

# IL SOLE

## 1. Introduzione.

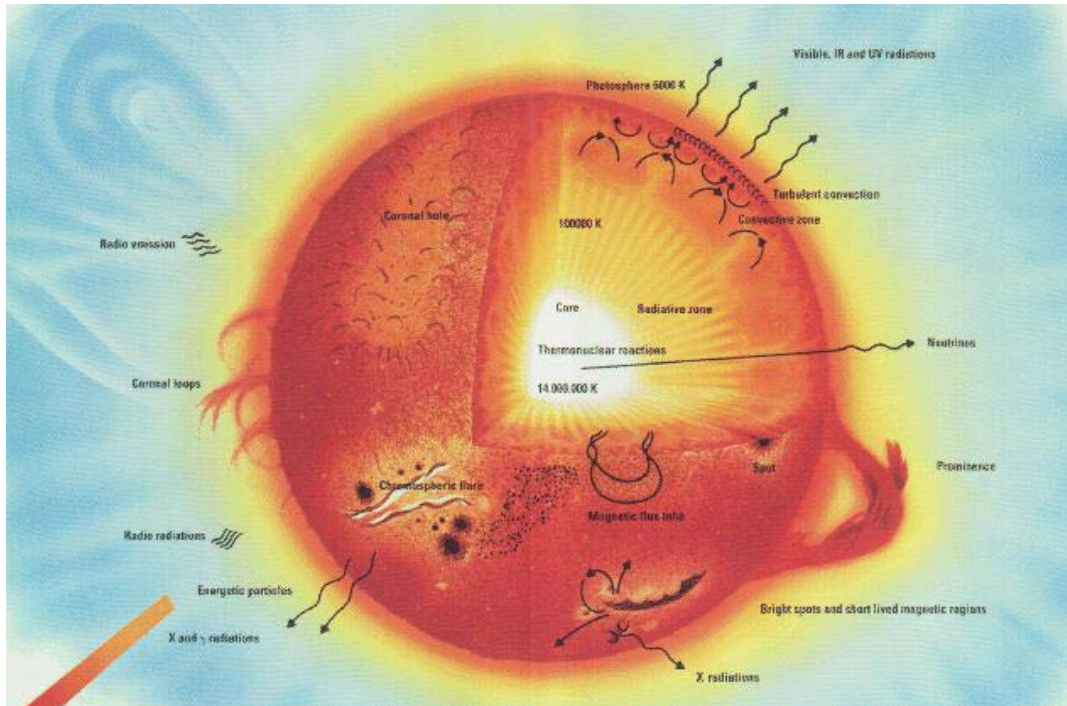


Figura 1: Struttura interna del Sole.

Il Sole, la nostra stella, è una sfera di gas incandescente composta per il 73% di idrogeno, per il 25% di elio.

Tutti gli altri elementi, raggruppati nel termine generico di *metalli* (Z), sono distribuiti nel residuo 2% in proporzioni diverse. I più abbondanti sono nell'ordine: l'ossigeno (O), il carbonio (C), il ferro (Fe), il neon (Ne), l'azoto (N), il silicio (Si), il magnesio (Mg), lo zolfo (S), l'argon (Ar), il nichel (Ni) ed il calcio (Ca).

A proposito dell'elio va detto che tale elemento deve il suo nome (che deriva dal greco Elios = Sole) proprio al fatto di essere stato scoperto per la prima volta nello spettro solare.

Le principali caratteristiche fisiche sono:

- Massa di  $1,98 \cdot 10^{33}$  g (quasi 2 miliardi di miliardi di miliardi di tonnellate), pari al 99.9 % della massa totale del Sistema Solare stesso.
- Diametro di 1.392.000 Km, 109 volte quello terrestre.
- Temperatura interna superiore 15 milioni di gradi.
- Temperatura superficiale di 5.800 K.
- Densità media di  $1.4 \text{ g/cm}^3$ .

Il Sole è visto da terra con un diametro angolare di circa 32 minuti d'arco, circa uguale a quello della Luna e questo dà luogo al fenomeno delle eclissi TOTALI cioè alla sovrapposizione apparente del disco lunare e di quello solare.

Il Sole, con il nostro sistema planetario, appartiene ad un sistema stellare formato da circa 200 miliardi di stelle, ovvero quello che in astrofisica viene indicato col nome di "Galassia". In particolare, la nostra si chiama "Via Lattea". Le galassie vengono classificate in base alla loro forma. La nostra appartiene alla classe di quelle a "spirale", poiché la maggior parte delle stelle è concentrata in una regione di spazio a forma di disco disegnato dai bracci che si dipartono a spirale da un nucleo centrale.

Il disco ha un raggio di circa 40 mila anni luce ed il Sole occupa una posizione periferica, a circa 27 mila anni luce dal centro, intorno al quale ruota con una velocità di circa 225 km/s. Compie una rivoluzione completa, che definisce un "anno cosmico" della durata di 200-250 milioni di anni. Nella sua vita il nostro Sole ha compiuto circa 22 rivoluzioni galattiche, avendo una vita di circa 5 miliardi di anni.

Il Sole è la stella principale del nostro sistema planetario ed intorno ad esso gravitano i nove pianeti conosciuti, a distanze comprese tra 46 milioni di km ( Mercurio ) e 7,4 miliardi di km ( Plutone). La distanza media Terra -Sole è invece pari a 149,6 milioni di km (circa 8 minuti luce) ed è detta unità astronomica, in simbolo U.A.. La luce, quindi, impiega 8 minuti per giungere a noi dal Sole. Questo vuol dire che quello che noi vediamo non è il Sole come è ma come era 8 minuti prima dell'interazione. E' una conseguenza diretta del fatto che la luce ha una velocità finita. Una particella di luce, cioè un *fotone*, impiega tuttavia molto più tempo per risalire dall'interno del Sole alla sua atmosfera, sebbene la distanza sia molto minore. La spiegazione di questo fatto può essere data attraverso due vie, una classica ed una quantistica, chiaramente fra loro in accordo.

Classicamente possiamo dire che la materia solare interna ha un indice di rifrazione molto elevato, per via della sua alta densità, così che la velocità della luce al suo interno è molto inferiore al valore del vuoto. Quantisticamente il ragionamento è il seguente: poiché ho una densità molto elevata, un fotone prima di giungere in superficie (e quindi, poi, diffondersi nell'Universo), andrà incontro a tanti urti (assorbimento e successiva remissione, generalmente su diversa lunghezza d'onda) che ne devieranno la traiettoria, tendendo a tenerlo intrappolato dentro al volume solare e ritardandone la fuoriuscita di molto tempo. In pratica, si trova che un fotone, prodotto nel nucleo, per raggiungere la superficie solare, impiega 30000 anni!!

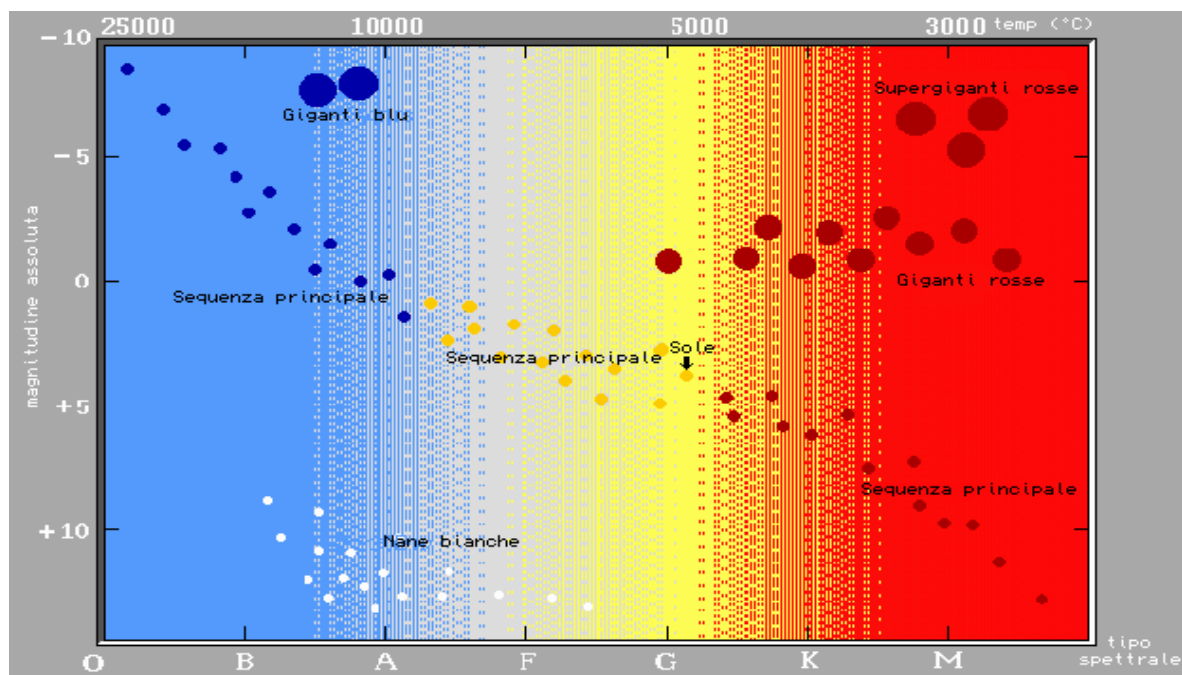
Il nostro Sole una è stella di media età, circa a metà della sua vita, ed è singola, non è cioè accompagnata da "fratelli" per formare sistemi doppi o tripli come in molti altri sistemi planetari della nostra Galassia.

Per tentare di definire le proprietà delle singole stelle, può essere utile raggrupparle secondo criteri che tengano conto delle effettive correlazioni esistenti tra gli astri. Questo è uno dei compiti principali della statistica stellare.

Conoscere le stelle in questo modo può essere utilissimo: può darci, per esempio, un'idea della vita media di una stella e della sua evoluzione.

Per conoscerne meglio la statistica, tra il 1905 e il 1913, l'olandese Einar Hertzsprung e l'americano Henry Norris Russel idearono un diagramma, detto appunto di Hertzsprung-Russel (H-R) o anche diagramma colore-luminosità. In questo, viene riportato in ascisse la composizione spettrale (che è direttamente correlata col colore e alla temperatura superficiale) e in ordinate la temperatura. Essi riportarono qui le caratteristiche delle stelle conosciute e scoprirono che la sequenza ottenuta non era casuale.

La maggior parte delle stelle si pone infatti su una cosiddetta *sequenza principale* che attraversa il diagramma: in alto a sinistra si trovano le stelle azzurre di grande massa e luminosità, in basso a destra le nane rosse; in mezzo, le stelle gialle simili al Sole. In alto a destra, nella cosiddetta zona delle giganti, si individua un'alta concentrazione stellare. Un numero esiguo di altre stelle, dette nane bianche, si colloca in basso a sinistra.



**Figura 2: Diagramma di Hertzsprung-Russel**

Dall'esame della densità e conoscendo le altissime temperature della sua superficie (5750 gradi Kelvin, la nostra stella appartiene alla classe G2 della [sequenza principale](#)). Si può, inoltre, affermare che deve essere allo stato aeriforme nella parte esterna; procedendo verso l'interno i gas devono essere sottoposti a pressioni sempre crescenti, cosicché essi si avvicinerebbero la loro densità a quella dello stato liquido.

## Il problema energetico.

Un delle domande più immediate che viene da porsi sul Sole è: perché brucia?

E' subito bene chiarire che alla base della combustione solare c'è un processo nucleare. La risposta alla domanda di cui sopra passa attraverso la sua storia. Il Sole, come ogni astro, si è formato quando una massa di idrogeno *autogravitante* (nel caso del Sole si pensa che il processo abbia avuto inizio circa 4,65 miliardi di anni fa da una nebulosa, originatasi in seguito all'esplosione di una supernova) ha cominciato a collassare su se stesso per effetto della forza gravitazionale. Il collasso ha cominciato a produrre **pressioni** sempre più elevate. Un sistema di questo tipo continuerebbe a schiacciarsi su se stesso all'infinito, se non incontrasse qualche forza diretta in maniera opposta atta a bilanciarne l'effetto. E questo è quanto accade. Ad un certo punto della sua ancor breve storia, l'ammasso di idrogeno ha raggiunto una *pressione e temperatura critica*, tali da innescare delle **reazioni di fusione nucleare**, in grado di controbilanciare il collasso e portare il sistema all'equilibrio. Morale della storia: la temperatura è molto più alta rispetto allo stato iniziale e ora il sistema è stabile. E' nato il Sole. La fusione nucleare consiste nella trasformazione di quattro nuclei di idrogeno in un nucleo di elio, attraverso una serie di passaggi.

Per motivi di fisica nucleare la massa di due nuclei di elio è inferiore alla somma di quella di quattro protoni "liberi". Al momento della fusione dell'idrogeno questa rilasciando la **differenza di massa**,  $m$ , viene convertita in energia, secondo la nota equazione relativistica di Einstein  $E=mc^2$ . Siccome qui  $c$  è la velocità della luce nel vuoto, pari a 500000 km/s, si può intuire come pure una piccola differenza di massa sia capace di produrre anche grandi quantità di energia. Ogni secondo, 594 milioni di tonnellate di idrogeno vengono trasformate in 590 milioni di tonnellate di elio; la differenza, 4 milioni di tonnellate. Come si può notare l'energia complessiva emessa dalla nostra stella è colossale, soprattutto se confrontata con i parametri che descrivono gli eventi della nostra vita quotidiana! 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 però illimitate e la durata totale di questo processo è di circa 10 miliardi di anni.

Un'altra argomentazione che ci mostra la magnitudine delle energie in gioco in un processo di questo tipo può essere compresa a seguito del seguente semplice ragionamento. Affinché un processo fisico avvenga, bisogna che sia *energeticamente favorito*, ovvero l'energia totale del sistema alla fine del processo deve essere minore di quella iniziale. Sulla base delle nostre esperienze quotidiane, l'avvicinamento di due protoni non è un fatto consentito, per via della repulsione elettromagnetica fra due cariche positive. Affinché la fusione avvenga deve esistere una forma di energia che lo renda possibile. Infatti a distanze molto piccole (dell'ordine di qualche milionesimo di micrometro), oltre alla forza elettromagnetica entra in gioco un'altra forza, di natura completamente diversa: **la forza nucleare forte**. L'intensità di quest'ultima è talmente elevata che rende del tutto trascurabile la prima e quindi il processo di fusione nucleare diventa consentito.

La maggior parte dell'energia liberata in questo processo viene emessa sottoforma di onde elettromagnetiche alle varie **lunghezze d'onda**, dalle **onde radio** ai **raggi gamma**. Su questo punto è utile fare un po' di chiarezza. L'intensità della radiazione elettromagnetica emessa dal Sole, al variare della lunghezza d'onda, definisce quello che in gergo tecnico viene chiamato "spettro di emissione". Dopo anni di analisi dei dati, si è trovata che la legge matematica che lo descrive è nota in fisica dalla fine del XIX secolo. Il Sole, come qualsiasi astro, si comporta come un oggetto che è in grado di assorbire pressoché tutta la radiazione incidente, ovvero come "un corpo nero". Lo spettro di emissione del corpo nero fu studiato da Boltzmann, secondo la quale il picco di emissione dipende dalla temperatura (legge di Wien). Nel caso di un corpo nero alla temperatura solare la maggior parte di radiazione emessa è concentrata nel **visibile** e nell'**infrarosso** (sostanzialmente tra 2.000 [Angstrom](#) e 3 [micron](#), con una potenza di 400.000 miliardi di miliardi di KW,  $4 \cdot 10^{33}$  erg/sec).

E' interessante, a questo punto, osservare come l'occhio umano abbia la massima capacità risolutiva proprio sul colore giallo, punto in cui l'emissione solare manifesta il suo massimo assoluto.

Per chiarezza è bene ricordare che, tuttavia, questa non è l'unica reazione nucleare da cui il Sole trae energia. Accanto a questo *canale* esistono altre reazioni, che in queste condizioni termodinamiche hanno però frequenza minore.

Dopo una vita sostanzialmente tranquilla, il Sole, tra circa **5 miliardi d'anni**, esaurirà il suo "carburante", cioè l'idrogeno, ritrovandosi ad aver prodotto una grossa riserva di elio. A questo punto ricomincerà a collassare, bruciando i nuclei di idrogeno rimasti negli strati più esterni, fino a che il nucleo non raggiungerà le condizioni per poter bruciare elio a carbonio e ossigeno, ovvero ad una temperatura di circa 100 milioni di gradi Kelvin. Questo processo fornirà la nuova fornace energetica del Sole e lo porterà ad uscire dalla **sequenza principale del diagramma di Hertzsprung-Russell**, diventando un'instabile **gigante rossa** ed espandendosi così tanto da inglobare i pianeti più interni del Sistema Solare, fino a Marte, e quindi anche la Terra. La sua storia si concluderà quando esaurirà anche l'elio, con un progressivo raffreddamento e rimpicciolimento, fino a diventare una **nana bianca** per poi spegnersi definitivamente. Stelle più pesanti del Sole hanno la capacità di attivare altri canali dopo quello dell'elio a carbonio, innestando catene successive.

## La struttura del Sole.

La struttura solare si può schematizzare così:

- nucleo
- fotosfera (con macchie e facole)
- atmosfera (stato di inversione, cromosfera, corona solare)

Per quel che concerne il nucleo solare possiamo attenerci solo a modelli teorici, più o meno confermati, dalle misure indirette, perciò le indagini si limitano alla fotosfera, che è la parte luminosa a noi visibile, e all'atmosfera che la circonda e che può essere esaminata durante le [eclissi](#), quando cioè la [Luna](#) copre la massima parte del disco solare e perciò l'atmosfera non è più abbagliata dalla fotosfera.

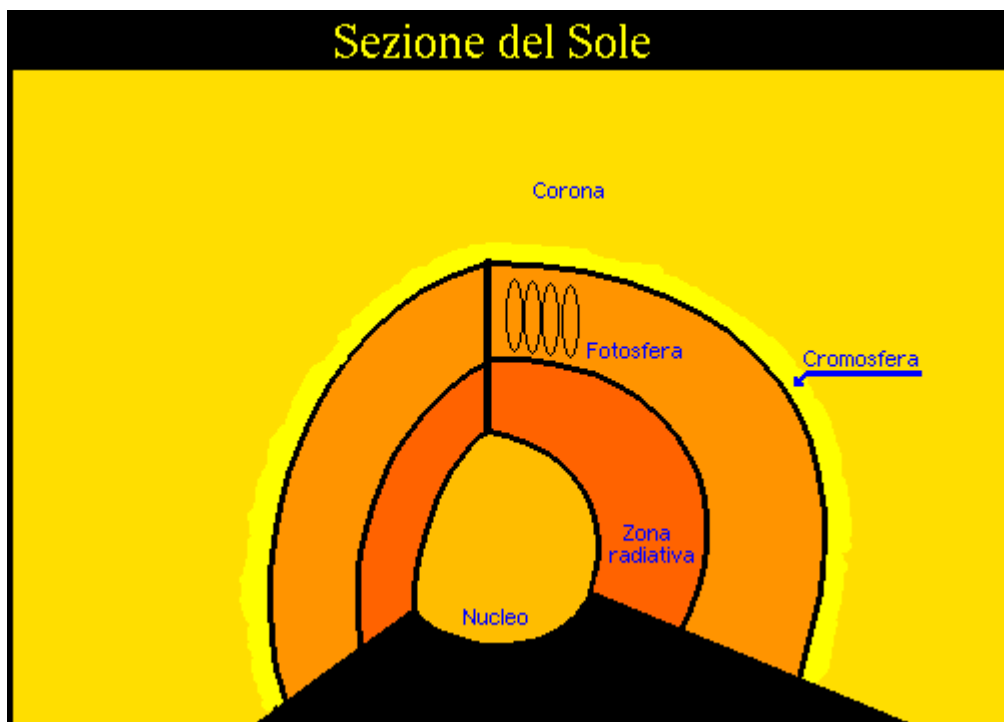


Figura 3: Rappresentazione della sezione del Sole.

### Il Nucleo

Per la conoscenza del nucleo ci si basa sull'evoluzione stellare; si calcola che la temperatura del nucleo debba raggiungere i 10 milioni di gradi Kelvin. A queste temperature la materia si presenta sicuramente in stato di plasma degenere, in cui i nuclei si trovano in stato completamente ionizzato.

## La Fotosfera e le Macchie Solari

La fotosfera, all'indagine spettroscopica, risulta costituita da vari elementi chimici. Mentre il Berillio e il Boro sono presenti in piccolissima quantità, poiché distrutti dalle reazioni termonucleari durante la fase giovanile del Sole, l'Idrogeno e l'Elio, come già detto, sono di gran lunga i più abbondanti: infatti l'80% dell'energia solare è generata dalla combustione dell'Idrogeno in Elio.

La fotosfera ha l'aspetto ora di reticolo luminoso, ora di granuli, interrotti da macchie (aventi diametro di 500-800km). Le macchie sono aperture superficiali di cavità profonde fino a migliaia di km occupate da vapori e gas in parte non luminosi; sono sede di grandiosi fenomeni dinamici, termici, magnetici, elettrici dovuti all'attività interna del Sole. Esse si spostano dal margine orientale (sinistro per chi guarda il Sole nel nostro emisfero e avendo il Nord alle spalle) verso ovest. Ciò ha permesso di affermare il movimento di rotazione del Sole da Ovest ad Est intorno ad un asse che è quasi perpendicolare al piano dell'orbita terrestre e che avviene in un periodo di 25-34 giorni nostri e precisamente: rotazione all'equatore in 25 giorni, ai poli 34 giorni.

Ciò dimostra, non essendo uguale la durata di rotazione di tutti i punti, che il Sole almeno in superficie non è solido e che la velocità di rotazione del Sole, oltre che aumentare verso l'equatore, aumenta anche con l'altezza dei diversi strati della sua atmosfera.



**Figura 4: Immagine delle macchie solari sulla fotosfera.**

Anche la distribuzione delle macchie non è uniforme e il loro numero non è costante. Inoltre esse si muovono indipendentemente dal moto di rotazione. Nei periodi di attività le macchie compaiono a circa 40° di latitudine nord e sud e lentamente discendono verso l'equatore fino a circa 5° dove vanno estinguendosi, mentre nelle zone suddette di 40° ne compaiono delle altre prima che le precedenti siano scomparse.

Attorno ai bordi delle macchie si osservano delle facole cioè delle zone molto luminose. L'attività delle macchie raggiunge un massimo ogni 11 anni. Quando il numero delle macchie è elevato e quando assai forte è l'intensità dei campi magnetici, la corona solare, durante le [eclissi](#) totali, appare solcata da pennacchi emergenti come petali di una dalia. Inoltre tali campi magnetici fanno da schermo ai raggi cosmici galattici, cosicché un numero minore di questi ultimi raggiunge l'atmosfera terrestre.

La maggiore o minore quantità di raggi cosmici è importante per la formazione, nella nostra atmosfera, del Carbonio 14 ( $^{14}\text{C}$ ) dovuta appunto alla loro azione. Poiché il  $^{14}\text{C}$  viene fissato dai

vegetali insieme al  $^{12}\text{C}$ , come conseguenza della fotosintesi, determinando la quantità di  $^{14}\text{C}$  presente nei composti organici degli anelli annuali che si formano nel tronco degli alberi, è possibile conoscere le fluttuazioni delle macchie solari avvenute nel passato. Infatti quando il Sole è meno attivo, il suo campo magnetico è meno esteso e di conseguenza la [Terra](#) riceve un maggior numero di raggi cosmici e nella sua atmosfera la percentuale di  $^{14}\text{C}$  aumenta.

L'andamento dell'attività solare influenza anche le variazioni climatiche; infatti è accertato che ad un minimo di macchie solari corrispose nel quaternario un'avanzata dei ghiacciai, mentre ad un massimo corrispose un ritiro dei ghiacciai, come si è verificato nel Medio Evo, durante il quale le temperature medie annue furono abbastanza elevate.

Per ciò che riguarda la temperatura, secondo le misure più recenti la fotosfera raggiunge i  $6000\text{ }^{\circ}\text{C}$  circa, mentre al centro delle macchie la temperatura è di circa  $3900\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tali elevate temperature sono dovute, come si è visto precedentemente, alle grandi pressioni esercitate dal collasso gravitazionale.

## L'Atmosfera

La presenza di uno strato atmosferico si manifesta come un attenuamento dello splendore della fotosfera dal centro verso i margini. E' visibile durante le [eclissi](#) totali ed è di un roseo brillante. Lo strato di questa atmosfera più vicino alla fotosfera è detto lo **strato di inversione**, miscuglio di vapori e di gas dello spessore di qualche migliaio di chilometri; la sua presenza è dimostrata dall'esame spettroscopico. Infatti, lo spettro della fotosfera sarebbe continuo se i raggi luminosi provenienti da essa non attraversassero la zona di inversione, dove i vapori e i gas dei numerosi elementi chimici che vi si trovano assorbono le radiazioni corrispondenti a quelli che essi emetterebbero se si comportassero come sorgenti luminose. Perciò lo spettro solare è costituito da un fondo continuo emesso dalla fotosfera solcato da righe nere dovute all'assorbimento da parte dei gas dello strato di inversione.

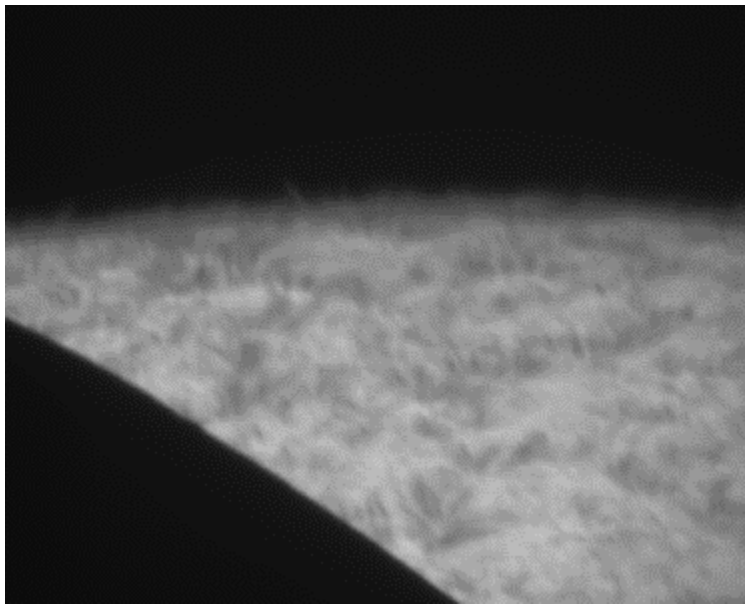


Figura 5: Atmosfera solare.

A questa segue la **chromosfera** che è la zona più luminosa dell'atmosfera solare, alta 7000-9000km, di vario nitore; sembra che in essa avvengano continue esplosioni, soprattutto in corrispondenza delle macchie della fotosfera, dove appunto si osservano delle protuberanze (getti di Idrogeno) dell'altezza di centinaia di migliaia di chilometri, e dei brillamenti che sono improvvisi aumenti di luminosità accompagnati da espulsioni di particelle ionizzate, di radiazioni e di raggi X. Segue infine la **corona solare** dello spessore di circa 300.000km, di splendore maggiore quando ci sono le macchie. Essa è costituita di plasma in movimento turbolento, generante un'espansione continua di materiale solare altamente ionizzato (elettroni, protoni e nuclei di Elio), il "vento solare", messo in evidenza da sonde spaziali.

La struttura della corona, che, in quanto visibile, è perciò oggetto di studio durante le [eclissi](#) totali di Sole, varia notevolmente da un'eclisse all'altra e la sua forma è connessa al ciclo un decennale della macchie solari, presentandosi più irregolare quando il numero delle macchie è al minimo.

Nella corona si distinguono nettamente tre zone: la prima, alta circa due raggi solari (cioè circa 1.400.000km) è detta corona elettronica, perchè i suoi elettroni liberi diffondono la luce fotosferica e il suo spettro non presenta righe di assorbimento ma è continuo ed è perciò detto "K" (dal tedesco Kontinuum); segue la zona "F" così detta perchè nel suo spettro compaiono righe di assorbimento di Fraunhofer: essa è poco luminosa, ma la luce fotosferica viene diffusa dalla polvere cosmica.

La terza zona è molto rarefatta e la sua luce molto debole è dovuta agli ioni eccitati. È da questa zona che si origina il "vento solare".

Dal punto di vista chimico la corona solare è composta dagli stessi elementi che costituiscono la fotosfera: 80% di Idrogeno, 19% di Elio e 1% di tutti gli altri elementi presenti nella fotosfera.

Dallo studio del Sole si deduce che l'energia solare che giunge a noi è di due tipi: elettromagnetica e corpuscolare.

La radiazione elettromagnetica si estende dai raggi X di altissima energia fino alle onde radio; la gamma dello spettro visibile corrisponde al circa il 50% dell'intera energia emessa dal Sole. Questa energia proviene dalla fotosfera ed è praticamente costante, in quanto le macchie solari provocano variazioni trascurabili: essa è valutata in 2 calorie al minuto per  $\text{cm}^2$  di superficie terrestre esposta perpendicolarmente ai raggi del Sole (costante solare). Le radiazioni ultraviolette, generate soprattutto nella bassa corona solare nelle zone attive sopra le macchie, non raggiungono la superficie terrestre in quanto l'ultravioletto "vicino" (cioè quello a maggior lunghezza d'onda e quindi più vicino al violetto dello spettro visibile) viene assorbito dall'ozonofera, mentre l'ultravioletto "lontano", cioè quello a lunghezza d'onda minore, viene assorbito fra i 100 e i 200km di altezza dall'atmosfera terrestre dove le alte temperature, registrate dai satelliti, risentono delle variazioni dell'attività solare.

La radiazione corpuscolare costituita di ioni (per lo più di Idrogeno) e di elettroni dà luogo al "vento solare".

Il Sole è anche sede di un enorme campo magnetico, 100 volte maggiore di quello terrestre: ultimamente la **sonda Ulysses** ha rimesso in dubbio le teorie sulla posizione dei suoi poli magnetici, ovvero sembrano non esistere affatto.

## Un po' più da vicino...

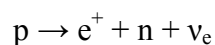
Prima di concludere, vorremmo focalizzare l'attenzione su tre questioni un po' più tecniche, che risultano, particolarmente interessanti.

### La catena protone-protone

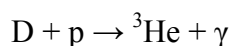
Il processo che porta, a partire da quattro nuclei di idrogeno, cioè quattro protoni, un nucleo di  ${}^4\text{He}$  può risultare interessante, anche da un punto di vista pedagogico per avere un'idea su come può essere strutturata una catena di reazioni nucleari.

Possiamo schematizzare l'intero processo come segue.

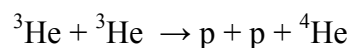
- Presenza di due protoni liberi nello stato iniziale  $p - p$ .
- Urto fra le due particelle. Nelle condizioni energetiche sopra specificate un protone va incontro a *decadimento elettrodebole* emettendo un neutrino elettronico,  $\nu_e$ , un positrone  $e^+$  e un neutrone nello stato finale:



- Il neutrone si unisce al protone originario, non trasformato, e forma un nucleo di Deuterio, D (atomo di idrogeno con un protone e un neutrone). Osserviamo che l'idrogeno in natura si presenta secondo tre specie isotopiche: *Prozio*, *Deuterio* e *Trizio*, rispettivamente con 0, 1 e 2 neutroni. Il terzo è instabile.
- Dal *mare* di protoni liberi presenti nel nucleo solare il Deuterio “pesca un altro protone” formando  ${}^3\text{He}$  e emettendo un raggio gamma (raggio X di altissima energia):



- A questo punto l' ${}^3\text{He}$  incontra un altro nucleo di  ${}^3\text{He}$ , che nel frattempo ha seguito lo stesso percorso. Nell'urto si produce un nucleo di Berillio 6,  ${}^6\text{Be}$ , il quale è instabile e quindi decade immediatamente in 2 protoni e un nucleo di  ${}^4\text{He}$ :



Come si può notare una catena di questo tipo, oltre a produrre, un nucleo di  ${}^4\text{He}$ , nello stato finale genera, via via, dei “resti”. Precisamente, positroni, che si annichilano con elettroni producendo raggi X, neutrini elettronici, protoni e raggi gamma. Attraverso l'analisi di questi ultimi si possono dare conferme o smentite sulla natura delle interazioni teorizzate all'interno del Sole.

## I neutrini solari

Di particolare interesse risulta lo studio sui neutrini solari. Come si vede ogni catena protone-protone può in totale produrre due neutrini elettronici. Questi, una volta prodotti, hanno scarsa capacità di interagire. Per questo motivo quelli che avvistiamo da Terra sono il prodotto diretto delle interazioni sopra descritte.

La teoria è in grado di fornirci il flusso previsto di neutrini prodotti a seguito di queste interazioni, per superficie ed angolo solido. Il confronto di queste previsioni con i dati sperimentali ha permesso di testare la validità del modello solare ipotizzato, su cui sono basati i calcoli.

## La gravità solare

Proponiamo, in quest'ultima sezione, un semplice calcolo per confrontare l'intensità della forza di gravità terrestre con quella solare.

La legge newtoniana di attrazione gravitazionale fra due corpi, posti a distanza  $R$ , di massa  $M_1$  e  $M_2$  è:

$$F = G \frac{M_1 M_2}{R^2}$$

in cui  $G$  è la costante di gravitazione universale.

Supponiamo, ora, di prendere una persona di massa  $m$  e metterla sulla superficie terrestre e poi su quella solare.

Immettendo nell'equazione di cui sopra i valori opportuni per la massa solare ed il raggio solare, prima, per ottenere l'attrazione gravitazionale solare  $F_S$ , e poi i relativi terrestri, per ottenere l'attrazione gravitazionale terrestre  $F_T$ , otteniamo il rapporto fra le due forze, che non dipende da  $m$ :

$$\frac{F_S}{F_T} = \frac{M_S}{R_S^2} \frac{R_T^2}{M_T} \cong 28$$

Quindi, ipotizzando di riuscire ad andare sulla superficie solare, il nostro peso sarebbe 28 volte maggiore. In altri termini una persona di 100 kg peserebbe 2,8 tonnellate!

