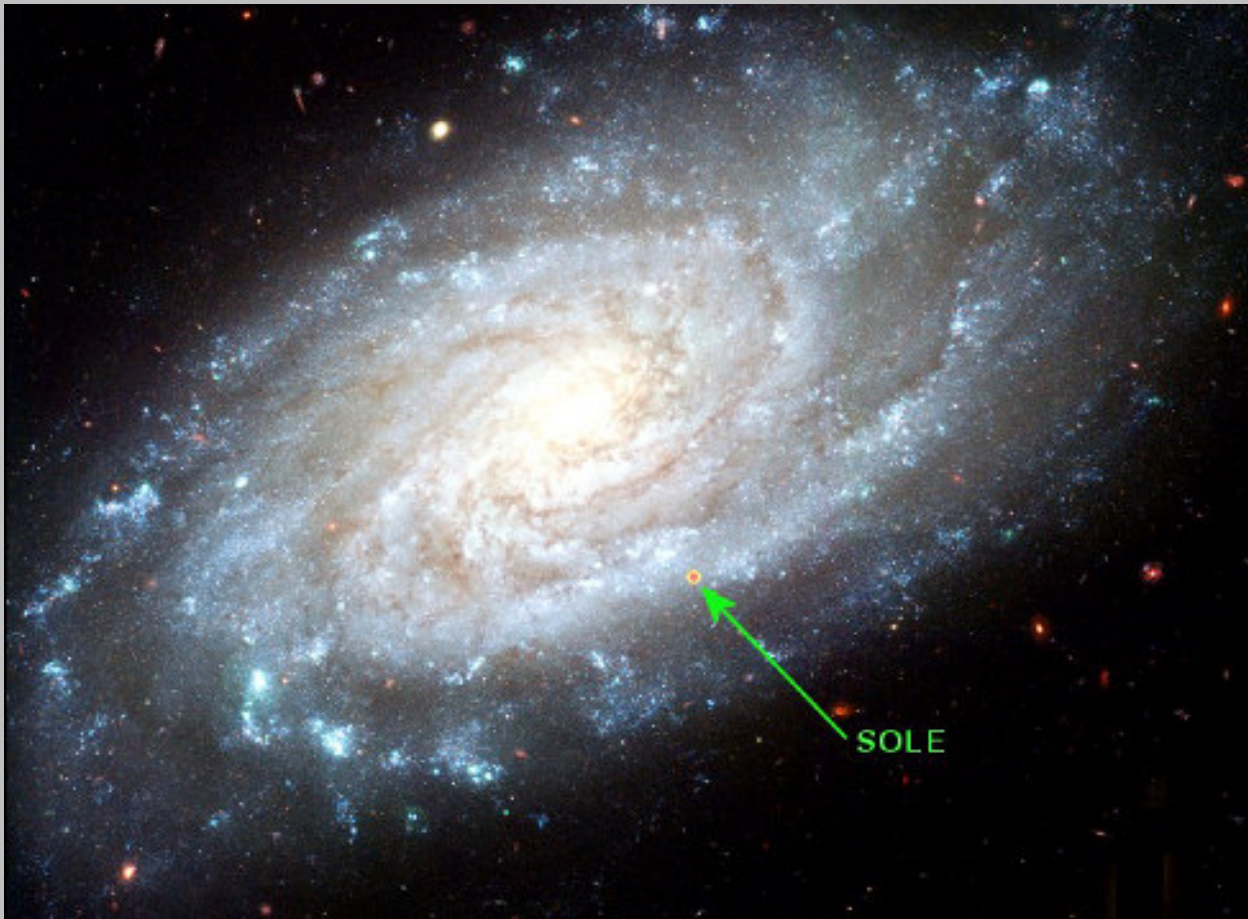
Ogni stella che brucia idrogeno in elio si trova nella sequenza principale.

Il famoso diagramma H-R (Hertzsprung-Russell) mostra le caratteristiche di ogni tipo stellare.

Ad ogni tipo spettrale corrispondono luminosità, massa, e temperatura individuabili in precisi intervalli.

Dimensioni e luminosità delle stelle della sequenza principale dipendono dalla grandezza della nube gassosa da cui hanno avuto origine.

Alla fine del ciclo di fusione dell'idrogeno in elio le stelle seguono destini diversi a seconda della loro massa (Nane, Giganti, Supergiganti, ecc..).



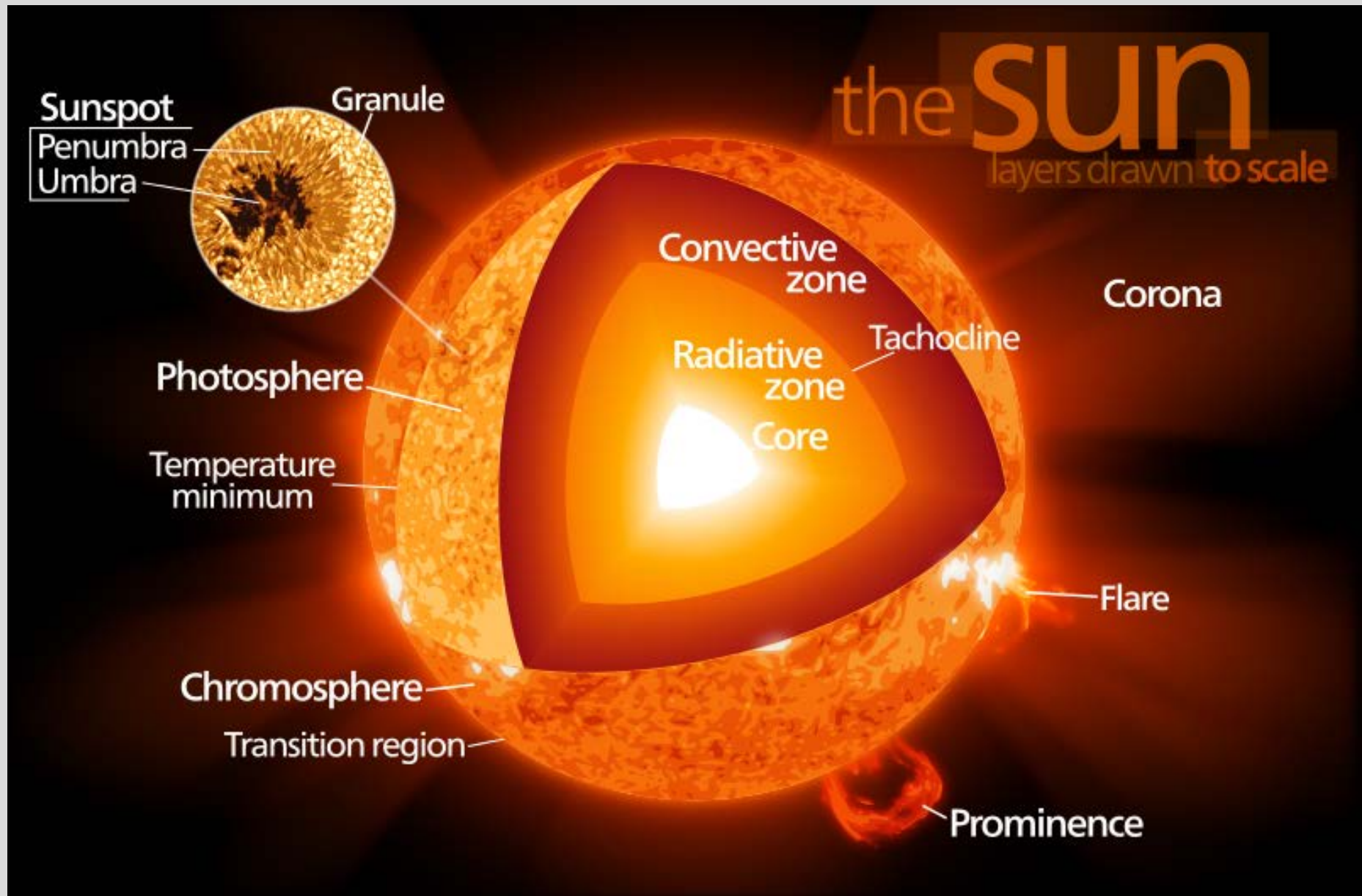
## La Galassia

La galassia di cui facciamo parte, la Via Lattea, è composta da circa 200 miliardi di stelle.

Il Sole si trova su un braccio della spirale a circa 27.000 anni luce dal centro (equivalente di circa 255 milioni di miliardi di km)



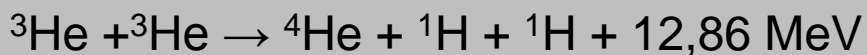
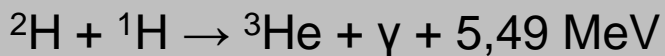
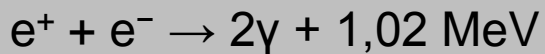
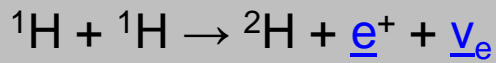
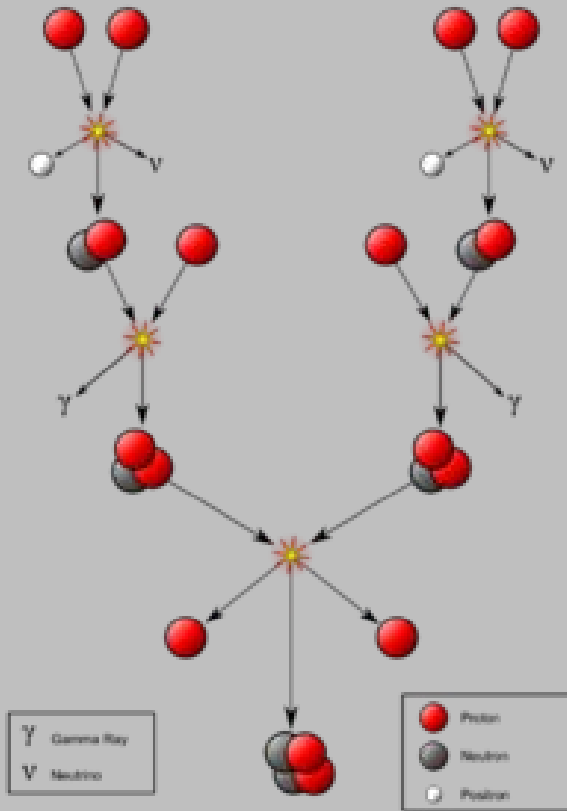
# La struttura del Sole



## L'energia del Sole

La catena protone-protone è un processo nucleare che trasforma idrogeno in nuclei di elio. È la sorgente di energia principale delle stelle della sequenza principale, compreso il Sole nel quale questa catena è il processo predominante.

Confrontando la massa dell'elio-4 finale con le masse dei quattro protoni si ottiene che lo 0,7% della massa originaria è persa. Questa massa è convertita in energia, sotto forma di radiazione e di neutrini rilasciati durante le reazioni individuali.

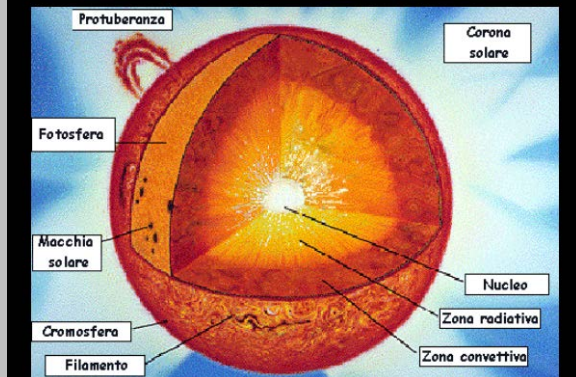


L'energia rilasciata sotto forma di radiazione interagisce con gli elettroni e i protoni e scalda l'interno del Sole.

Questo riscaldamento fa sì che il Sole non collassi sotto il suo peso.



## La struttura del Sole



## Principali Strutture Solari

I processi di Fusione nucleare dell'idrogeno avvengono nel nucleo.

La temperatura del nucleo è di milioni di gradi.

L'energia prodotta nel nucleo scalda e sostiene la massa sovrastante.

Parte dell'energia raggiunge gli strati più esterni e viene liberata nello spazio.

La trasmissione di energia all'interno del Sole può avvenire in modi diversi.

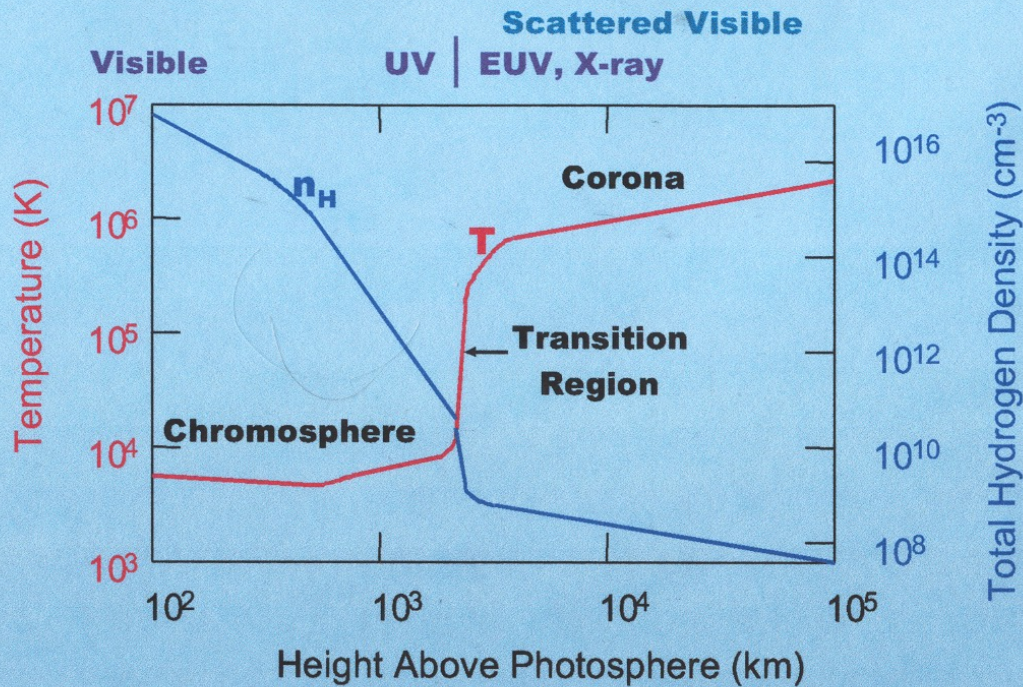
Principalmente è di tipo radiativo nelle zone più interne (onde elettromagnetiche) e di tipo convettivo in strati più esterni (trasporto di massa)



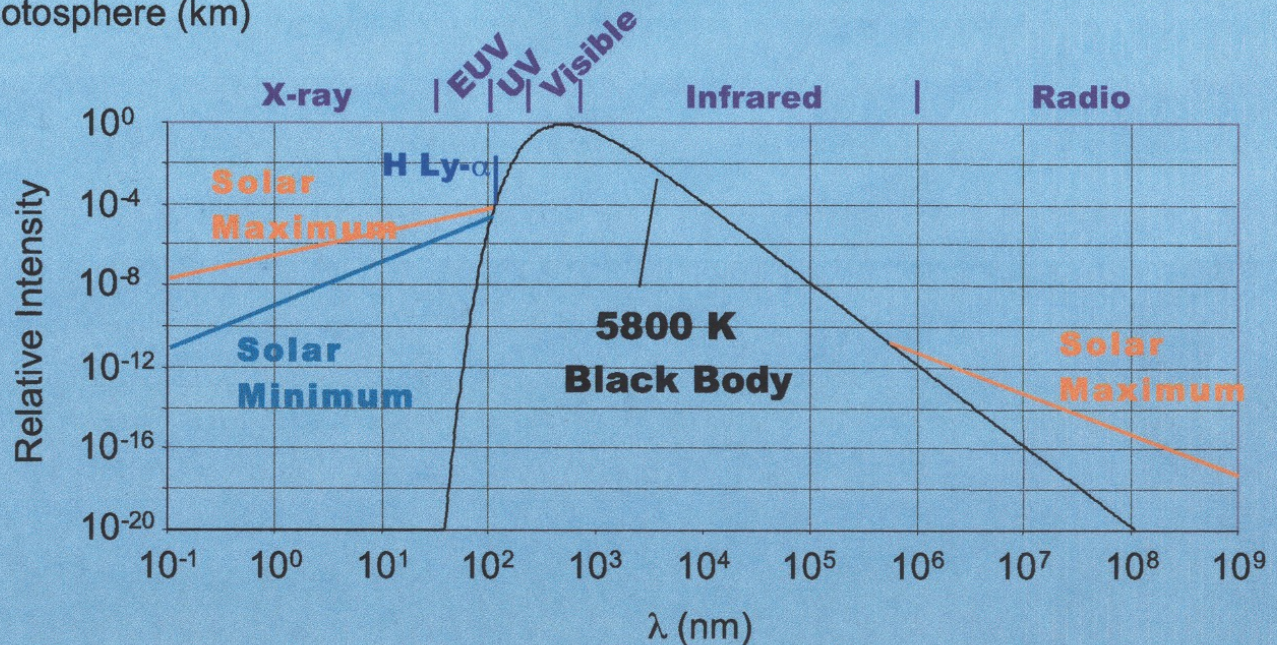
Nella Fotosfera (lo strato esterno a noi visibile) appaiono talvolta delle terminazioni di regioni altamente convettive, che prendono il nome di Macchie Solari.



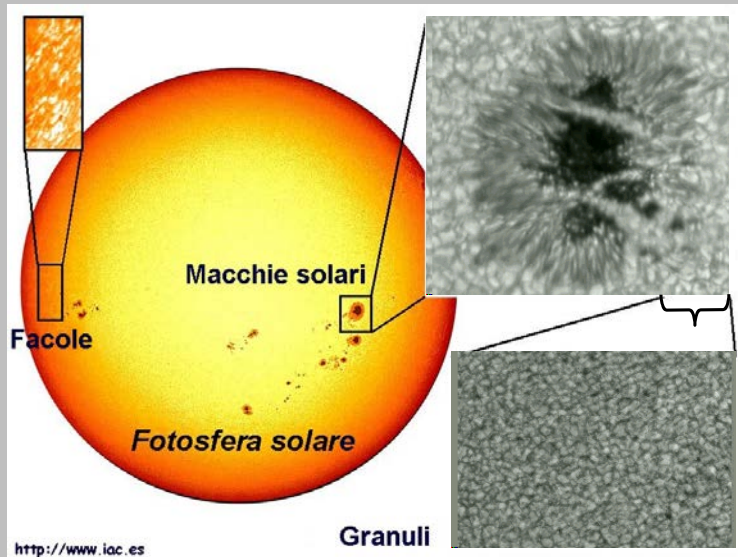
# The Solar Atmosphere



**Radiative Output** →







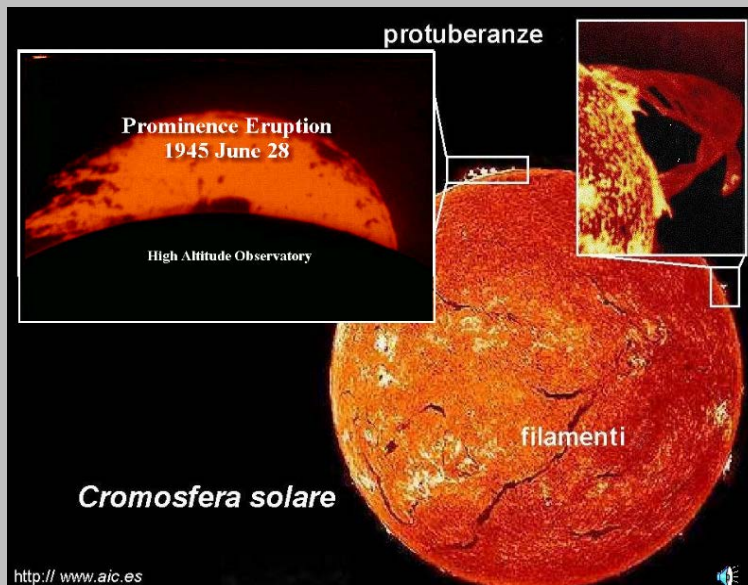
I fenomeni convettivi che danno origine alle macchie solari sono determinati da intensi campi magnetici.

Tali campi magnetici possono orientarsi in modo da permettere flussi di plasma solare verso l'esterno come dei canali percorsi da lava.

La durata di tali strutture magnetiche va dai giorni ai mesi.

Gruppi di macchie solari prendono il nome di Regioni Attive.

In corrispondenza di tali regioni possono avvenire violente eruzioni.

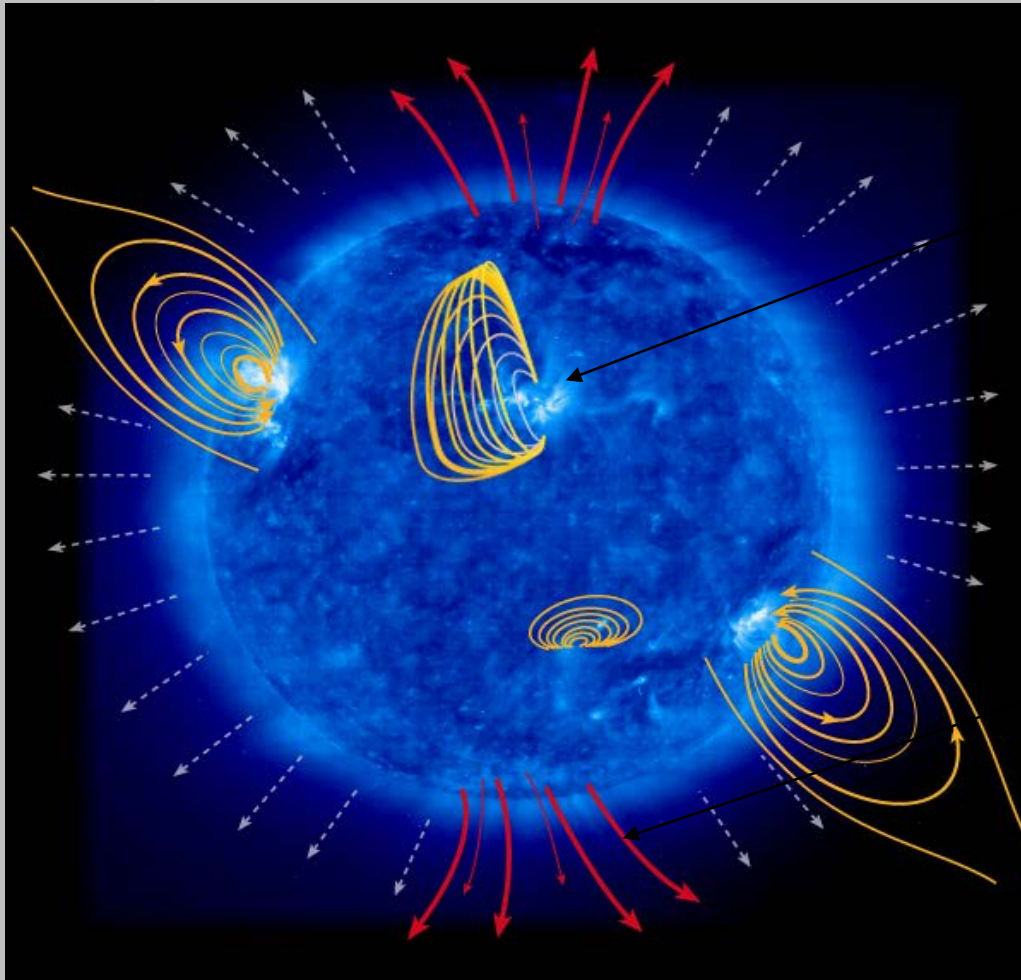




# I Campi Magnetici Solari

I campi magnetici svolgono un ruolo fondamentale per l'attività del Sole nello Spazio Interplanetario.

Secondo le teorie dinamo, il campo magnetico consiste essenzialmente di due componenti:



**Toroidale**



regioni magnetiche bipolari  
(poli magnetici Nord e Sud  
affiancati) come le Regioni Attive

**Poloidale**



linee di campo aperte (unipolari)  
che si estendono nell'eliosfera  
come i Buchi Coronali

**Regioni attive**



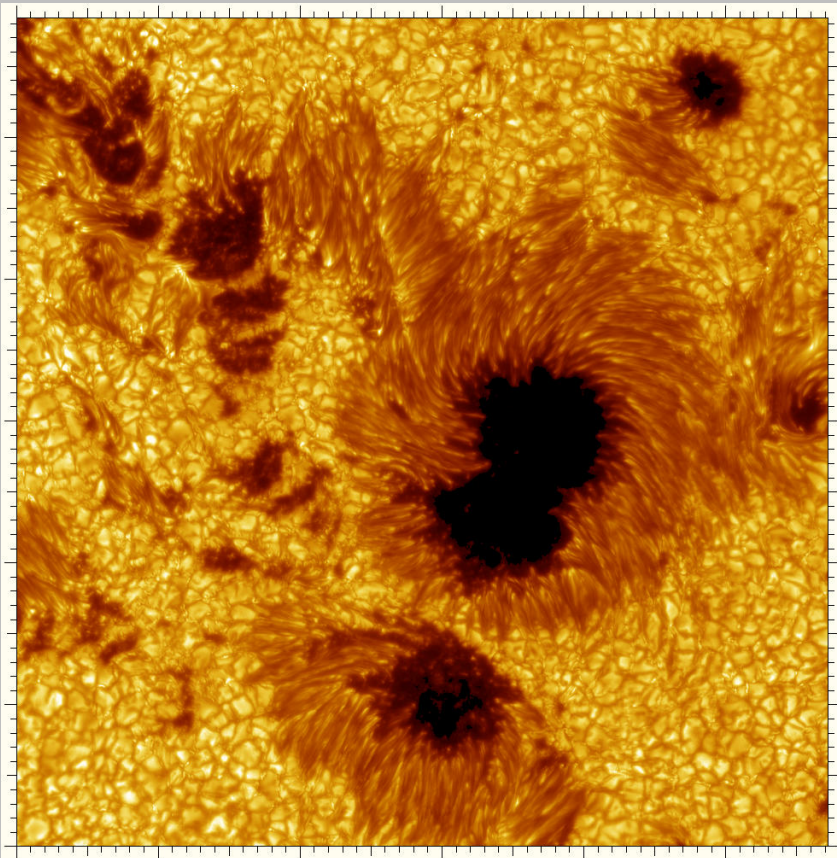
Forti campi magnetici ( $> 0.1 \text{ T}$ )

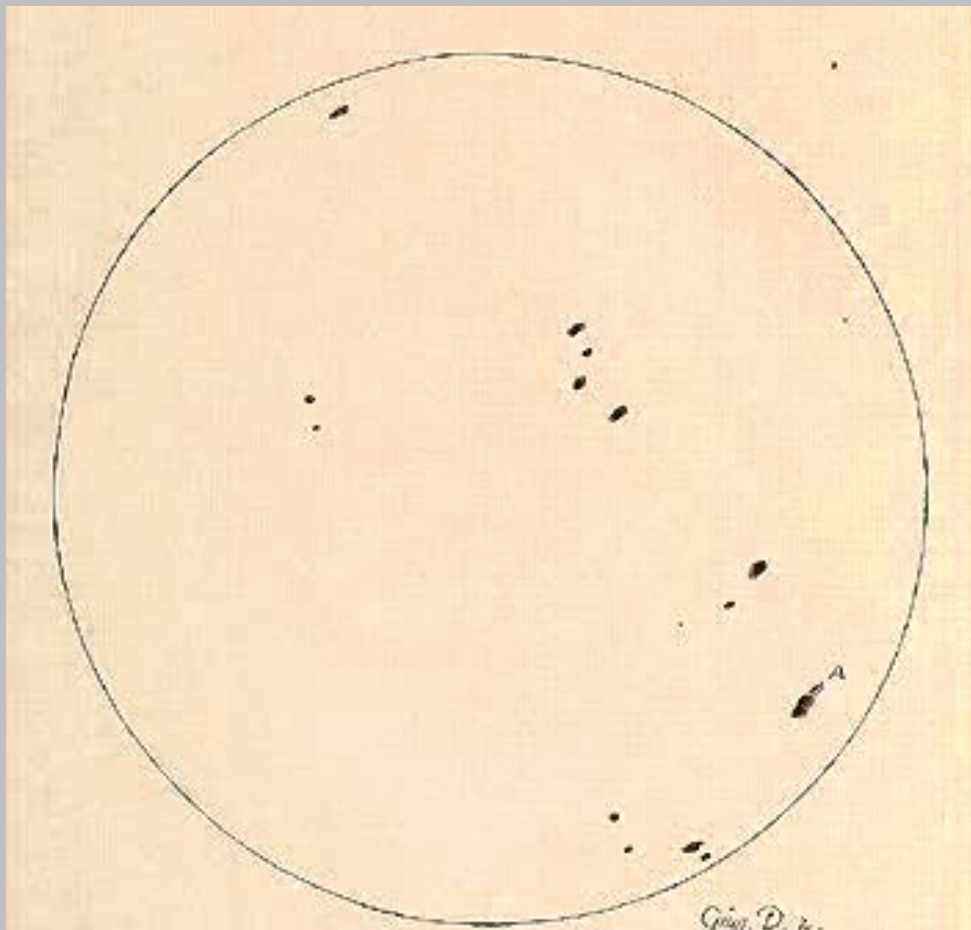
Struttura bipolare

Macchie fotosferiche

Loops coronali:

connettono aree di opposta polarità

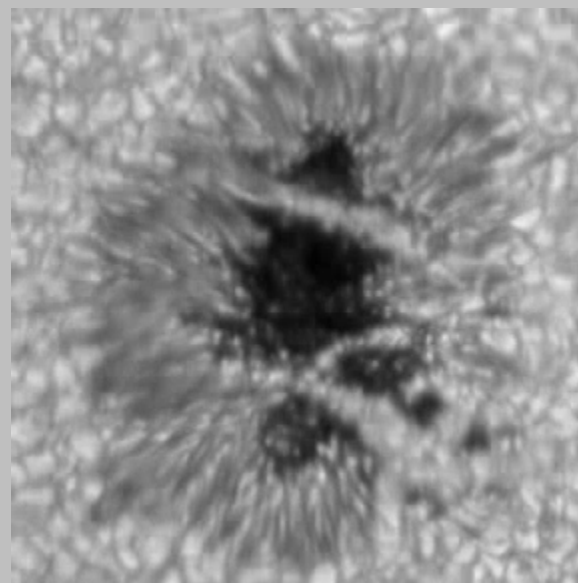




## Le macchie solari di Galileo

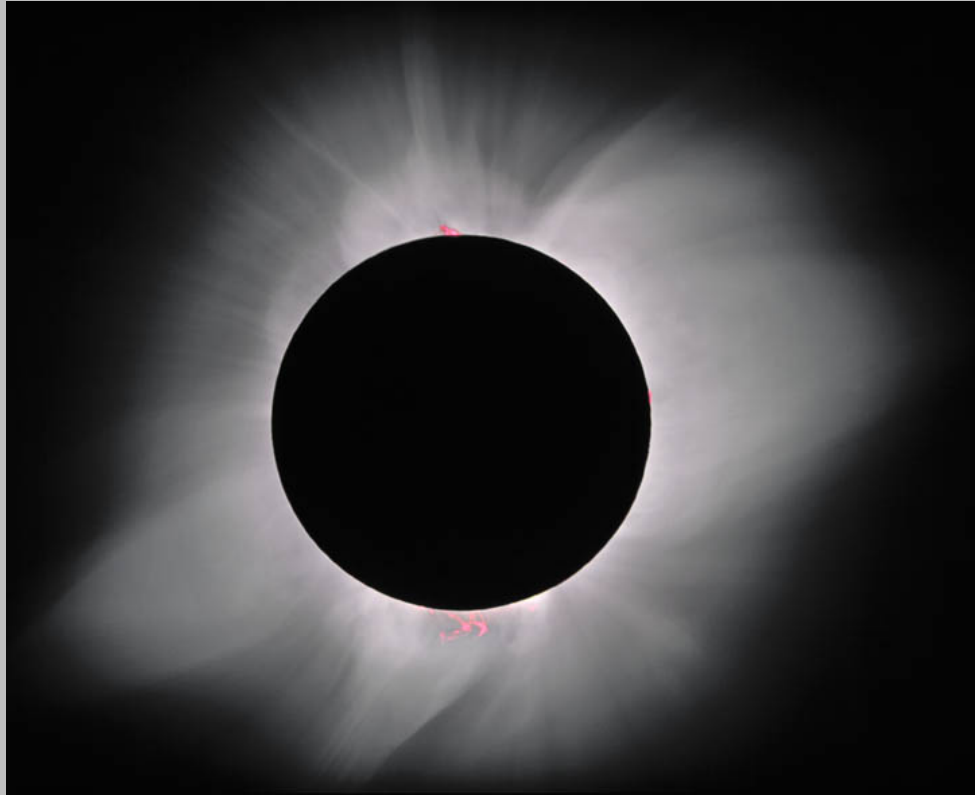
Il filmato simula la rotazione del Sole (27 giorni di periodo) per mostrare il moto delle macchie solari osservate da Galilei

## Struttura macchia solare





## L'atmosfera solare e lo spazio interplanetario



L'atmosfera solare è costituita dalla Corona in costante espansione verso lo spazio esterno che non è vuoto ma è densamente popolato da flussi di particelle che possiamo suddividere in 3 grandi categorie.

- **Il Vento Solare;** ovvero l'espansione della Corona Solare. Sono la popolazione più densa e lenta (basse energie).

L'eliosfera si definisce come settore dello spazio in cui è presente il vento solare.

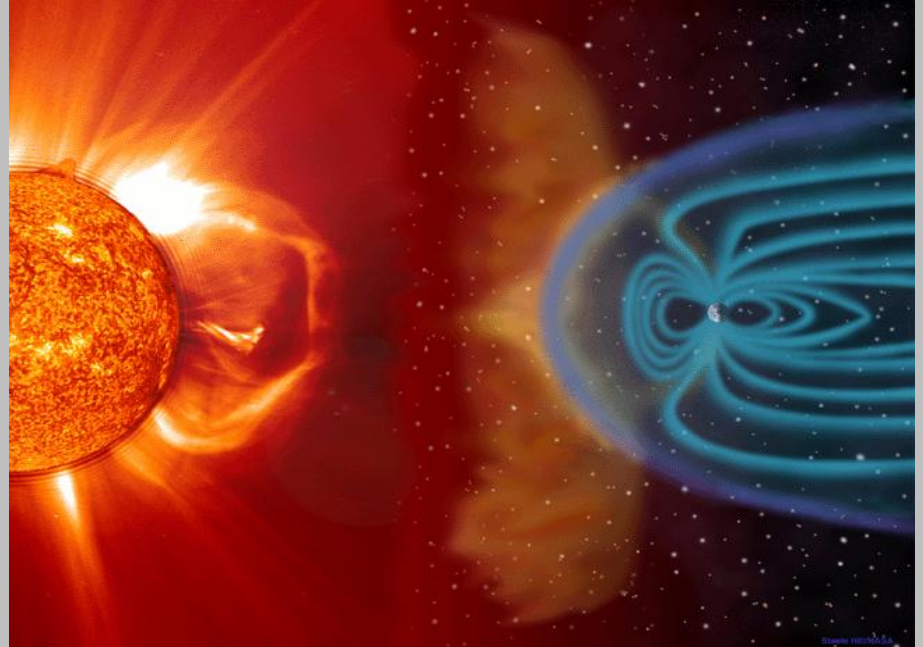
- **I Raggi Cosmici Solari;** particelle con energie intermedie emesse occasionalmente dal Sole

- **I Raggi Cosmici Galattici;** di più alte energie, provenienti da sorgenti esterne al sistema solare.

Tali flussi di particelle variano continuamente (su diverse scale temporali) in relazione all'attività del Sole.

## Vento Solare

- Vento solare quieto:  $\left\{ \begin{array}{l} V \approx 400 \text{ Km/s} \\ B \approx 5\text{-}10 \text{ nT} \\ T \approx 10^4 \text{ K} \\ D \approx 10 \text{ cm}^{-3} \end{array} \right. \quad B_z \approx 0$
- La pressione dinamica del Vento Solare produce azioni meccaniche. I campi magnetici planetari vengono deformati e allungati in direzione del Vento Solare



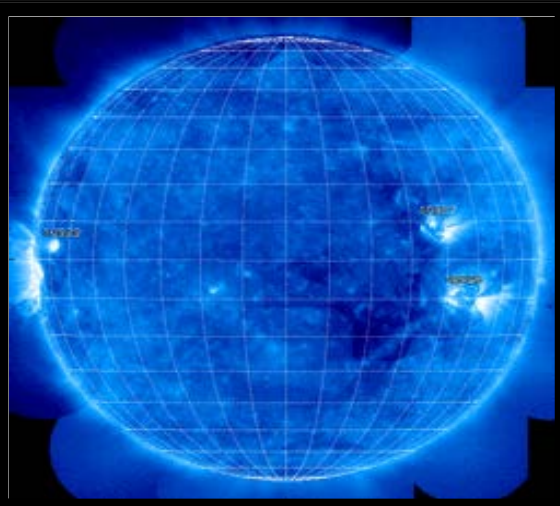
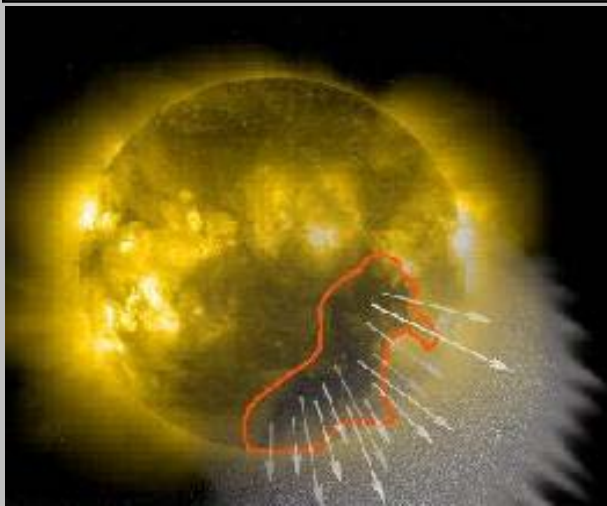
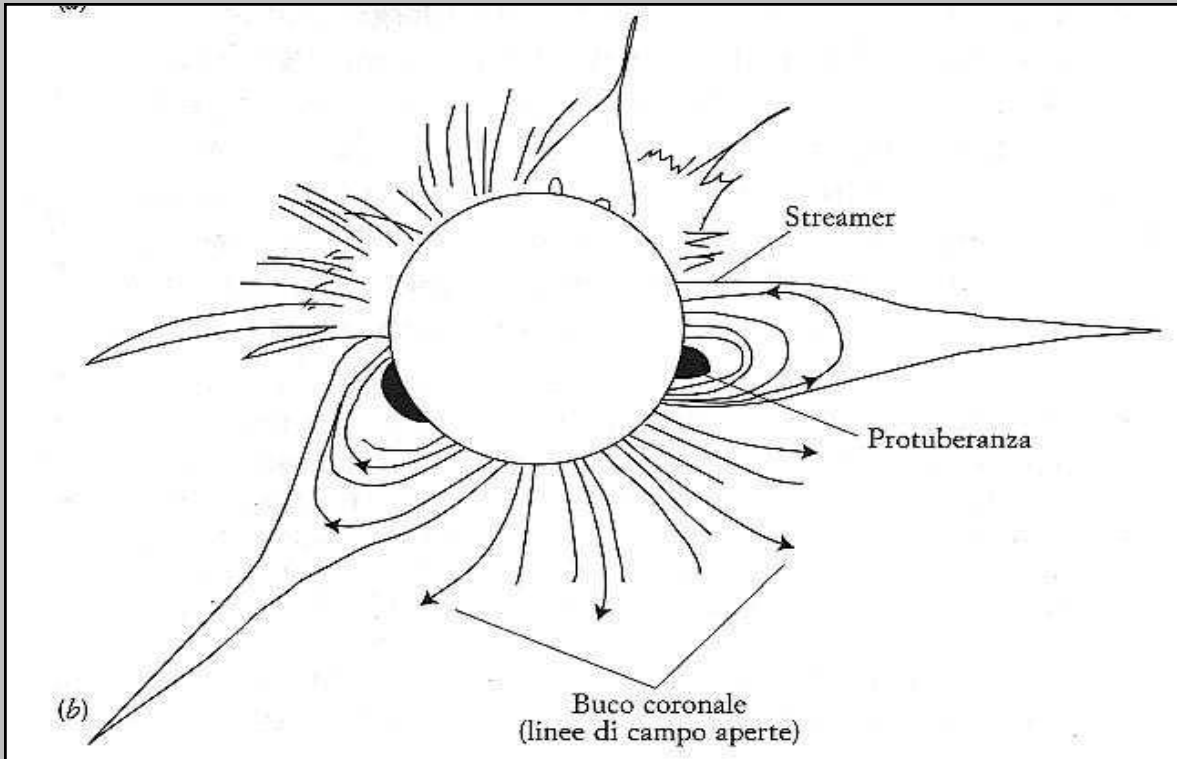
## Meteorologia Spaziale

Grazie all'espansione della corona che genera il vento solare, i campi magnetici solari si estendono nel mezzo interplanetario

A causa delle variazioni dei campi magnetici solari, il mezzo interplanetario non è stazionario

Le perturbazioni sono discontinuità nel vento solare.

Esistono due categorie di perturbazioni: Corotanti e Transienti



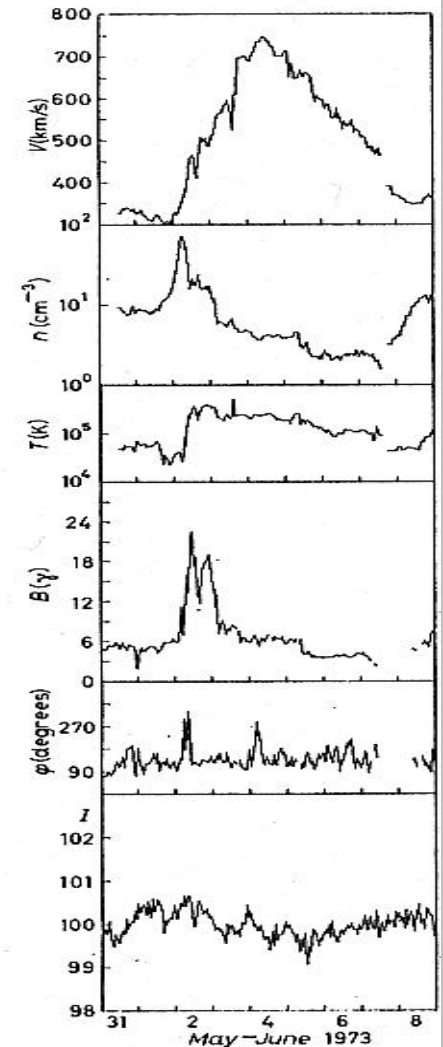


## Perturbazioni Corotanti

- I buchi coronali sono sorgenti di fasci di plasma veloce e rarefatto detti Regular High Speed Streams (RHSS)
- La vita del buco coronale può raggiungere molti mesi, (nel caso dei buchi coronali polari anche anni) quindi la perturbazione può ricorrere in più rotazioni solari
- I parametri del Vento solare sono:

$$\left\{ \begin{array}{l} V \approx 400 - 1000 \text{ Km/s} \\ B \approx 5 - 10 \text{ nT} \\ B_z \approx 0 \\ T \approx 10^5 \text{ K} \\ D \leq 10 \text{ cm}^{-3} \end{array} \right.$$

- Temperatura del plasma è correlata con la Velocità
- Lo RHSS è preceduto da una Stream Interface (discontinuità) con pressione densità e campo magnetico maggiori

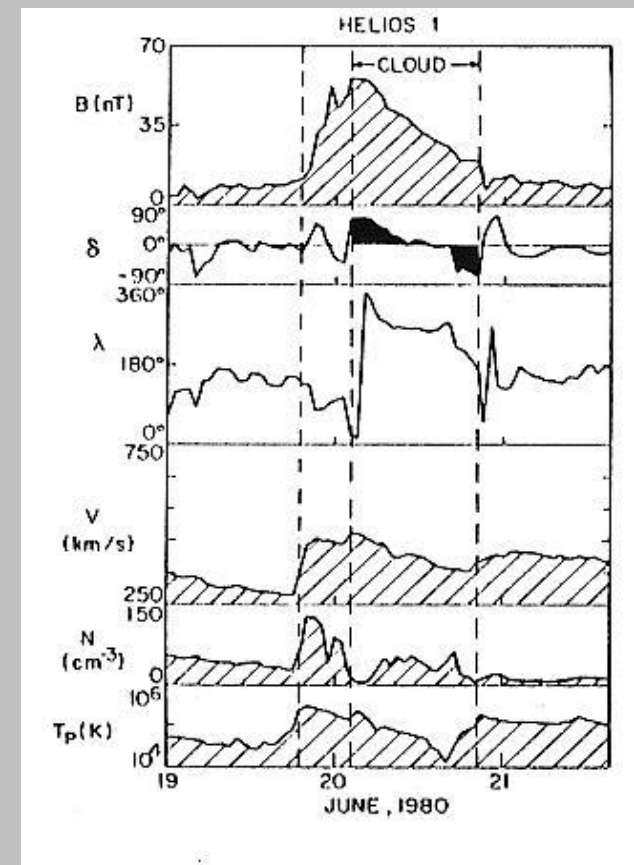


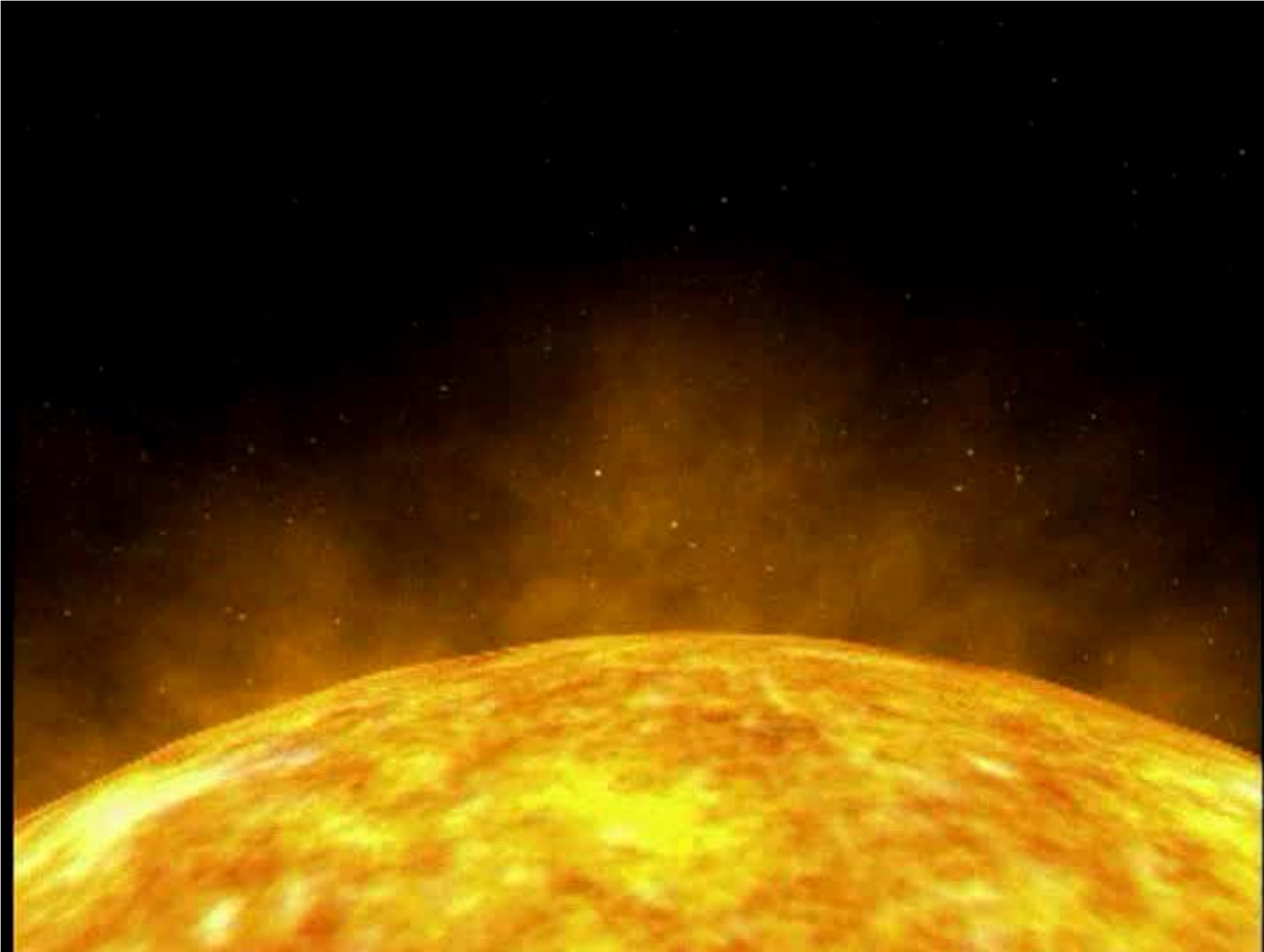
## Perturbazioni transienti

- La geometria del campo magnetico nelle regioni attive può innescare brillamenti o altri fenomeni di emissione di materiale coronale
- Il materiale coronale espulso viaggia verso lo spazio esterno
- I parametri del Vento solare sono:

$$\left\{ \begin{array}{l} V \approx 300 - 1000 \text{ Km/s} \\ B \geq 15 \text{ nT} \\ B_z \neq 0 \\ T \leq 10^5 \text{ K} \\ D \geq 10 \text{ cm}^{-3} \\ \text{He} \geq 3 \text{ cm}^{-3} \end{array} \right.$$

Le perturbazioni di questo tipo trasportano forti discontinuità nello spazio e per questo motivo possono alterare sensibilmente atmosfere e magnetosfere planetarie.









## Aurore Polari

Tra i più noti e spettacolari effetti delle perturbazioni solari.

Da fenomeni magnetici innescati nella coda geomagnetica, flussi di elettroni vengono convogliati verso le alte latitudini terrestri.

Tali flussi si dicono Elettrogetti Aurorali.

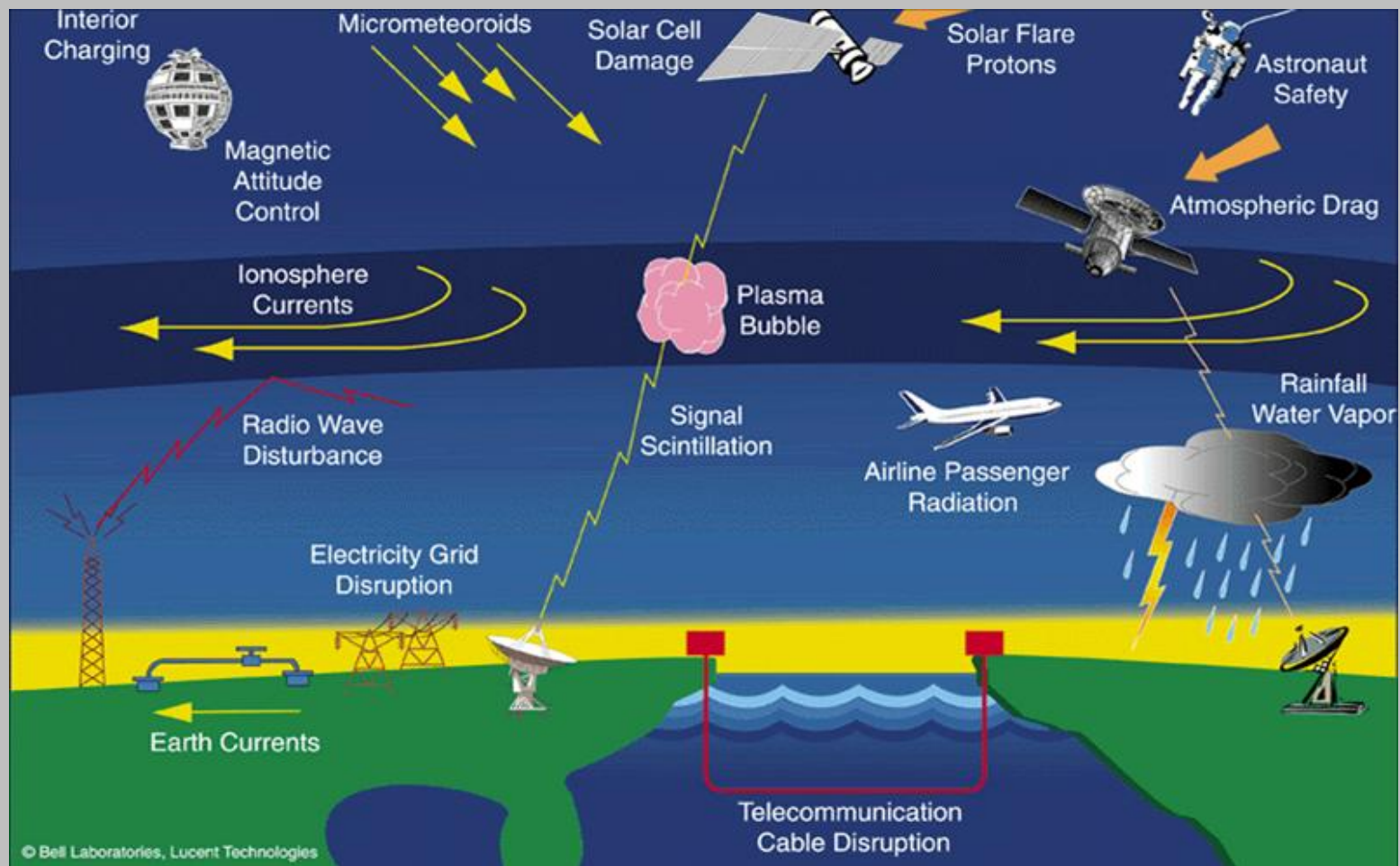
Dal loro impatto con gli atomi della atmosfera si generano le tipiche emissioni luminose come in un gigantesco tubo catodico.

La zona di interazione con l'atmosfera è generalmente compresa tra  $65^{\circ}$  e  $75^{\circ}$  di latitudine geomagnetica (simultaneamente a Nord e Sud).



La precipitazione di particelle negli ambienti planetari viene riscontrata anche su gli altri pianeti, nonostante siano molto lontani dal Sole.

Aurore polari sono state osservate anche su Saturno (10 volte più lontano dal Sole rispetto alla Terra)



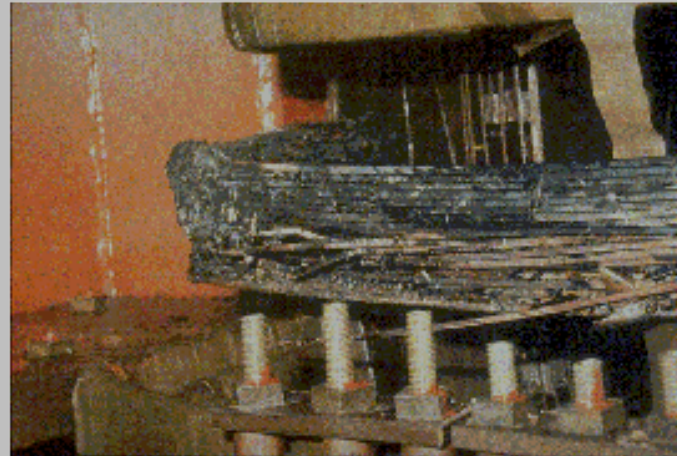
## Effetti delle Perturbazioni

Oltre alle aurore polari vi sono molti altri fenomeni indotti dalle perturbazioni solari.

Variazioni di flussi di particelle cariche possono alterare dinamiche atmosferiche, nuocere all'uomo, e alle tecnologie in volo e, nei casi più estremi, a Terra.



## Damage to Transformers



Damage to a transformer at a power plant  
Delaware, New Jersey i march 1989.

Price: 10 mill USD

Repair can take up to 1 year.

In this particular case they were lucky to find a  
used one from a shut down plant. Took only 6  
weeks to restore



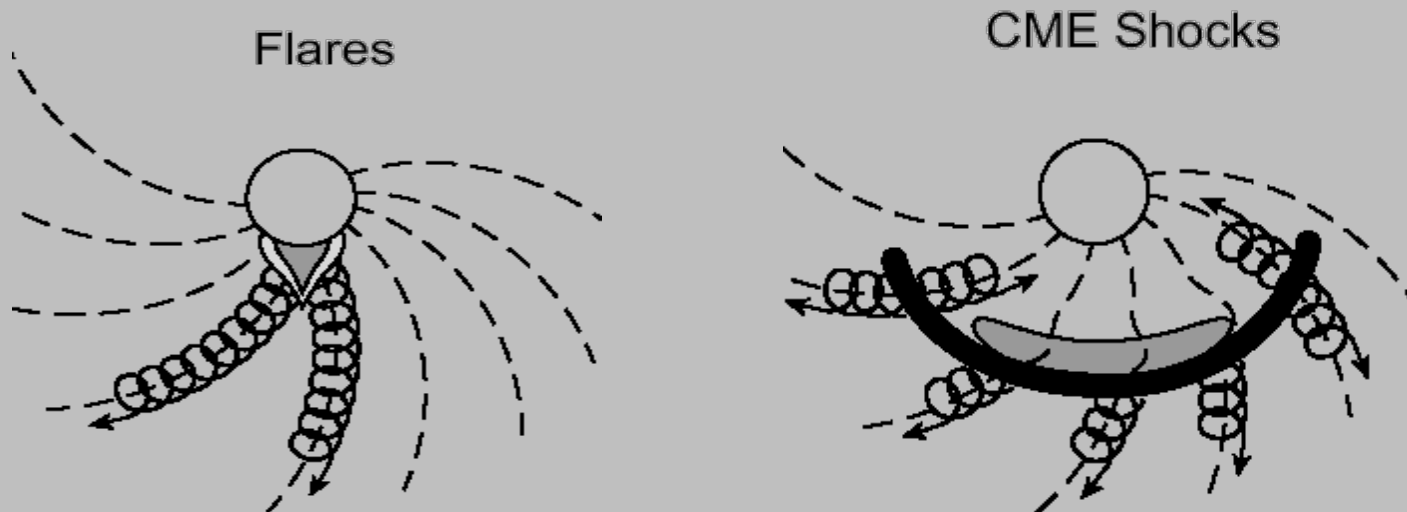


## Raggi Cosmici Solari - Solar Particle Event

Oltre alle emissioni di materiale coronale CME, in occasione dei brillamenti possono essere emessi flussi di particelle con energie maggiori (MeV)

Queste particelle raggiungono la Terra in pochi minuti preannunciando la perturbazione che arriverà successivamente (24-36 h dopo)

Il monitoraggio di tali flussi di particelle viene effettuato da satelliti nello spazio circumterrestre. Fortunatamente il campo magnetico della Terra ci scherma anche da tali flussi di particelle altamente ionizzanti e pericolose per la salute dell'uomo.



# Raggi Cosmici Galattici

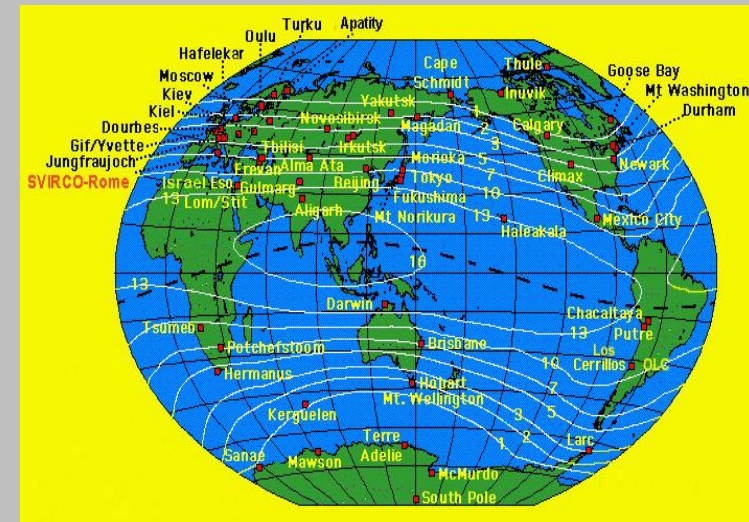
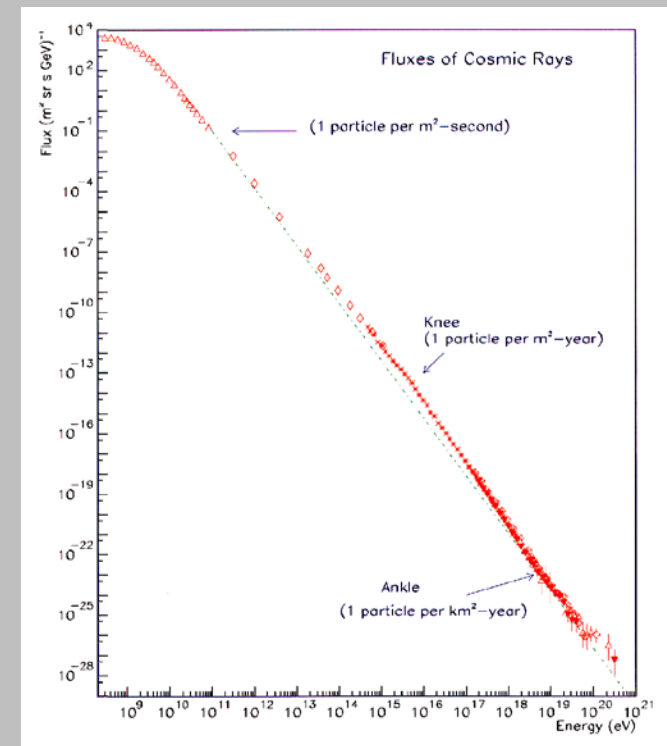
Tra i flussi di particelle che pervadono lo spazio interplanetario quelle di maggiore energia provengono da varie sorgenti esterne (supernove, nuclei galattici, ecc..)

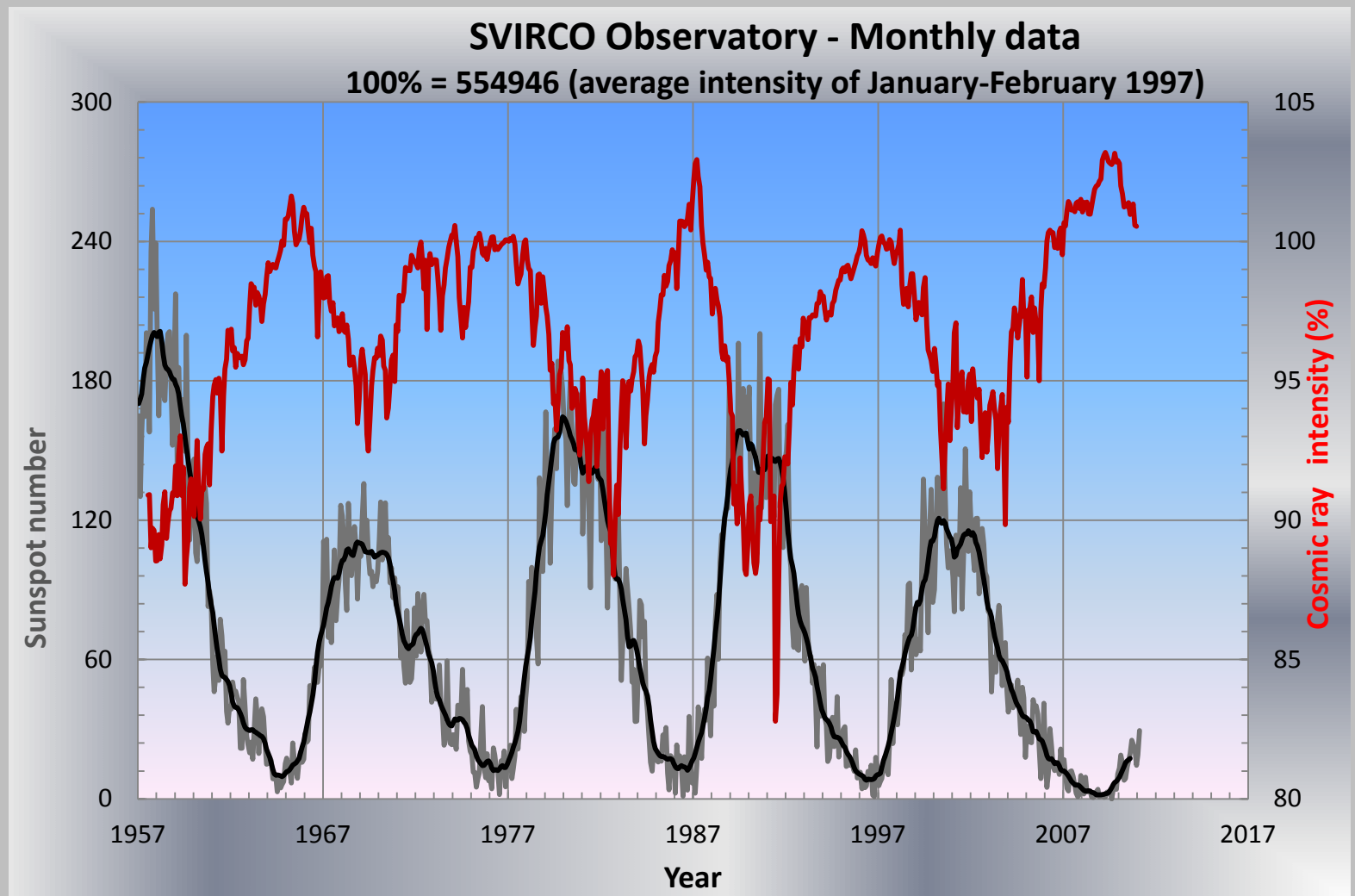
La componente primaria galattica è composta sostanzialmente da protoni con energie fino  $10^{20}$  eV ma il loro flusso è estremamente basso per le alte energie.

Il flusso che arriva in prossimità della Terra è isotropo al 97% in condizioni solari quiete.

La magnetosfera terrestre ci scherma dall'ingresso dei Raggi Cosmici. Tale schermo è funzione della latitudine. Alle nostre latitudini (Roma) è inibito l'ingresso di particelle con energie inferiori a 6 GeV.

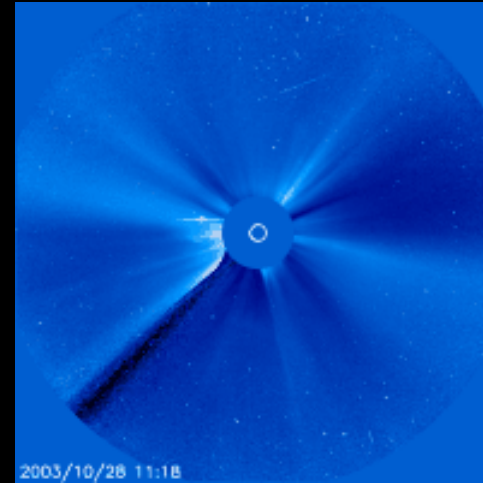
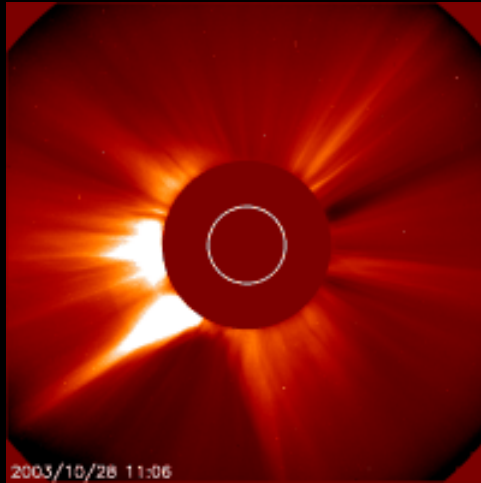
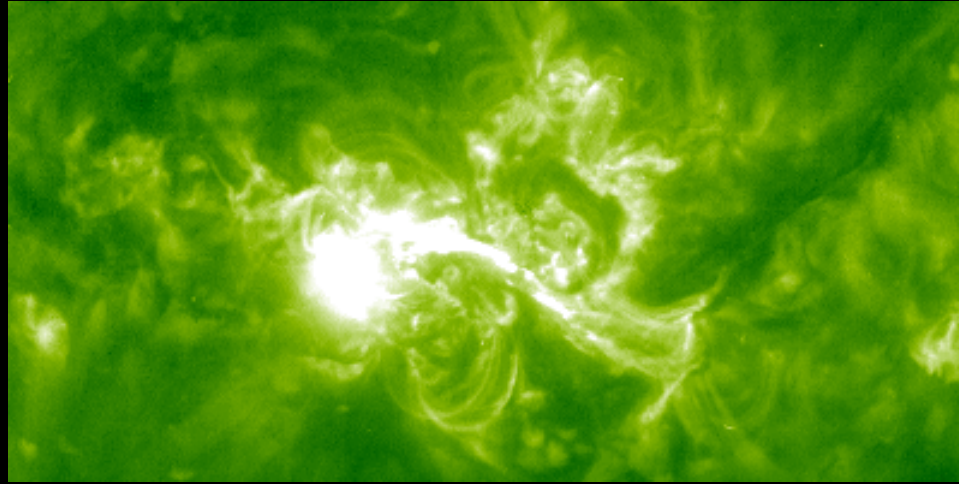
La componente primaria che penetra nell'atmosfera genera uno sciame di particelle che costituiscono le componenti secondarie dei Raggi Cosmici.





Il flusso dei Raggi Cosmici è altamente anticorrelato all'attività solare rappresentata dal numero di macchie.

Per questo motivo lo studio delle variazioni del flusso dei Raggi Cosmici fornisce in tempo reale importanti informazioni sulle perturbazioni solari in transito nello spazio interplanetario.

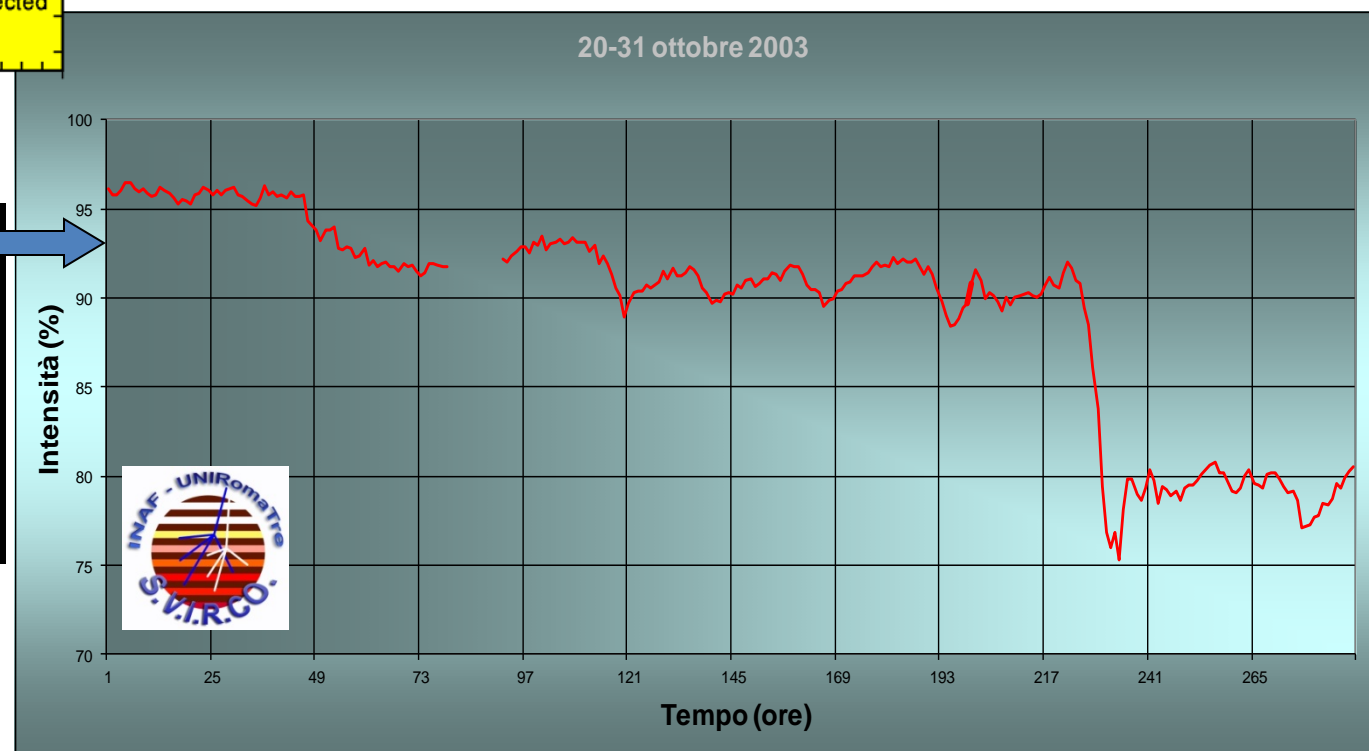
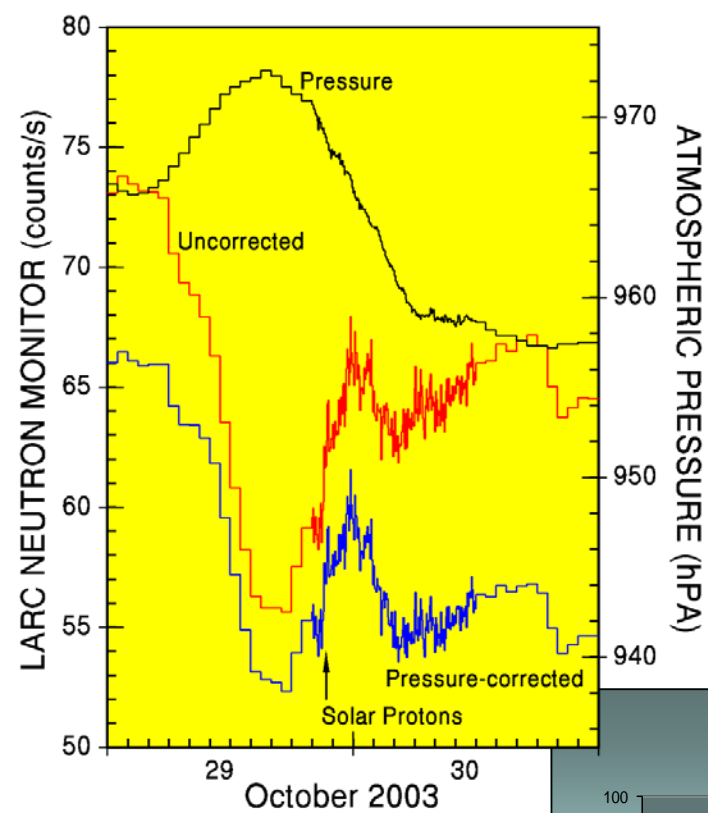


La tempesta solare del 28 ottobre 2003 osservata da vari strumenti a bordo della sonda SoHO.

Il brillamento di classe X 17,2 ha prodotto un intenso flusso di protoni di alta energia e una veloce Emissione di Plasma Coronale che hanno investito la Terra il 29 ottobre.

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/>





# Grandezze Osservabili per la Meteorologia Spaziale

Grandezza	Fenomeno	Dove si misura
UV Solare - SOHO	Strutture Solari	Punto di Lagrange L1
UV Solare - Stereo	Strutture Solari	Orbita Terrestre
H-alfa Solare	Brillamenti	Terra
X - soft	Brillamenti	Geostazionario
Protoni Solari	Brillamenti e CME	Geostazionario
Vento Solare	Espansione Corona	L1
Precipitazione Particelle	Aurore Polari	Satelliti Polari
Raggi Cosmici Galattici	Attività Solare	Neutron Monitors a Terra

# Orbita della sonda SOHO nel punto di Lagrange L1

