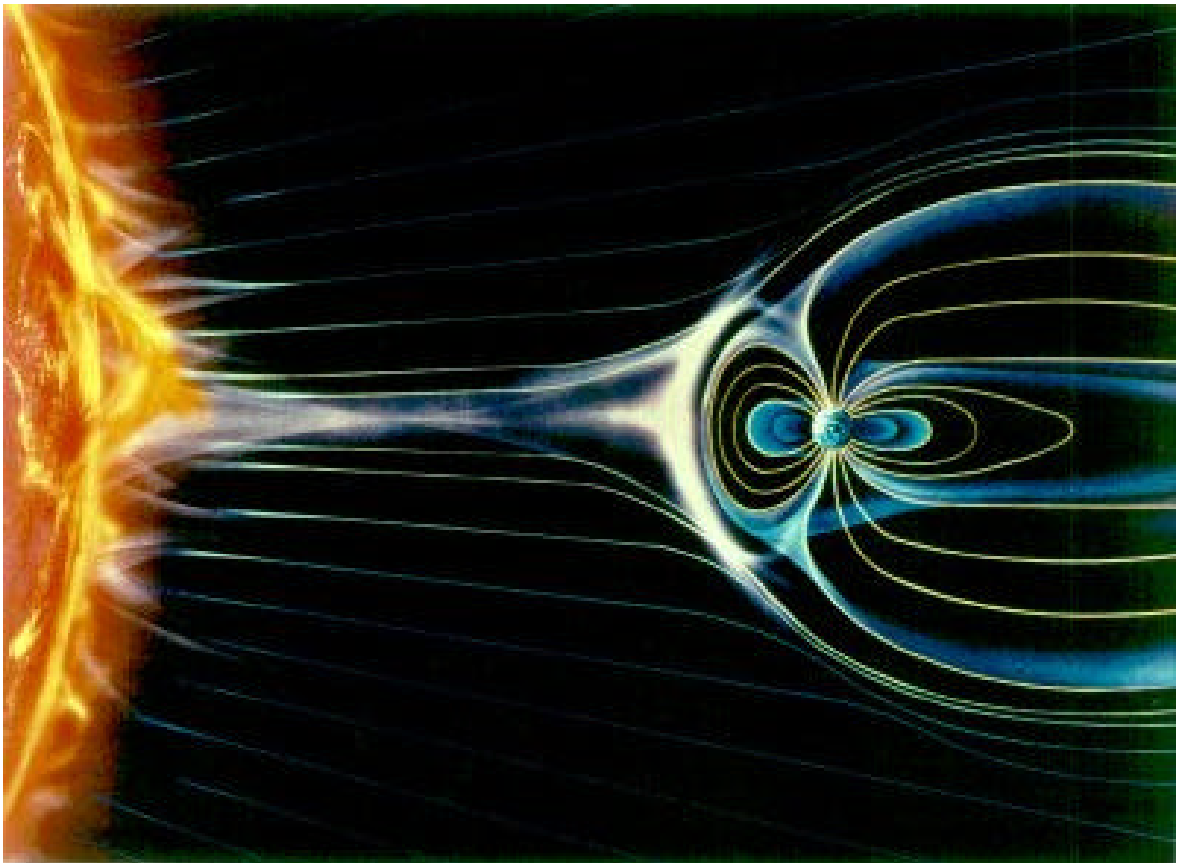


CENTRO OSSERVAZIONE E DIVULGAZIONE  
ASTRONOMICA SIRACUSA



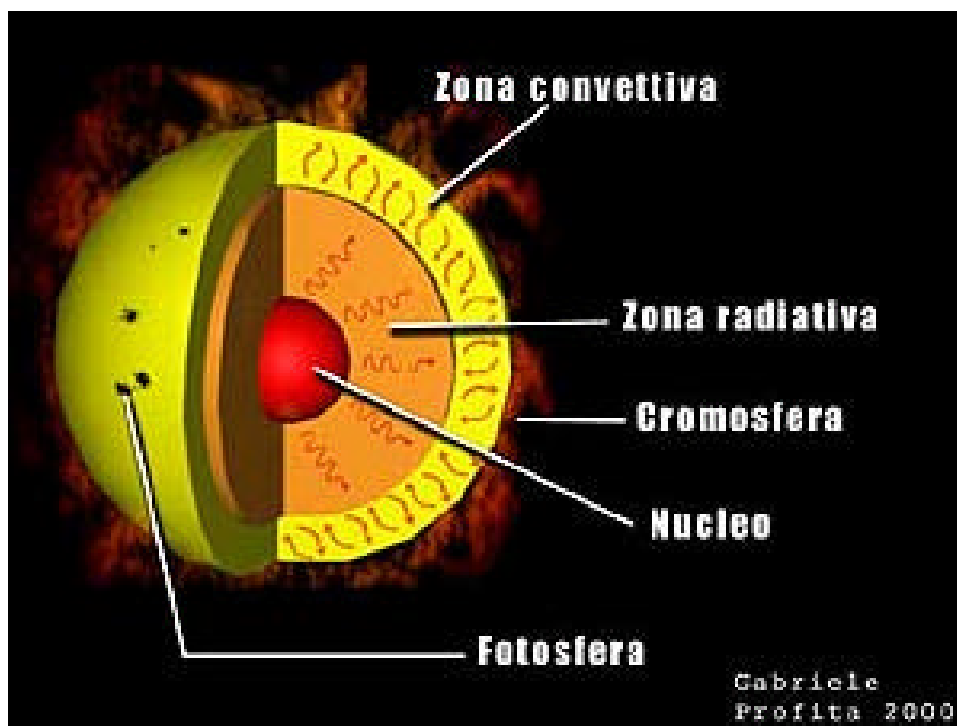
**Relazione fra l'attività solare e la Terra**

a cura del dott. Emerico Amari

**Indice della pubblicazione (Relazione fra l'attività solare e la Terra):**

<b>1)</b> Caratteristiche strutturali del Sole	pag. <b>2</b>
(1) Nucleo	
(2) Zona radiativa	
(3) Zona convettiva	
(4) Cromosfera	
(5) Fotosfera	
(6) Corona solare	
<b>2)</b> Campo Magnetico Solare	<b>3</b>
(1) Sole quieto	
(2) Sole attivo	
<b>3)</b> Fenomenologia Solare	<b>4</b>
(1) Macchie solari (minimo di Maunder)	
(2) Protuberanze (surges e sprays)	
(3) Brillamenti o flares	
(4) Coronal Mass Ejection (CME)	
<b>4)</b> Il ciclo delle macchie solari	<b>8</b>
<b>5)</b> Il vento solare	<b>9</b>
<b>6)</b> Effetti del vento solare	<b>9</b>
(1) Aurore boreali e australi	
(2) Tempeste geomagnetiche	
(3) Danni alle TLC, centrali elettriche e linee di trasporto EL	
(4) Climatici	
(5) Atmosfera terrestre	
(6) Effetti ionosferici associati	
<b>7)</b> Relazione tra i fenomeni solari e terrestri	<b>10</b>
<b>8)</b> Probabile legame fra i mutamenti climatici e le macchie solari	<b>14</b>
(1) Variazione dell'inclinazione dell'asse	
(2) Precessione degli equinozi	
(3) Eccentricità dell'orbita	
(4) la variazione della concentrazione di CO <sub>2</sub> e di altri gas serra	
(5) la variazione dell'albedo	
(6) variazione climatiche periodiche a scala secolare e decennale	
(7) variazioni climatiche aperiodiche a scala secolare e decennale	
<b>9)</b> Conclusioni	<b>17</b>

Con il termine relazione fra l'attività solare e i fenomeni terrestri si indica l'insieme dei fenomeni legati all'influenza della radiazione solare sulle condizioni terrestri e in particolare su quelle dell'atmosfera e del campo magnetico terrestre. Lo studio delle relazioni Sole-Terra si è molto sviluppato negli ultimi decenni, grazie all'invio di sonde spaziali, durante i quali sono stati svolti intensi programmi di misurazioni e osservazioni geofisiche. L'influenza che il Sole ha sull'atmosfera terrestre dipende fortemente dall'attività solare ed è in larga parte determinata dalla radiazione corpuscolare, costituita essenzialmente da protoni, raggi X e ultravioletti (UV).



### **1. CARATTERISTICHE STRUTTURALI DEL SOLE**

Come noto il Sole è una nana gialla (classe spettrale G2) costituita dai seguenti strati:

- 1) un nucleo** fatto di plasma nel quale avvengono le reazioni di fusione termonucleare all'idrogeno (densità 158 grammi su  $\text{cm}^3$ ) con produzione principalmente di nuclei di elio. Le reazioni di fusione producono radiazione elettromagnetica (fotoni o quanti di luce) di alta energia: raggi gamma, raggi X e UV. Un fotone prodotto nel nucleo impiegherà circa un milione di anni per giungere in superficie;
- 2) zona radiativa** nel quale il calore viene trasmesso per irraggiamento (fotoni di alta energia) mediante assorbimento ed emissione;

- 3) zona convettiva**, si ha il passaggio dell'idrogeno dallo stato plasmatico allo stato neutro (diviene neutro a temperature di circa 500 mila gradi e densità di 0.7 grammi su cm<sup>3</sup>). Il calore viene trasmesso mediante convezione (celle convettive);
- 4) cromosfera** o sfera dei colori;
- 5) fotosfera**, caratterizzata da una temperatura di circa 6000° C e densità 10<sup>-7</sup> grammi su cm<sup>3</sup>. La fotosfera solare è la parte superiore della zona convettiva, la superficie a noi visibile dalla quale provengono la maggior parte delle radiazioni che vanno ad investire la Terra. Fortunatamente il campo magnetico solare, di cui parleremo in seguito, è così potente da trattenere buona parte delle radiazioni pericolose.
- 6) corona solare**, (visibile solo durante le eclissi o mediante un costoso coronografo) un'atmosfera che si estende per parecchi milioni di chilometri dalla superficie del Sole a temperatura di circa un milione di gradi. Rimane un mistero, come mai la temperatura della corona sia così superiore a quella della fotosfera.

## **2. CAMPO MAGNETICO SOLARE**

Il campo magnetico del sole è prodotto dalla differente velocità di rotazione (all'equatore 26 giorni e ai poli 34 giorni) del Sole. Esistono ancora oggi molti aspetti oscuri del campo magnetico del sole (molto più complesso di quella della Terra), ma l'opinione corrente è che esso consta di due contributi:

- 1.** un dipolo nord - sud;
- 2.** quadripolo equatoriale.

La componente dipolare è simile a quella terrestre. Il campo quadripolare equatoriale somiglia a quattro bolle di magnetismo disposte ad intervalli regolari intorno all'equatore solare. Le bolle sono disposte in modo da rispettare le polarità. Per effetto della rotazione differenziale, l'equatore solare ruota ad una velocità maggiore rispetto ai poli, quindi le linee di flusso o di forza del suo campo magnetico subiscono una torsione, un po' come spaghetti avvolti intorno ad una forchetta. Questo ha l'effetto di causare piccole aree di magnetismo intenso sotto la superficie (i contributi delle linee di flusso del campo si sommano) del Sole. Si ritiene che alla fine le circuitazioni formate dalle linee di flusso del campo magnetico esplodano in superficie dando origine alle famigliari macchie solari.

Un'altra caratteristica importante che distingue il campo magnetico solare da quello terrestre è la sua rapida variabilità nel tempo e a diverse latitudini. I valori del campo magnetico solare variano fra 0.25 G e 1 G. Inoltre si è anche osservato come il campo magnetico della nostra Stella inverte in un periodo più breve della Terra la sua polarità.

A seconda dei valori del campo magnetico del Sole distinguiamo l'attività solare in:

- 1. Sole quieto**, è caratterizzato da distribuzione uniforme dell'attività solare, da un campo magnetico con dimensioni ridotte dell'ordine del raggio solare, maggiore produzione di carbonio radioattivo nella bassa atmosfera terrestre e avanzamento dei ghiacciai;
- 2. Sole attivo**, può manifestarsi con ampi fenomeni in superficie e per lo più localizzati. In alcuni casi l'attività raggiunge valori 100 volte superiori a quelli del Sole quieto. Inoltre con Sole attivo si registra una maggiore emissione di masse coronali, un campo magnetico che si estende per centinaia di raggi solari, minore produzione di carbonio radioattivo e ritiro dei ghiacciai. Sono stati anni di maggiore attività il 1989 e 2003.

### **3. FENOMENOLOGIA SOLARE**

Molti fenomeni che avvengono sulla superficie del Sole rappresentano la manifestazione più evidente dell'attività del campo magnetico, fra questi segnaliamo:

**1) macchie solari**, sono aree scure di forma irregolare sulla superficie del Sole. Le macchie hanno una temperatura che varia tra i 2000 e i 2500 K in meno rispetto alla fotosfera (quindi circa 3500 K, ed è proprio questa differenza di temperatura che le fa apparire così scure rispetto all'ambiente circostante). Solitamente appaiono in gruppi di due, poiché si manifestano con polarità magnetica opposta una all'altra. Precisamente: se una macchia appare nell'emisfero settentrionale, la macchia che la precede nell'altro emisfero, rispetto alla direzione della rotazione, è di polarità opposta. All'inizio del nuovo ciclo le polarità delle macchie si invertono. A causa di questo loro magnetismo pari ad un valore di 0.25 T (circa 10.000 volte più intenso di quello terrestre) le macchie contribuiscono in larga parte alla costituzione del campo magnetico solare. Nella fase iniziale della loro evoluzione, le macchie vengono chiamate pori, i pori che riescono ad aumentare di dimensioni prima di essere assorbite, crescono sempre di più, fino a raggiungere le ragguardevoli dimensioni di circa 50 mila km, e sviluppano attorno ad esse una zona leggermente più chiara, la penombra: a questo punto possono essere chiamate macchie.

Osservando il Sole noterete che le macchie che si trovano in prossimità dell'equatore ruotano più velocemente di quelle ai poli, impiegando 26 giorni per una rotazione completa, mentre 34 giorni ai poli.

La loro presenza, che varia in periodi ciclici a breve e lungo termine, fu confermata due secoli fa. Solitamente l'osservazione diretta del Sole è estremamente pericolosa, al tramonto però, quando il disco solare viene coperto da un tenue velo di nubi o polveri sospese nell'aria, essa diviene possibile. RegISTRAZIONI di osservazioni eseguite in Cina ad occhio nudo risalgono almeno al 28 a.C., in Occidente la datazione delle prime registrazioni appare assai più problematica. Forse il filosofo greco Anassagora osservò una macchia nel 467 a.C.. Nel concetto cosmologico dominante all'epoca, quello aristotelico, si riteneva che il cielo fosse perfetto ed immutabile: una macchia che apparisse sul Sole e scomparisse in seguito avrebbe significato un cambiamento nel cielo.

Partendo da questo preconetto ed assommando la difficoltà di osservare il Sole e la natura ciclica delle macchie, non sorprende che in Europa, le testimonianze sulla loro presenza siano quasi inesistenti, almeno fino al secolo XVII. Una macchia di grandi dimensioni, visibile per non meno di otto giorni, nell'807 era semplicemente interpretata come il passaggio di Mercurio sul Sole, altre tracce di osservazioni di passaggi di macchie sul Sole furono ignorate sia dagli astronomi che dai filosofi.

Nel 1607, Johannes Kepler desideroso di osservare il previsto transito di Mercurio sul disco solare, ne proiettò l'immagine attraverso un piccolo foro nel soffitto della sua casa ed osservò una macchia nera che ritenne essere il pianeta. Poiché Mercurio impiega solo poche ore per attraversare il disco solare in uno dei suoi rari transiti, riuscendo il giorno seguente a ripetere l'osservazione e constatando ancora una volta la presenza della macchia, comprese che quello che aveva osservato non poteva essere Mercurio. Lo studio scientifico delle macchie solari ha inizio in Occidente dopo l'ingresso, avvenuto nel 1609, del telescopio nell'astronomia. Anche se c'è ancora incertezza su quando e da chi vennero osservate per la prima volta attraverso il telescopio, possiamo con una certa sicurezza affermare che Galileo Galilei e Thomas Harriot furono i primi, intorno alla fine del 1610 e che Johannes e David Fabricius, oltre a Christoph Scheiner le osservarono per la prima volta nel marzo del 1611. Johannes Fabricius stesso fu il primo a redigere una pubblicazione sull'argomento, il suo libro *De Maculis in Sole Observatis* ("Delle macchie osservate nel Sole") apparve nell'autunno del 1611, ma rimase ignoto agli altri osservatori per qualche tempo ancora. Nel frattempo Galileo, nel corso della trionfale visita a Roma della primavera del 1611, aveva mostrato a diversi romani le macchie solari. Fu Castelli che sviluppò il metodo della proiezione dell'immagine solare attraverso il telescopio, una tecnica che rende possibile lo studio dettagliato del Sole anche se si trova alto nel cielo.

Galileo demolì le argomentazioni di Scheiner: “*il Sole è perfetto e quindi non può avere macchie sulla sua superficie*”. Il suo metodo per illustrare il moto delle macchie singole sulla superficie del Sole divenne il metodo standard per tracciare il moto ed i cambiamenti morfologici delle macchie. In Francia, Pierre Gassendi effettuò numerose osservazioni (non pubblicate fino al 1658); a Gdansk Johannes Hevelius (1647) ed a Bologna Giovanni Battista Riccioli (1651) fecero lo stesso. Per gli anni 1610-1645 ci sono quindi, un numero ragionevole di registrazioni di osservazioni. Dopo questo periodo, l'attività delle macchie solari si ridusse drasticamente. Quando, nel 1671, venne osservata una gigantesca macchia solare, si trattò di un evento episodico. L'attività solare aumentò dopo il 1710. Il periodo di scarsa attività è noto come **Minimo di Maunder**, da Edward Walter Maunder (1851-1928), uno dei primi astronomi moderni che studiò il ciclo a lungo termine delle macchie. Lo studioso George Ellery Hale costruì il primo elio-spettrografo.

**2) protuberanze** sono getti di materia incandescente che si innalzano dalla superficie del Sole e seguendo le linee del campo magnetico solare ricadono dopo un certo tempo sulla superficie stessa. Esse possono essere osservate ad occhio nudo, durante le eclissi totali di sole, oltre il bordo del disco solare, come strutture brillanti immerse nella corona estendetisi sino ad altezze che, in media, sono dell'ordine di un ventesimo del raggio solare. Sebbene le notizie sporadiche di oggetti osservati nella corona durante le eclissi di Sole risalgano al Medio Evo, le osservazioni fotografiche sono disponibili solo dal 1860. Al bordo le protuberanze appaiono come strutture brillanti, sul disco generalmente oscure e di aspetto filamentoso.

Nell'eclissi del 1868 vennero introdotte per la prima volta tecniche spettroscopiche. Si poté constatare che la luce emessa dalle protuberanze consiste principalmente in righe di emissione di idrogeno. Protuberanze diverse mostrano accentuate differenze di forma, evoluzione, moti e spettro. Si dividono in: quiescenti e a rapida evoluzione. Le prime possono durare da qualche giorno a qualche mese e presentano variazioni molto lente. Esse sono quasi perpendicolari alla superficie solare. Le protuberanze quiescenti possono attivarsi e successivamente esplodere allontanandosi dal Sole con velocità di diverse centinaia di km al secondo. Le protuberanze a rapida evoluzione sono più piccole delle protuberanze quiescenti. In genere durano solo qualche ora e presentano variazioni di forma e brillantezza. Si spostano con velocità di 50-100 km/sec.

Due tipi a rapida evoluzione sono le surges e le sprays. Le **surges** sono getti di plasma che si innalzano sulla cromosfera alla velocità di 100-200 km/sec, possono raggiungere altezze pari a 1/3 del raggio solare; durano in media 20 minuti. Siccome la loro velocità di fuga è insufficiente a vincere la forza di gravità solare, dalla cromosfera esse tendono a ricadere sul Sole. Le **sprays** sono getti di plasma che si innalzano sulla cromosfera a

velocità superiori ai 670 km/sec e che quindi si disperdono in gran parte nello spazio interplanetario.

**3) brillamenti o flares**, sono improvvise emissioni di radiazione elettromagnetica di alta frequenza (principalmente raggi X). La più imponente di queste eruzioni si è verificata il 5 marzo 1989. Quel giorno un massiccio brillamento X eruppe dalla superficie solare e durò 137 minuti. Fu giudicato l'evento più imponente di tutto il secolo, causò danni alle strumentazioni terrestri e spaziali, un centinaio di satelliti rimasero danneggiati. Nella regione in cui si è verificato il brillamento X, si vedeva un gruppo di macchie solari (che occupava una superficie di 11 miliardi di km<sup>2</sup>), prova evidente di un legame fra il brillamento X e il campo magnetico solare. L'otto marzo fu osservato un CME (Massa Coronale Espulsa) diretto verso la Terra. L'attività durò fino al 13 marzo.

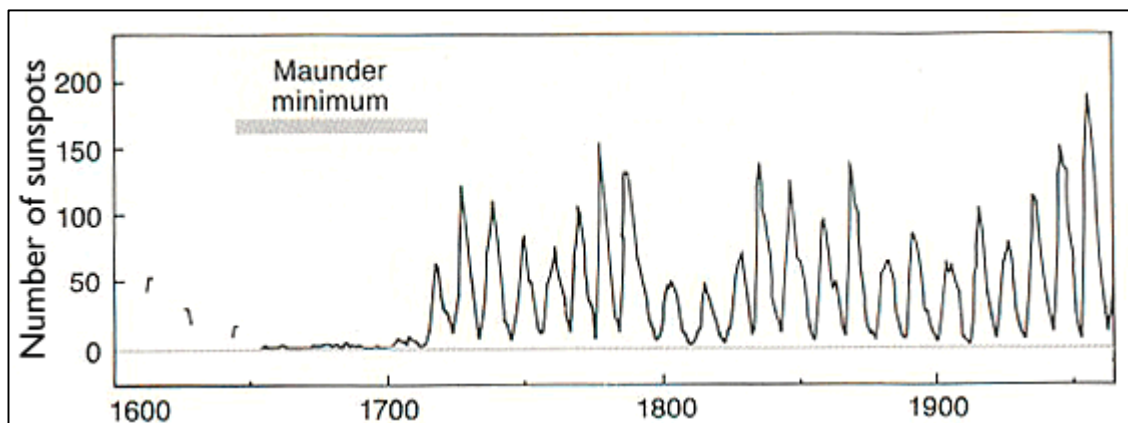
**4) Coronal Mass Ejection (CME)**, sono violenti e repentini getti di plasma dalla corona emessi dai buchi coronali. Quindi si tratta di materiale espulso a gran velocità dall'atmosfera solare verso lo spazio interplanetario. Queste esplosioni rappresentano un fenomeno di grande interesse per la Fisica Solare attuale, in quanto sono molto energetici e dinamici, non sono ben conosciuti perché difficilmente osservabili e, interagendo con la magnetosfera terrestre, hanno effetti sulle attività umane. Molti CME sono stati osservati con grande dettaglio dal satellite SOHO. Ciò ha permesso di avviare studi quantitativi sulle condizioni fisiche del materiale coinvolto e sui meccanismi e le modalità che danno origine a tali fenomeni. Nel caso dell'espulsione dell'intera corona si parla di *Full Halo*.

Un CME è caratterizzato dai seguenti valori: energia  $10^{31}$ - $10^{32}$  ergs, massa espulsa  $10^{15}$ - $10^{16}$  g e velocità 350-2500 km/sec. Questo intervallo di valori delle velocità permette alla massa coronale di interagire con la magnetosfera terrestre dopo 3-4 giorni. L'interazione fra il CME e il campo magnetico terrestre provoca un'enorme distorsione delle linee di forza di quest'ultimo. La strumentazione posta nelle isole Shetland registrò nel 1989 una forte deviazione del campo magnetico terrestre di ben 8° in poche ore, rispetto ad una deviazione standard di 0.2° orari. Ciò ebbe come conseguenza un'aurora boreale osservata fino alle latitudini meridionali. Furono registrati danni ai satelliti e alle linee elettriche di alta tensione. La costa orientale del Canada rimase senza energia elettrica per una settimana. Particolarmente intensa è stata anche l'attività delle masse coronali espulse durante il secondo semestre del 2003, causando con molta probabilità il black-out di New York. Queste masse hanno dato vita ad aurore boreali visibili persino dalla cerchia delle Alpi come testimoniano alcune associazioni astrofile.



#### 4. IL CICLO DELLE MACCHIE SOLARI

L'attività solare è undecennale, ciò significa che ogni 11 anni si ha il cosiddetto **solar maximum**: un aumento progressivo del numero di macchie, di eruzioni e dell'intensità del vento solare. Da ciò si deduce che un ciclo solare completo, quindi comprendente l'inversione di polarità delle macchie ha la durata di 22 anni. Un altro fenomeno interessante è dato dal fatto che le macchie tendono a formarsi simmetricamente nei due emisferi, alla stessa latitudine, partendo da 45° fino a 5° fino alla fine del ciclo, per poi ricominciare. Finora non si è riusciti a dare una spiegazione alla durata del ciclo, però si ipotizza che sia dovuto all'interazione fra il campo magnetico e la zona convettiva. Tramite l'utilizzo di filtri appositi (solitamente Mylar o Astrosolar), è possibile osservare l'evoluzione delle macchie solari. Quando il numero delle macchie è elevato significa che è forte l'intensità dei campi magnetici. Inoltre tali campi fanno da schermo ai raggi cosmici galattici, cosicché un numero minore di questi ultimi raggiunge l'atmosfera terrestre.



L'andamento dell'attività solare influenza le variazioni climatiche. Infatti sembra che a 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. Questa considerazione si basa su studi compiuti da astronomi basandosi sulle rilevazioni delle macchie solari effettuate dagli osservatori astronomici dal 1600 ad oggi.

## **5. IL VENTO SOLARE**

Il Sole emette nello spazio, e quindi anche verso la Terra, un costante flusso di particelle cariche, costituito principalmente da elettroni, protoni, radiazioni X e UV, al ritmo di  $10^{-14}$  masse solari l'anno, che viaggiano alla velocità di 900 Km/sec. La materia che viene espulsa dalla corona solare tende ad uscire dai cosiddetti **buchi coronali**, zone nelle quali la densità e la temperatura è minore rispetto al resto della corona. I buchi coronali sono visibili per mezzo di filtri H-alpha. Durante i brillamenti l'intensità del vento solare è così forte da estendere il campo magnetico solare fino alla Terra. Infatti le particelle cariche spingono nello spazio il campo magnetico e arrivano ad interagire con la magnetosfera terrestre creando quei fantastici spettacoli chiamate aurore (boreali o australi). Un vento solare particolarmente intenso non dà origine soltanto alle aurore, ma a volte può scatenare effetti molto più gravi e spaventosi (es. 1989 e 2003).

## **6. EFFETTI DEL VENTO SOLARE**

L'insieme dei fenomeni precedentemente descritti provoca sulla Terra i seguenti effetti:

- 1. Aurore boreali e australi**, causate da un imponente vento solare, da intensi brillamenti X e dalle masse coronali espulse (CME);
- 2. tempeste geomagnetiche**, sono causate da imponenti brillamenti X e dalle masse coronali espulse (CME);
- 3. danni alle telecomunicazioni, centrali elettriche e linee di trasporto dell'energia elettrica**, sono causati da massicci brillamenti X e dalle masse coronali espulse (CME);
- 4. climatici**, studi statistici effettuati sui dati disponibili raccolti negli ultimi quattro secoli di osservazioni, indicano un legame fra l'apparizione delle macchie solari, il loro numero e l'andamento del clima sulla Terra.
- 5. atmosfera terrestre**, in conseguenza dell'attività solare può subire significativi cambiamenti nella produzione di elementi "vitali" (isotopi radioattivi di breve e media durata) alla vita sulla Terra;
- 6. effetti ionosferici associati**, dovuti ad intensi e imponenti brillamenti X.

## **7. RELAZIONI TRA I FENOMENI SOLARI E TERRESTRI**

La vita della Terra è soggetta e dominata da quella del Sole ed è quindi evidente che le sue radiazioni regolari, cioè di carattere continuo, e irregolari, di carattere discontinuo, debbano avere una notevole influenza sui fenomeni che si svolgono sulla Terra. Già nella prima metà dell'Ottocento è stato scoperto che le radiazioni solari hanno una diretta influenza sul campo magnetico terrestre, sia con variazioni regolari, sia irregolari, secondo le condizioni della variabile attività del Sole. Ma il modo come questa influenza si propaghi e agisca sul campo magnetico terrestre fu messo in evidenza con le osservazioni, condotte con diversi strumenti e metodi, dei fenomeni solari da un lato e dei fenomeni terrestri dall'altro.

Nel caso del magnetismo terrestre le osservazioni ininterrotte ci informano che le variazioni diurne, stagionali e secolari sono in stretta correlazione con i fenomeni solari. Il Sole emette radiazioni di diversa lunghezza d'onda e anche radiazioni corpuscolari con velocità, quest'ultime, comprese fra 350 e 2500 km/s. Quando queste radiazioni investono la Terra, producono disturbi nel campo magnetico detti **tempeste magnetiche**. I risultati statistici portano alle seguenti conclusioni:

- 1.** l'inizio delle tempeste si verifica circa 1.5 giorni dopo il passaggio di grandi macchie solari al meridiano centrale del Sole, mentre la massima intensità si registra generalmente 2 giorni dopo;
- 2.** la correlazione fra la presenza delle macchie e le perturbazioni geomagnetiche è buona per le grandi macchie di area di circa 1000 milionesimi del disco solare, mentre non esiste più per macchie di area inferiore;
- 3.** si ottiene una migliore correlazione se si limita il confronto alle macchie che presentano brillamenti. Quando questi sono eccezionalmente intensi sono sempre seguiti da forti tempeste magnetiche, mentre i più frequenti brillamenti meno intensi sono statisticamente accompagnati da un aumento dell'attività geomagnetica;
- 4.** al minimo delle macchie solari, quando praticamente non accadono brillamenti, si verificano tuttavia tempeste geomagnetiche.

Ne segue di solito che le tempeste di minore intensità non richiedono la presenza di brillamenti. Soltanto i brillamenti più massicci hanno una densità sufficiente a produrre una tempesta geomagnetica. Mentre le grandi macchie solari possono durare per parecchie rotazioni del Sole, le grandi tempeste magnetiche da esse prodotte non presentano una ricorrenza di 27 giorni. Ciò è conseguente al fatto che l'attività dei

brillamenti, associata con una macchia, dura meno di una rotazione e che la presenza dei brillamenti è importante per la produzione delle grandi tempeste magnetiche. Per le piccole invece si ha una persistenza che si ripete con un periodo di 27 giorni, la cui origine si fa risalire a possibili centri di attività solare: le "regioni M" (*sorgenti di sciame di corpuscoli ionizzati che arrivano sulla Terra dopo circa 2 giorni, producendo perturbazioni nel campo magnetico terrestre*). Si è osservato che uno sviluppo degli sciame lungo il meridiano centrale del Sole avviene da 3 a 5 giorni prima che si presenti una perturbazione sulla Terra.

L'intensità del campo magnetico totale misurabile sulla superficie terrestre varia fra 0.1 e 1.0 G (0.00001 e 0.0001 T), generalmente diretto verso i poli magnetici con direzione orizzontale predominante verso i tropici e le medie latitudini, ed è inclinato, in direzione verticale, verso le regioni polari. Si registrano variazioni temporali più piccole di due o più ordini di grandezza durante il giorno e la notte, su scale di tempo che variano da pochi secondi a diverse ore (fino ad un giorno intero).

L'interferenza fra il campo magnetico solare e quello terrestre, fa sì che quest'ultimo venga allungato a forma di goccia, con la punta rivolta dalla parte opposta al sole. La tempesta geomagnetica va man mano allargandosi nel suo viaggio verso la Terra. Avvicinandosi a questa esso entra nel suo campo magnetico, il quale induce nello sciame stesso che è ionizzato, cioè composto soltanto di protoni e di elettroni, una corrente elettromagnetica. In conseguenza lo sciame viene frenato dalla forza esercitata dal campo geomagnetico sulla corrente indotta e si arresta a una conveniente distanza dalla Terra. Ma questa corrente a sua volta produce un altro campo magnetico, che si sovrappone a quello della Terra e genera quella perturbazione che viene registrata dai nostri strumenti sulla superficie terrestre nelle tre componenti del campo geomagnetico.

Un altro fenomeno, dipendente dalle tempeste solari, è quello delle **aurore polari** la cui frequenza segue le perturbazioni geomagnetiche e quindi le cause che le producono sono le stesse. *L'aurore è il prodotto delle collisioni fra le particelle carica intrappolate nel campo magnetico terrestre e gli atomi dei gas atmosferici presenti vicino ai poli magnetici*. Le aurore boreali e australi hanno come centro geometrico i poli magnetici rispettivamente nord e sud e attorno a questi si presentano con maggiore frequenza, specialmente durante i massimi dell'attività solare, mentre a latitudini più basse sono molto rare. Riferendosi a stelle visibili nel cielo insieme alle aurore, a mezzo di triangolazioni, si è determinato che esse si producono nell'alta atmosfera terrestre fra 90 e 1000 km dalla superficie della Terra. La scoperta che le aurore, come le tempeste geomagnetiche, debbono essere prodotte dall'arrivo di sciame corpuscolari provenienti dal Sole fu un passo importante. Da queste osservazioni si dovrebbe concludere che gli sciame

producenti le aurore, quando arrivano in vicinanza della Terra, vengono accelerati e quindi entrano nella sua atmosfera con una velocità maggiore di quella con la quale essi compiono il tragitto Sole-Terra. Gli sciame di corpuscoli provenienti dal Sole avvicinandosi alla Terra sotto l'influenza del campo magnetico terrestre, si affollano attorno ai suoi poli magnetici ed entrano in collisione con gli atomi della ionosfera.

Infine gli **effetti ionosferici associati**. Secondo la teoria di Stormer i raggi catodici sono curvati verso la Terra già a una grande distanza da essa, avvicinandosi così alle regioni polari dove essi producono le aurore sulle regioni terrestri non illuminate dal Sole. Anche molte altre traiettorie incontrano la Terra, specialmente nelle regioni antartiche. Gli strati ionizzati dell'alta atmosfera terrestre costituiscono la ionosfera, le cui caratteristiche e perturbazioni sono collegate con quelle del Sole. Quanto più forte è l'azione del Sole, tanti più elettroni vengono allontanati dagli atomi e gli strati diventano sempre più conduttori elettrici. La più breve lunghezza d'onda riflessa dalla ionosfera, chiamata *frequenza limite*, dipende dal numero di elettroni che si trovano nell'unità di volume della ionosfera. Oggi questa frequenza limite viene determinata con continuità in molte stazioni sparse su tutta la Terra e si è osservato che il suo andamento segue l'attività solare. Si può prevedere con notevole precisione le condizioni della ionosfera in base a quelle del Sole e stabilire le frequenze più favorevoli per le trasmissioni delle varie lunghezze d'onda.

Nel 1930 si osservava che segnali radio di breve lunghezza d'onda talvolta e senza apparente ragione si indebolivano o addirittura scomparivano con evanescenze (*fading*) della durata di parecchi minuti e ritornavano poi normali. Successivamente si constatava che il fenomeno si verificava sull'emisfero della Terra illuminato dal Sole. Inoltre che l'evanescenza era accompagnata da perturbazioni del campo magnetico terrestre.

Questo fenomeno è conosciuto col nome di *effetto Mogel-Dellinger* e accade quando si verificano dei brillamenti sul Sole. Questi emettono intense radiazioni di grande frequenza, che passano indisturbate attraverso i più alti strati della ionosfera, ma arrivati allo strato più basso, dove il numero degli atomi nell'unità di volume è maggiore, gli elettroni liberi urtano con gli atomi, e le radioonde vengono smorzate. Quando le radiazioni del brillamento arrivano in esso, questo si addensa e assorbe più o meno completamente le radioonde terrestri, con il conseguente fenomeno dell'evanescenza nelle nostre trasmissioni sulle regioni della Terra illuminate dal Sole.

Come esempio tipico dei fenomeni terrestri provocati da un intenso brillamento si può citare quello in luce bianca del 23 marzo 1958. L'effetto Mogel-Dellinger si verificò con un'intensità notevolissima dalle 9:57 alle 15:30. Tutte le comunicazioni europee a onde corte furono interrotte, mentre quelle sulla lunghezza d'onda attorno ai 4 km non

furono disturbate nel corso del brillamento. Infine notevoli perturbazioni geomagnetiche e ionosferiche, molto probabilmente causate da questo brillamento, si verificarono il 25 e il 26 marzo.

In definitiva, le radioemissioni solari si classificano in 3 principali componenti:

- 1.** componente termica del Sole quieto (quella relativa ad un periodo di minima attività delle macchie solari), sempre presente;
- 2.** emissioni lentamente variabili;
- 3.** componenti del "Sole attivo" causate dall'attività delle macchie solari e dei brillamenti.

Le ultime due componenti sono legate all'attività delle macchie solari: quella lentamente variabile, di origine termica, proviene dalle regioni del disco sopra le macchie dove è più elevata la densità di elettroni. La temperatura di queste regioni supera i due milioni di gradi, contribuendo ad aumentare sensibilmente il livello medio di emissione associato alla radiazione del Sole quieto, con intensità lentamente variabile e proporzionale al numero di macchie presenti sul disco.

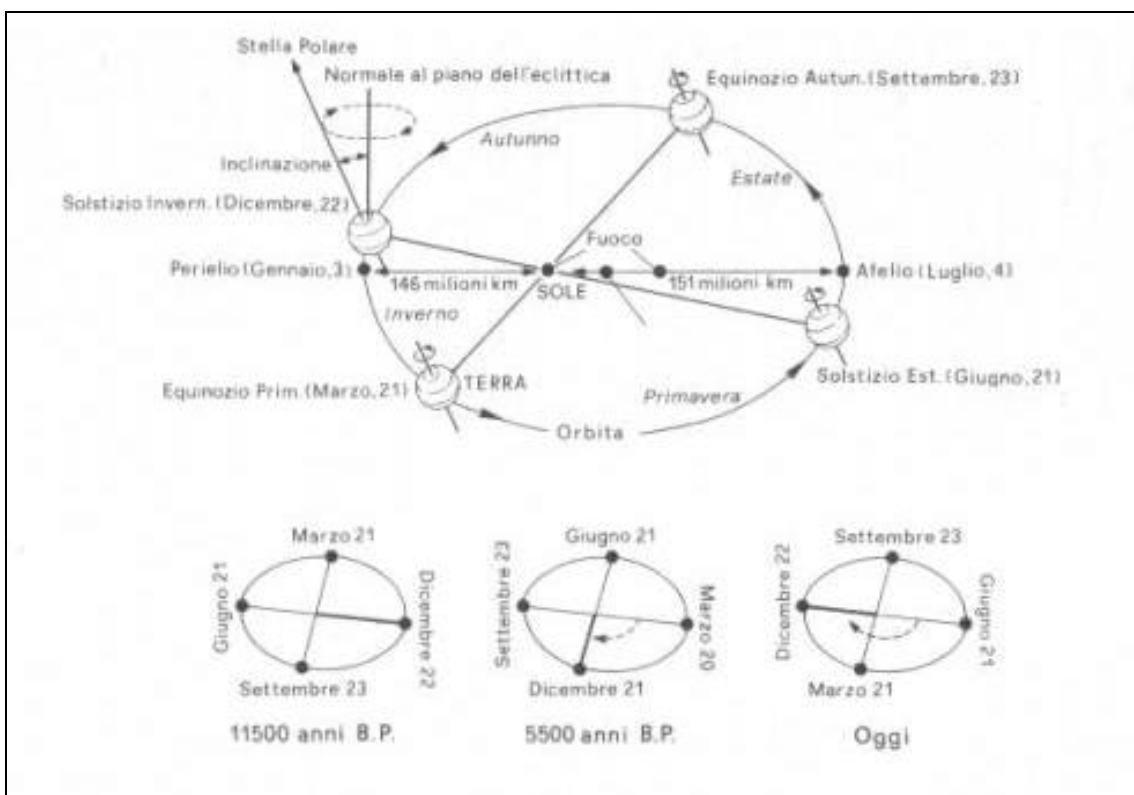
Conseguenza di un brillamento sulla superficie del Sole è una forte tempesta di energia elettromagnetica proiettata nello spazio. È possibile misurare la componente radio di tali emissioni utilizzando ricevitori commerciali per HF e VHF in grado di rivelare segnali modulati in ampiezza (AM) ed equipaggiati con semplici antenne. Spesso, durante i brillamenti più intensi, è emesso un intenso flusso di particelle cariche (raggi cosmici) ad alta energia con velocità di 500-1000 km/s. Quando tali particelle raggiungono il campo magnetico terrestre sono causa di intensi disturbi radio.

Un metodo largamente utilizzato e affidabile per monitorare i brillamenti, o gli effetti ionosferici, prevede il monitoraggio permanente in banda VLF (con frequenze inferiori a 150 kHz), di un forte e stabile segnale proveniente da una stazione radio abbastanza distante, registrando le variazioni di intensità dell'emissione nel tempo. Quando si verificano intensi brillamenti solari sono emessi fasci di radiazione X che investono la ionosfera terrestre perturbando le sue capacità di riflessione verso le radioonde e causando un accentuato fading, con progressivo e lento decadimento di intensità del segnale ricevuto.

### 8. PROBABILE LEGAME FRA I MUTAMENTI DEL CLIMA E LE MACCHIE SOLARI

Le variazioni climatiche naturali con periodi millenari sono da attribuire alla variazione dei parametri dell'orbita terrestre (vedi figura) quali:

1. Variazione dell'inclinazione dell'asse;
2. Precessione degli equinozi;
3. Eccentricità dell'orbita.



I ricercatori propendono ad una maggiore complessità di fattori, che influenzano le variazioni climatiche e lo sviluppo-ritiro dei ghiacciai, alcuni dei quali sono:

4. la variazione della concentrazione dell'anidride carbonica e di altri gas a effetto serra;
5. la variazione dell'albedo (rapporto fra radiazione riflessa e incidente).

Inoltre distinguiamo le variazioni climatiche in:

1. periodiche a scala secolare e decennale;
2. aperiodiche a scala secolare e decennale.

Le cause di variazione climatiche con periodi molto brevi sono difficilmente identificabili ed inoltre si presentano sotto due forme: periodiche e aperiodiche. Un esempio di variazione periodiche è l'influenza sul clima dovuto alla comparsa e scomparsa delle macchie solari, mentre un esempio di variazione aperiodica è quella dovuta ad eruzioni vulcaniche le quali non hanno un andamento prevedibile. Verranno ora elencate le categorie appartenenti che causano variazioni climatiche a scala secolare e decennale:

1. **Fattori astronomici:** In questo ricadono le macchie solari che si presentano con un ciclo di 11 anni. Non esiste certezza sulla loro influenza diretta su eventuali modifiche climatiche. Alcuni studiosi ipotizzano una sua azione più marcata sull'alta atmosfera, influenzando (indirettamente) la circolazione nella troposfera.
2. **Circolazione oceanica:** le correnti oceaniche trasportano grosse quantità di energia quindi una loro minima variazione può provocare dei cambiamenti marcati della circolazione oceanica e conseguentemente del clima (esempio El Niño). Sono allo studio eventuali caratterizzazione cicliche dei fenomeni.
3. **Grandi moti atmosferici:** l'instaurarsi di variazioni nella circolazione dell'atmosfera rispetto all'andamento "normale" o "consueto" che conosciamo noi, provoca uno scompenso su scala planetaria del clima. Sono allo studio eventuali caratterizzazione cicliche dei fenomeni.
4. **Fattori geologici:** A questa categoria appartengono le eruzioni vulcaniche le quali, grazie al pulviscolo di ceneri che espellono nell'atmosfera, influenzano, anche per molti anni, la quantità di radiazione solare che arriva sul pianeta; infatti questo materiale in sospensione negli alti strati dell'atmosfera funziona come uno schermo protettivo impedendo ai raggi solari di arrivare a "destinazione".
5. **Attività Umane,** il contributo antropico: altera la composizione dell'atmosfera, varia l'albedo di vaste aree (ad esempio deforestazione, costruzioni di città ecc), altera i moti e cicli delle acque e dell'aria.

Gli studi statistici effettuati negli ultimi decenni provano, con ampia probabilità, la relazione fra la comparsa delle macchie solari e le temperature registrate nel corso dei secoli. Si è così ricostruito, a partire dal 850 d.C., mediante studi di radiodating, di glaciologia e di dendrologia, l'andamento delle macchie solari e della temperatura sulla Terra, osservando parecchi minimi durante il Medioevo. Il contributo antropico,



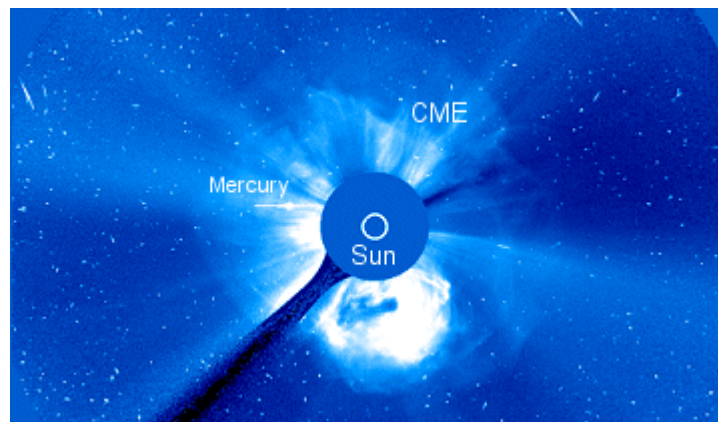
intervenuto massicciamente negli ultimi secoli, può apportare dei cambiamenti climatici a breve e medio periodo. Secondo studi condotti da Istituti di ricerca negli ultimi anni le attività umane stanno minacciando seriamente l'equilibrio del sistema – Terra. Comunque v'è precisato che esistono nella Comunità Scientifica opinioni differenti sulle cause (naturali e non) che producono la variabilità climatica. Non bisogna dimenticare che conosciamo da “soli” 400 anni la Nostra Stella e abbiamo appena scoperto che un ciclo di macchie solari presenta anche una periodicità di 187 anni.

Alcuni studiosi, come l'Ing. Cotterell et al., sostengono l'ipotesi che ad un multiplo del ciclo di 187 anni (dell'ordine di 1 milione di giorni) la Terra subisca un cataclisma a causa dell'inversione brusca del campo magnetico solare e quindi interplanetario. Questo evento causerebbe lo spostamento repentino dell'asse terrestre con l'effetto di produrre per inerzia terremoti distribuiti su tutta la superficie del pianeta. Questo scenario apocalittico viene raccontato dallo storico Immanuel Velikowsky nel suo popolarissimo: “*Cataclisma sulla Terra*”.

## 9. CONCLUSIONI

Grazie ai recenti studi si stanno scoprendo molti modi di prevedere l'espulsione di una massa coronale. Un esempio può essere dato dalla recentissima scoperta che all'apparizione di filamento sigmantoide, cioè a forma di S, seguirà inevitabilmente una forte espulsione di materia solare. Inoltre i continui rilevamenti del flusso di particelle provenienti dal Sole, si possono effettuare previsioni sul suo futuro andamento nel corso di alcune ore. Un'attività solare particolarmente intensa si è registrata nei mesi di settembre e ottobre del 2003, ben al di sopra di quella del periodo. Infatti il massimo solare undecennale è avvenuto oltre tre anni fa (luglio 2000).

Il giorno 28 ottobre 2003, alle 12:18 TU, un gigantesco gruppo di macchie solari denominato NOAA 486 eruttò uno dei maggiori brillamenti X degli ultimi quarant'anni. Nella scala Richter dei brillamenti esso raggiunse il secondo maggior valore mai misurato. Il risultato di questa tremenda esplosione fu una forte tempesta di radiazione solare, catalogata di classe S3 (in una scala di cinque valori), e la formazione di una vasta Massa Coronale Espulsa (**CME**) che investì la Terra il giorno 29 ottobre 2003.



Infatti l'onda d'urto colpì la Terra la mattina del 29 ottobre 2003 alla velocità di 2.125 km/sec (equivalenti a circa 7.65 milioni di km/h) e per tre giorni si osservarono maestose aurore in molte regioni del mondo.

*In conclusione desidero ringraziare quanti hanno contribuito a migliorare il contenuto con validi consigli e suggerimenti soprattutto durante la conferenza svoltasi nei locali del Centro in data sabato 3 aprile 2004.*

*Emerico Amari*