

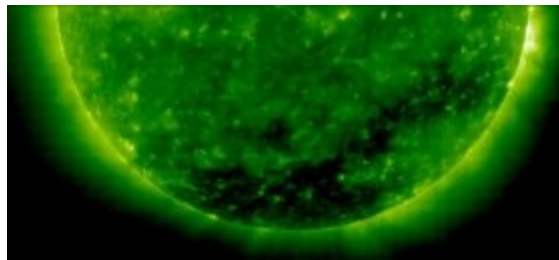
La perdita di massa del Sole

Il sole ha una massa conosciuta che arriva a $1,9891 \times 10^{30}$ kg, ma sappiamo che esso emette energia e quindi perde ogni secondo una grande quantità di massa. L'obiettivo di quest'articolo è trovare il valore approssimativo della quantità di massa che esso perde ogni secondo. Questo calcolo non è molto preciso nel senso che il sole non emette costantemente la stessa quantità di energia. Ci sono dei fenomeni fotosferici, cromosferici e anche coronali dove viene emessa moltissima energia spontaneamente ma che in questo articolo non saranno considerati.

La perdita di massa solare può avvenire in due modi: con il VENTO SOLARE oppure con la RADIAZIONE SOLARE.

Il **vento solare** emesso dal sole porta con sé protoni, elettroni e altri ioni più pesanti come l'elio doppiamente ionizzato chiamato anche particelle alfa (He^{++}), eccetera. Il vento solare è stato scoperto grazie a fenomeni come le aurore, la coda ionica delle comete e le piccole variazioni dell'attività geomagnetica. Le particelle emesse vincono la forza di gravità solare grazie alle alte temperature della corona e all'alta energia cinetica che le particelle guadagnano attraverso processi che ancora non sono del tutto chiari.

Si conoscono due tipi di vento solare: il vento solare lento e il vento solare rapido. Vento solare rapido: si produce nei buchi coronali, che sono zone di bassa densità e temperatura, dove il campo magnetico è debole e le linee del campo si aprono nello spazio. Questi buchi si producono a tutte le latitudini solari, sia all'equatore sia ai poli.

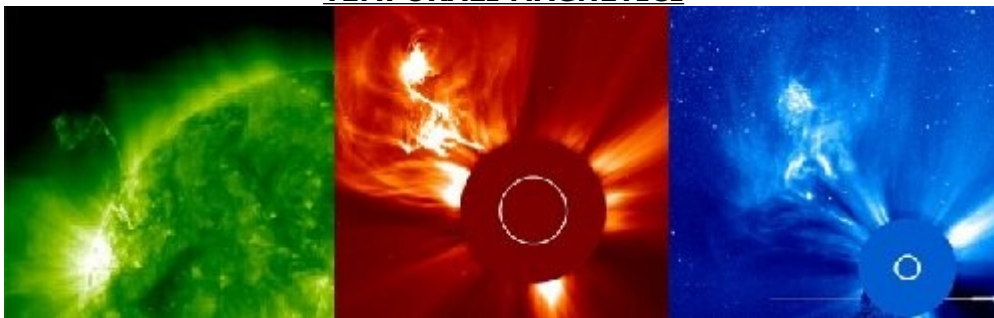


Buco coronale registrato dalla sonda SOHO il 12/03/2008 con il sensore EIT 195

Nel caso del vento solare lento è più difficile sapere cosa lo produce, ma si pensa che sia dovuto a temporali magnetici a bassa latitudine. La sonda Hinode con i suoi sensori di altissima precisione forse riuscirà a scoprire qual'è l'origine di questo vento lento.

Caratteristica	Vento Solare Rapido	Vento Solare lento
Velocità	400-800 km/sec	250-500 km/sec
Densità	3 particelle/cm ³	10,7 particelle/cm ³
Flusso	2×10^3 particelle/cm ² sec	$3,7 \times 10^3$ particelle/cm ² sec
Fonte	Buchi coronali	Temporali magnetici a basse latitudini

TEMPORALI MAGNETICI



Il temporale magnetico solare, chiamate anche CME (Coronal Mass Ejection), registrato il 4 gennaio del 2002 dalla sonda SOHO nell'ultravioletto estremo (195Å) e nei due coronografi LASCO C2 e C3.

Oggi sappiamo che il vento solare è composto essenzialmente da elettroni e ioni dove il 95% sono protoni, il 4% sono particelle alfa (elio ionizzato due volte, ${}^4\text{He}^{2+}$), e altri ioni in una millesima parte dei protoni.

Per quest'analisi prendiamo in considerazione solo i protoni che sono quelli che portano con loro quasi tutta la massa che il sole perde.

La temperatura del vento solare scende dai 1.000.000°K della corona fino a 100.000°K in prossimità della terra e a 10.000 °K a 10 UA (1UA=1,496x10⁸ km).

A causa della rotazione solare il campo magnetico interplanetario trasportato dalle particelle del vento solare si dispone nella forma simile ad una spirale archimedeica, come accade con lo spruzzo d'acqua di un innaffiatore rotante da giardino. Attualmente si crede che il vento solare perda la sua forza gradualmente sparendo ad una distanza di 100 UA, limite chiamato eliopausa; è lì, dove non è più sufficiente la forza del vento solare a spingere indietro il mezzo interstellare, che "termina" il Sistema Solare.

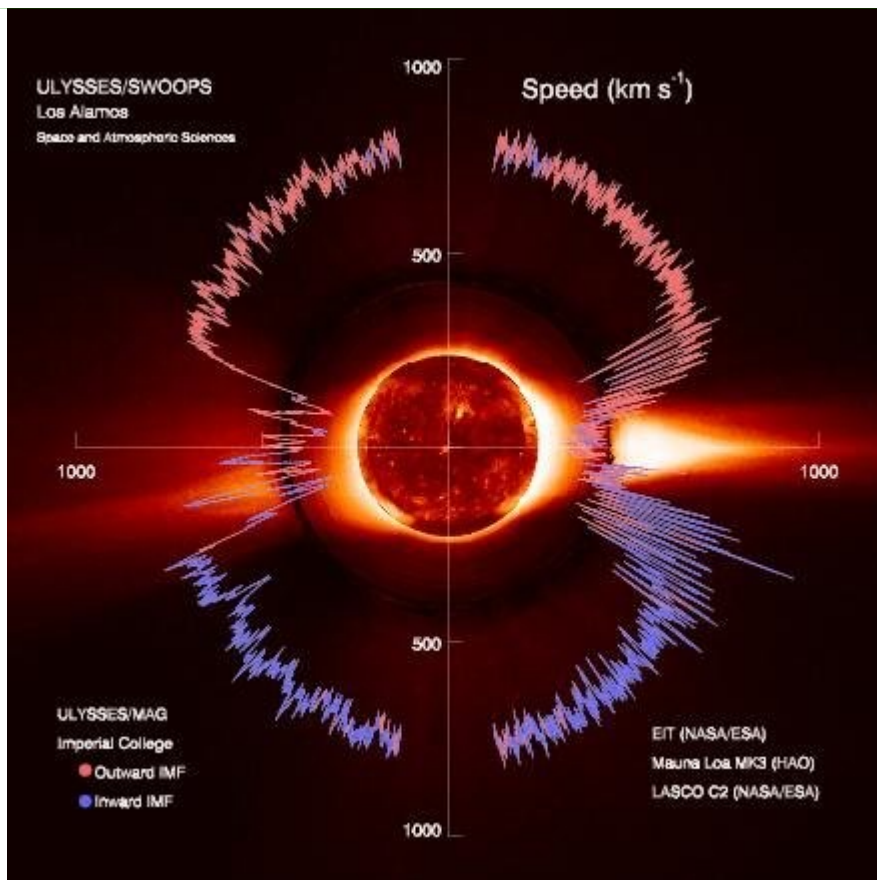
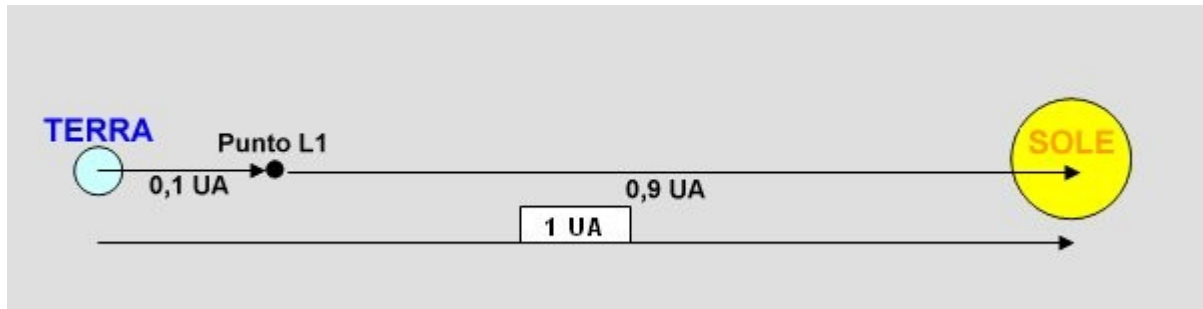


Immagine elaborata grazie alla sonda Ulysses, la quale ha scoperto che sopra l'eclittica, quindi sopra l'equatore solare, la velocità del vento è piuttosto alta in confronto all'equatore (750 km/s in media), la quale aumenta repentinamente avvicinandosi al polo e poi rimane più costante.

Adesso passiamo all'analisi della perdita di massa solare al secondo considerando solo i protoni del vento solare e considerando che il sole è in stato di calma, in altre parole con il sole quieto. Per fare questa analisi ci valiamo dei dati che ci ha dato la sonda ACE, messa in un'orbita chiamata L1 (nel punto lagrangiano 1). Questo punto orbitale è stato scoperto dal matematico italo-francese Giuseppe Lagrange, il quale per primo lo mise in luce. Il punto L1 si trova a circa 1/10 della distanza Terra-Sole: in questa orbita particolare un veicolo si muove intorno al sole alla stessa velocità della Terra permettendo così ai due corpi di rimanere insieme durante la rivoluzione annuale intorno al sole. La sonda ACE studia i raggi cosmici anomali e il vento solare, e ci permette di prevedere le tempeste magnetiche con anticipo, vista la sua posizione orbitale.

Immaginiamo una sfera che abbia il raggio uguale all'orbita della sonda ACE. Vuol dire

che la distanza Sole-sonda ACE sarà di: 0,9 UA = 134.640.000 km



Prendendo in considerazione i valori presi dalla sonda ACE possiamo dire che il flusso di protoni per cm^2 al secondo è di circa 3×10^8 protoni. Sappiamo che la massa del protone è di $1,67 \times 10^{-27}$ kg e quindi facciamo il conto di quanti chilogrammi di protoni passano attraverso una superficie di 1 cm^2 al secondo :

Massa (Kg/sec) = Flusso di protoni x Massa del protone

$$\text{Massa} = 3 \times 10^8 \times 1,67 \times 10^{-27} = 5,01 \times 10^{-19} \text{ kg/sec}$$

Questo risultato vuole dire che per ogni centimetro quadrato in ogni secondo passano $5,01 \times 10^{-19}$ kg. Adesso dovremo sapere qual'è la superficie della sfera che ha come centro il sole e come raggio la distanza Sole-sonda ACE, e così potremo arrivare alla quantità di massa che il sole emette al secondo in tutte le direzioni.

Secondo la geometria la superficie di una sfera è data da:

$$\text{Sup} = 4\pi \times \text{raggio}^2$$

$$\text{Sup} = 4 \times 3,1415926 \times (0,9\text{UA})^2 = 4 \times 3,1415926 \times (134.640.000\text{km})^2 = 2,3 \times 10^{17} \text{ km}^2$$

$$2,3 \times 10^{17} \text{ km}^2 = 2,3 \times 10^{27} \text{ cm}^2$$

Se per ogni cm^2 emette $5,01 \times 10^{-19}$ kg per $2,3 \times 10^{27} \text{ cm}^2$ il sole emette una massa di:

$$\boxed{5,01 \times 10^{-19} \text{ kg} \times 2,3 \times 10^{27} \text{ cm}^2 = 1.152.300.000 \text{ kg/sec}}$$

Il secondo sistema di perdita di massa solare è quello dato per la emissione di **radiazione** elettromagnetica in tutto lo spettro (luce visibile, luce infrarossa, luce ultravioletta, onde di radio, ecc.)

Il sole ha la sua fonte di energia nel suo interno, dove la temperatura raggiunge i $15.000.000^\circ\text{K}$ e dove quattro atomi di idrogeno si fondono per formare un atomo di elio. In questa reazione ogni secondo il sole trasforma 600.000.000 di tonnellate di idrogeno in 595.500.000.000 kg di elio e i 4.500.000.000 Kg mancanti sono di radiazione elettromagnetica che il sole emette in ogni direzione. Quindi 4.500.000.0000 kg è la massa che il sole perde ogni secondo a causa della reazione termonucleare chiamata protone-protone (vedere Nucleo Solare), che è la reazione più comune nelle stelle.

In questa reazione parte dell'energia viene emessa sotto forma di **fotoni gamma** e una parte sotto forma di **neutrini** veloci, i quali, a causa delle loro caratteristiche (assenza di

carica e di massa), hanno una notevole probabilità di attraversare tutta la massa solare, sfuggendo senza interazione con la materia solare, mentre i fotoni fanno pochissima strada, perché vengono immediatamente assorbiti dai nuclei vicini, i quali riemettono la loro energia sotto forma di radiazione.

L'energia totale rimane la stessa: per l'equilibrio energetico, ogni livello deve rimettere quello che assorbe, ma l'energia di ogni singolo fotone cala, fino ad arrivare alla fotosfera, dalla quale escono principalmente fotoni nella banda del visibile.

Questi processi non sono istantanei, in quanto l'energia passa in media in **10²²** processi di assorbimento e riemissione prima di arrivare alla superficie, impiegando in media un tempo di **un milione d'anni**.

La quantità di energia a tutte le lunghezze d'onda che ad ogni secondo colpisce perpendicolarmente un metro quadrato di superficie esposta alla luce solare prende il nome di costante solare. Le misure della costante solare effettuate nello spazio grazie ai satelliti forniscono un valore di 1,36 KW/m².

Secondo la formula di Einstein

$$E = m c^2$$

dove **E** è energia in joule, **m** la massa in kg e **c²** la velocità della luce in m/sec. Dobbiamo adesso sapere quanto vale "E" in totale e quindi calcoliamo la superficie d'una sfera con raggio 1UA

$$\text{Superficie sfera raggio 1UA} = 4\pi \times (149.000.000\text{km})^2 = 2,81 \times 10^{23} \text{ m}^2$$

Adesso calcoliamo l'energia E (1,36KW/m²) per 2,81 x 10²³ m² e troviamo l'energia totale emessa dal sole uguale a 3,8 x 10²⁶ watt/sec (chiamata luminosità solare).
Conoscendo "E" e c², dobbiamo trovare "m" quindi ricaviamo:

$$m = E / c^2$$

Sappiamo che 1 joule è uguale a 1 watt al secondo quindi E=1,36x10²⁶ joule

$$c^2 = (300.000.000 \text{ m/sec})^2 = 9 \times 10^{16} \text{ m}^2/\text{sec}^2$$

quindi

$$m = 1,36 \times 10^{26} \text{ joule} / 9 \times 10^{16} \text{ m}^2/\text{sec}^2$$

m = 4,2 x 10⁹ kg questa è la massa che il sole perde ogni secondo in tutte le direzioni in forma di radiazione.

CONCLUSIONE:

Il sole ha una massa di 1,989x10³⁰ Kg quindi sommando la massa che perde il sole ogni secondo sotto forma di vento solare e radiazione:

$$\text{Perdita di massa in vento solare} = 1,2 \times 10^9 \text{ kg}$$

$$\text{Perdita di massa in radiazione} = 4,2 \times 10^9 \text{ kg}$$

$$\text{Totale massa persa per ogni sec} = 5,4 \times 10^9 \text{ kg}$$

questa perdita corrisponde a 1,7 x 10¹⁷ kg all'anno quindi il sole perde l'8x10⁻¹⁴ % della sua massa all'anno, corrispondente all'**0,00000000000008%** della sua

massa per anno.

Per perdere tutta la sua massa dovranno passare quindi $1,6 \times 10^{15}$ anni, ma la nostra stella cesserà prima di essere una stella della sequenza principale...

Fabio A. Mariuzza