

IL SOLE



*Immagine del Sole in H alpha
(National Solar Observatory
/Sacramento Peak)*

Il Sole, il corpo centrale del Sistema Solare, e' una sfera di gas incandescente, per lo piu' idrogeno ed elio, della massa di $2 \cdot 10^{33}$ g (2 miliardi di miliardi di miliardi di tonnellate), pari al 99.9 % della massa totale del Sistema Solare stesso. Il diametro del Sole e' di ben 1.392.000 Km, 109 volte quello terrestre, e corrisponde, visto da Terra, ad un diametro angolare di circa 32 minuti d'arco, quasi pari a quello della Luna: questo da' luogo al fenomeno delle eclissi; cioe' alla sovrapposizione apparente del disco lunare e di quello solare. La densita' media del Sole e' di 1.4.

Il moto del Sole

Il Sole partecipa al moto di rotazione della Galassia, spostandosi, rispetto alle stelle vicine, alla velocita' di 19.7 km/s verso un punto della volta celeste detto apice del moto solare.

Inoltre possiede anch'esso, come i pianeti, un moto di rotazione intorno al proprio asse, inclinato di $7^{\circ} 15'$ sul piano dell'eclittica, con velocita' angolare variabile secondo la latitudine; infatti, trattandosi di una sfera di gas, non ruota rigidamente ma presenta una rotazione differenziale, cioe' piu' lenta ai poli e piu' veloce all'equatore. All'equatore, il periodo di rotazione e' di circa 25 giorni.

Emissione di energia del Sole

Il Sole viene classificato come una stella nana di [tipo spettrale G2](#); la sua temperatura superficiale e' di circa 5.700 gradi ed esso emette radiazione elettromagnetica prevalentemente nella regione ottica e nel vicino infrarosso, tra 2.000 [Angstrom](#) e 3 [micron](#), con una potenza di 400.000 miliardi di miliardi di KW ($4 \cdot 10^{33}$ erg/sec).

L'origine di questa emissione, che nel secolo scorso era stata attribuita alla contrazione gravitazionale del Sole e al conseguente riscaldamento del suo interno, risiede invece nella fusione nucleare che avviene nel centro: a causa della sua grande massa, le regioni interne del Sole vengono compresse fino a raggiungere temperature elevatissime (15 milioni di gradi) e ad innescare cosi' la fusione, che richiede alte pressioni e temperature.

La fusione nucleare consiste nella trasformazione di quattro nuclei di idrogeno (il costituente principale del Sole) in un nucleo di elio; la massa di quest'ultimo e' leggermente minore della somma delle masse dei nuclei di idrogeno; la differenza viene trasformata in energia.

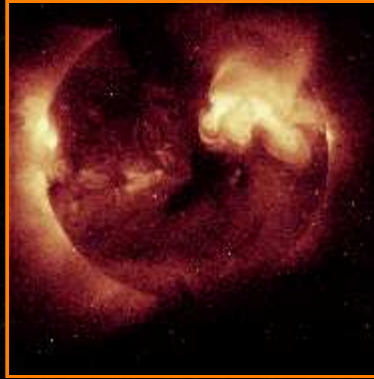


Schema della fusione nucleare all'interno delle stelle (Michiel Berger)

Ogni secondo, 594 milioni di tonnellate di idrogeno vengono trasformate in 590 milioni di tonnellate di elio; la differenza, 4 milioni di tonnellate, corrisponde all'energia che il Sole irradia in un secondo, per la legge $E=mc^2$, dove E e' l'energia prodotta, m la massa trasformata in energia e c e' la velocita' della luce.

La fusione nucleare e' autoregolata in modo tale che l'emissione di energia sia stabile nel tempo; le riserve di idrogeno nel nucleo non sono pero' illimitate e la durata totale di questo processo e' di circa 10 miliardi di anni.

Poiche' l'eta' del Sole e' stata stimata 5 miliardi di anni, tra altri 5 miliardi di anni la fusione cessera' ed esso comincera' a trasformarsi, diventando piu' freddo e meno luminoso, cioe' una [gigante rossa](#); i suoi strati esterni si espanderanno inghiottendo i pianeti piu' vicini, tra cui la Terra, dopodiche' finira' la sua vita come [nana bianca](#), diventera' cioe' una stella molto calda e densa ma poco luminosa, e si spegnera' lentamente.

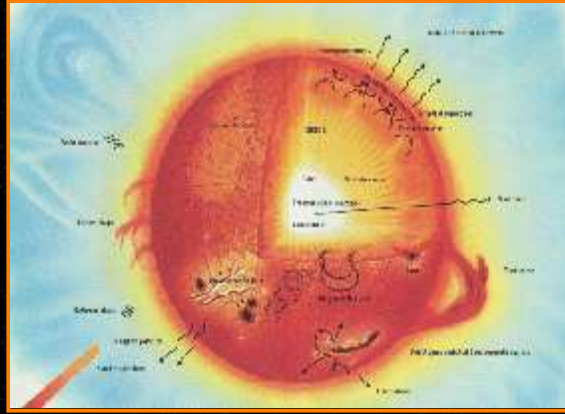


*Immagine del Sole in raggi X.
Le regioni piu' chiare sono sorgenti
di emissione X piu' intensa.
(Calvin J. Hamilton e Yohkoh)*

La struttura del Sole

Le altissime temperature all'interno del Sole fanno si' che il gas sia quasi completamente ionizzato, cioe' che gli elettroni vengano strappati alle loro orbite e si muovano liberamente nel gas. La temperatura decresce da 15 milioni di gradi nel centro fino a circa 5.700 gradi alla superficie.

Anche la densita' del gas decresce verso l'esterno, da circa 158 g/cm^3 al centro fino a 10^{-7} in superficie; in realta' il Sole non possiede una superficie fisica ben definita: quella che noi possiamo vedere e' soltanto una superficie detta fotosfera: uno strato di gas molto sottile (dello spessore di circa 200 Km), che circonda la zona interna e che emette radiazione nella banda ottica.



*La struttura interna del Sole
(NASA/ESA)*

L'interno è composto da un nucleo, nel quale avvengono le reazioni di fusione, circondato da uno strato di gas detto zona radiativa, a sua volta circondato da uno strato detto zona convettiva dello spessore di 150.000 Km.

Nella zona radiativa, l'energia prodotta dalla fusione nucleare viene trasportata verso l'esterno tramite **fotoni** che vengono trasferiti da uno ione all'altro, in un processo molto lento, che richiede qualche milione di anni; muovendosi verso l'esterno la temperatura del gas diminuisce e gli atomi degli elementi più pesanti cominciano a ricombinarsi con i propri elettroni.

Gli elettroni così ricombinati possono assorbire un fotone e venire strappati nuovamente all'atomo; questo provoca un rallentamento del cammino della radiazione verso l'esterno.

Si sviluppano così dei moti convettivi nel gas, cioè delle bolle di gas caldo s'innalzano verso la superficie, dove si raffreddano, facendo da veicolo per l'energia che altrimenti resterebbe intrappolata all'interno. Questi moti, simili a quelli che si producono in una pentola d'acqua in ebollizione, fanno affiorare in superficie delle bolle di gas che danno origine alla granulazione della fotosfera, cioè ad un aspetto irregolare simile ad un insieme di grani di riso molto luminosi e visibili nella banda ottica dello spettro.

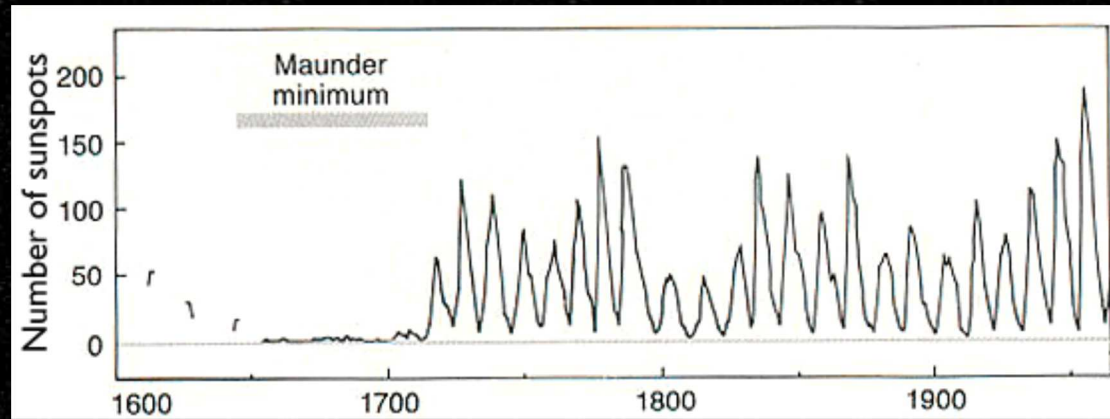
Le macchie solari



Sulla fotosfera si distinguono anche regioni oscure, di numero, forma e dimensioni variabili, dette macchie solari.

Queste furono osservate al cannocchiale da **Galileo Galilei** nel 1610, ma erano già note nell'antica Cina. Le macchie appaiono spostarsi sulla superficie del disco solare, come conseguenza del moto di rotazione del Sole, e le loro proprietà variano secondo cicli di circa 11 anni. Esse hanno dimensioni comprese tra poche migliaia e più di duecentomila Km e sono circondate da regioni di penombra.

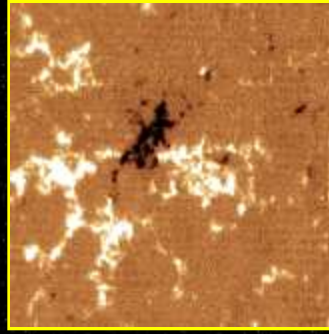
Un gruppo di macchie solari. La granulazione deriva da eruzioni turbolente di energia alla superficie. (National Solar Observatory/ Sacramento Peak)



Il ciclo di attivita' delle macchie solari negli ultimi 250 anni. (Michiel Berger)

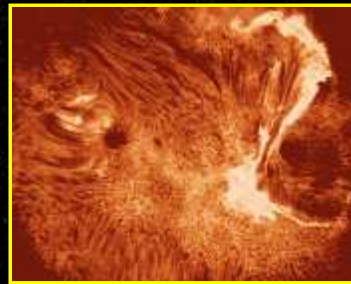
Il loro aspetto oscuro e' dovuto al fatto che sono piu' fredde (hanno temperatura di circa 4.500 K) e quindi meno luminose della fotosfera. Spesso si riuniscono a gruppi di decine, grandi e piccole. Lo sviluppo di un gruppo di macchie comincia con l'apparire di piu' macchie piccole, che poi si espandono aggregandosi tra loro; questo processo puo' durare da una settimana a qualche mese. L'origine delle macchie solari sembra dovuta al campo magnetico solare, come gran parte dell'attivita' fotosferica: esse possiedono infatti un intenso campo magnetico. Inoltre appaiono sede di moti convettivi vorticosi, durante i quali gas proveniente dall'interno si raffredda arrivando alla superficie.

Anche il ciclo di 11 anni sarebbe spiegabile in termini dell'attivita' magnetica solare, in particolare re sarebbe dovuto alla rotazione differenziale del Sole , che deforma le linee del campo magnetico.



*Il campo magnetico solare.
Le regioni scure sono sede
di polarita' magnetica positiva,
quelle chiare di polarita' negativa.
(GSFC NASA)*

Vicino alle macchie solari si distinguono aree brillanti dette facole, visibili in luce bianca. Esse sono prodotte da gas convogliato dall'interno lungo le linee del campo magnetico. Infine, nelle vicinanze delle macchie si notano i flares, o brillamenti, cioe' esplosioni di brevissima durata durante le quali dalla superficie solare vengono emessi getti di gas e radiazione; la frequenza di questo fenomeno e' legata all'attivita' solare, in particolare a quella magnetica.



*Un flare solare osservato in H alpha
(National Solar Observatory/
Sacramento Peak)*

L'atmosfera e la cromosfera

Sopra la fotosfera c'e' l'atmosfera solare, la cui parte inferiore e' detta cromosfera, uno strato di gas caldo (10-20.000 gradi) dello spessore di 2.000 Km, rivelata attraverso l'emissione di una riga spettrale dell'idrogeno a 6563 Angstrom, nella zona rossa dello spettro visibile. Se osservata con un filtro rosso, la cromosfera appare molto irregolare a

causa di fenomeni che riguardano il gas degli strati i piu' esterni. In questo caso vi si distinguono le protuberanze, getti di gas caldo che appaiono come gigantesche lingue di fuoco emesse dalla superficie e scompaiono dopo pochi giorni o settimane; e le spicule, piccole lingue di idrogeno larghe qualche centinaio di chilometri, che si originano nella bassa e media cromosfera e scompaiono dopo pochi minuti.



Una delle piu' spettacolari protuberanze solari mai osservate, delle dimensioni di 588.000 Km. E' stata osservata dallo Skylab nel dicembre 1973 (NASA)

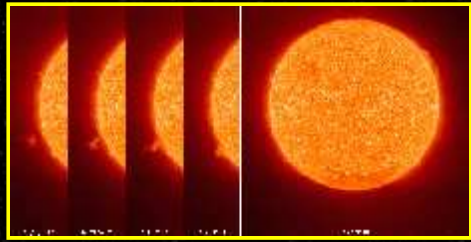
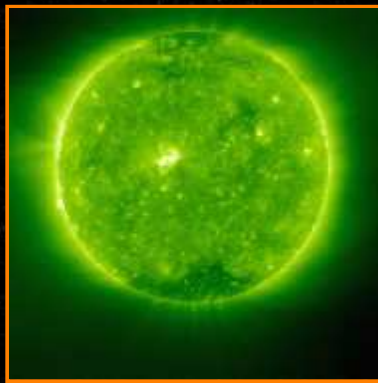


Immagine in luce ultravioletta di un'eruzione solare. L'immagine e' stata presa dal satellite SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) nel 1996. (ESA/NASA)

Oltre la cromosfera e' presente una vasta regione di gas ionizzato e caldissimo ed estremamente rarefatto, detta corona solare; essa ha una luminosita' molto inferiore a quella della fotosfera e pertanto non e' normalmente visibile, se non durante le eclissi di Sole, che ne oscurano la parte piu' brillante. La corona solare emette fortemente nella banda radio; il suo spettro indica la presenza di atomi di calcio privi di ben 14 elettroni, e di atomi di ferro privi di 13 elettroni: questo indica una temperatura del gas di oltre un milione di gradi.



Il gas coronale alla temperatura di un milione e mezzo di gradi, osservato dall'Extreme UltraViolet Imaging Telescope sulla sonda SOHO (Solar Heliospheric Observatory).

*Si possono notare le strutture
del campo magnetico solare. (ESA/NASA)*

L'origine di questa altissima temperatura non e' ancora ben nota. L'estensione della corona e' difficile da determinare, perche' la sua luminosita' decresce gradualmente fino a molti milioni di chilometri dal Sole. Il Sole, inoltre, emette continuamente un getto di gas ionizzato, detto vento solare, ad una velocita' variabile tra 250 e 850 Km/s.

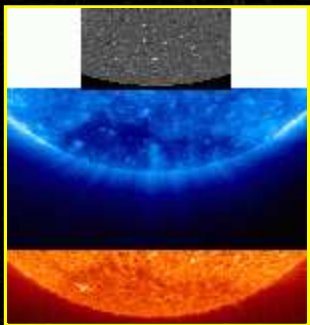


*In quest'immagine di un'eclisse totale del 1977 si vede bene la corona solare.
(Calvin J. Hamilton)*



*Immagine di un'eclisse solare totale del luglio 1991, fotografata da Steve
Albers in California.*

Questo flusso di ioni, che si puo' considerare un po' come il prolungamento della corona, viene spinto fino a grandi distanze dal Sole e interagisce con la [magnetosfera](#) e la [ionosfera](#) dei pianeti, perturbandola e producendo fenomeni come le [aurore polari](#).



*Pennacchi di gas caldo che fuoriescono dal Sole, forse sorgenti di vento solare e di particelle cariche. Dall'alto verso il basso: il
campo magnetico vicino al polo sud solare; immagine ultravioletta di un pennacchio alla temperatura di un milione di gradi, nella
stessa regione; immagine ultravioletta di una regione di atmosfera solare piu' quieta e vicina alla superficie . (ESA/NASA)*