

## La scoperta del Vento Solare (di Simone Ballerini)

Benché la definizione matematica di 'vento solare' sia datata 1957, già molto tempo prima si era affermata l'idea che lo spazio interplanetario fosse percorso da jet di plasma, ovvero gas interamente ionizzato.



Il primo a dichiarare esplicitamente che qualcosa di più della semplice radiazione provenisse dal Sole e investisse la Terra, fu nel 1896 il fisico norvegese Olaf F. Birkeland. Birkeland affermò che il fenomeno delle aurore polari poteva essere causato da "raggi corpuscolari" carichi elettricamente, scagliati dal Sole e "risucchiati" in prossimità dei poli dal campo magnetico terrestre. Questa idea gli era stata ispirata dal fatto che

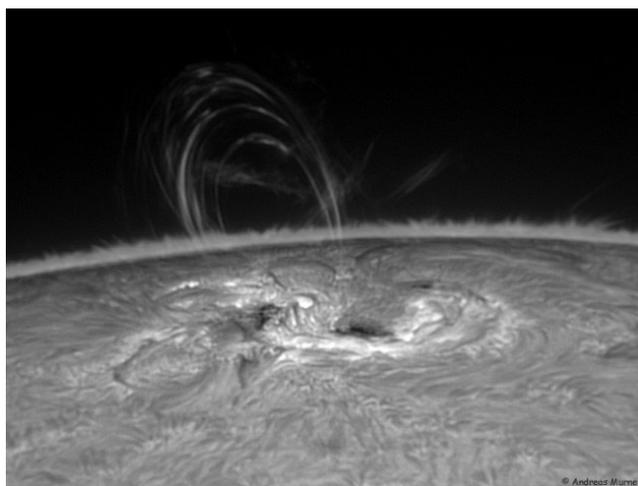
l'aurora aveva un aspetto molto simile alla scarica prodotta in quei tubi, appena inventati, che generavano flussi di particelle cariche: i cosiddetti raggi catodici.

All'epoca si tentò di descrivere le traiettorie che queste particelle avrebbero dovuto avere nello spazio, ma anche se l'approccio assunto per tali calcoli era completamente sbagliato, l'idea era sicuramente giusta.

Negli anni trenta il geofisico britannico Sydney Chapman suppose che un'emissione corpuscolare dal Sole fosse quella che forniva una spiegazione ragionevole del fenomeno delle tempeste magnetiche terrestri, che disturbano le trasmissioni radio e anche le linee telefoniche.

Già prima di Chapman era stato osservato che queste tempeste si manifestavano un paio di giorni dopo un brillamento solare e la spiegazione fu che la causa doveva essere un eccesso di radiazione ultravioletta proveniente dal Sole, o qualcosa di simile.

Chapman e V.C.A. Ferraro effettuarono una serie di calcoli e dimostrarono che una nube di ioni espulsi dal Sole, viaggiando alla velocità di 1000-2000 Km al secondo, avrebbe raggiunto la Terra in un giorno o due, perturbandone, al passaggio, il campo magnetico.



La loro descrizione teorica di una tale perturbazione del campo assomigliava così da vicino alle effettive fluttuazioni riscontrabili durante una tempesta magnetica che l'idea di Chapman fu ampiamente accettata.

Alla fine degli anni quaranta il vento solare fu messo in relazione con altri due eventi osservati.

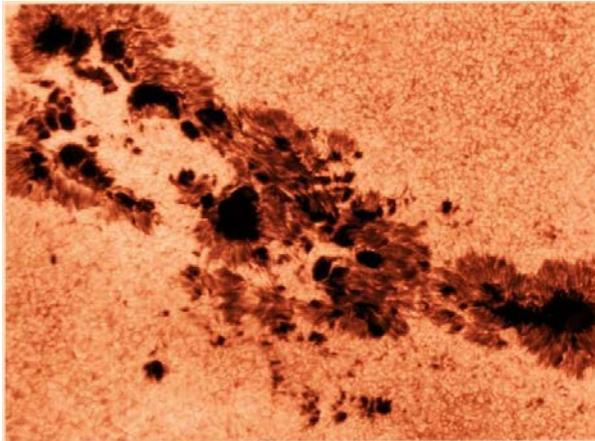
Per prima cosa si osservò che il flusso di raggi cosmici che cadeva sulla Terra diminuiva quando il Sole era attivo, e quasi si annullava durante una tempesta magnetica.

Philip Morrison della Cornell University, ed altri studiosi, suggerirono che un flusso di corpuscoli elettricamente carichi, proveniente dal Sole, recando con se un campo magnetico, avrebbe dovuto tendenzialmente trascinare le particelle di raggi cosmici al di fuori del sistema solare; l'effetto avrebbe dovuto essere più forte quando la radiazione solare fosse al massimo di intensità.

Il secondo evento messo in relazione con il vento solare riguardava le code cometarie.

Fino ad allora era accettata la teoria, secondo la quale, le code delle comete erano sospinte dalla pressione di radiazione solare. Negli anni cinquanta Ludwig F. Bierman, dell'Università di Gottingen, dimostrò che la pressione della luce del Sole non era neppure lontanamente sufficiente da giustificare la violenza con cui i gas di una cometa vengono proiettati lontano dalla sua testa. Egli ipotizzò, piuttosto, che la sola emissione solare che potesse essere in grado di spingere via la coda di una cometa, fosse un flusso di vere e proprie particelle. Sottolineò inoltre il fatto che una tale radiazione proveniente dal Sole avrebbe anche fornito una spiegazione degli ioni eccitati (e in grado di emettere luce) che vengono osservati nelle code delle comete.

Questo voleva dire che l'emissione di particelle dal Sole doveva essere continua in tutte le direzioni, come dimostravano le code cometarie, e non, come allora si ipotizzava, che dette particelle venissero espulse a fiotti dai brillamenti solari, o in fasci dalle macchie fotosferiche



tramite un qualche processo sconosciuto di accelerazione elettromagnetica.

Ma quale è il meccanismo che accelera le particelle della corona?

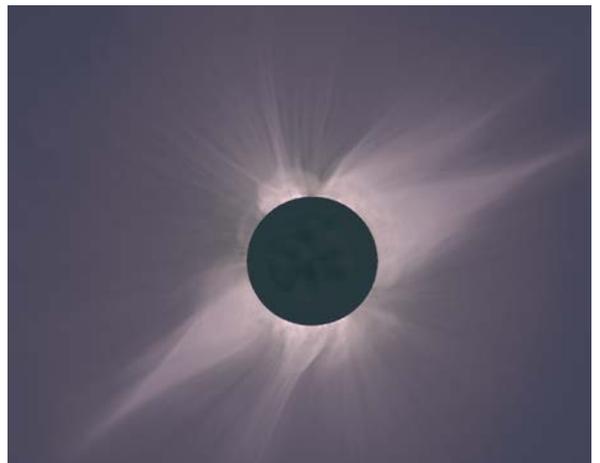
La soluzione a questo quesito balenò nella testa di Eugene H. Parker nel 1957.

All'epoca il suo amico Chapman stava lavorando sulla corona solare, cercando di appurare se fosse responsabile, con le sue propaggini più esterne, del riscaldamento dell'alta atmosfera terrestre.

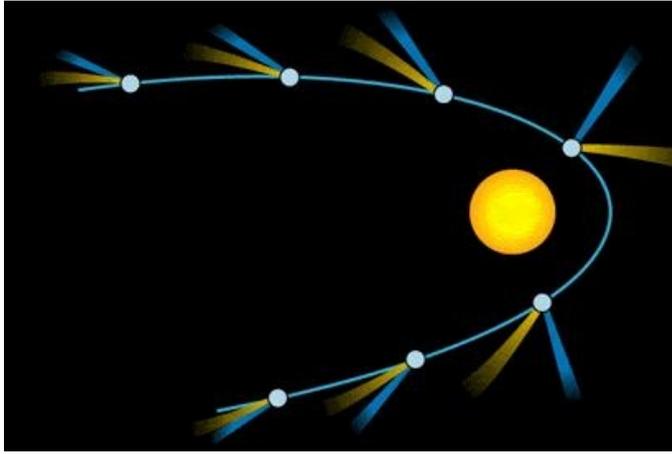
La corona è la parte più alta dell'atmosfera che circonda completamente il Sole; nella zona più vicina al Sole la densità di

particelle va da 100 milioni a un miliardo per  $\text{cm}^3$ . La loro temperatura cinetica è molto elevata, fino a circa due milioni di gradi nella sua parte più vicina al Sole.

Chapman all'epoca era uno dei maggiori esperti di dinamica del plasma e sapeva benissimo che un gas completamente ionizzato e rarefatto, a quella temperatura è un ottimo conduttore di calore. Ipotizzò allora che la corona si estendesse fino all'orbita terrestre e ne calcolò la temperatura a quella distanza e il risultato fu di circa  $200.000^\circ$ . Calcolò anche la densità di particelle della corona alla distanza della Terra, partendo dal presupposto che le stime fatte per la base vicino al Sole fossero esatte, e applicando le leggi barometriche, trovò che la Terra si muoveva attraverso un gas ionizzato molto rarefatto con un valore compreso tra 100 e 1000 protoni per centimetro cubo.



Parker rimase completamente affascinato dall'idea che la corona si estendesse per così tanto spazio, ma mancava ancora qualcosa perché la corona di Chapman era statica, mentre si sapeva già che le code delle comete, quando si allontanano dal Sole, precedono la cometa stessa; quindi le particelle del vento dovevano muoversi più velocemente della cometa.



L'idea che esistessero due tipi di corona, una statica e una in movimento radiale in allontanamento dal Sole, era impossibile, perché i campi magnetici intrappolati nel plasma in corsa ne avrebbero inibito il movimento.

Analizzando le leggi barometriche, invece, Parker arrivò alla conclusione che un gas molto caldo, non avendo pressione esterna che tenda a contrastarlo, tende inevitabilmente a espandersi; ne calcolò la velocità con le equazioni dell'idrodinamica. Data la

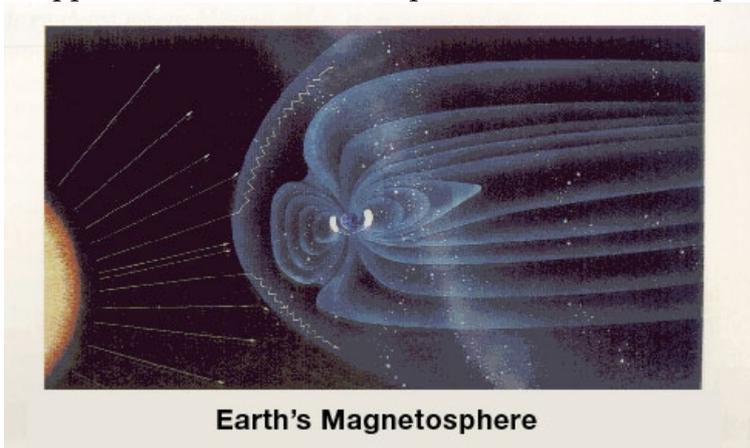
complessità di tali equazioni si limitò a considerare un caso molto semplificato, ma che rispecchiasse ciò che Chapman aveva trovato, e cioè che la temperatura dovesse rimanere alta per parecchi milioni di chilometri.

I risultati ottenuti dimostrarono che dapprima l'espansione è lenta ma, con l'aumentare della distanza, la pressione all'interno della corona gradualmente prevale sul peso del gas sovrastante e si instaura una rapida espansione.

A 10 milioni di chilometri dal Sole la corona va espandendosi alla velocità di molte centinaia di chilometri al secondo, molto superiori alla velocità del suono. A questo punto deve essere considerata come un vento supersonico piuttosto che atmosfera solare.

Parker cerca poi di calcolare anche il campo magnetico trasportato dal vento solare, e per farlo assume alcuni presupposti, e uno tra questi è che la corona riesca a strappare parte del campo magnetico solare. L'unico campo che la corona possa sottrarre al sole è quello generale perché i campi molto concentrati, prodotti dalle macchie o dalle regioni attive, sono così intensi che addirittura non consentono alla corona stessa, in prossimità di questi, di allontanarsi da essa. Il campo generale del Sole era stimato allora a circa uno o due gauss, quello terrestre a circa mezzo gauss.

Data poi la rotazione del Sole con periodo circa di 25 giorni, il moto del magnetismo solare strappato via dalla corona non può essere radiale ma spiraleggiante.



Date queste premesse ne conclude che l'intensità di un campo magnetico radiale, come quella della gravità e della luce, decresce in proporzione inversa al quadrato della distanza dalla sorgente. Si può pertanto calcolare che alla nostra distanza dal Sole, il campo magnetico trasportato dal vento solare sia inferiore a circa tre o quattro centomillesimi di gauss.

Negli anni successivi le sonde spaziali sovietiche Lunik I e II e quelle americane Mariner II e Explorer X, confermarono l'esistenza del vento solare nello spazio che attraversarono, e che in prossimità della Terra questo soffiava alla velocità prevista di circa 400 km al secondo. Confermarono inoltre che l'intensità del vento è incostante (a folate) ma incessante, e tende a essere turbolento e veloce in concomitanza degli eccessi delle attività solari.

Le stime sul flusso di particelle erano discordanti fra una sonda e l'altra, ma quelle americane stimarono una densità compresa tra 1 e 10 protoni per centimetro cubo per la maggior parte del tempo, come prevedeva la teoria dell'epoca che presupponeva la temperatura della corona a un milione di gradi fino a grande distanza dal Sole.

Le sonde americane confermarono anche che il campo magnetico trasportato dal vento solare è dell'ordine di pochi centomillesimi di gauss, e la Mariner II confermò che mediamente il campo aveva la prevista configurazione a spirale.

Da tutte queste stime Parker calcolò che l'idrogeno strappato al Sole dal vento è di circa un milione di tonnellate al secondo (su un periodo di 10 miliardi di anni il totale dell'idrogeno disperso nello spazio ammonta a soltanto un centesimo dell'uno per cento della massa della stella); ne ricavò poi che l'energia consumata per l'espansione della corona che alimenta il vento corrisponde a circa un milionesimo del totale dell'energia emessa dal Sole.

Ma fin dove arriva nello spazio il vento solare? Lo scienziato americano rispose a questa domanda ponendo due limiti, uno inferiore e uno superiore, ed un valore ragionevole, calcolato su una stima dell'intensità dei raggi cosmici. I due limiti furono calcolati assumendo che le stime calcolate a l'epoca per il campo magnetico presente nello spazio interstellare fossero veritiere. Per quello inferiore fu assunto il valore più alto per il campo magnetico interstellare, e il valore più basso per la densità delle particelle del vento all'altezza della Terra (due centomillesimi di gauss il primo e 1 atomo per centimetro cubo per il secondo), così ricava 12 unità astronomiche (poco oltre l'orbita di Saturno).

Per il limite superiore invece fu preso il valore più basso per il campo magnetico interstellare e il valore più alto per il vento (ovvero un duecentomillesimo di gauss e 10 protoni per centimetro cubo), ottenendo così un valore di 160 UA. Fra 12 e 160 UA il vento solare cessa la sua corsa.

Ma l'intervallo proposto era troppo ampio per soddisfare lo scienziato e allora questi propose una soluzione per ricavare un valore più verosimile.

È apparso che l'intensità dei raggi cosmici viene decurtata della metà quando il Sole è attivo, perché l'intensità del campo magnetico trasportato dal vento solare è maggiore, e porta via con se la maggior parte dei raggi cosmici.

Analizzando il declino e il recupero dell'intensità dei raggi cosmici in relazione con il ciclo undecennale delle macchie solari, si evidenzia che l'incremento dei raggi cosmici è ritardato di almeno sei mesi rispetto alla caduta dell'attività solare.

Analogamente a un'onda che ha bisogno di un certo tempo per propagarsi dal centro di un laghetto fino alla sponda, così ci vuole un certo tempo perché un incremento o un decremento di intensità del vento solare si comunichi ai limiti più esterni del vento stesso.

Vi è pertanto un ritardo tra una caduta dell'attività solare, con il conseguente indebolimento del vento, e l'arrivo del vento indebolito ai limiti dello spazio nel quale esso agisce come barriera all'entrata dei raggi cosmici nel sistema solare.

Conoscendo la velocità del vento all'altezza della Terra, lo scienziato calcolò che l'estremo confine del vento solare doveva essere compreso fra 40 e 50 UA.

I dati trasmessi dalle sonde Voyager 1 e 2 purtroppo non hanno confermato queste previsioni, e ciò vuol dire che i dati assunti sull'intensità del mezzo interstellare sono sbagliati. Attualmente si ipotizza che l'eliopausa si trovi a circa 90 UA nella zona che precede il movimento del Sole intorno al nucleo galattico (come la prua di una nave), e avvolga il Sistema Solare in un guscio piuttosto allungato. Le due Voyager continueranno a trasmetterci dati sul loro peregrinare nel vuoto fino al 2020; speriamo che allora siano riuscite a trapiantare e oltrepassare i confini del vento solare, svelandoci questo mistero.

