



Università "Primo Levi"



23 Marzo 2018

Il Sole-proprietà fisiche

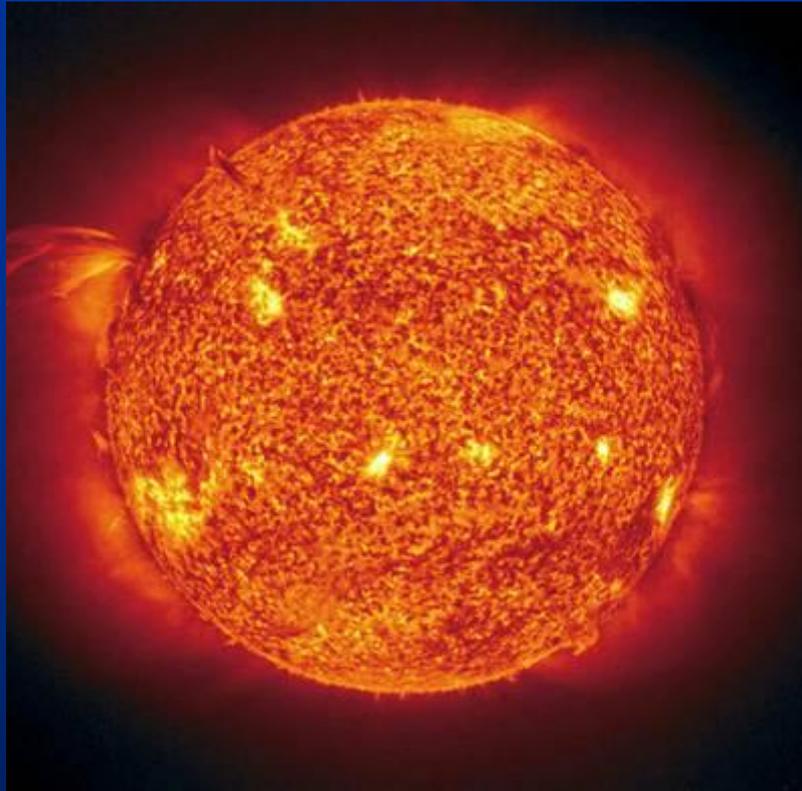
Bedogni Roberto INAF Osservatorio Astronomico di Bologna

<http://davide2.bo.astro.it/~bedogni/primolevi/>

email: roberto.bedogni@oabo.inaf.it oppure

robob5206@gmail.com

Il Sole



Il Sole visto
dalla sonda
SOHO

Tra la moltitudine delle stelle che popolano l'Universo, ce n'è una che ha per noi un significato tutto particolare: **il Sole**.

Il Sole è una stella di tipo medio come tante altre, né troppo piccola né troppo grande.

Il Sole

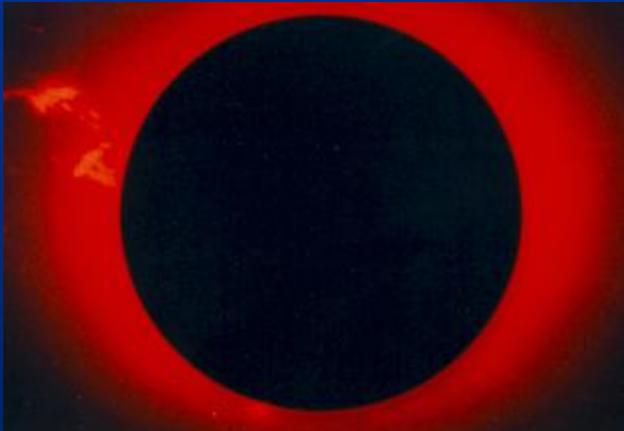


La sua distanza è di 149 597 970 km.

Questa distanza definisce l'**Unità Astronomica**. Intorno a esso orbitano la Terra, i pianeti e una moltitudine di altri corpi, dagli asteroidi ai meteoriti, dalle comete ai grani di polvere cosmica. E' una stella, "nana gialla", di tipo spettrale G2

I parametri fisici del Sole

Il Sole nella
riga H α

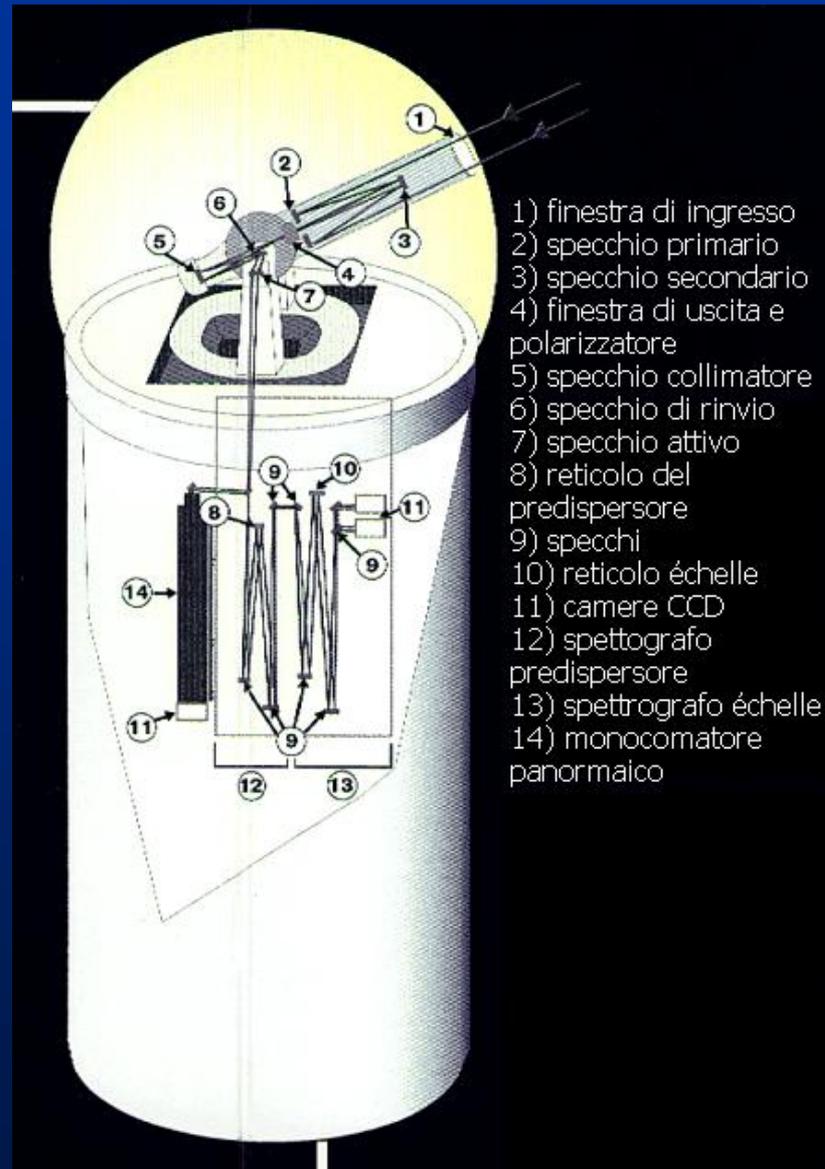


Distanza (km)	149 597 970 km ± 2
Massa (kg)	$1,989 \times 10^{30}$
Massa	332 830 M_{T}
Raggio equatoriale (km)	695 000
Raggio equatoriale	109 R_{T}
Periodo di rotazione (giorni)	25-36
Densità media (kg/m ³)	1410
Velocità di fuga (km/sec)	618
Accelerazione di gravità (m/sec ²)	274
Temperatura superficiale (°K)	5780
Luminosità (J/s)	$3,86 \times 10^{26}$
Magnitudine visuale	-26,8
Magnitudine assoluta bol.	4,74
Età (miliardi di anni)	4,5

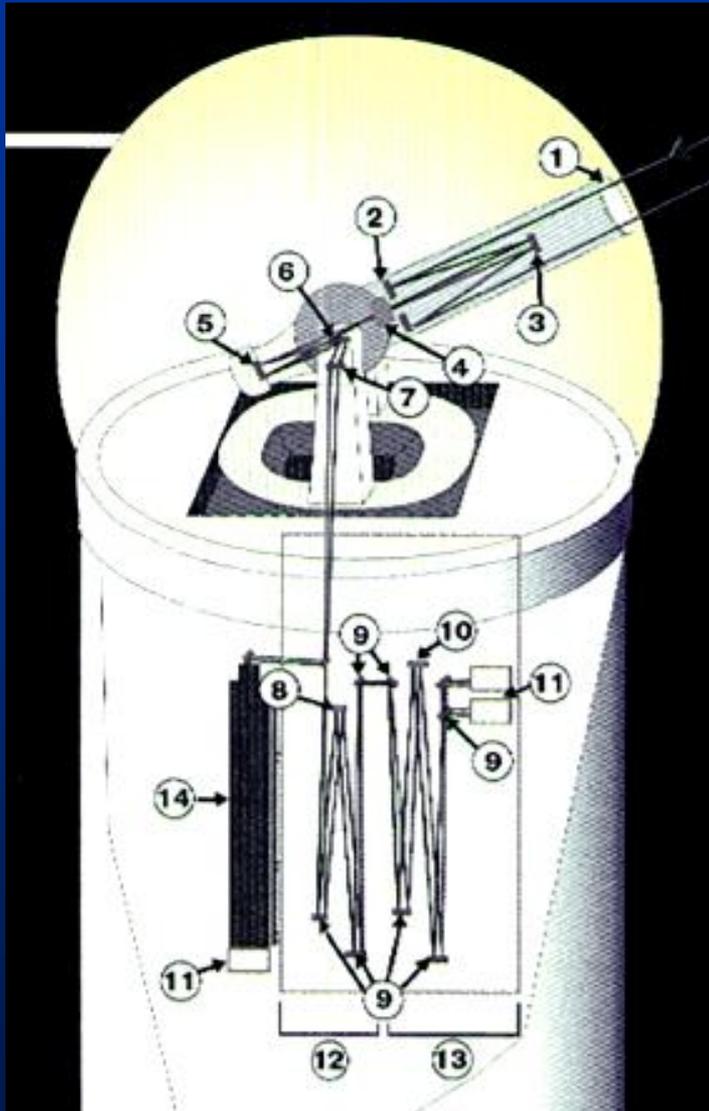
Le "torri solari" il telescopio THEMIS (Canarie)



Diametro=90 cm
Fuoco=3,15 m



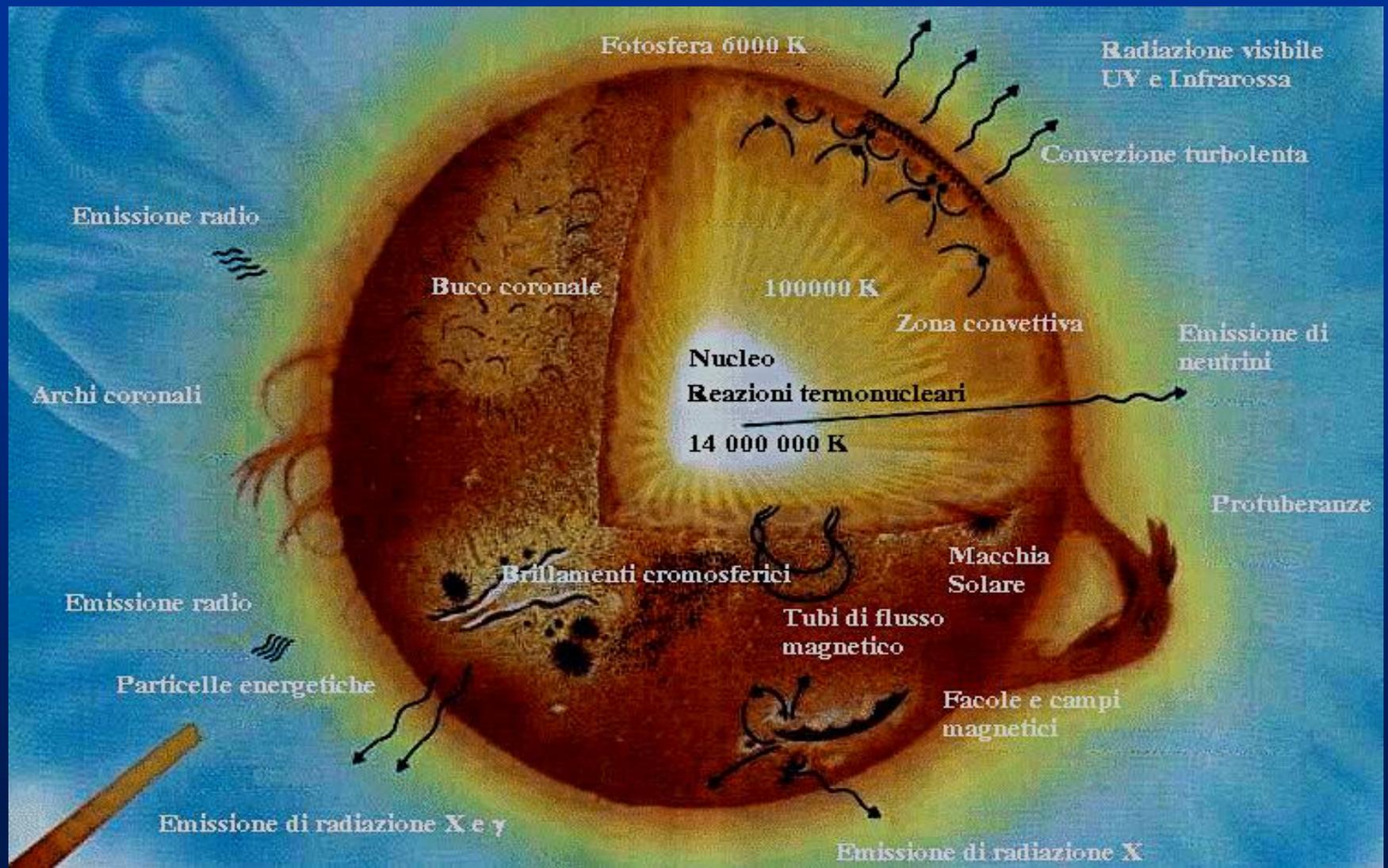
Schema del telescopio THEMIS (Canarie)



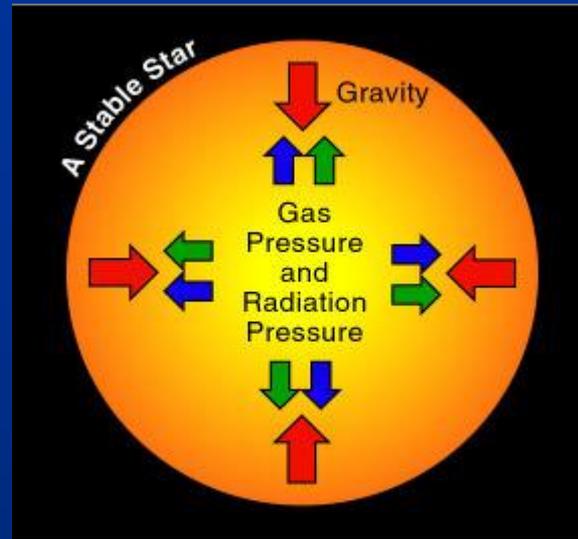
- 1) Finestra di ingresso
- 2) Specchio primario
- 3) Specchio secondario
- 4) Finestra di uscita e polarizzatore
- 5) Specchio collimatore
- 6) Specchio di rinvio
- 7) Specchio attivo
- 8) Reticolo del predispersore
- 9) Specchi
- 10) Reticolo èchelle
- 11) Camera CCD
- 12) Spettrografo predispersore
- 13) Spettrografo èchelle
- 14) Monocromatore panoramico

Il Sole nucleo-struttura interna e produzione energia

Il Sole - struttura interna ed atmosfera



Fonti di energia stellare - gravitazionale



Calcolo semplificato del **tempo di contrazione gravitazionale di Kelvin Helmholtz** T_{K-H} ci dà un'idea del "budget" di energia a disposizione di una massa di gas pari a quella del Sole.

$$\text{Per il Sole } T_{K-H} = G m_{\odot}^2 / R_{\odot} L \sim 10^7 \text{ anni}$$

Può essere sufficiente a spiegare la produzione di energia almeno per 4,5 miliardi di anni ?

NO !

Fonti di energia stellare - gravitazionale

Calcolo semplificato del **tempo di contrazione gravitazionale di Kelvin Helmholtz** T_{K-H} ci dà un'idea del "budget" di energia a disposizione di una massa di gas pari a quella del Sole. Può essere sufficiente a spiegare la produzione di energia almeno per 4,5 miliardi di anni ?

$$\rho \approx \bar{\rho} \equiv \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} \quad \text{e} \quad M_r \approx \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$$



$$U_g \approx -\frac{16\pi^2}{15} G \bar{\rho} R^5 \approx -\frac{3}{5} \frac{GM^2}{R}$$
$$E \approx -\frac{3}{10} \frac{GM^2}{R}$$

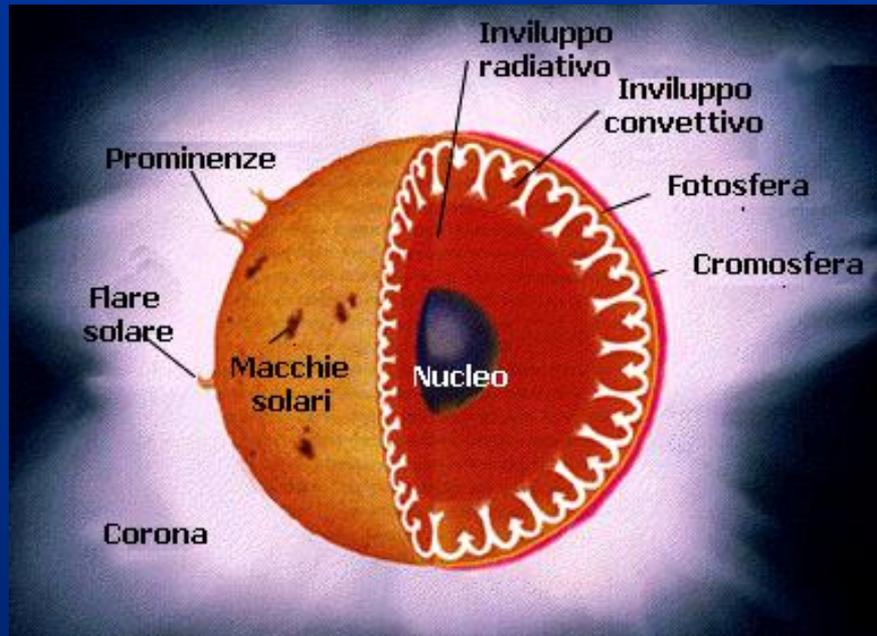
Per il Sole

$$\Delta E_g = -(E_f - E_i) \approx -E_f \approx \frac{3}{10} \frac{GM_\oplus^2}{R_\oplus} \cong 1.1 \times 10^{48} \text{ erg}$$

$$T_{K-H} = \frac{\Delta E_g}{L_\oplus} \cong \frac{1.1 \times 10^{48}}{3.8 \times 10^{33}} \approx 10^7 \text{ anni}$$

NO !

Il Sole una fucina nucleare



Le **regioni interne del Sole** sono costituite da un gas che può considerarsi perfetto, in quanto costituito da protoni ed elettroni liberi.

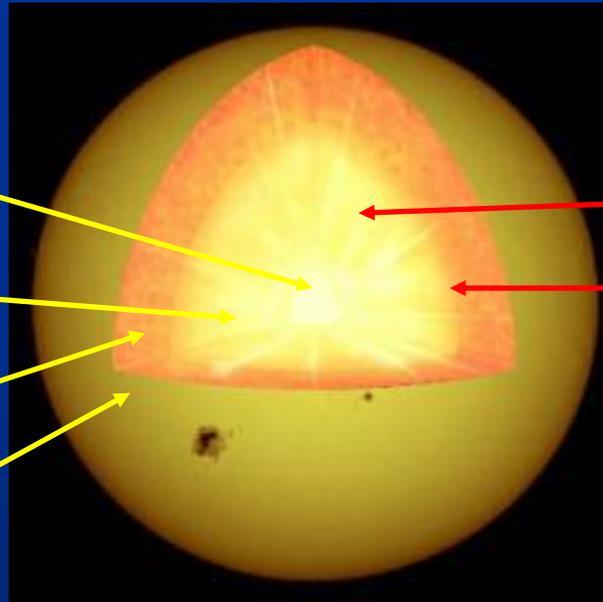
Per quanto riguarda **la struttura interna del Sole** si distinguono:

- **un nucleo centrale** a temperatura di circa $10\,000\,000^\circ\text{K}$
- **un involucpo radiativo** sopra il nucleo
- **uno strato di separazione** tra i due involuppi
- **un involucpo convettivo** sotto la fotosfera,

Le temperature sono decrescenti con la distanza dal centro fino a raggiungere il valore di quella superficiale 5780°K .

Il Sole una fucina nucleare

- 1) Nucleo
- 2) Involuppo radiativo
- 3) Involuppo convettivo
- 4) Fotosfera



Irraggiamento

convezione

Nel nucleo avviene la produzione dell'energia solare, attraverso processi di fusione nucleare.

L'energia prodotta nel nucleo viene trasportata verso l'esterno attraverso i meccanismi dell'irraggiamento (l'energia passa di strato in strato senza che vi sia trasporto di materia) fino a regioni poco al di sotto della fotosfera.

Da qui il meccanismo di trasporto è per convezione (l'energia è trasportata verso l'esterno da colonne ascensionali di materiale, che portano verso l'alto bolle più calde).

La produzione di energia nucleare

La **fusione nucleare** è il processo attraverso il quale si producono nuclei di elementi più pesanti a partire dalla fusione di nuclei di elementi più leggeri.

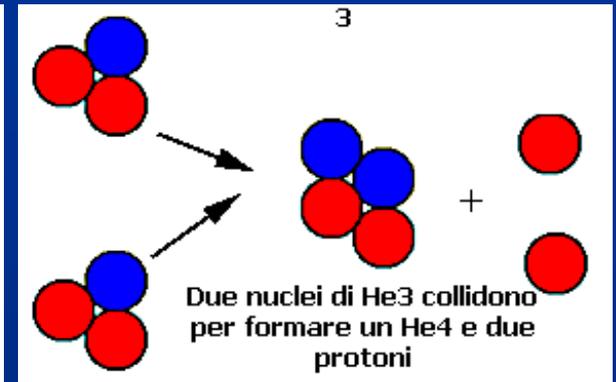
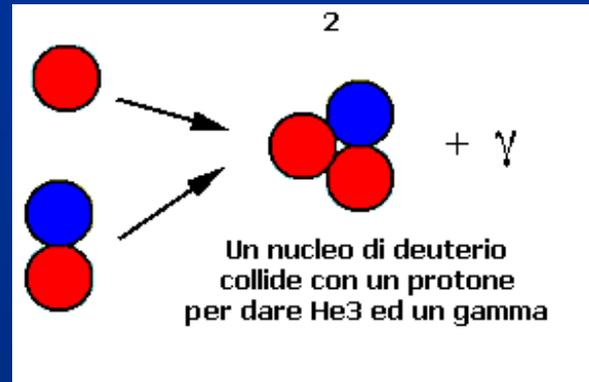
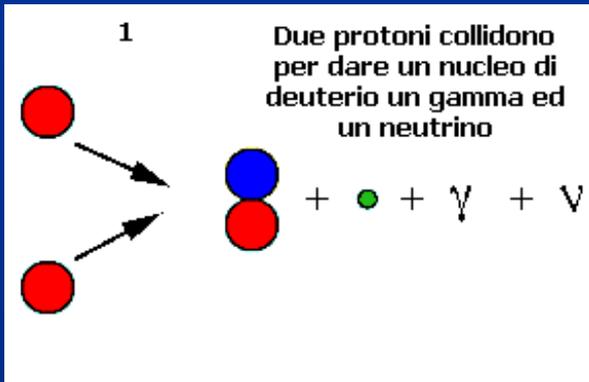
Nei processi di fusione nucleare (o anche, reazioni termonucleari) la massa del nuovo nucleo formato non è pari alla somma di quella dei nuclei atomici che hanno partecipato alla fusione, ma leggermente inferiore. È per tale difetto di massa che, in base alla legge di Einstein:

$$E = \Delta m \times c^2$$

si sviluppa l'energia **E** a processo avvenuto.

Nella formula **Δm** è il difetto di massa e **c** è la velocità della luce nel vuoto (circa 300000 km/s).

Il ciclo protone-protone



Affinché le reazioni termonucleari possano avvenire, è necessario che venga vinta la **forza di repulsione elettrostatica tra cariche dello stesso segno, quali sono i protoni del nucleo atomico**, e che, avvicinatissimi i protoni a sufficienza, operi la cosiddetta **interazione forte**, che li porterà, con una certa probabilità, ad unirsi per formare il prodotto finale.

Alla **temperatura di oltre 10.000.000 di gradi**, la temperatura centrale del Sole, tutto questo può accadere per quanto riguarda **la fusione dell'Idrogeno**, l'elemento più abbondante e più leggero.

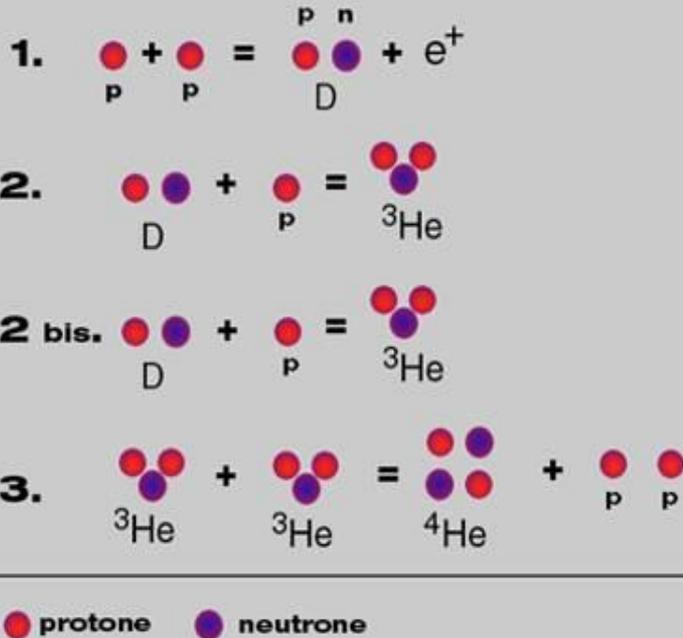
Il ciclo protone-protone

Nell'interno del Sole avviene la fusione di quattro nuclei di Idrogeno (protoni) in un nucleo di Elio (reazione protone-protone).

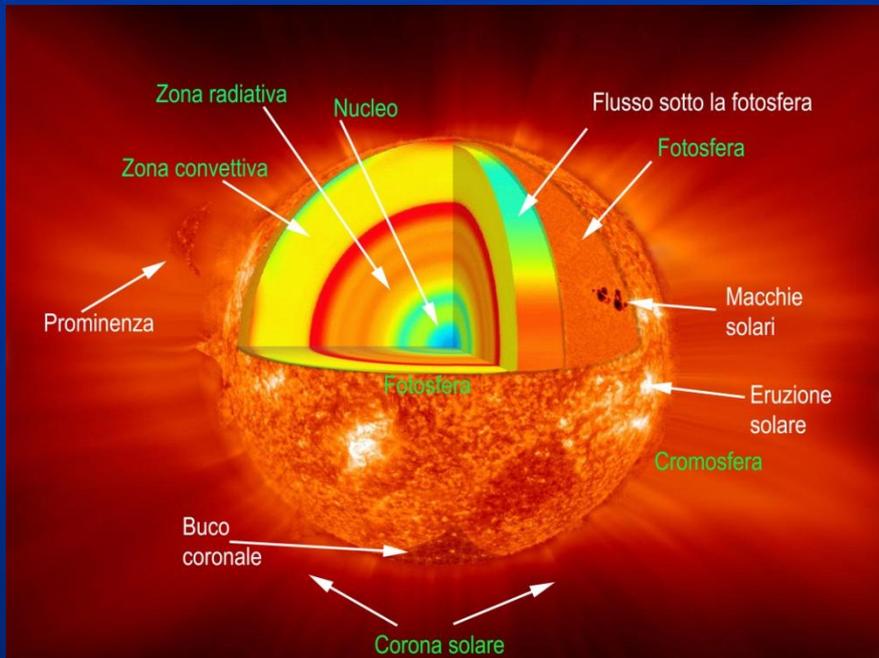
Il nucleo di Elio ha un **difetto di massa di 0,007** rispetto alla somma delle masse dei quattro nuclei di Idrogeno.

Su questa base è facile calcolare, dalla legge di Einstein, che, **se solo un decimo della massa di Idrogeno** contenuta nel Sole partecipa alle reazioni termonucleari per formare Elio, **si sviluppa un'energia di $9,2 \times 10^{43}$ Joule**, la quale, consumata al tasso di $3,86 \times 10^{26}$ J/s (che rappresenta la luminosità solare), risulta sufficiente per circa 7,5 miliardi di anni, ben oltre l'età della Terra.

Fusione dell'elio Ciclo protone - neutrone



Struttura interna le dimensioni



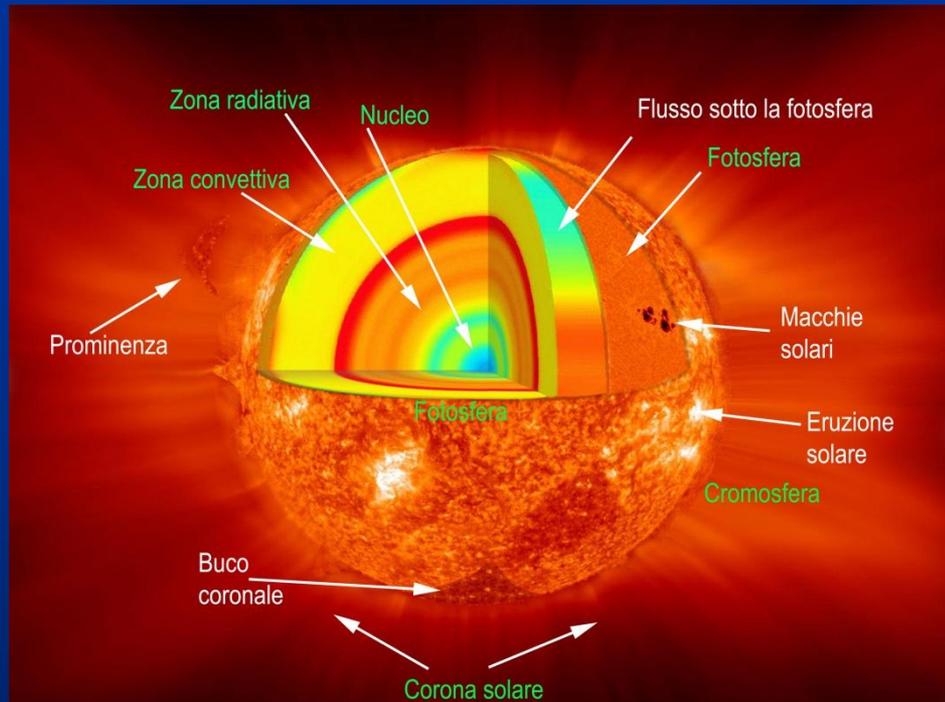
$$R_{\odot} \sim 700\,000 \text{ km}$$

Nucleo- si estende per 150 000 km con temperature di 15 000 000° K e densità pari a $\rho=150 \text{ g/cm}^3$

Involuppo radiativo- la densità scende da $\rho=20 \text{ g/cm}^3$ (la densità dell'oro) a soli $\rho=0,2 \text{ g/cm}^3$ (< della densità dell'acqua) mentre la temperatura cala da 7 000 000 °K a 2 000 000 °K su di una estensione pari a 500 000 km. Il trasporto di energia avviene per irraggiamento

Involuppo convettivo- è subito sotto la fotosfera il trasporto di energia avviene per convezione e si estende per circa 100000 km con temperature che scendono da 2 000 000 °K a quelle fotosferiche

Superficie ed atmosfera le dimensioni



$$R_{\odot} \sim 700\,000 \text{ km}$$

Fotosfera – ha temperature di circa 5780 °K e si estende per circa 700 km sono presenti le macchie solari

Cromosfera -si estende per 15 000 km ed è la vera e propria atmosfera del Sole con spicole ed eruzioni cromosferiche (protuberanze)

Corona – la parte più esterna sede di elevate temperatura ($T \sim 10^6$ °K) ma basse densità si estende per milioni di km e dà origine al vento solare (plasma)

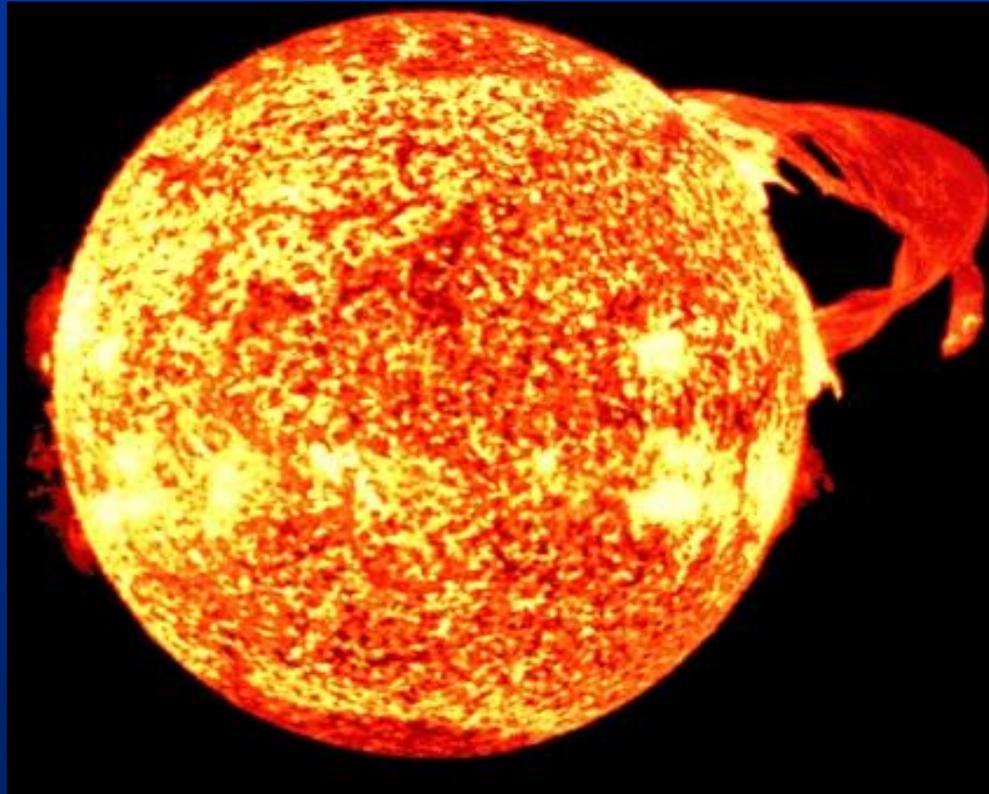
Struttura interna ed atmosfera del Sole

Zone e meccanismi di trasporto dell'energia

Zona	R/R_{\odot}	Temperatura T (°K)	Densità ρ (g/cm ³)	Trasporto di energia
Nucleo	0,0 – 0,25	$\sim 15\,000\,000 - 8\,000\,000$	$\sim 160 - 10$	Radiativo
Inviluppo Radiativo	$\sim 0,25 - 0,85$	$\sim 8\,000\,000 - 500\,000$	$\sim 10 - 0,01$	Radiativo
Inviluppo Convettivo	$\sim 0,85 - 0,99$	$\sim 500\,000 - 10\,000$	$< 0,01$	Convettivo
Fotosfera	1	5700	10^{-7}	
Cromosfera	1-1,02			
Corona solare	$> 1,02$	1 000 000		

Il Sole-fotosfera e macchie solari

La fotosfera



Ciò che noi vediamo è soltanto lo strato superficiale, **la fotosfera**, che separa le regioni interne dall'atmosfera solare.

Essa appare formata da una moltitudine di granuli brillanti, separati da spazi più scuri; a questa struttura si dà il nome di **granulazione**. La temperatura media della fotosfera è di 5780 °K

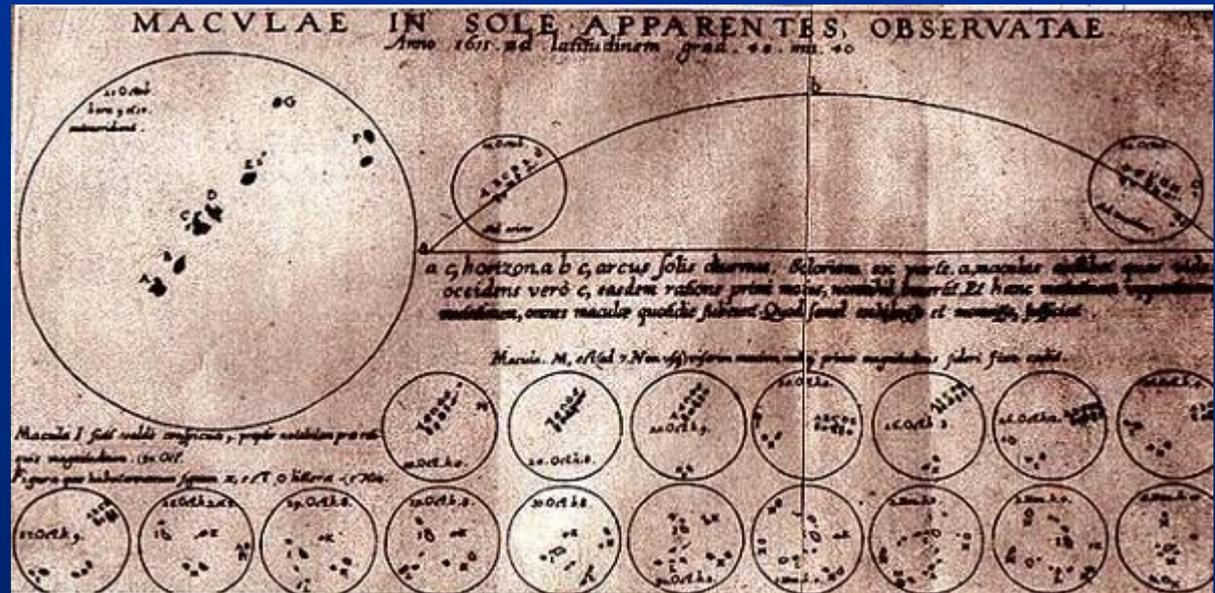
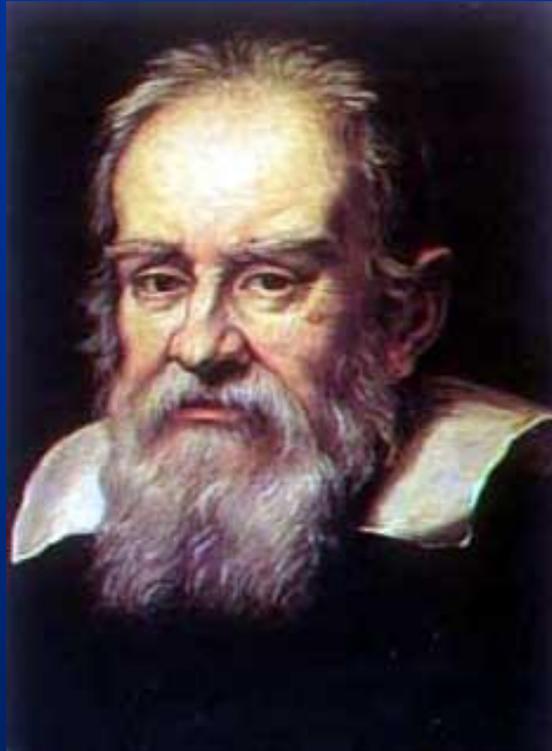
La fotosfera



La **dimensioni dei granuli** varia da 200 a 1800 km. Nei granuli la materia risale e nelle zone circostanti, dopo essersi raffreddata, discende. La velocità di questi moti varia da 1 a 2 km/sec. La fotosfera solare è spessa circa 700 km.

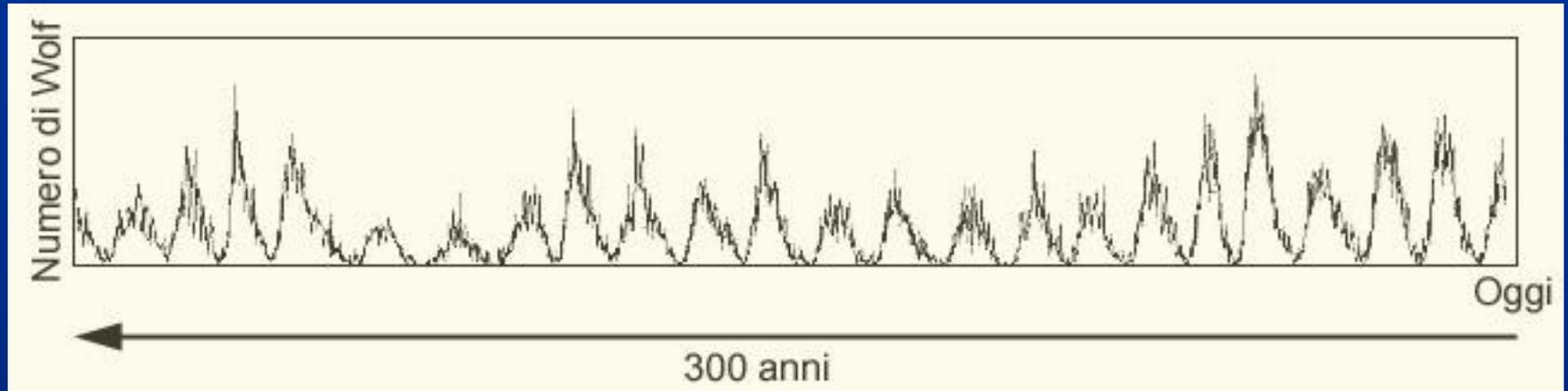
Per questo motivo si pensa che la granulazione sia la manifestazione superficiale della **zona convettiva** sotto la fotosfera solare. **Ciascun granulo *esiste* in media per un tempo che va da 5 a 10 minuti,** dopo il quale esso si decompone per cedere il posto ad un altro granulo.

Le macchie solari



Le prime osservazioni sono state eseguite in Cina già nel 28 A.C. Nel 1605 **Keplero**, senza l'uso del cannocchiale osservò un macchia nera sulla superficie del Sole che riteneva fosse il pianeta Mercurio. Ma si deve a **Galileo Galilei** nel 1610 la prima osservazione con il cannocchiale delle macchie solari

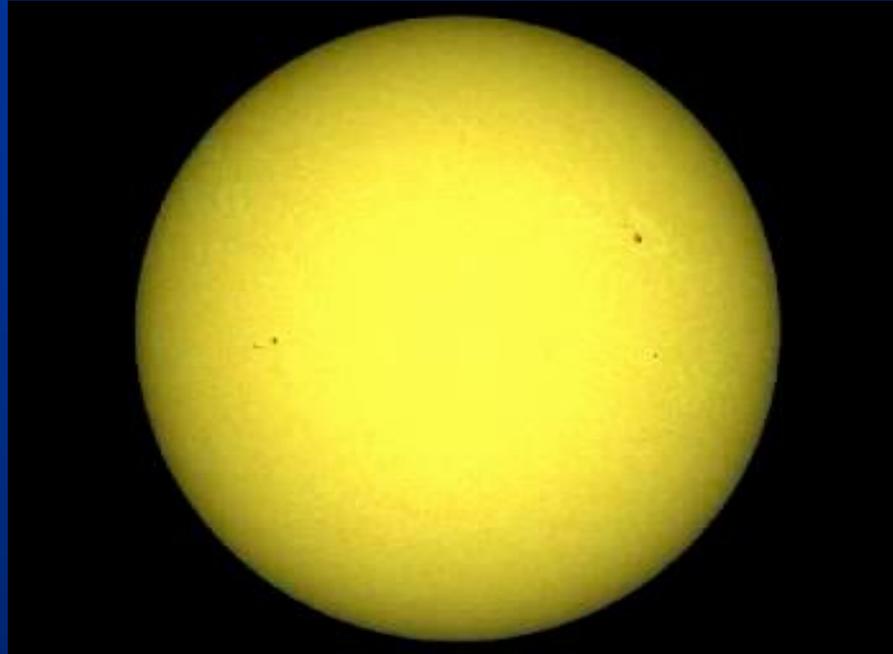
Le macchie solari



Una **macchia** compare inizialmente sul disco solare sotto forma di un minuscolo poro, appena percettibile. Nello spazio di pochi giorni i pori si sviluppano, proliferano, si allargano, si fondono insieme, dando luogo a gruppi di macchie, i quali in un tempo di circa un mese si dissolvono per far posto ad altri gruppi.

Il fenomeno della comparsa di macchie sulla fotosfera solare ha carattere di periodicità e prende il nome di **ciclo delle macchie** o **ciclo di Wolf**. Il ciclo passa da minimi (quasi totale assenza di macchie) a massimi con periodicità di circa 11,2 anni in media.

Le macchie solari e la rotazione del Sole



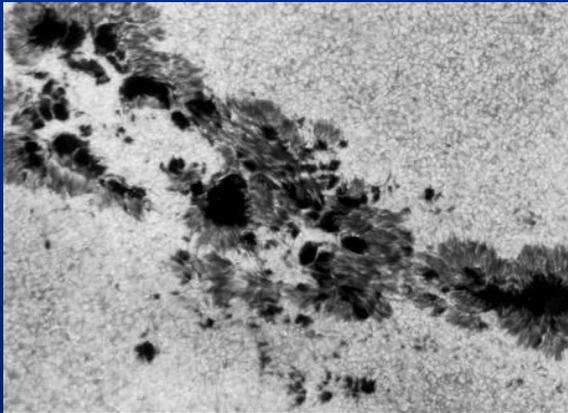
anim

Le macchie solari rappresentano dettagli ben identificabili sulla fotosfera, seguendo i quali nel tempo si ha l'evidenza della rotazione del Sole intorno ad un asse polare.

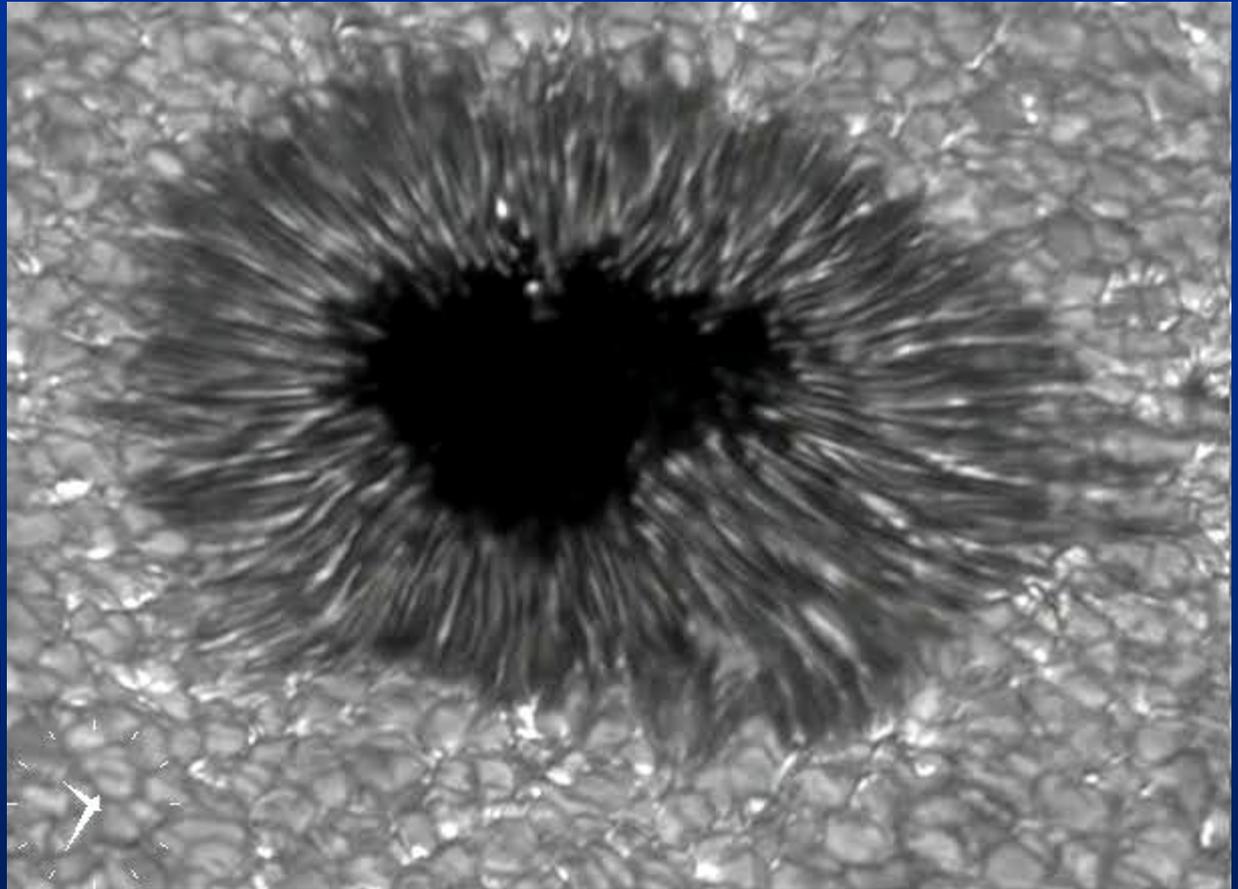
Il Sole non ruota come un corpo solido, ma il periodo di rotazione aumenta andando verso i poli (*rotazione differenziale*).

Esso è di circa 32 giorni in vicinanza dei poli e di circa 27 giorni in vicinanza dell'equatore solare.

Le macchie solari-ombra e penombra

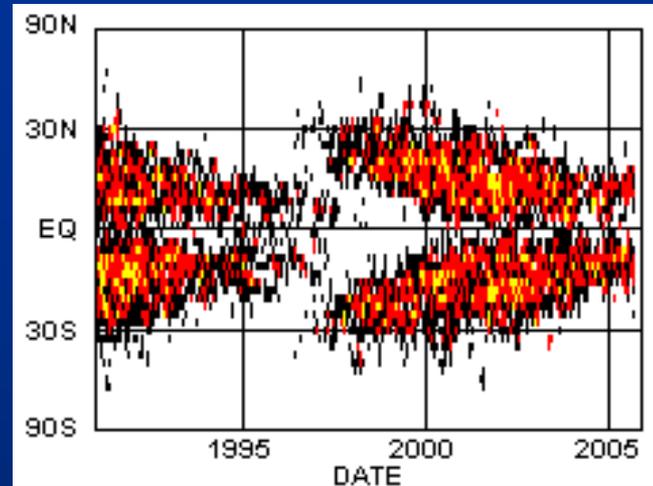
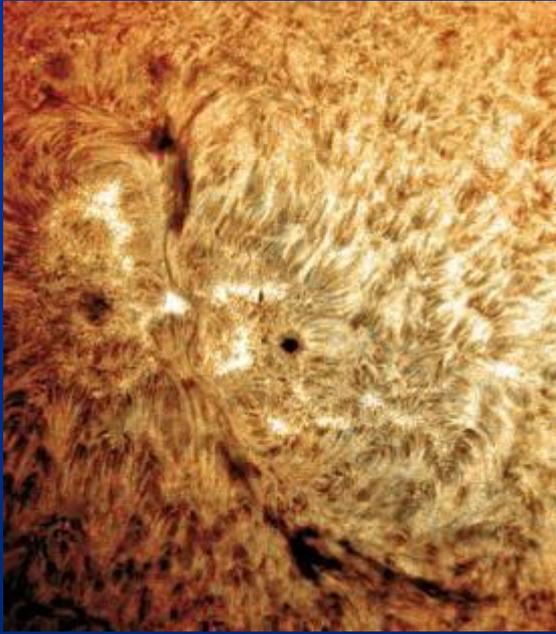


anim



Nei gruppi di macchie si distinguono una **macchia di testa** e una **macchia di coda**, nel senso della rotazione solare. Una tipica macchia solare è costituita da un'area grossolanamente circolare oscura, detta **ombra**, circondata da una zona grigiastra, detta **penombra**, con una caratteristica struttura radiale.

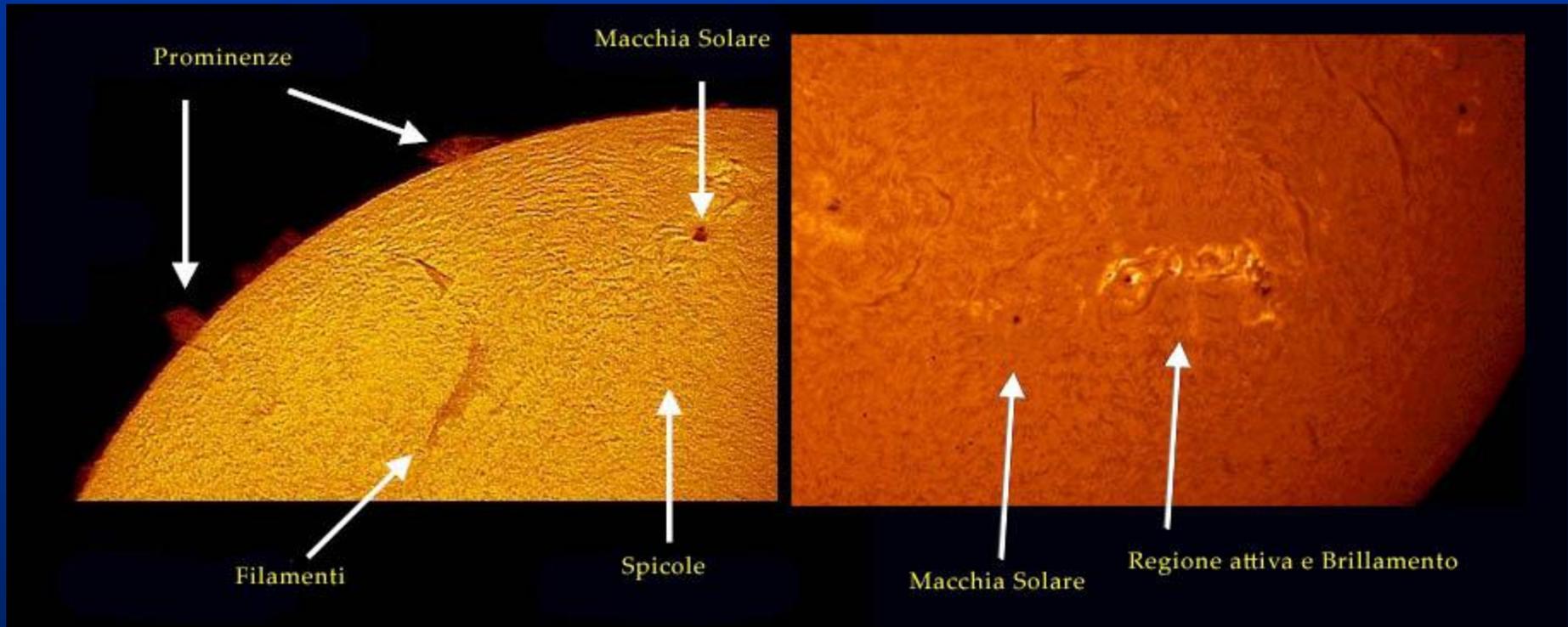
Le macchie solari - dimensioni



Le macchie più grandi possono avere un diametro di alcune decine di migliaia di chilometri. Una grande macchia solare può quindi contenere comodamente al suo interno la Terra.

Le osservazioni consentono di affermare che le macchie sono sedi di vere e proprie aree cicloniche, simili (ma su scala infinitamente più grande) a trombe d'aria, che succhiano il materiale dagli strati immediatamente inferiori della fotosfera e lo proiettano in alto con moto vorticoso, raffreddandolo.

Le facole

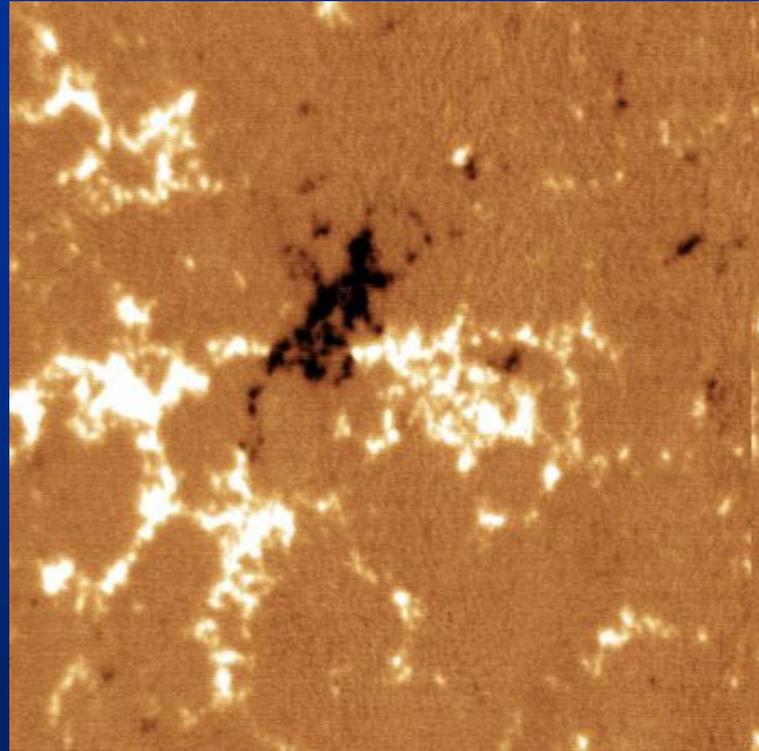


Le facole, al contrario della macchie, sono zone più brillanti della fotosfera circostante. Anche esse, come la macchie, sono associate a campi magnetici, concentrati però in regioni più limitate rispetto alle macchie.

Curiosamente, durante un ciclo solare, *le facole* in realtà vincono sulle macchie, tanto che al massimo di intensità del ciclo (quando è massima la presenza di macchie), il Sole ci appare leggermente più brillante - di circa lo 0,1% - di quando si trova al minimo, con le macchie praticamente assenti dal disco.

Le macchie solari le facole ed il campo magnetico

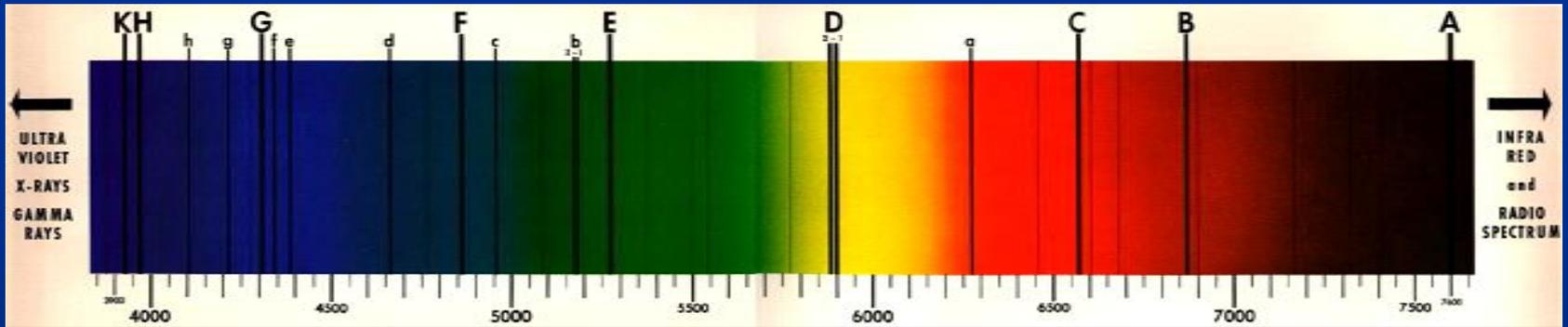
Immagine del 26/2/1993.
Le regioni scure (**macchie**)
sono regioni con **polarità
magnetica positiva** mentre
quelle più chiare (**facole**)
hanno **polarità magnetica
negativa**.



Un dato importante che riguarda le macchie è quello del **forte campo magnetico associato ad esse, fino a qualche migliaio di Gauss**. I campi magnetici delle macchie di testa e delle macchie di coda hanno sempre polarità magnetica opposta.

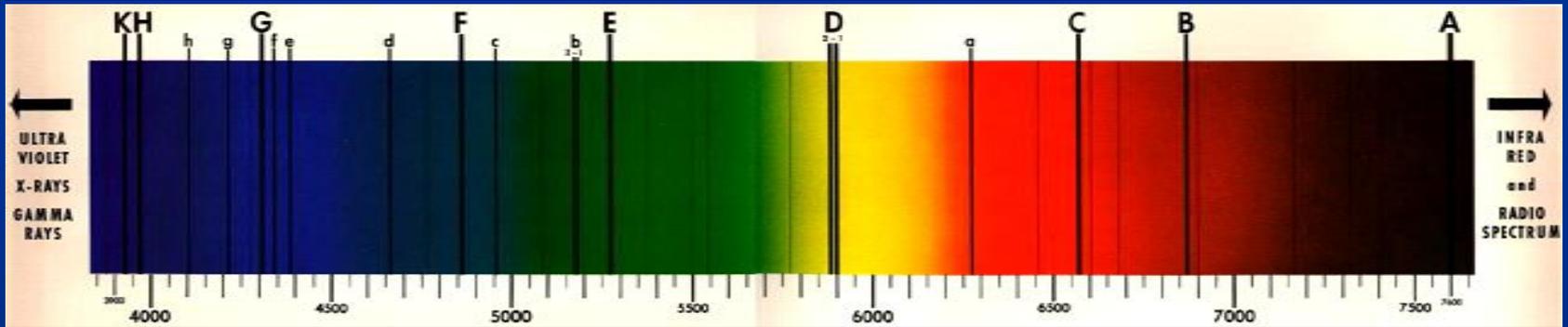
Il Sole-atmosfera, spettroscopia

Lo spettro della luce solare linee di assorbimento di Fraunhofer-tipo spettrale G2



Linee	Elemento	Lunghezza d'onda (Å)
A - (banda)	O ₂ (atm. Terra)	7594 - 7621
B - (banda)	O ₂ (atm. Terra)	6867 - 6884
C	H α (idrogeno)	6563
a - (banda)	O ₂ (atm. Terra)	6276 - 6287
D - 1, 2	Na (sodio)	5896 & 5890
E	Fe (ferro)	5270
b - 1, 2	Mg (magnesio)	5184 & 5173
c	Fe (ferro)	4958

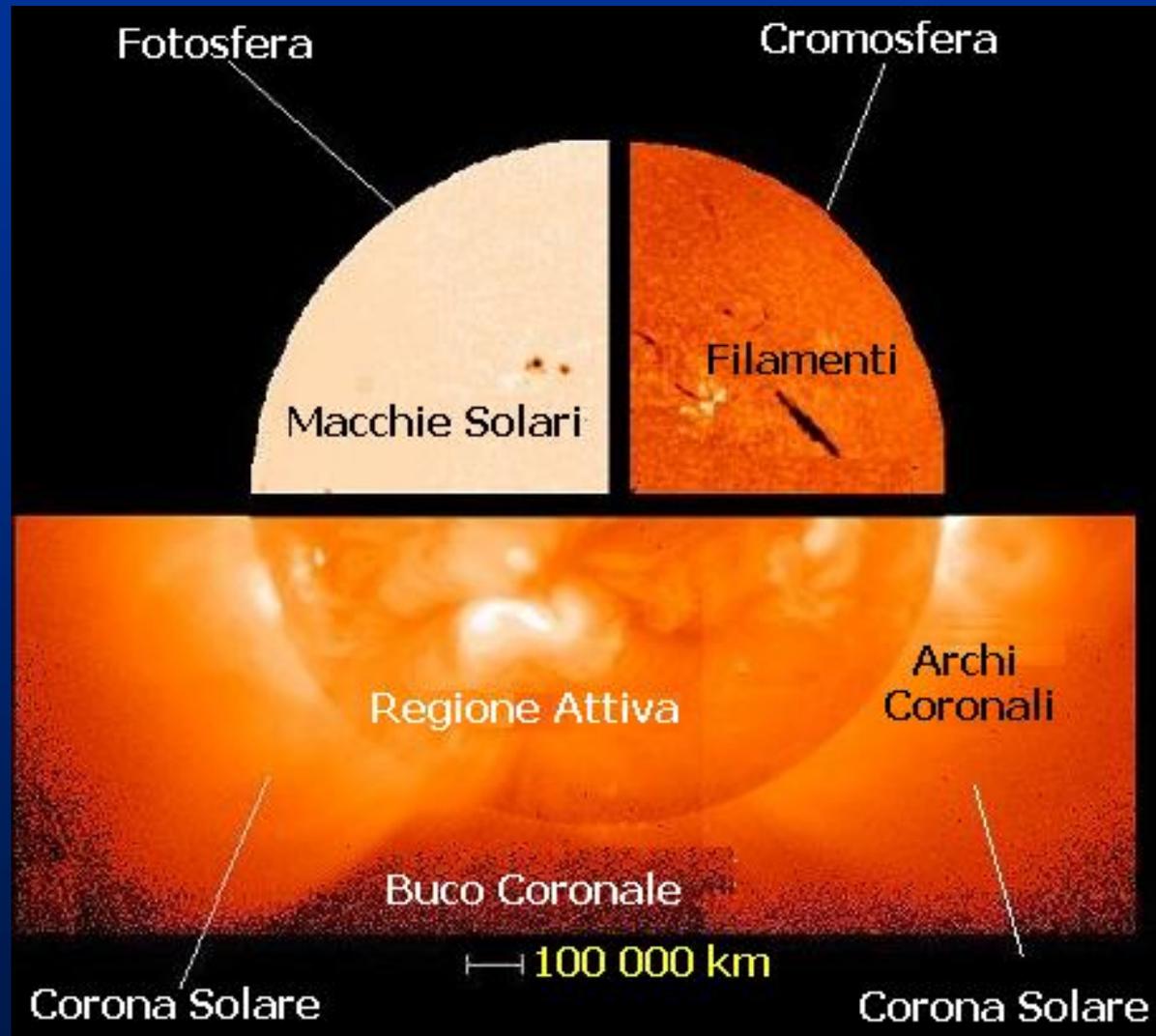
Lo spettro della luce solare linee di assorbimento di Fraunhofer-tipo spettrale G2



Linee	Elemento	Lunghezza d'onda (Å)
F	H β (idrogeno)	4861
d	Fe (ferro)	4668
e	Fe (ferro)	4384
f	H γ (idrogeno)	4340
G	Fe & Ca (ferro e calcio)	4308
g	Ca (calcio)	4227
h	H δ (idrogeno)	4102
H	Ca (calcio)	3968
K	Ca (calcio)	3934

Il Sole-atmosfera:cromosfera

L'atmosfera del Sole



L'atmosfera del Sole



Al di sopra della **fotosfera** i gas solari si estendono nello spazio per distanze anche di migliaia di chilometri, formando l'atmosfera solare, che diviene sempre più rarefatta e quindi più trasparente mano a mano che si procede verso l'esterno. L'atmosfera solare è distinta in due regioni:

la cromosfera

la corona solare

Strutture presenti sulla fotosfera e l'atmosfera del Sole

macchia solare è una regione della superficie del Sole (la fotosfera) che è distinta dall'ambiente circostante per una temperatura minore ed una forte attività magnetica.

facula (più comunemente facola) è una regione del Sole intensamente brillante che si osserva sulla fotosfera o sulla cromosfera prodotta da una concentrazione di linee magnetiche.

spicula (o spicola) è un getto dinamico di circa 500-1000 km di diametro sulla superficie del Sole che si muove alla velocità di circa 20-50 km/s dalla fotosfera. Possono raggiungere un'altezza di 15000 km. Furono scoperte nel 1877 da Padre Angelo Secchi dell'Osservatorio del Collegio Romano. La cromosfera è interamente composta di spicule.

anelli coronali costituiscono la struttura inferiore della corona solare e della zona di transizione delle stelle e quindi anche del nostro Sole. Sono la diretta conseguenza del flusso attorcigliato del magnetismo solare rispetto alla superficie del Sole.

brillamento solare o anche eruzione solare è una violenta eruzione di materia che esplode dalla fotosfera di una stella, sprigionando una energia equivalente a varie decine di milioni di bombe atomiche. È causato da un improvviso rilascio di energia in occasione di un fenomeno di riconnessione delle linee del campo magnetico.

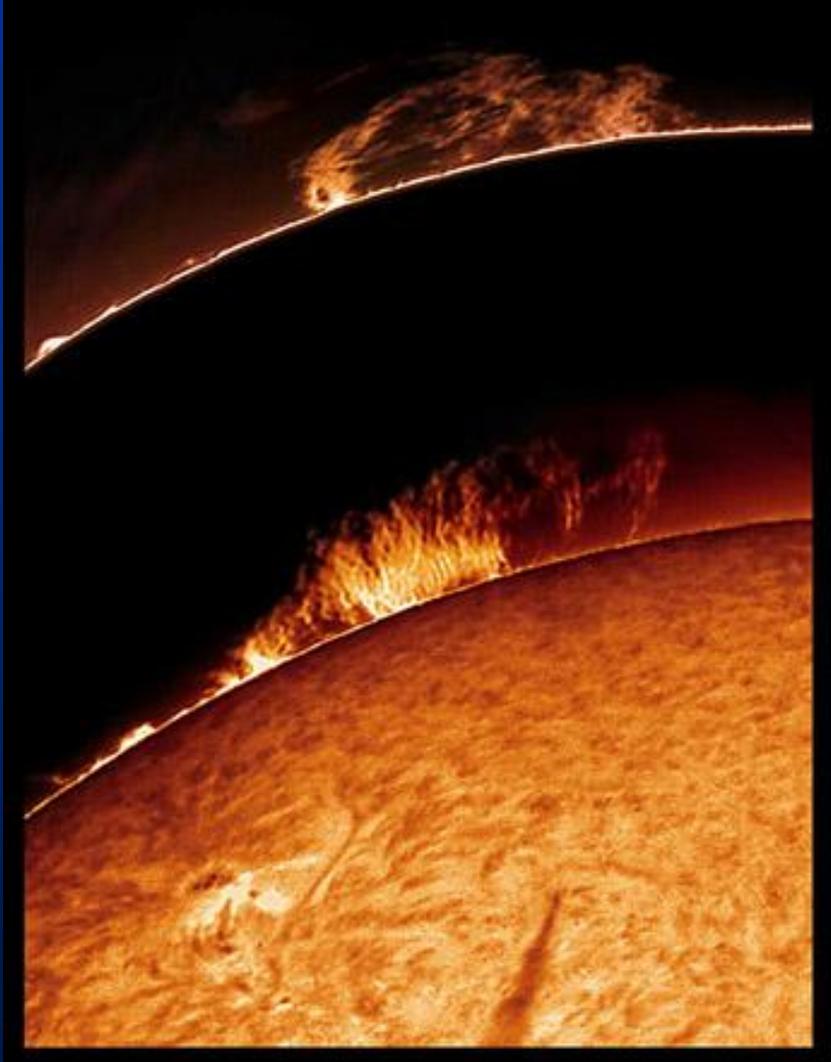
protuberanza solare è un enorme e luminoso getto di plasma solare che, partendo dalla cromosfera, si estende nella zona della corona solare allontanandosi per migliaia di chilometri, spinto dalle forze del campo magnetico del Sole. La composizione dei gas in esso contenuti è simile a quella della cromosfera.

La cromosfera



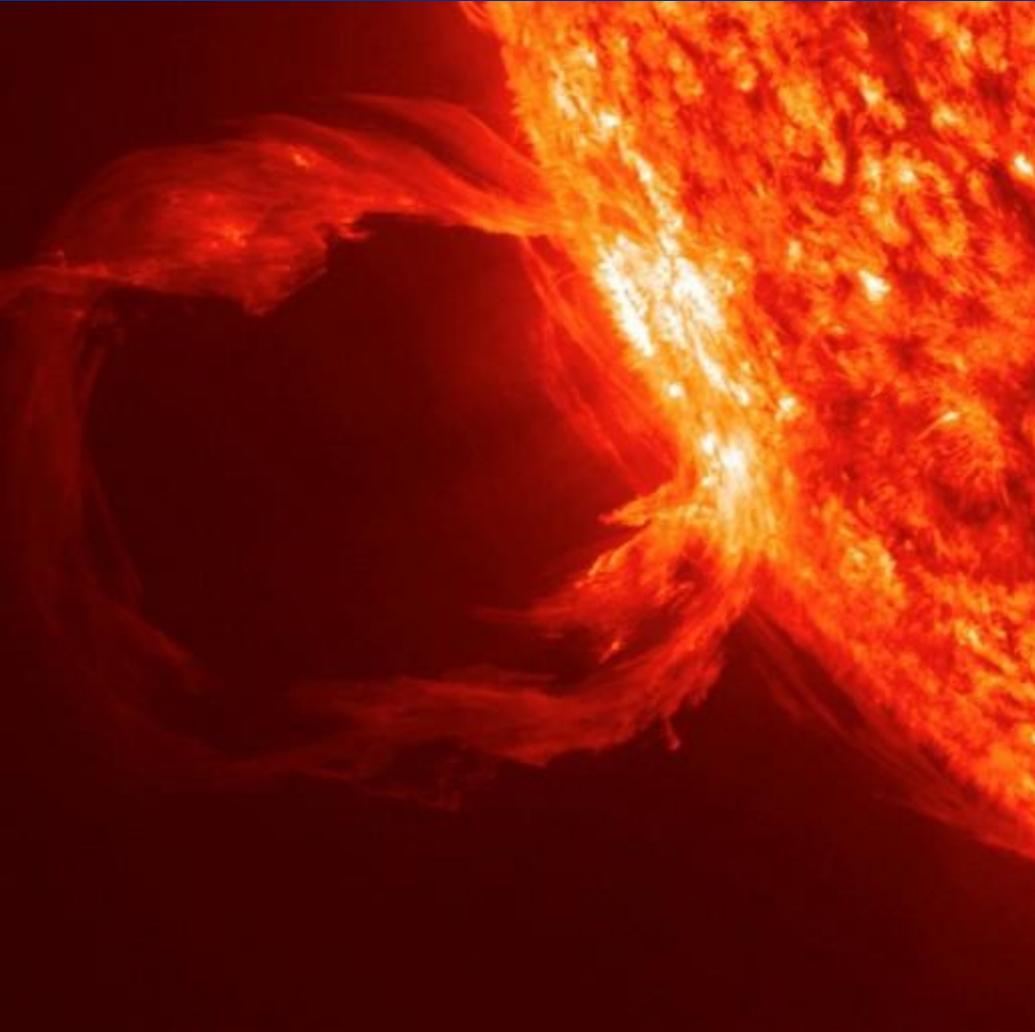
La **cromosfera (sfera di colore)**, così chiamata per il suo colore rosso vivo dovuta alla composizione prevalentemente di Idrogeno è lo strato gassoso che sovrasta immediatamente la fotosfera fino ad un'altezza di circa 15 000 km, visibile nel corso di un'eclisse di Sole o con strumenti particolari (coronografi) anche non nel corso di un'eclissi.

Le eruzioni cromosferiche



In corrispondenza alle zone fotosferiche dove appaiono macchie o gruppi di macchie, si verificano fenomeni che investono l'atmosfera solare. All'interno della cromosfera o più frequentemente nella ristretta regione fra le macchie in sviluppo e soprattutto in vicinanza della linea di separazione fra i forti campi magnetici di polarità opposta, vengono osservate le **eruzioni cromosferiche**, vere e proprie esplosioni di materia e di luce, accompagnate da emissione radio ed X.

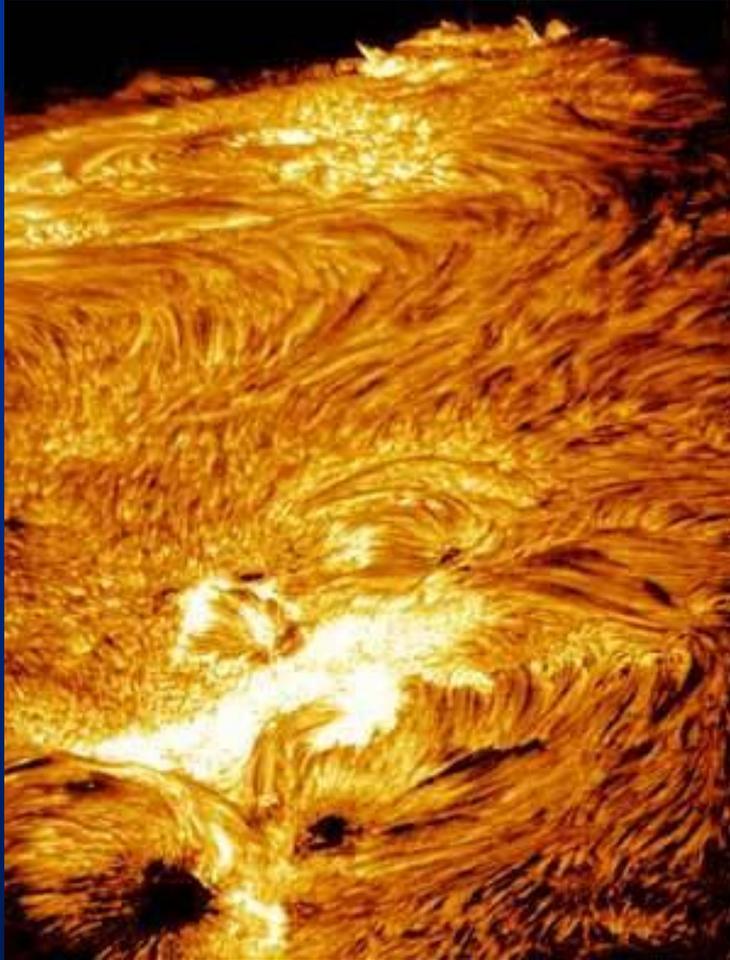
Cromosfera - protuberanze



Una **protuberanza solare** è un enorme e luminoso getto di plasma solare che, partendo dalla cromosfera, si estende nella zona della corona solare allontanandosi per migliaia di chilometri, spinto dalle forze del campo magnetico del Sole.

La composizione dei gas in esso contenuti è simile a quella della cromosfera.

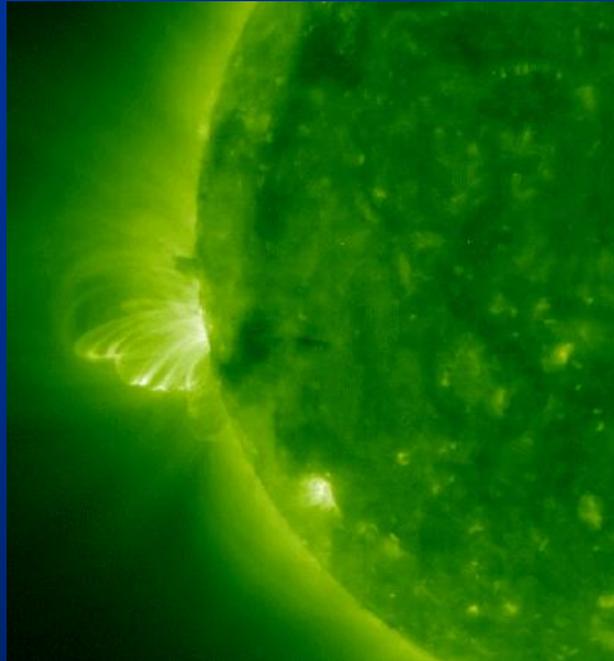
La cromosfera- le spicole



Osservata con forte ingrandimento al telescopio, la bassa cromosfera appare costituita da innumerevoli lingue di fuoco, dette spicole, ondeggianti, al punto da suggerire l'immagine di una prateria in fiamme, che si estendono verso l'alto per circa 7000 km.

La temperatura della cromosfera è, nella sua parte bassa, inferiore a quella della fotosfera; a partire da circa 500 km di quota comincia a salire, fino a raggiungere qualche milione di gradi nella parte più alta.

Le eruzioni cromosferiche

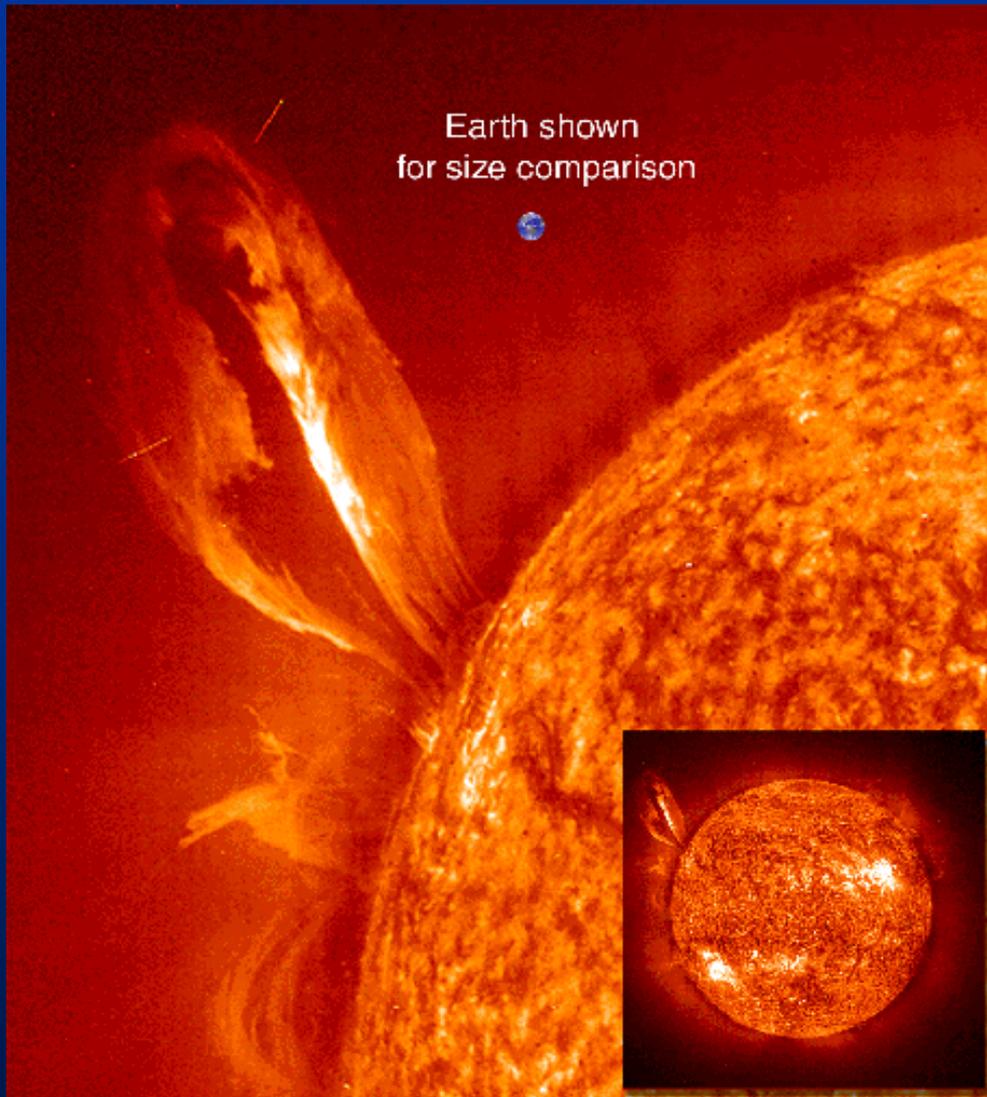


Sonda Soho mappa
Doppler nella Riga Ne VII
a 77,04 nm

All'improvviso e per qualche minuto o qualche ora, una parte di un'area attiva diventa luminosissima.

Riprese cinematografiche mostrano che un'eruzione provoca l'innesco di processi simili in regioni anche distanti decine di migliaia di chilometri della fotosfera in modo fulmineo. **Tutto il processo ha la caratteristica di un'esplosione accompagnata da una forte contrazione della materia in un certo volume di cromosfera.**

Le eruzioni cromosferiche

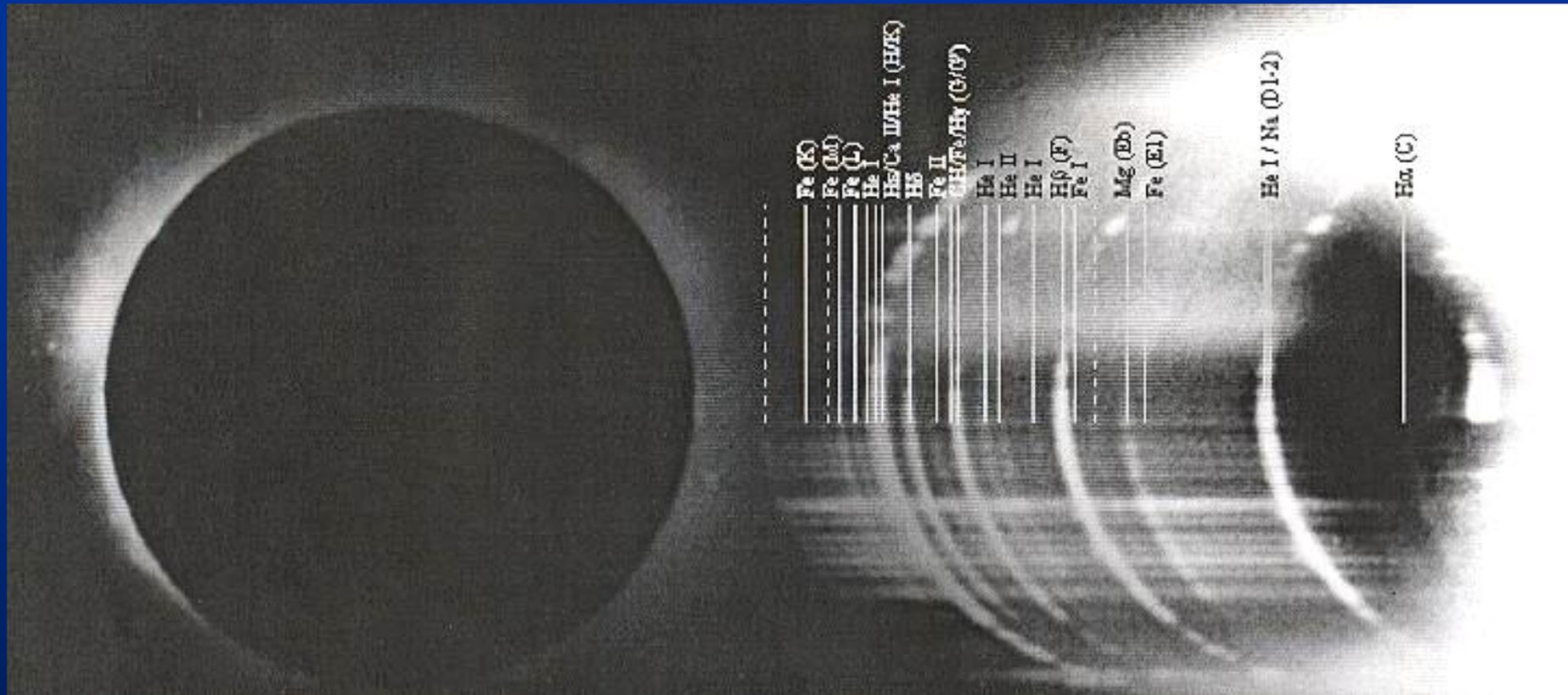


La quantità totale di energia, che si sprigiona sotto forma di radiazione ottica, ultravioletta, X e radio, supera i 10^{21} joule, una quantità veramente enorme! La durata può variare da alcuni giorni sino a (raramente) alcuni mesi con velocità di ~ 1000 km/sec.

Per avere un'idea dell'ordine di grandezza basti pensare che è quella necessaria per sollevare una massa di centomila miliardi di tonnellate fino ad un'altezza di mille metri sulla superficie della Terra.

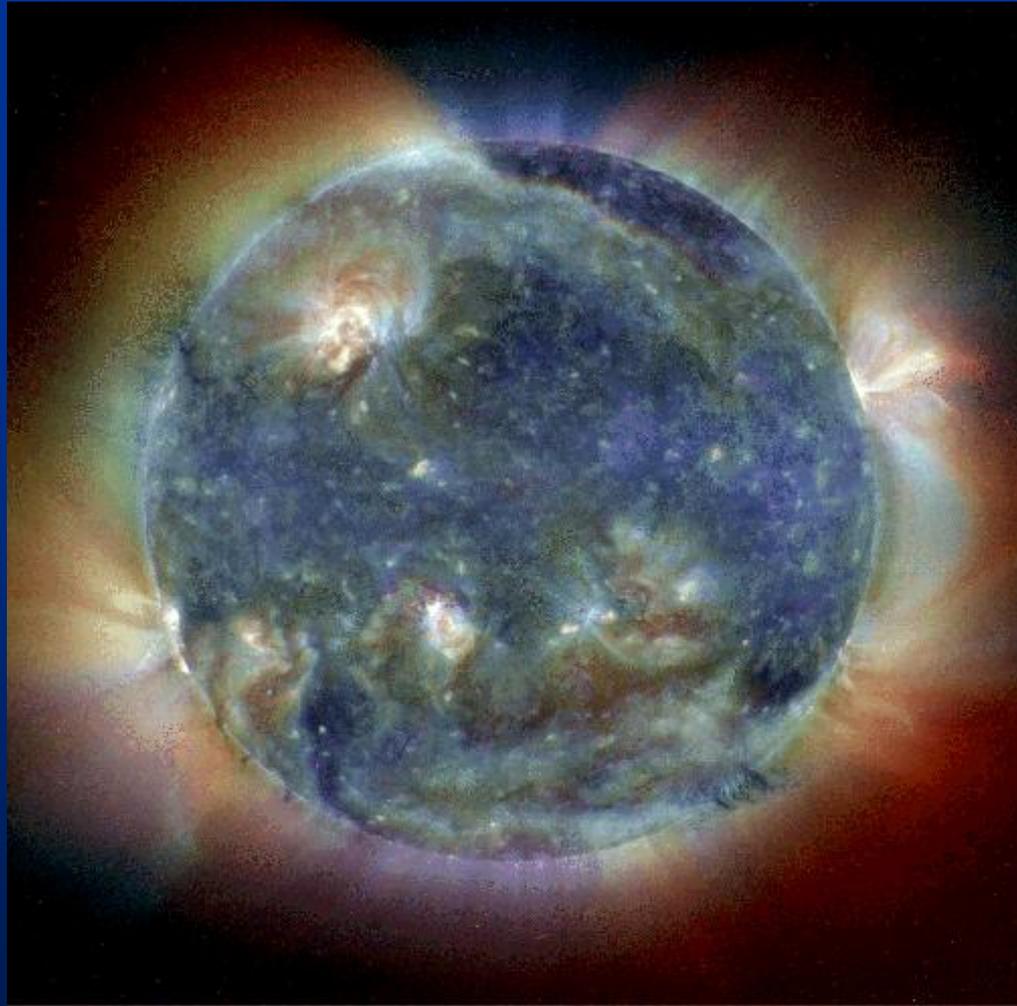
Sonda Soho 304 Å(UV)

Lo spettro della cromosfera solare



Lo spettro "flash" della cromosfera solare.

Eruzioni cromosferiche



Sonda SOHO immagine composta (171\AA , 195\AA and 284\AA) maggio 1998

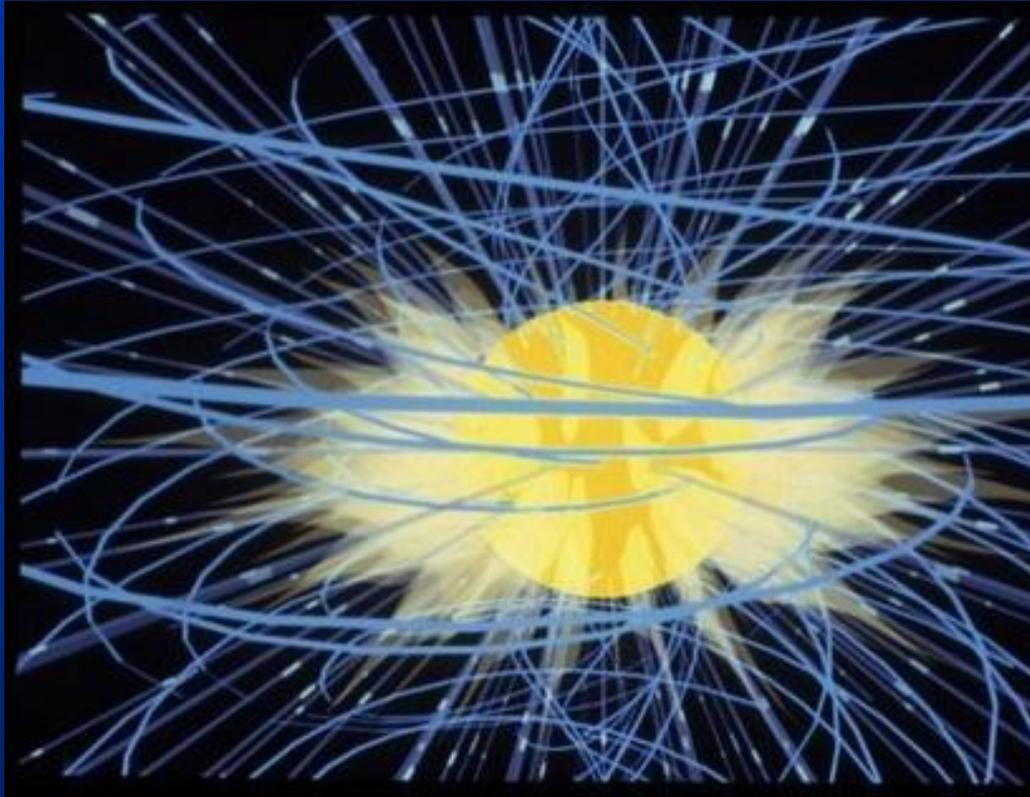
Il Sole-atmosfera: corona solare, campo magnetico e vento solare

La corona solare



La **corona solare** si estende, oltre la cromosfera, fino a distanze di milioni di chilometri ed è costituita da un gas estremamente rarefatto, qualche milionesimo di microgrammo per centimetro cubo.

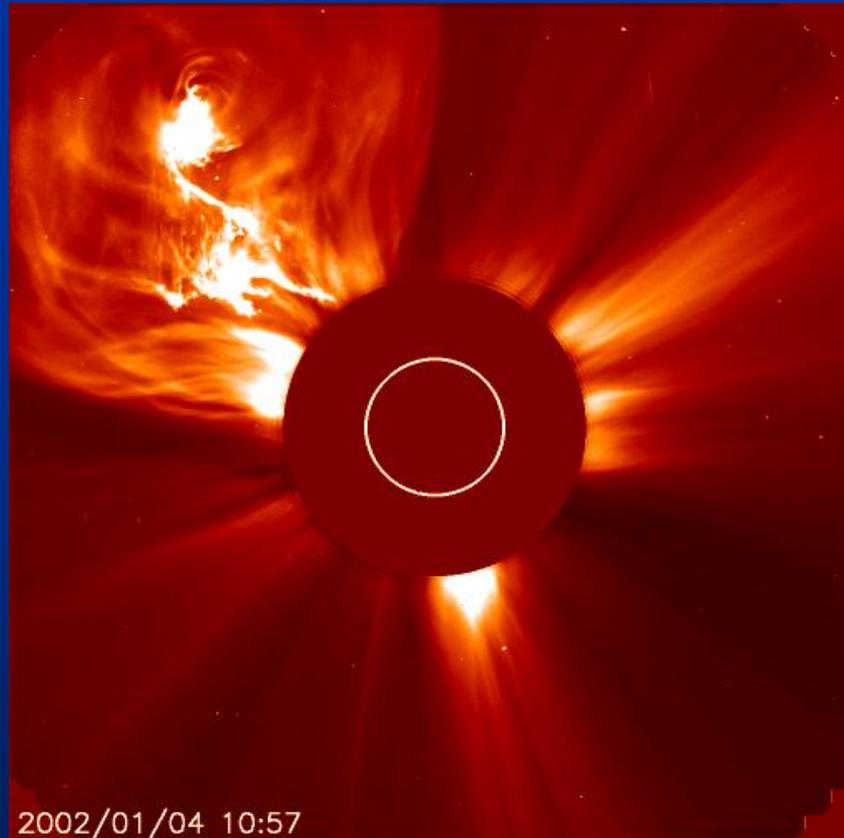
La corona solare



Un modello
di eliosfera

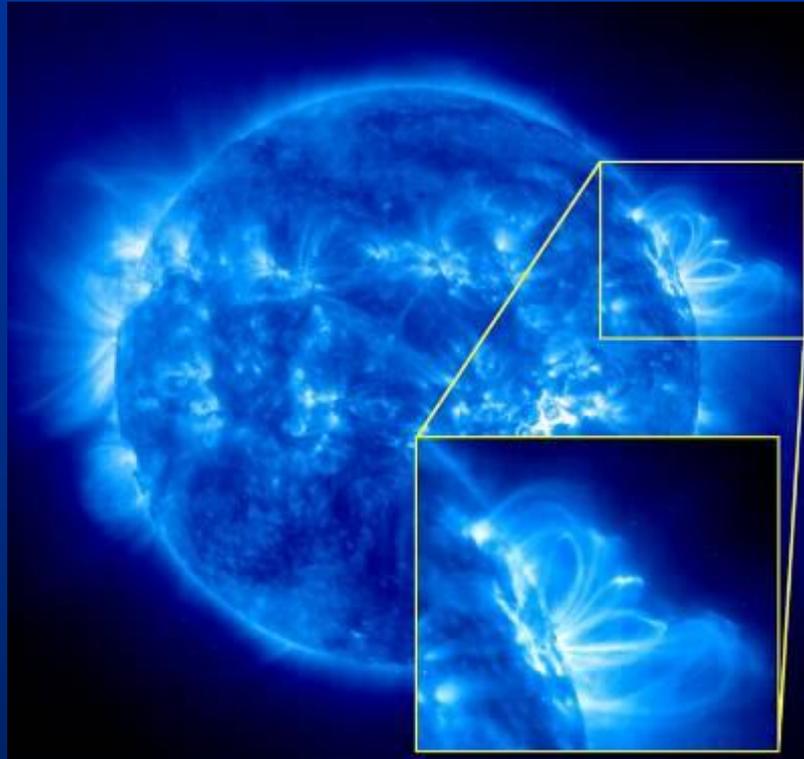
Questo spiega il fatto che essa non sia normalmente visibile, così come invece lo è la fotosfera, ma appare in tutto il suo splendore **solo durante le eclissi totali di Sole**, con una luminosità circa uguale a quella della Luna piena.

La corona solare



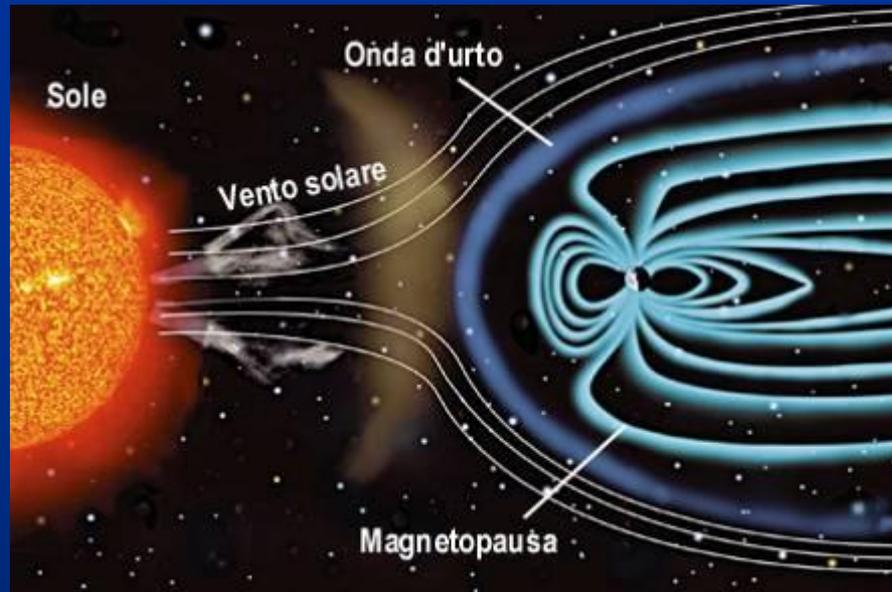
La **temperatura della corona solare** è di qualche milione di gradi. Questo fatto comporta un elevatissimo grado di ionizzazione del gas che è quindi **un plasma**. I gas ionizzati della corona solare subiscono fortemente l'influsso dei campi magnetici solari, sia di quello globale, sia di quello molto intenso associato alle macchie solari.

La corona solare



La conseguenza è che **la forma della corona e la sua estensione possono cambiare fortemente in concomitanza con l'attività solare:** con il Sole attivo si presenta di forma circolare e simmetrica, mentre è fortemente asimmetrica nei periodi di Sole calmo. Nei periodi di intensa attività solare la corona solare è sede di protuberanze.

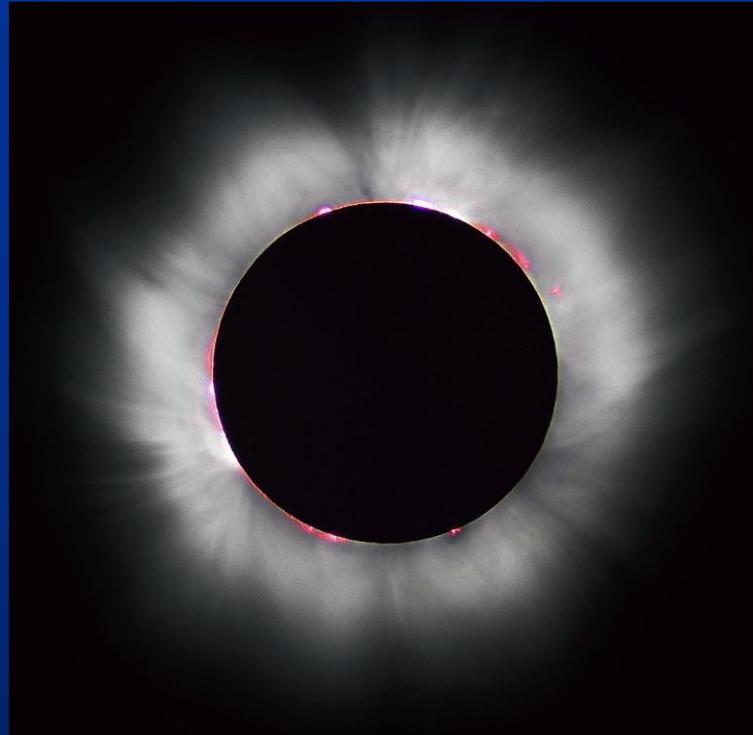
Il vento solare



Conseguenza dell'alta temperatura è la straordinaria estensione della **corona**, che per questo motivo **tende ad espandersi**, anche se si mantiene in una sorta di equilibrio dinamico. Nonostante l'espansione sia continua, la densità è mantenuta costante nel suo insieme da un flusso continuo di particelle provenienti dal Sole, in prevalenza protoni ed elettroni, che danno luogo al **vento solare**.

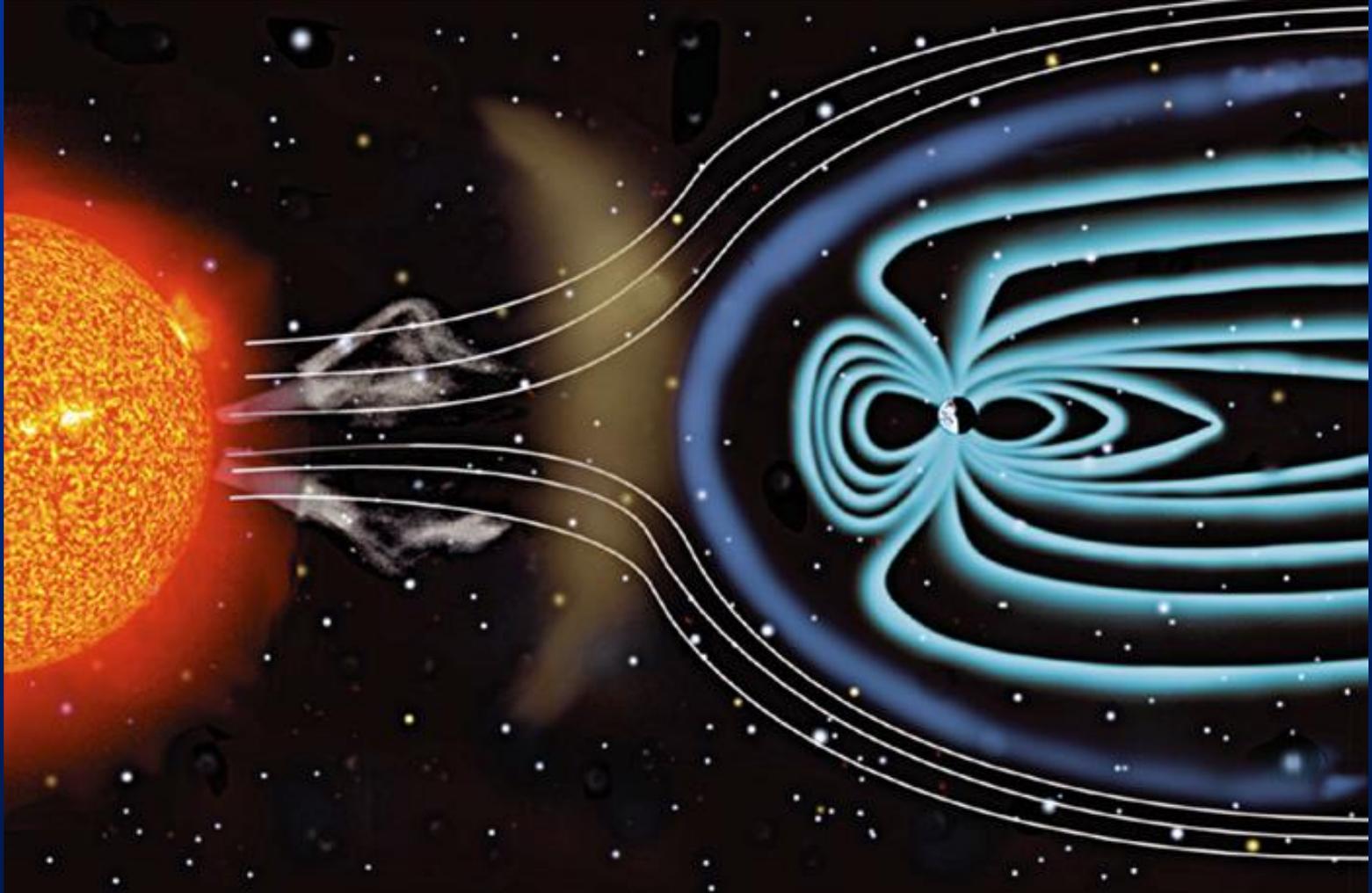
Il vento solare interagendo con il campo magnetico terrestre dà luogo alle fasce di Van Allen ed alle aurore boreali.

Il vento solare



La **corona solare ed il vento solare** presentano molti enigmi non ancora del tutto risolti. Uno di questi è dato dalla sorgente di energia che causa il riscaldamento della corona ad una temperatura estremamente più elevata di quella fotosferica, che si trova al suo interno. Molte teorie in proposito sono state formulate, alcune convincenti ed in accordo con i dati sperimentali, ma il problema è lungi dall'essere stato risolto.

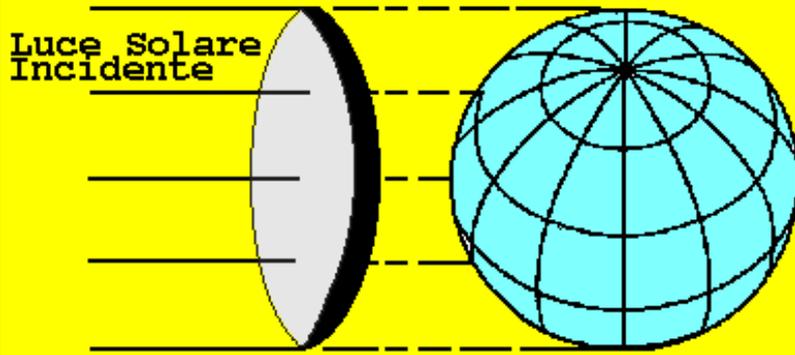
Il vento solare e la magnetosfera terrestre



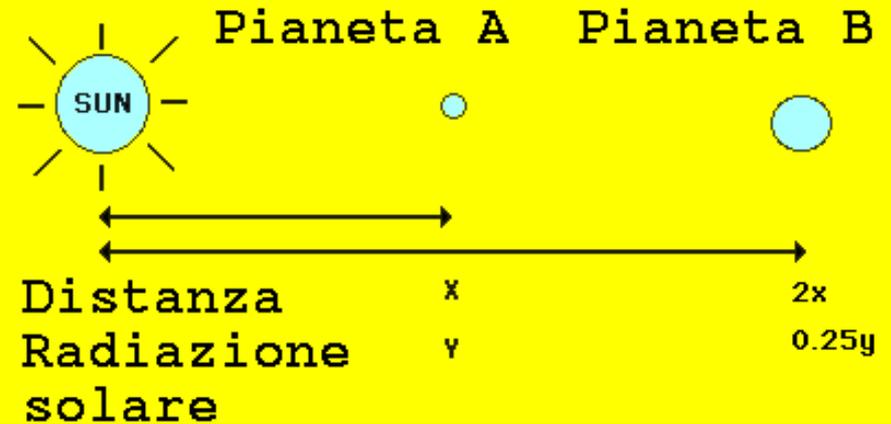
Il Sole-irraggiamento

Irraggiamento solare

COSTANTE SOLARE

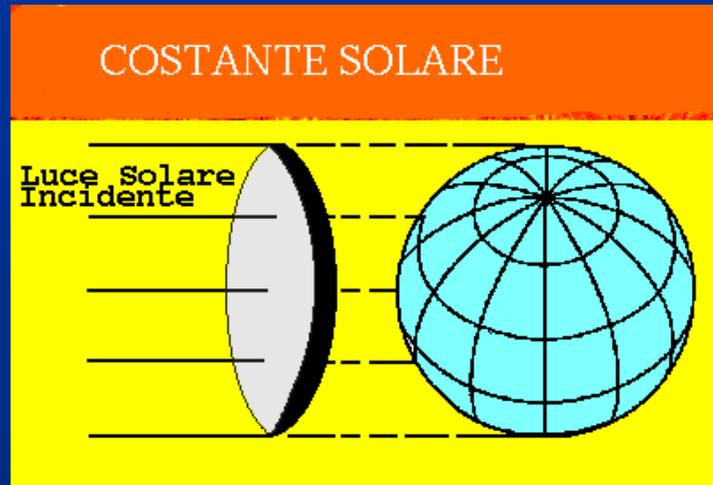


Legge dell'inverso di r^2



Fondamentale nel determinare le caratteristiche e l'evoluzione climatica delle atmosfere dei pianeti, ed in particolare della Terra, è l'irraggiamento solare: la quantità di energia che raggiunge il pianeta provenendo dal Sole e che diminuisce con l'inverso del quadrato della distanza del pianeta dal Sole.

La costante solare



La costante solare, C , è definita come:

l'energia che incide nell'unità di tempo su un metro quadrato di superficie esposto perpendicolarmente alla linea di vista, fuori dall'atmosfera terrestre, posto alla distanza media della Terra dal Sole. Le misure danno per la costante solare un valore pari a $C = 1366 \text{ Watt/ m}^2$. La **luminosità L** è data dalla costante solare moltiplicata per la superficie di una sfera di raggio d , uguale all'Unità Astronomica:

$$L = C \cdot 4\pi d^2$$

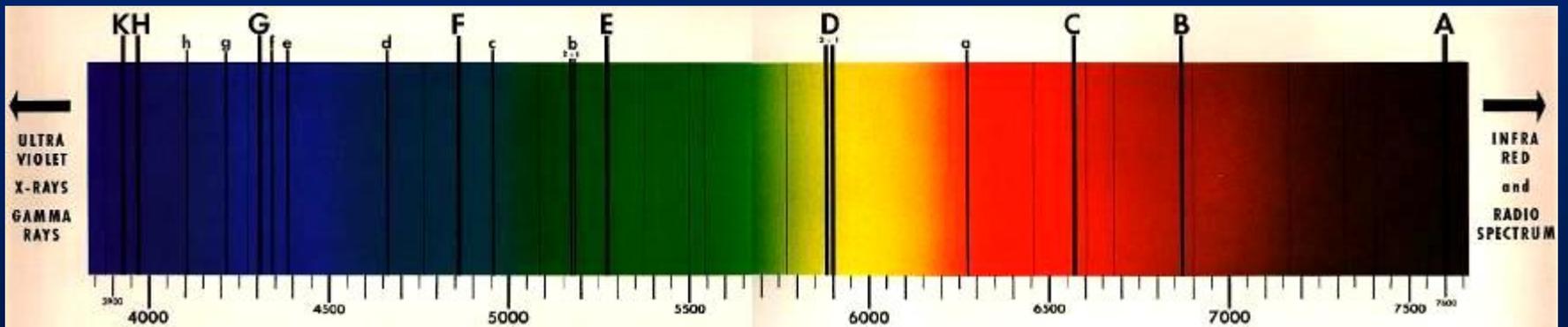
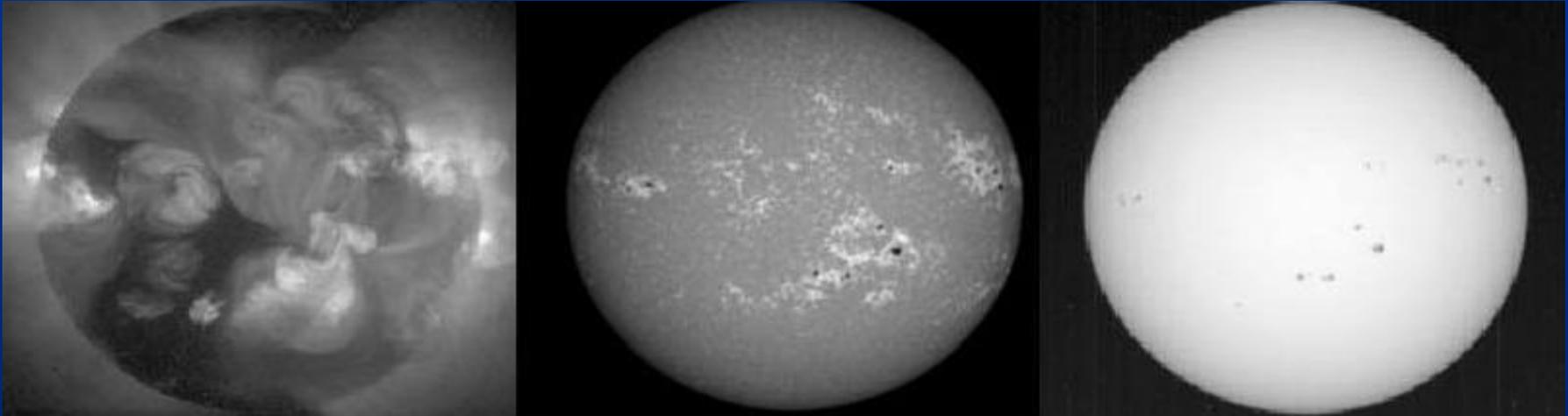
NB La costante solare C è cresciuta in 4.6 miliardi di anni del 72 % sino a raggiungere il suo valore attuale

Emissione della radiazione solare

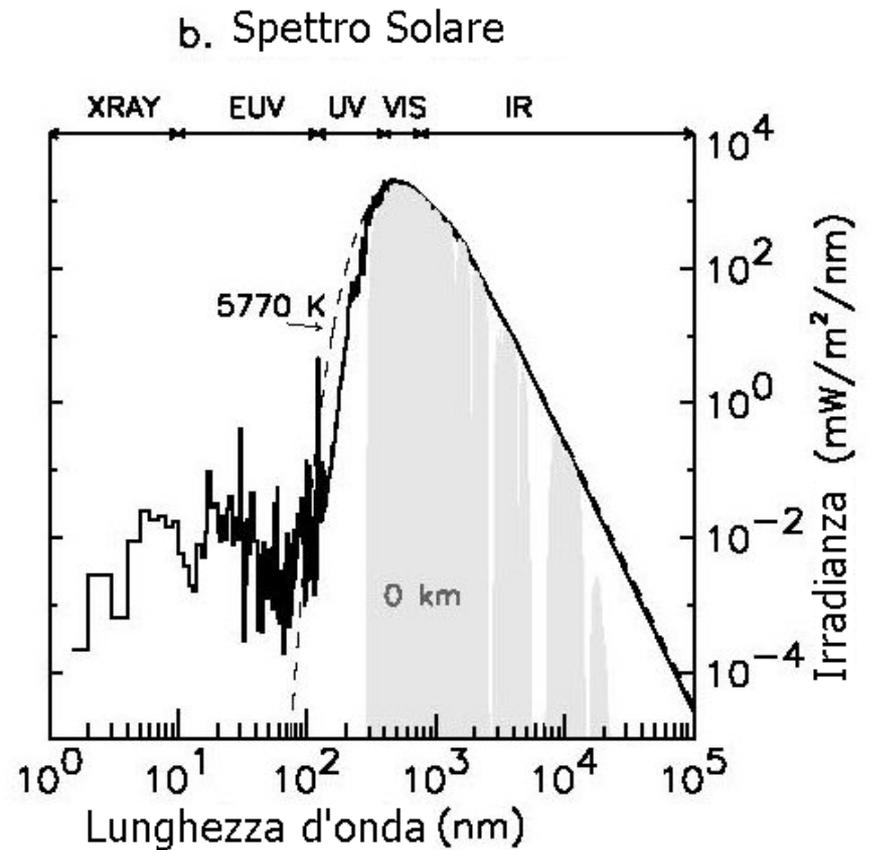
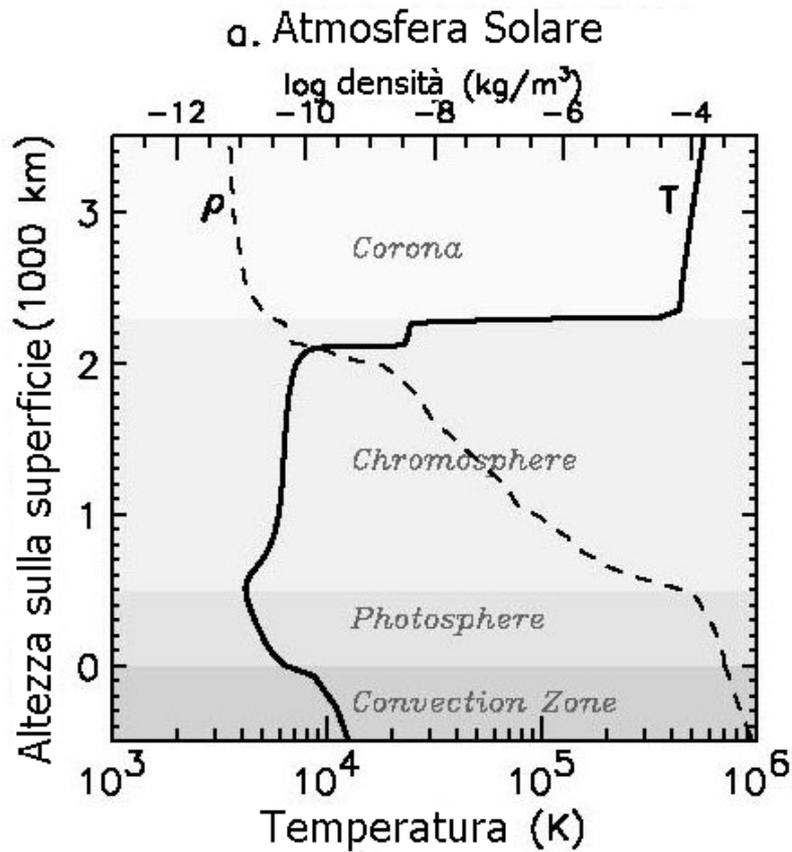
corona (raggi X)

cromosfera (UV)

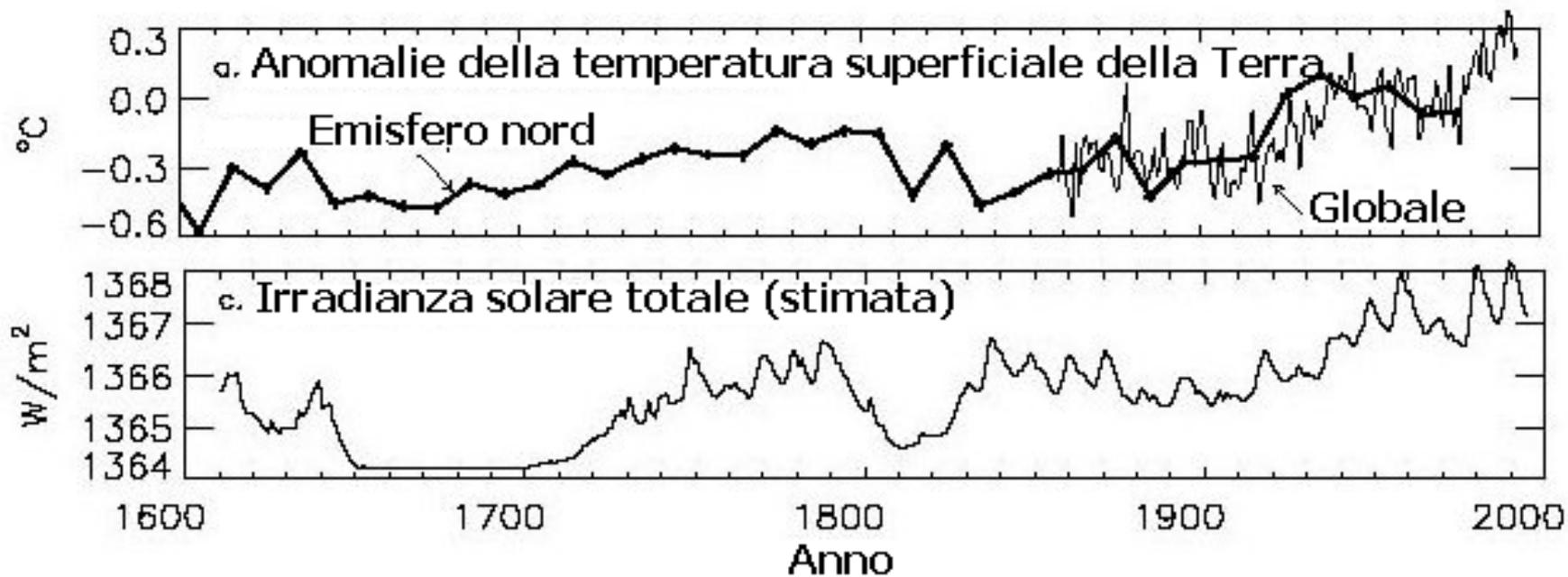
fotosfera (visibile)



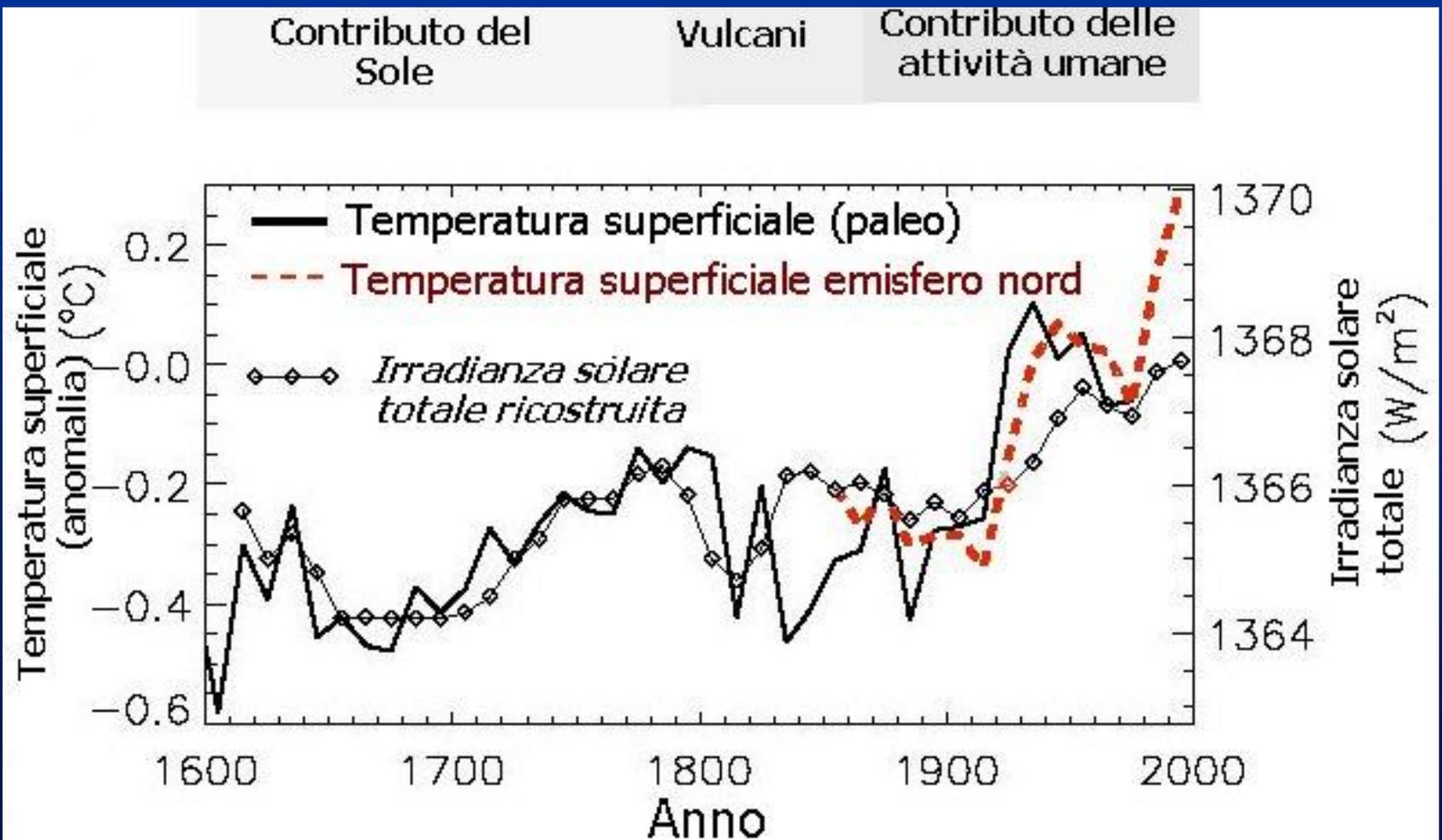
Spettro solare ed irradianza



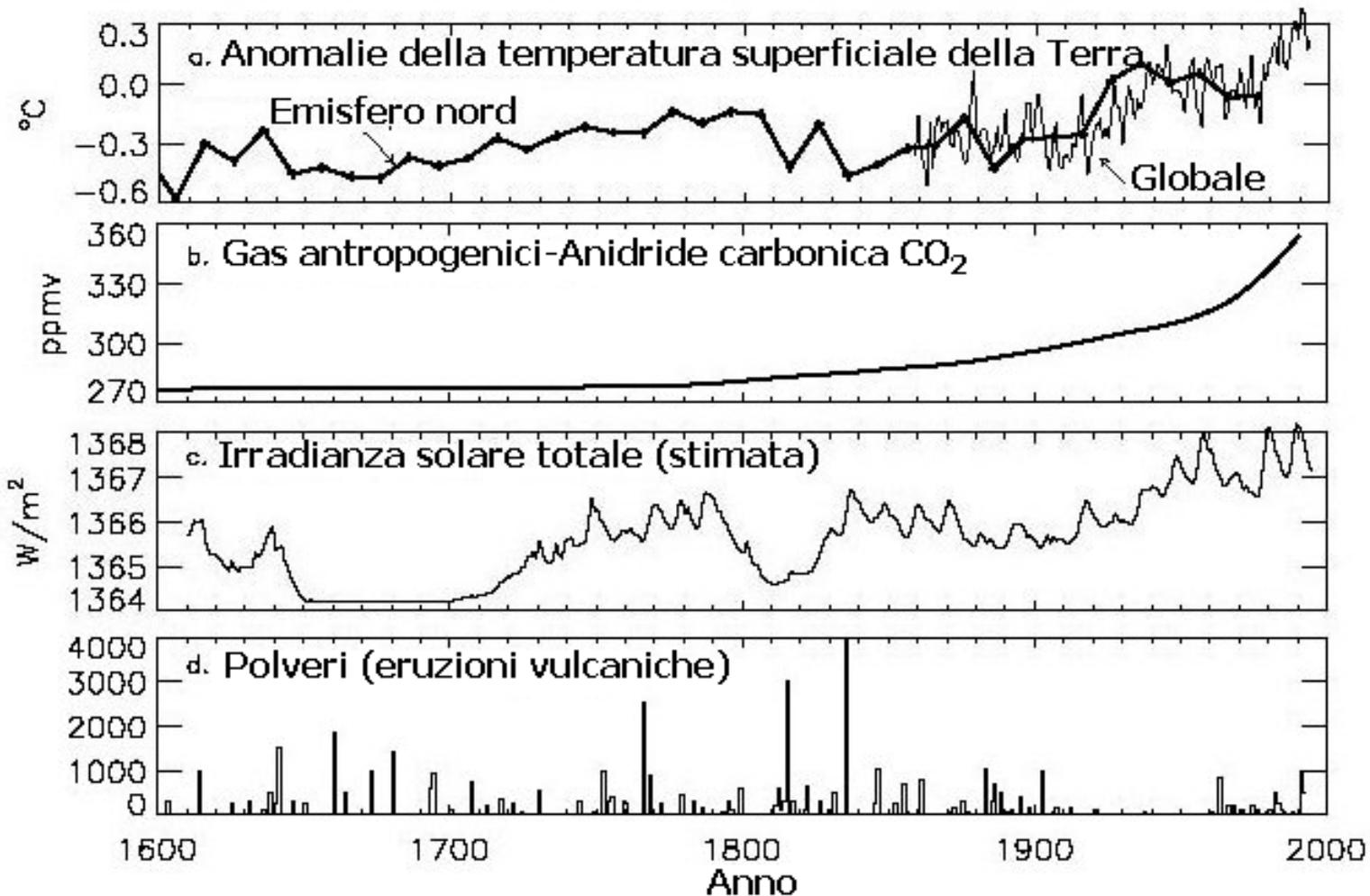
La "costante solare" è costante ?



Il clima terrestre il Sole e le attività umane

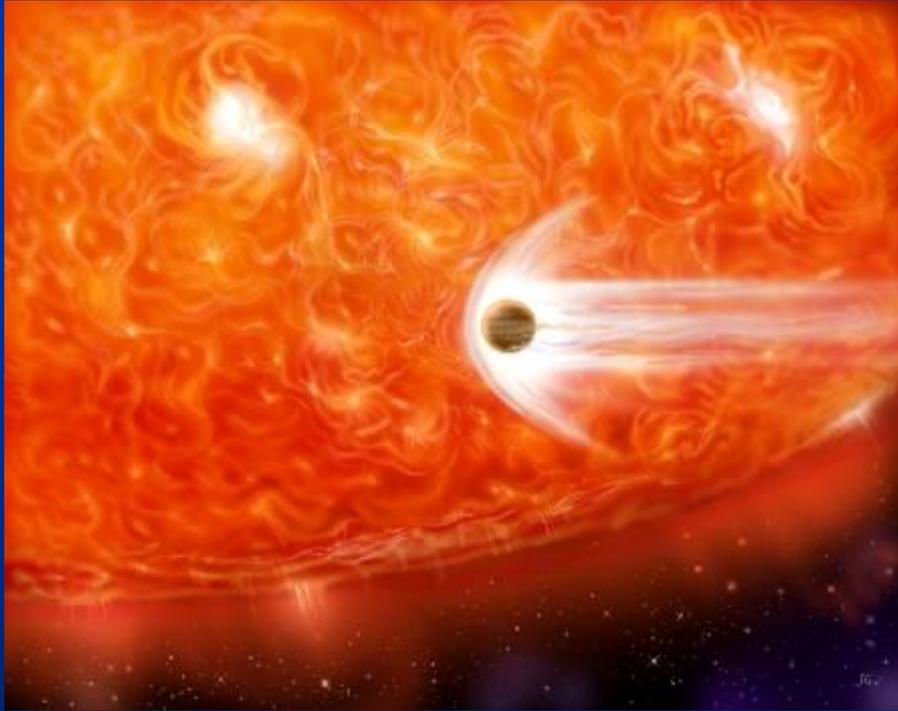


Il clima terrestre il Sole e le attività umane



Il Sole-evoluzione

Il destino del Sole

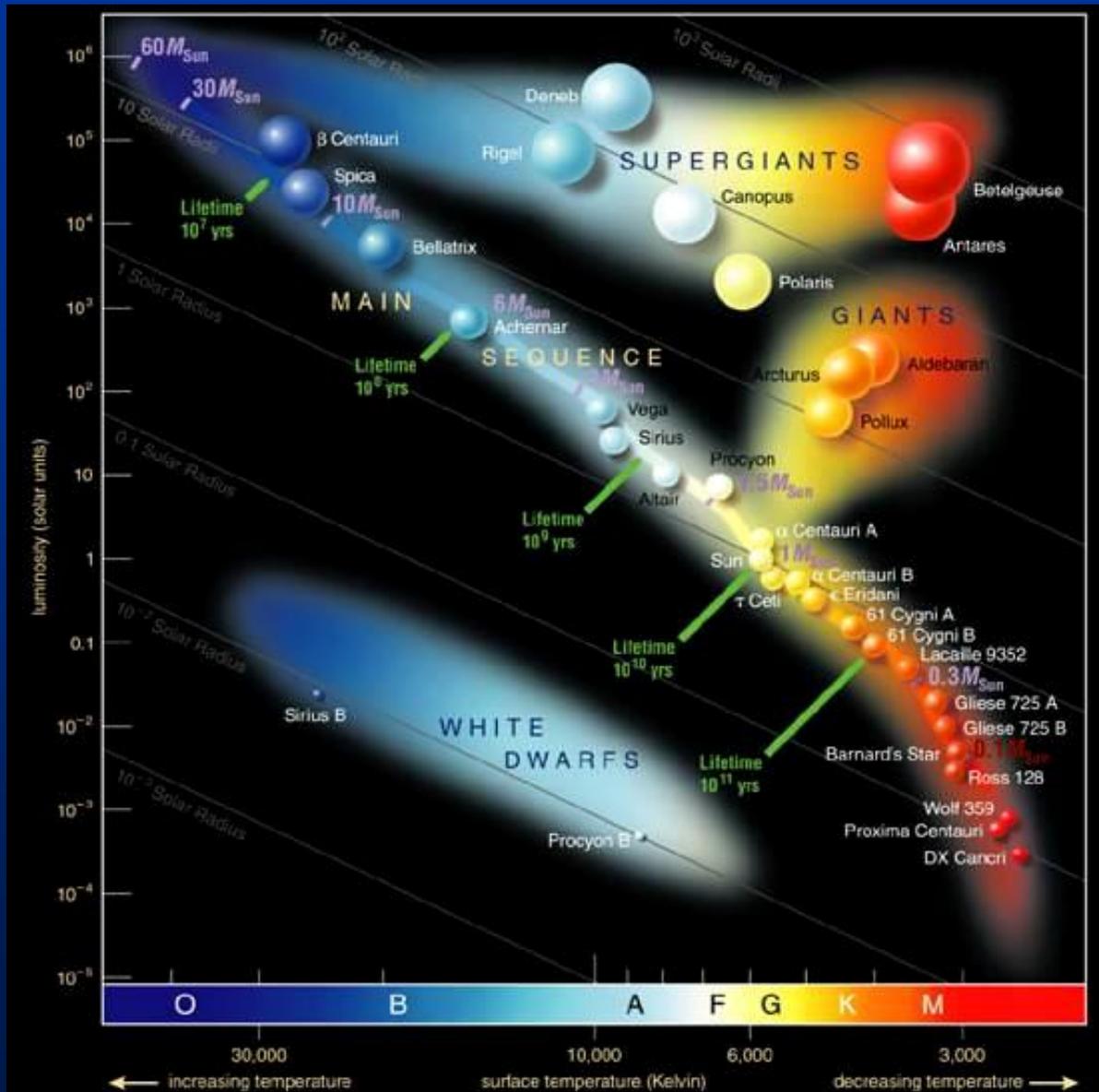


La fase di
gigante rossa

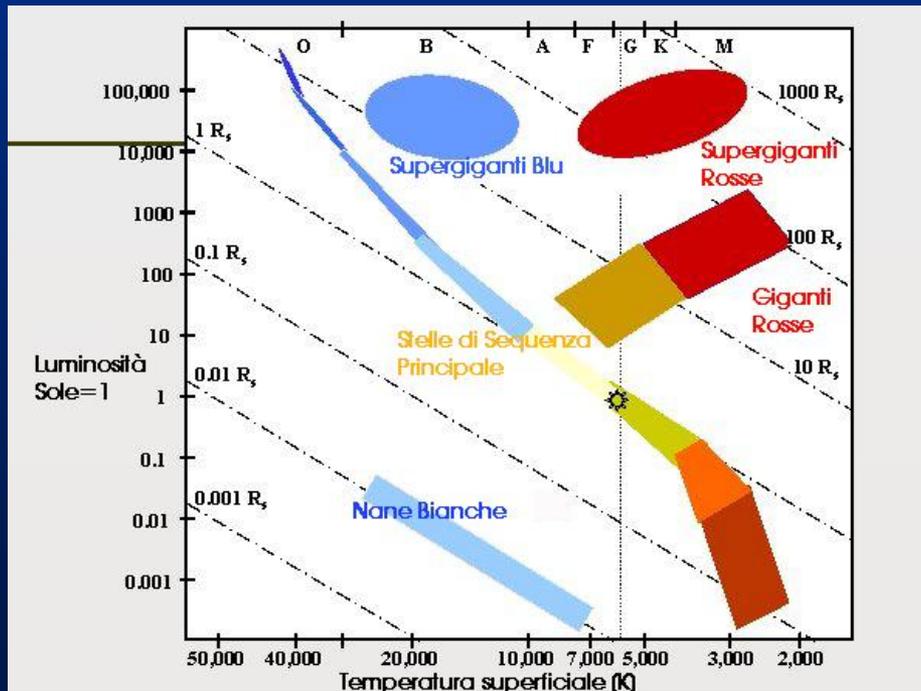


La fase di Nana
Bianca

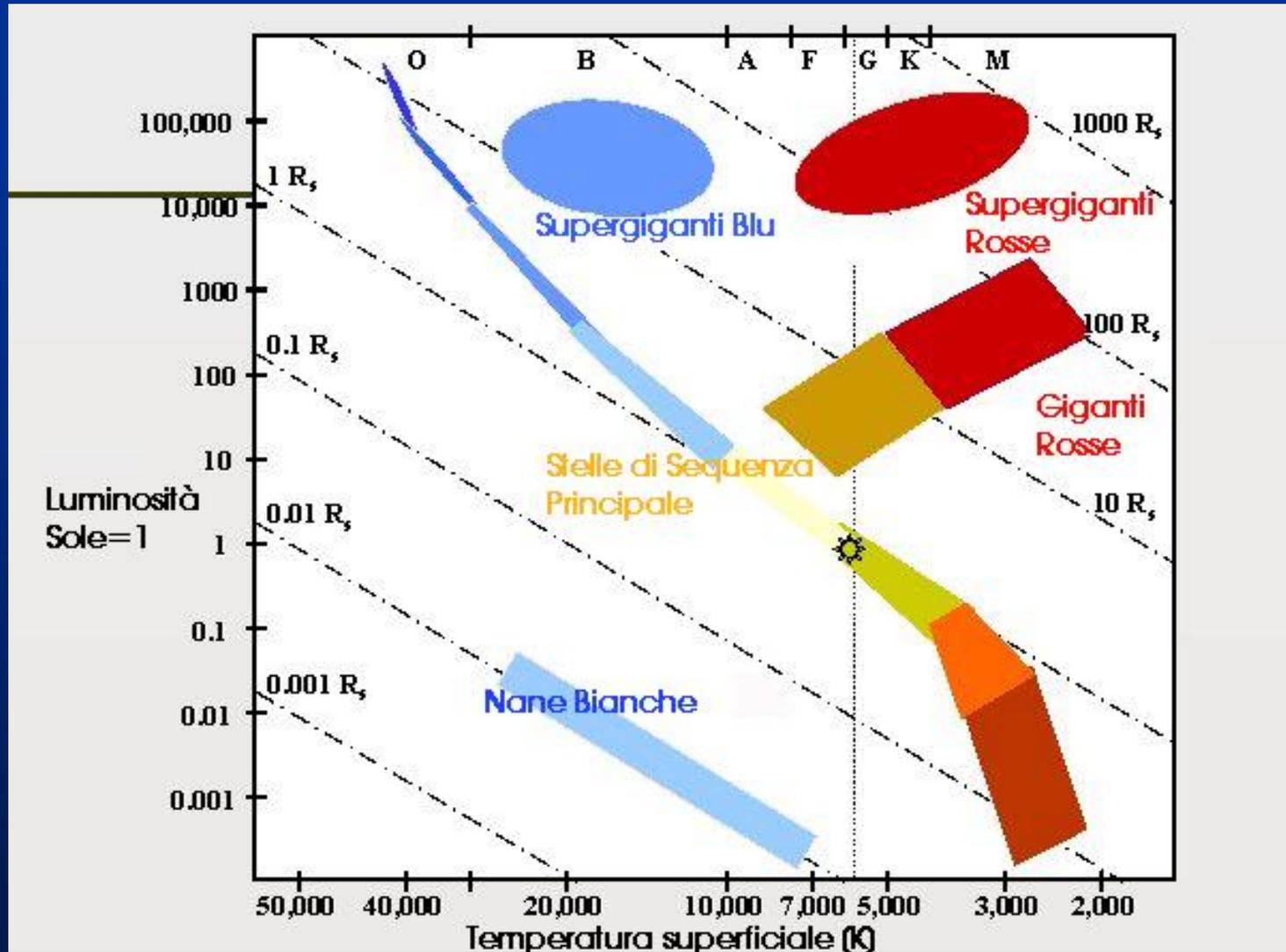
Evoluzione stellare



Evoluzione stellare

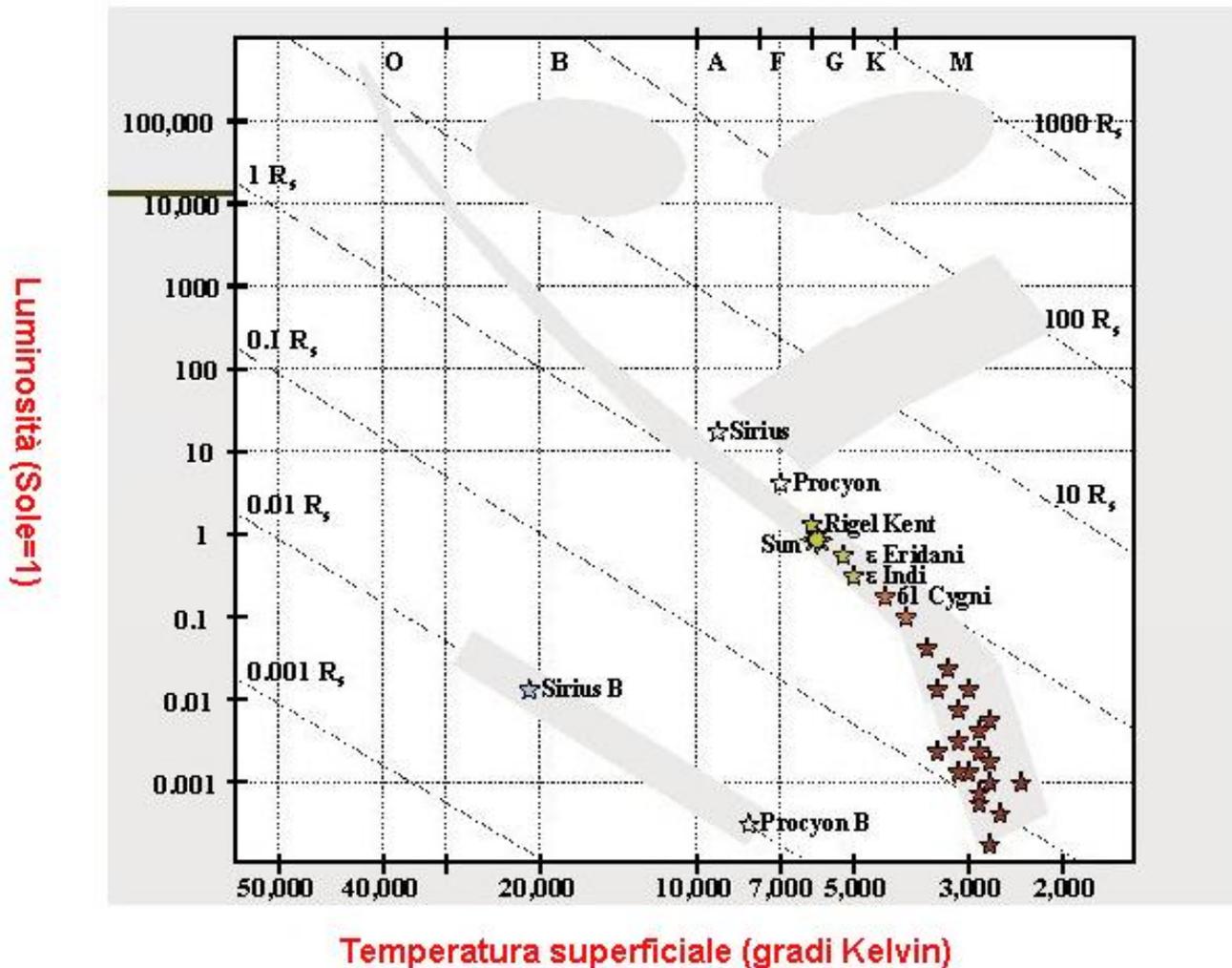


Evoluzione stellare

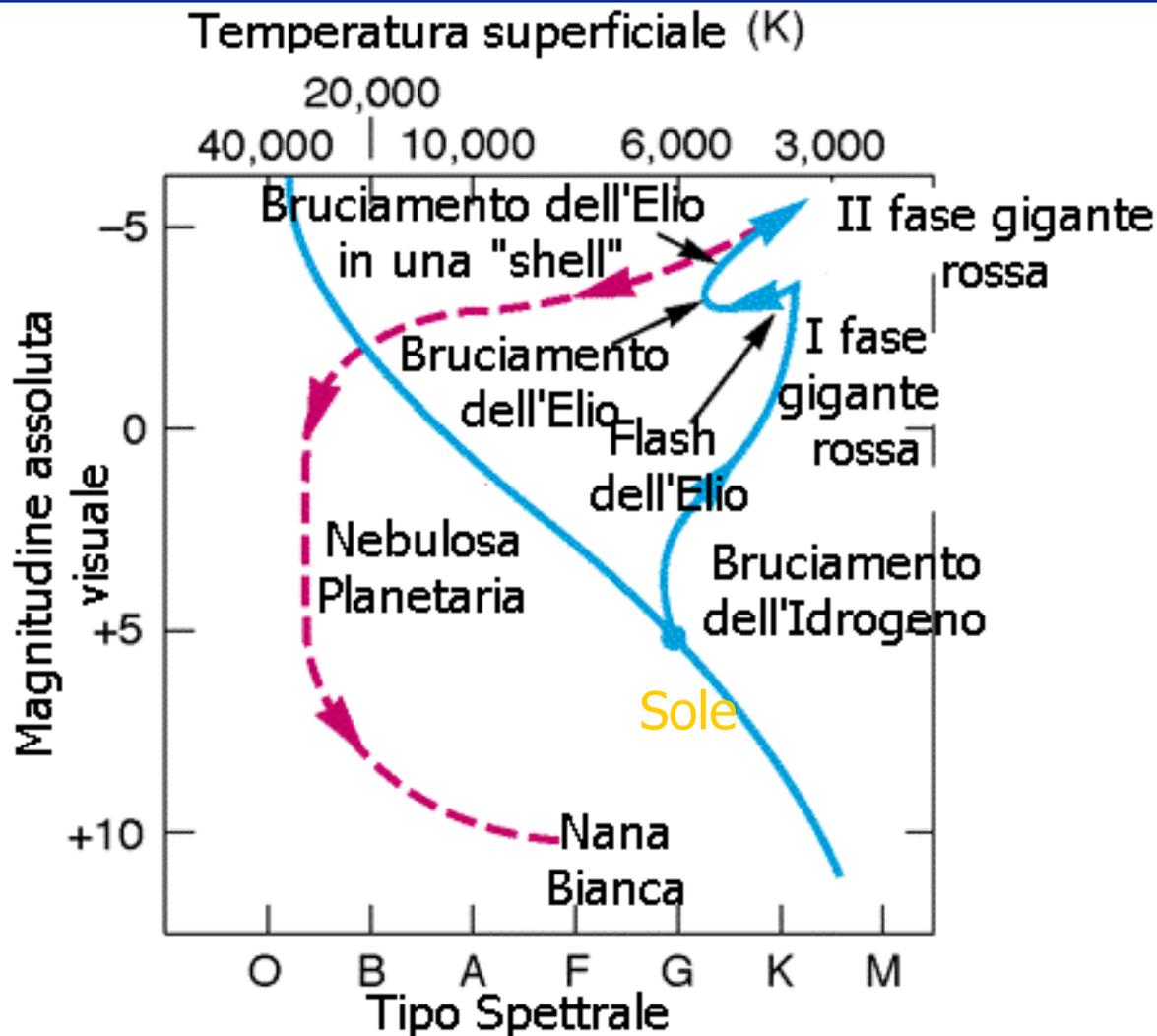


Evoluzione stellare

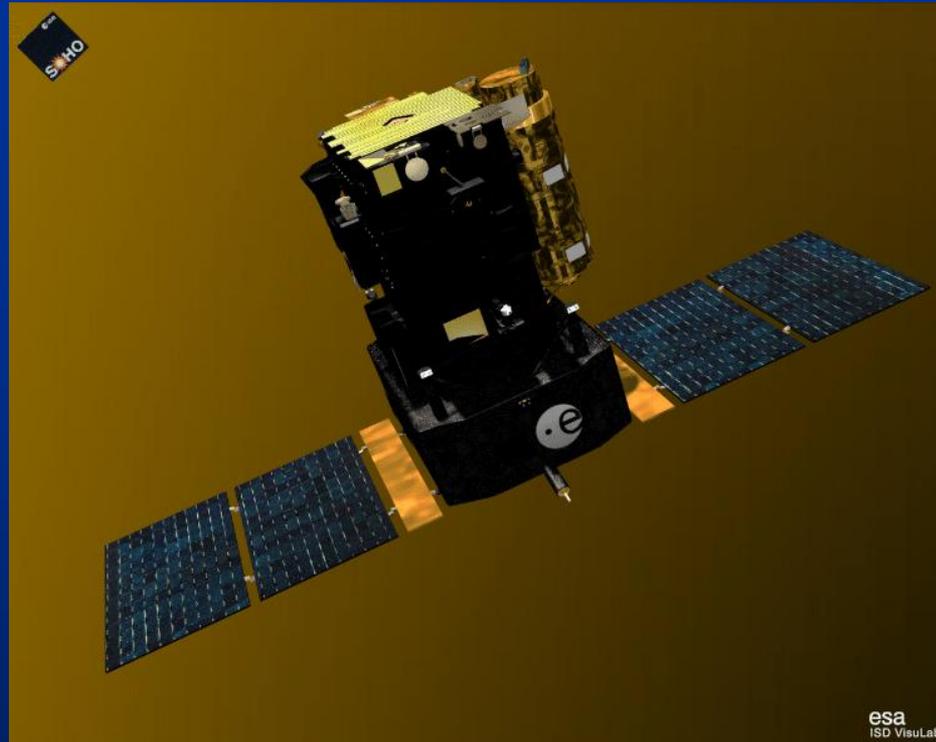
DIAGRAMMA HR TEMPERATURA-LUMINOSITÀ



Evoluzione del Sole

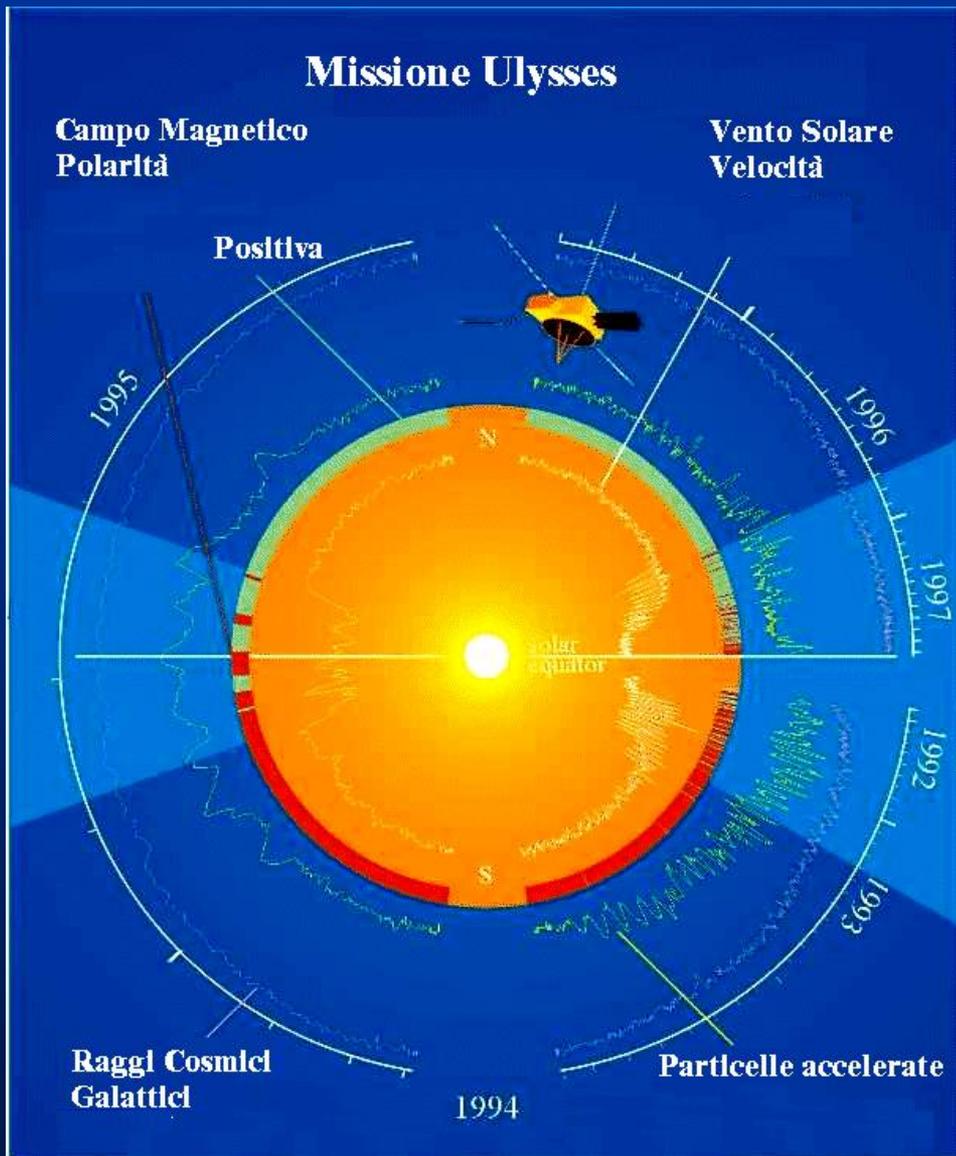


La sonda Soho (ESA-NASA)



La sonda SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) lanciata nel 1995 è dedicata allo studio dell'eliosismologia solare, dell'attività solare nei suoi diversi aspetti (flare, piccole prominente) e del vento solare. La sua attività varia dalla banda X sino all'ultravioletto.

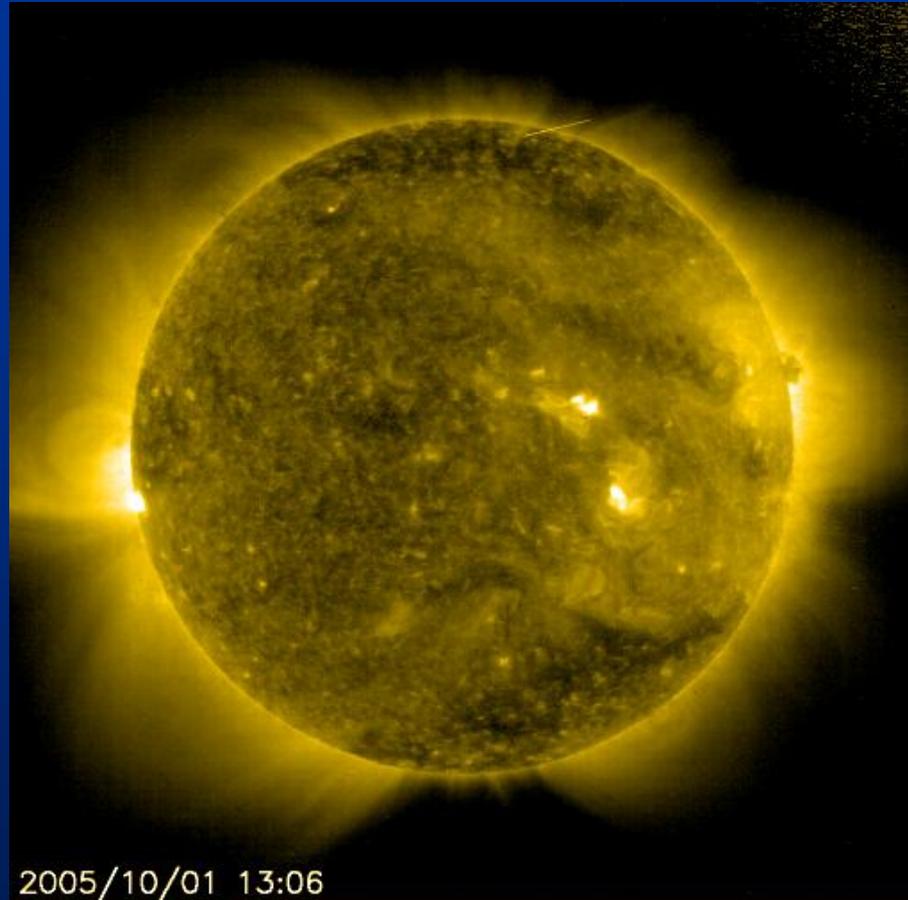
La sonda Ulysses



Questa missione è stata dedicata all'esplorazione del vento solare e del mezzo interplanetario alle alte latitudini eliocentriche.



La presentazione è terminata



Grazie