

Via col vento (solare)

E' possibile prevedere le "aperture"propagative sulle onde medie? Alcuni Dx-er italiani analizzano i dati geomagnetici che fanno da sfondo alla breve ma intensa apertura nordamericana all'inizio del 2005, evidenziando fattori come la deformazione della geometria ionosferica e il vento solare.

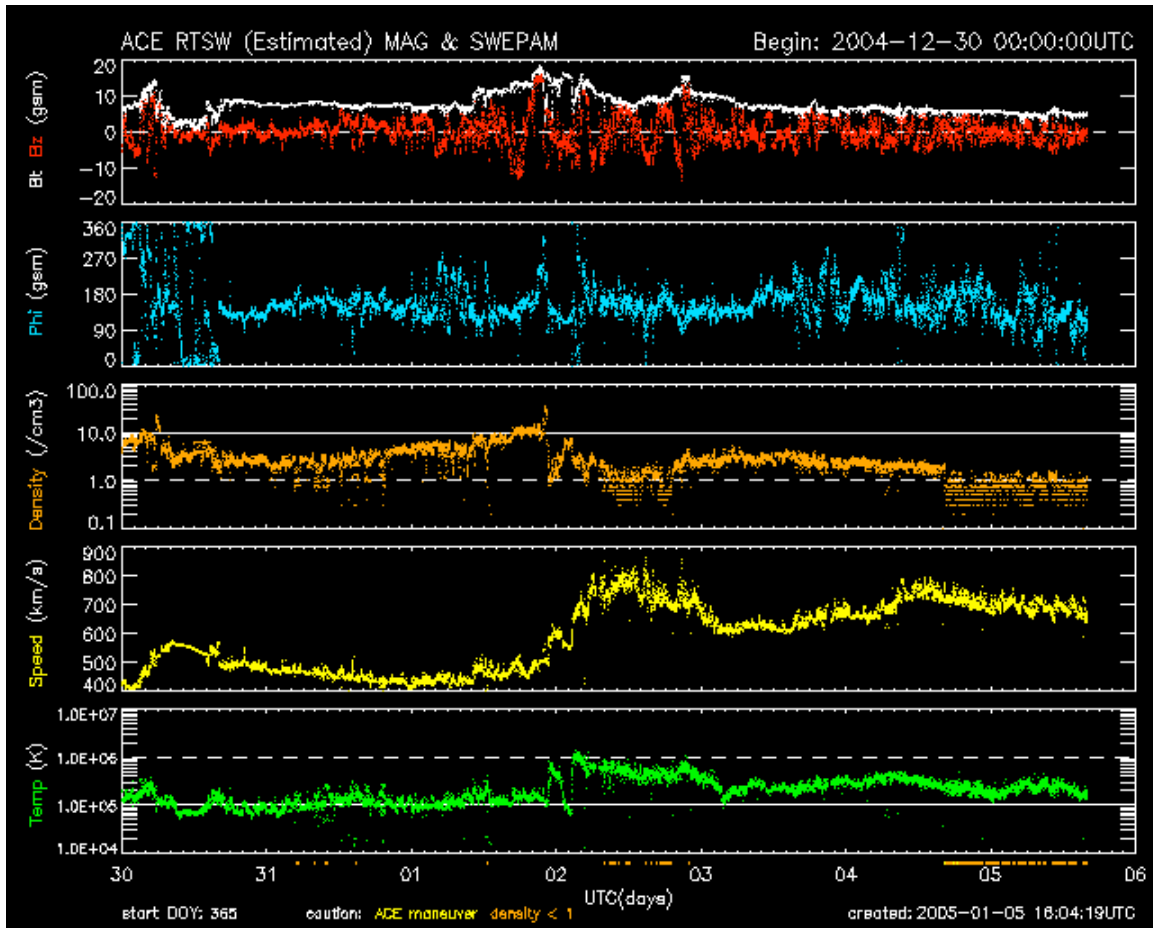
Il 3 gennaio 2005, intorno alle 02 utc, le tre del mattino in Italia, si è verificata una breve ma intensa apertura in onde medie verso il Nord America. L'area geografica interessata andava dal Quebec al Mississippi e lo spettro coperto era particolarmente ampio, dai 700 kHz ai 1700 della X-Band. L'eccezionalità dell'evento non era rappresentata tanto dall'intensità dei segnali o dalla rarità di alcune stazioni identificate (per altro entrambe rimarchevoli), ma dal contesto della situazione del "tempo meteorologico solare". Nelle stesse ore, una eiezione massiva coronale associata a un brillamento di classe X1.7 era infatti in arrivo sulla Terra con effetti turbativi della ionosfera che avrebbero dovuto teoricamente bloccare ogni apertura MF da Nord, determinando intense condizioni aurorali. E' probabile che in realtà una correlazione ci sia e che l'apertura sia stata registrata proprio nelle ore immediatamente precedenti all'arrivo dell'intenso vento solare, nella parte di emisfero ancora non interessata direttamente ai suoi effetti. Una sorta di situazione "mareale" - equiparabile dinamicamente parlando al mare che si ritira prima di uno tsunami, come le tristissime cronache di quei giorni ci hanno insegnato - che ha determinato un momentaneo picco di condizioni, normalmente associate a situazioni solari e geomagnetiche ben più tranquille e favorevoli. L'apertura è stata infatti molto concentrata e la durata, meno di due ore "osservate" (non è possibile escludere che l'inizio fosse precedente alle 02 utc), ne ha ulteriormente accentuato l'eccezionalità. Alternativamente, il fenomeno potrebbe essersi verificato immediatamente dopo l'impatto del vento solare: in questo caso la ionosfera sarebbe stata "schiacciata" nella zona diurna e allungata in direzione opposta al Sole; questa deformazione potrebbe avere alterato la geometria dello strato F nell'emisfero notturno, rendendola più favorevole alla propagazione osservata. La successiva maggior ionizzazione degli strati bassi, dovuta alla diffusione dell'energia lungo il campo magnetico terrestre, avrebbe successivamente annullato il vantaggio geometrico, interrompendo l'apertura propagativa.

Su questo evento è subito nata una discussione tra alcuni DXers italiani che seguono con particolare attenzione la fisica della propagazione ionosferica e l'attività solare. Non una discussione accademica, beninteso, e neppure sostenuta da solide basi matematiche. Piuttosto una serie di "educated guessing" su quello che può essere accaduto, sui modelli coinvolti e soprattutto sulla possibilità di applicare le stesse osservazioni in sede di previsione, ai fini di una maggiore comprensione generale dei perché della propagazione delle onde medie e dell'impiego futuro di certi parametri per cercare di anticipare il verificarsi di aperture così interessanti. Riportiamo qui parte di quella discussione, confidando che la lettura possa interessare altri appassionati di ricezione a lunga distanza, in onde medie e corte.

Questione di velocità

L'apertura del 3 gennaio si è verificata nel cuore della notte, con il percorso dei segnali proprio al centro dell'area coperta dall'oscurità. Una situazione di perfetta simmetria. Analizzando i soliti livelli dell'indice K, in quelle ore i valori oscillavano tra il 3 e il 5, teoricamente tali da bloccare ogni propagazione. Ovviamente il K è indicativo dell'attività solare, che non agisce però direttamente sull'emisfero coperto dall'oscurità: quindi i segnali hanno trovato una ionosfera ancora "amichevole". La cosa interessante è che il vento solare, dai dati di Jan Alvestad (Solar Terrestrial Activity Report, <http://www.dxlc.com/solar/>, è variato da 539 a 975 (!) km/s, un valore davvero elevato. Il sospetto, in episodi propagativi così apparentemente anomali, è che giochi un ruolo importante la geometria tridimensionale della ionosfera. Nell'emisfero illuminato, l'impatto del vento solare "appiattisce" gli strati rendendo più sottile la ionosfera. Questa deformazione potrebbe propagarsi, come una marea, alle zone non illuminate, creando una obliquità dello strato F favorevole alla propagazione in modo cordale? Questo potrebbe spiegare l'apertura improvvisa, nel momento in cui la geometria favorevole si realizza, e la successiva chiusura quando lo sconvolgimento tridimensionale diventa eccessivo. Giusto una supposizione buttata lì, ovviamente: ma queste aperture così contrarie alle teorie convenzionali - teorie che nel campo dell'ascolto a lunga distanza sbagliano piuttosto spesso, segno evidente di obsolescenza - costringono a cercare modelli diversi e a basare le previsioni su "sintomi" e parametri diversi dai soli indici K e A. Dubbio esoterico: parlando di maree, potrebbe giocare un ruolo

anche l'attrazione gravitazionale lunare sugli strati più alti dell'atmosfera? Comunque il vento solare è un dato da tenere controllato, come abbiamo più volte avuto occasione di ripetere.



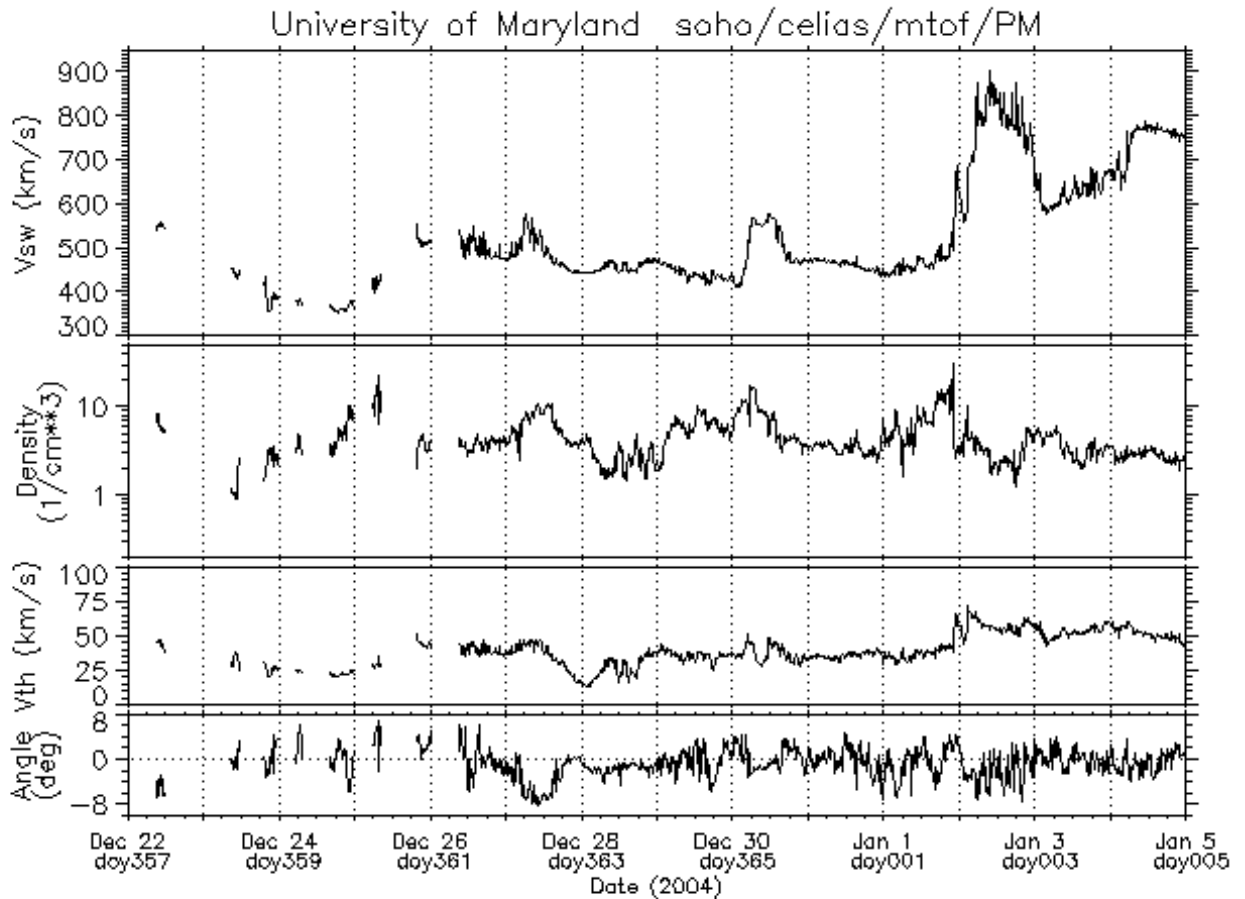
In questo grafico della velocità del vento solare, si nota (riga in giallo) l'improvviso picco misurato poco prima dell'apertura in onde medie analizzata in questo articolo. L'immagine proviene dal sito Web http://science.nasa.gov/ssl/pad/solar/sun_wind.htm. I valori in tempo reale vengono pubblicati su http://sec.noaa.gov/ace/ACERtsw_home.html.

A proposito dell'aspetto geometrico tridimensionale della ionosfera, approfondendo la lettura dei dati si ricava che l'onda d'urto solare è andata a impattare sul "lato" opposto della ionosfera rispetto al percorso dei segnali ascoltati. Non deve essere un fatto casuale. In pratica l'impatto di una Cme crea una forte turbolenza nella ionosfera diurna e zone circostanti, ma può creare (e probabilmente lo può fare

spesso) condizioni temporaneamente favorevoli nella zona opposta. Naturalmente occorre trovarsi nella zona diametralmente opposta al CME per risentire dell'apertura: la geometria è piuttosto critica. Inoltre il vento solare è ionizzato e porta con sé linee di forza magnetiche del Sole, quindi si ha un impatto di materia elettromagneticamente carica repentino e molto intenso. Quindi l'apertura dovrebbe essere anche correlata alla latitudine del percorso, non solo alla longitudine opposta alla zona di impatto. Stando così le cose, prevedere l'apertura con ragionevole accuratezza geografica è allo stato attuale impossibile o quasi (dovremmo conoscere con sufficiente anticipo ora/zona di impatto, velocità e densità del vento solare e magari qualche altro parametro ancora), ma probabilisticamente si potrebbe anche azzardare qualche oroscopo non del tutto campato in aria. Il resto è fortuna di trovarsi nella zona giusta del globo al momento giusto.

Il tachimetro satellitare

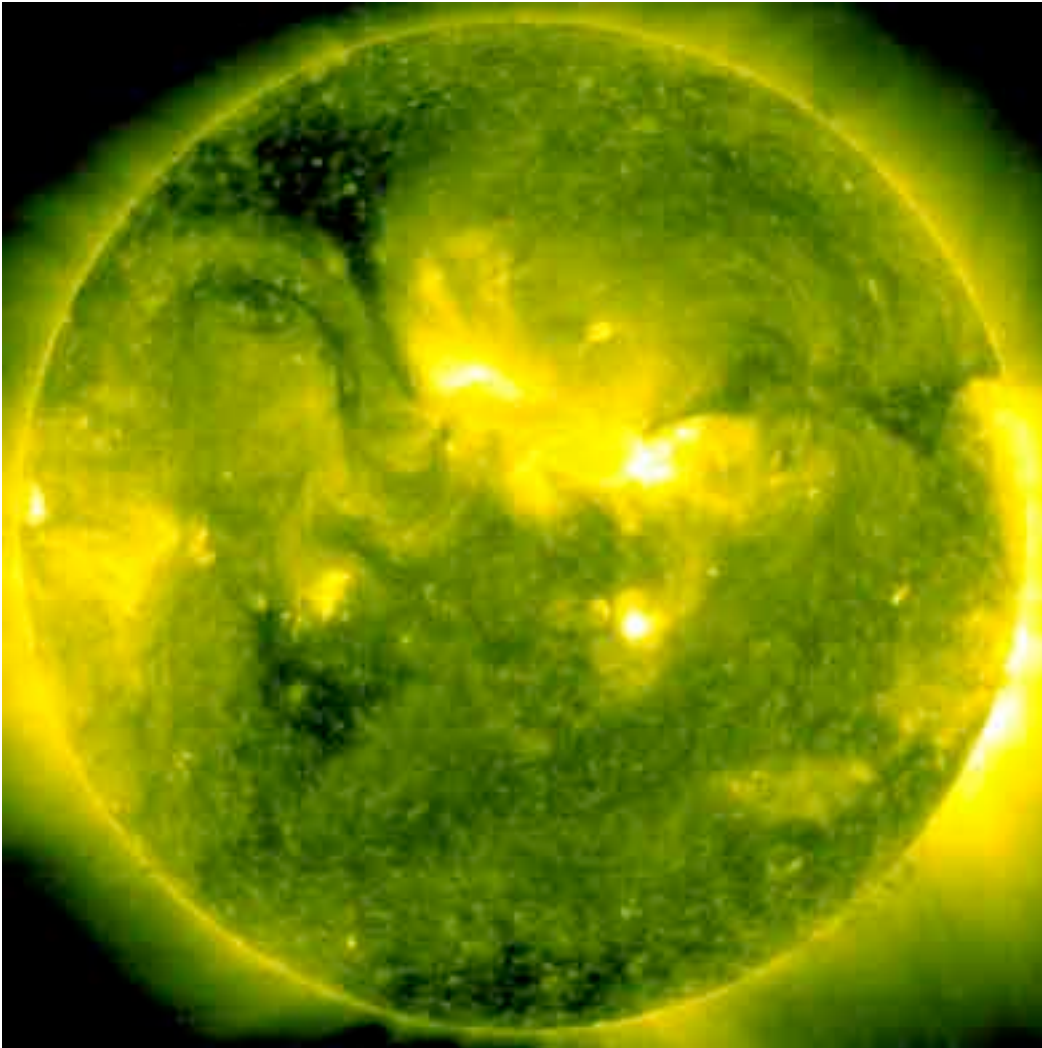
Se è vero che in linea di principio l'arrivo di una CME non influisce sulla ionosfera nella zona d'ombra - fatti salvi la diffrazione e la distorsione globale del campo magnetico nello spazio insieme alla Terra che non solo ruota su se stessa ma gira velocemente intorno al Sole - non bisogna tuttavia dimenticare che il CME non è una palla di cannone, che colpisce e si disintegra; dura parecchie ore, a volte una intera giornata (come si può vedere seguendo i grafici di questi eventi). Sulla possibilità di anticipare il verificarsi di certi eventi, va detto che le velocità del CME sono solitamente comprese tra i 500 e 800 km/s con picchi in casi estremi di 900 e anche 1000 km/s, raramente oltre. Si ricordano forse picchi di velocità da 1100 km/s, ma in pochissime occasioni. Va da sé che l'impatto può avvenire, cioè incominciare, tra le 24 e 48 ore dall'evento.



Anche in questo grafico, ricavato dal sito dell'Università del Maryland, si può notare (grafico in alto) il picco di velocità del materiale, in questo caso protonico, espulso dal Sole. Il sito, <http://umtof.umd.edu/pm/>, pubblica costantemente i dati misurati dalla strumentazione di bordo dei satelliti Soho.

Difficile dire se sia possibile stabilire a priori la velocità, forse è un dato che nessuno pubblica o che più semplicemente non è possibile calcolare se non ex post, una volta che il materiale solare raggiunga i satelliti osservativi. L'effetto sulla parte della ionosfera non direttamente illuminata in quel momento, sempre ammesso che esista realmente, è assolutamente indiretto e potrebbe essere legato alla deformazione "a coda di cometa" del campo magnetico. Se in gioco c'è una deformazione del campo, ha probabilmente una geometria critica e l'effetto dell'impatto può essere positivo solo per un certo lasso di tempo, fin quando il perdurare dell'effetto e la rotazione terrestre non provocano la perdita della geometria

temporaneamente favorevole. Tornando su uno dei punti più interessanti, la velocità del vento solare e dei fenomeni come il CME, si tratta effettivamente di un parametro con un tasso di variabilità molto accentuato ed è difficile conoscerla con precisione fino all'istante in cui il fronte dell'evento raggiunge i satelliti come quelli del progetto SOHO (<http://sohowww.nascom.nasa.gov/>). Da lì in poi il dato diventa noto e qualche previsione si potrebbe forse anche azzardare, ma il preavviso è minimo e occorrerebbe una tempestività notevole, ammesso che i calcoli diano un risultato ragionevolmente attendibile. Probabilmente non vale la pena consultare l'oracolo Soho per decidere se dormire o svegliarsi per ascoltare la radio; al massimo si può attaccare il registratore col timer e sperare nella fortuna, sempre ammesso che questo peculiare "stile" di ascolto non sia contrario ai principi e ai gusti individuali.

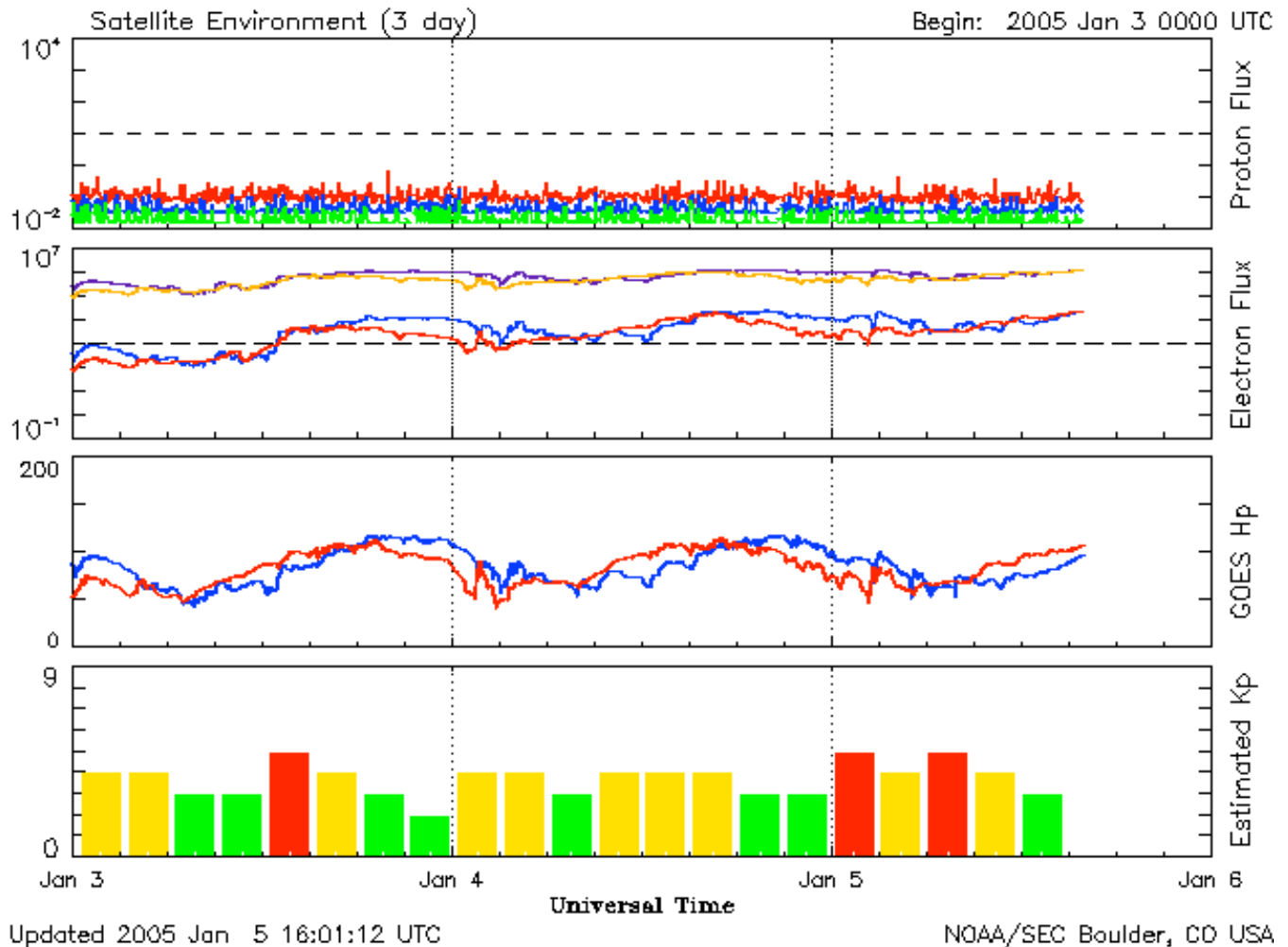


Una recente immagine della corona solare elaborata dal satellite Soho. Per altre immagini, <http://lasco-www.nrl.navy.mil/>. Il progetto Soho è raggiungibile su <http://sohowww.nascom.nasa.gov/>

Come leggere la corona del Re Sole

Ma a parte la velocità, c'è un'altra considerazione importante: il fatto che la fine dell'apertura sia avvenuta in modo netto e repentino, almeno a giudicare dalle segnalazioni, con un crollo improvviso dei segnali, è sintomatico; potrebbe essere che la parte della ionosfera non ancora interessata dalla CME sia uscita dal cono d'ombra sia per la rotazione terrestre che per lo spostamento nello spazio del nostro pianeta, incocciando improvvisamente in un flusso di particelle così energetiche da aumentare la ionizzazione degli strati più bassi a livello tale da assorbire totalmente il segnale. Un effetto dovuto alla deformazione del campo geomagnetico è possibile, ma non dimentichiamo che la quota di ionosfera che interagisce con le frequenze che interessano i DX-er è molto bassa rispetto a buona parte di questi fenomeni: 70-80 km. E' pur sempre vero che quelli che vengono seguiti di più riguardano tale quota, ma la componente di imprevedibilità che sembra aver mandato a carte quarantotto più di venti anni di osservazioni della propagazione delle onde radio sembra a questo punto essere preponderante. In altre parole, se dieci anni fa si ricevevano con segnali intensissimi le musiche di Radio Corporación di Santiago del Cile su 1380 kHz era solo perchè con flusso solare di 80/90 avevamo un $k = 0$ stabile per due o tre giorni. Le cose, in questa fase di rapido avvicinamento al minimo del ciclo solare, sono andate in modo un po' diverso, ma non è il caso di arrendersi: prima o poi torneremo di nuovo, se non proprio a Radio Corporación, almeno a quelle condizioni. Sarà interessa vedere che cosa potrà arrivare stavolta. Prendiamo atto per il momento che ora come ora ci vuole attività geomagnetica alta per avere propagazione; quelle poche aperture che avevano fatto sperare così bene lo scorso autunno sono state tutte - e qui andiamo un po' a memoria, i dati effettivi potrebbero essere diversi - con condizioni di A index da 7/8 in su e fino a 15. Ormai siamo abituati anche alle aperture dall'Oceania dopo una bella mestolata da magnetic storm. Anche in questa occasione, un minimo di previsioni sono state azzeccate perché, dopo una settimana di controlli precedenti all'evento di inizio gennaio, si stava già registrando un leggero miglioramento della propagazione sulle onde medie in contemporanea con l'aumento

dell'attività geomagnetica. Un flare così forte non era prevedibile ma c'era un margine di possibilità che la propagazione migliorasse, come poi è avvenuto.



Indici solari negli immediati dintorni temporali dell'evento del 3 gennaio. Il grafico, insieme a tutte le altre informazioni, si trova sul sito Today's Space Weather, <http://www.sec.noaa.gov/today.html>.

Uno studio più approfondito delle condizioni propagative al contorno dei flare, o brillamenti solari, potrebbe dare risultati molto utili. Però bisogna tenere ben conto dei diversi eventi che stiamo cercando di valutare. Quando avviene un flare l'effetto di accelerazione sul vento solare è molto rapido, qualche ora al massimo, ma è il CME che impiega da 24 a 48 ore per raggiungere la Terra ed è questo il punto fondamentale della questione. Vento solare e CME non sono sincronizzati. Viaggiano a velocità diverse. Uno

costituito da ioni, protoni ed elettroni energetici, l'altro anche da plasma. Proprio per questo motivo le tempeste magnetiche da CME sono prevedibili per tempo. I flussi coronali invece sono essenzialmente vento solare, a volte molto veloce ma con minori effetti salvo in particolari condizioni. Per esempio quando il sole è in fase di calo dell'attività i flussi coronali sono molto più intensi rispetto a un ciclo in fase crescente. Perché questo improvviso accendersi di attività? Forse, l'effetto ha a che fare con l'inversione di polarità del campo che avviene ad ogni ciclo. Poi bisogna considerare anche che un flare *spara* in una direzione abbastanza precisa il flusso coronale come fosse una doppietta, fa la rosa. Quindi se avviene un brillamento quando una macchia raggiunge la configurazione magnetica giusta e magari questa sta uscendo dal disco visibile gli effetti sono trascurabili sul campo magnetico terrestre, viceversa un flusso coronale anche in posizione non geoeffettiva disturba. Meno, ma disturba.

Propagazione: perché le "vecchie" teorie non valgono più

Com'era verde la mia ionosfera

di Walter Mola

Negli ultimi tempi abbiamo assistito ad una mutazione dei modelli propagativi classicamente formulati. Da molti anni si davano per scontate certe condizioni che in modo quasi deterministico portavano ad aperture o chiusure propagative. La mutazione di cui si parla ha fatto sì che alcune di queste "certezze" venissero meno. Personalmente seguo da molti anni l'andamento dell'attività solare registrando continuamente i canonici dati: solar flux, A index, k index planetario e di Frederiksburg, il numero di macchie, l'SSN, i flares, la velocità del vento solare. Secondo il metodo classico per avere aperture sulla bande basse bisogna che la ionizzazione sia la più bassa possibile perché i segnali verrebbero riflessi negli strati più alti, i quali sono anche i primi a ionizzarsi.

In effetti alcune mega aperture sulla medie sono avvenute molti anni fa con valori di k e A bassissimi, se non prossimi o uguali a zero, e flusso solare ai minimi. Idem per l'attività solare, sempre molto bassa. Raramente si verificavano aperture con condizioni opposte, per spiegare le quali si ipotizzava che probabilmente c'erano condizioni

diverse in particolari zone della ionosfera. Fu allora che cominciarono a circolare teorie "anomale", che tuttavia trovavano riscontri anche tra i ricercatori di professione. Una era la teoria dei *ducts*, condotti ionosferici, che funzionavano come guide d'onda attraverso cui il segnale veniva trasportato con minima attenuazione a lunga distanza senza fare i famosi rimbalzi che tutti sono abituati a considerare normali e che invece non lo sono per nulla: probabilmente una semplificazione nata in qualche università che serviva a rendere chiari concetti complessi relativi alla propagazione a lunga distanza di segnali radio.

Ormai la teoria dei *ducts* è la più realistica per spiegare trasmissioni a lunga distanza di segnali modulati in ampiezza con antenne omidirezionali e potenze ERP molto basse come quelle prodotte dai trasmettitori in onde medie transatlantici, che non dimentichiamo nascono per operare localmente. A maggior ragione segnali in onde lunghissime come quelle dei radiofari non possono andare solo per onda di terra e tanto meno a balzi, subirebbero attenuazioni impossibili: 50 Watt a 4000-5000 km irradiati con una omnidirezionale caricata non andrebbero molto in là. Il miglioramento delle nostre capacità di ricezione (antenne, radio, rivelatori, filtri e così via) ha reso evidenti queste anomalie propagative al punto tale che le eccezioni assomigliano sempre più alla regola. Ciò è stato molto evidente negli ultimi mesi ai miei occhi quando ho cominciato ad accorgermi che in realtà, per avere propagazione sulle medie bisognava che ci fosse una perturbazione geomagnetica relativamente intensa; per me è stato duro accettare che tutte le mie fragili teorie su cui basavo le possibili aperture erano crollate di fronte ad una mutazione drastica delle condizioni propogative.

Molti di quelli che mi leggono sanno che recentemente sono arrivato a dichiarare che di propagazione non capivo più nulla. Ho persino smesso di formulare i miei periodici pronostici sulle possibili aperture nelle notti successive: non funzionavano più. Ostica, la materia lo è sicuramente. Forse diamo per scontate certe basi, ma non è per nulla impossibile spiegare, su specifica richiesta, eventuali punti oscuri: a patto che non ci si avventuri in dissertazioni teoricamente e matematicamente troppo complesse. Partiamo al fatto che il sole rilascia in continuazione e in tutte le direzioni emissioni in radiofrequenza, raggi X, uV, oltre - come si sa - a ioni di varia natura e carica energetica, plasma (nel caso delle coronal mass ejection o

CME). L'intensità con cui questo avviene varia in continuazione, sia su base ciclica lunga o breve, sia su base del tutto aciclica. L'unica cosa relativamente certa è la famosa ciclicità di circa 11 anni, anche se ormai gli astrofisici concordano sul fatto che neppure tale ciclicità sia del tutto scontata. Il minimo di Maunder fece sì che dopo la scoperta delle macchie solari da parte di Galileo, a cavallo tra XVII e XVIII secolo si ebbe un lungo periodo, di una settantina d'anni, in cui le macchie non si presentarono più e non si può pensare che le tecniche osservative fossero peggiorate. Tra l'altro vi furono anche delle mutazioni climatiche importanti in quel periodo, che sembrano assecondare coloro che teorizzano un'influenza solare nelle variazioni climatiche.

Questa ciclicità di circa 11 anni in realtà è seguita dagli astrofisici sulla base di osservazioni molto più approfondite del semplice conteggio delle macchie. Si ricorre ad esempio all'osservazione di una totale inversione del campo magnetico solare evidenziata dalle macchie solari (vedi *Una teoria con molte macchie*). Cosa che avviene anche sulla terra ma con tempi immensamente più lunghi rispetto alla breve scala temporale umana. Questa continua emissione di energia oltre a rendere possibile la vita sulla terra, influenza molto fortemente il campo magnetico del nostro pianeta e la zona esterna alla troposfera che chiamiamo ionosfera. Lasciamo perdere gli schematismi degli strati - C, D, E, F (F1-F2 e recentemente F3) E sporadico - se non per estrema semplificazione, in quanto le variazioni di intensità di ionizzazione in altezza variano fortemente in base alle stagioni, all'ora del giorno, e a cosa combina in quel momento il sole. Pensiamo inoltre che la densità della ionosfera è molto bassa, e che l'inerzia alla ionizzazione e successiva ricomposizione degli atomi e delle molecole varia e di molto. L'ozono è l'elemento più citato, ma c'è anche l'acqua ad esempio, ci sono molecole di tanti gas che continuamente si ionizzano e si ricompongono sotto l'effetto del vento solare.

C'è poi la componente magnetica del nostro pianeta, un campo di forza che si estende fino a 100.000 km dalla terra, più allungato dalla parte opposta al sole. (Se il sole non ci fosse, il campo magnetico terrestre sarebbe del tutto simile alla distribuzione della limatura di ferro intorno a una calamita.) Se parliamo di particelle cariche come gli ioni della ionosfera la loro capacità di seguire il campo magnetico è ovvia. Se sottoponiamo il campo magnetico terrestre ad una deformazione per effetto di vento solare particolarmente intenso può

anche accadere che le linee di forza che lo compongono si perturbino al punto tale da percorrere giri stranissimi, allungandosi o accorciandosi. Quando queste deformazioni sono molto intense si dice che siamo in presenza di tempeste magnetiche. Gli effetti possono essere tali da modificare totalmente le condizioni della ionosfera, indipendentemente dalle condizioni di ionizzazione di partenza. I famosi Swf o shortwave fade-out, nascono da queste distorsioni; a volte, l'avete sperimentato, i segnali scompaiono totalmente, altre volte rinforzano. Potrebbe succedere che per la teoria dei *ducts* il percorso dei segnali diventi più breve, altre volte più lungo. Ma mai il segnale seguirà la linea che unisce i due punti geodetici: in altre parole la distorsione del campo magnetico è tale che le stazioni si ricevono addirittura da altre direzioni.

Una teoria con qualche macchia

Nel 1908, Hale, misurando la divisione delle righe spettrali di Zeeman, dimostrò che le macchie solari sono caratterizzate da un intenso campo magnetico. Le macchie, in figura 1 e 2, sono la caratteristica più prominente del campo magnetico sulla superficie del sole. Altri fenomeni magnetici includono per esempio i brillamenti o flare e le prominente.

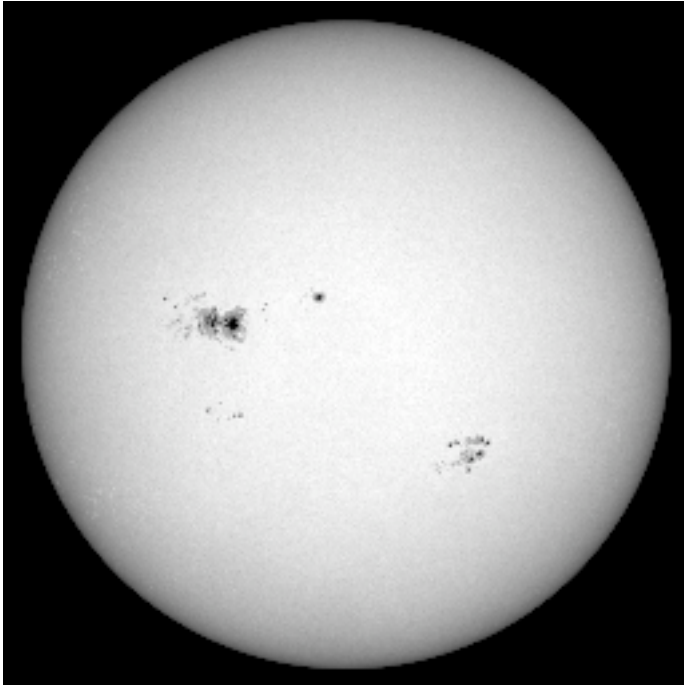


Fig. 1

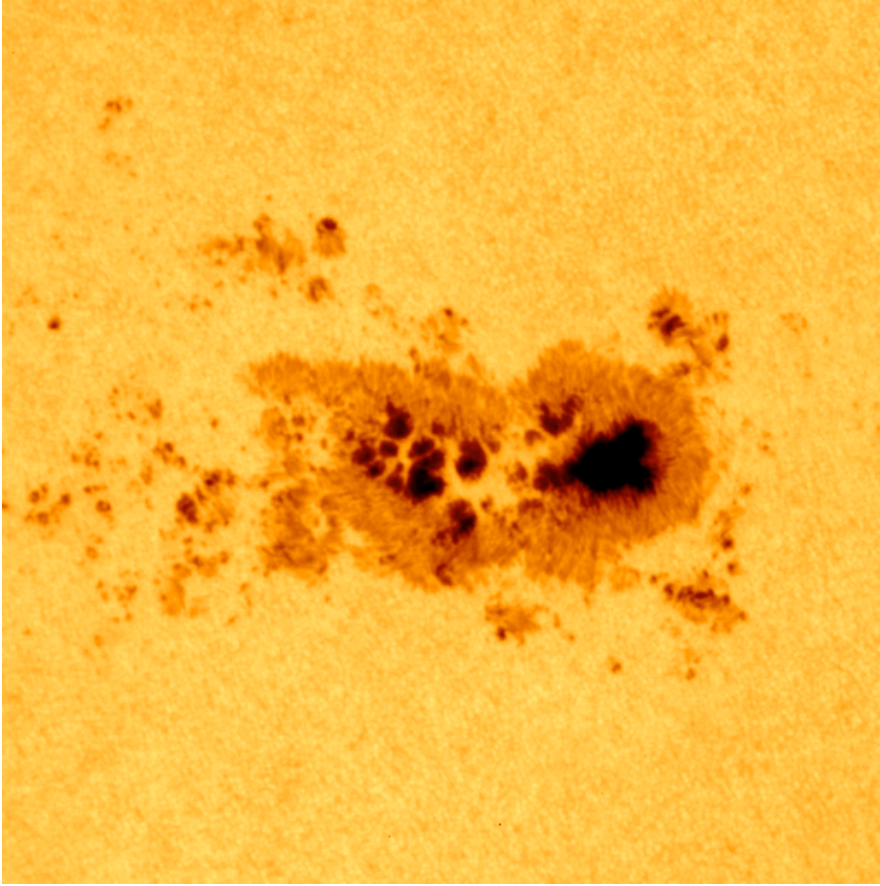
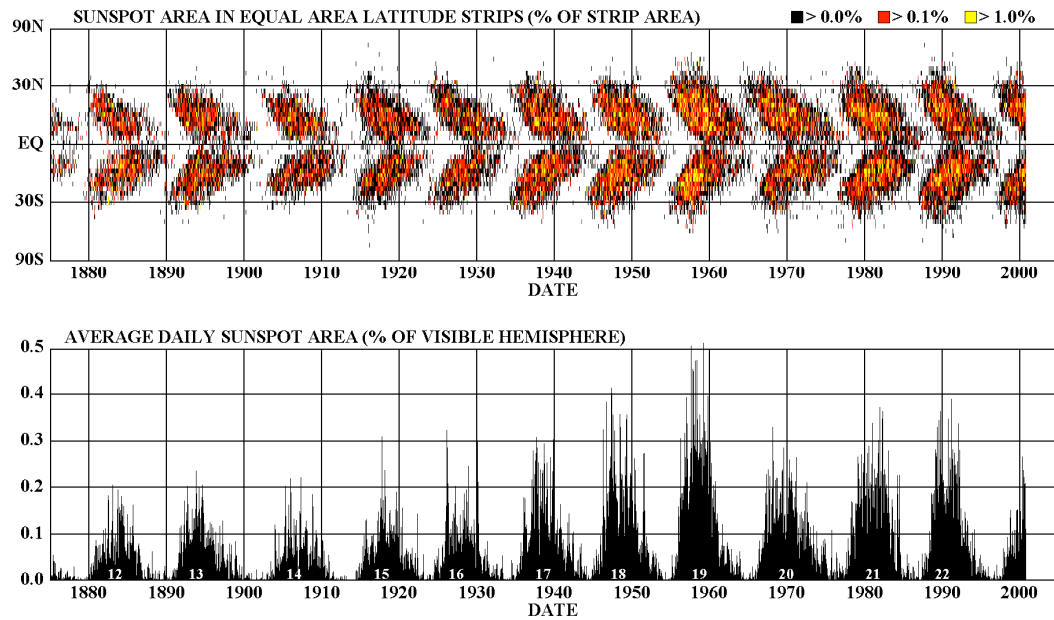


Fig.2

Il numero di macchie visibile sulla superficie del sole muta nel corso del tempo con un periodo medio di undici anni, detto ciclo solare. All'inizio di ogni ciclo, il minimo solare, le macchie compaiono a una latitudine di circa 30 gradi. Successivamente nel corso del ciclo, compaiono a latitudini più basse fino a raggiungere l'equatore, dove scompariranno all'inizio del nuovo ciclo. Questo comportamento dà origine a un caratteristico diagramma a farfalla. Il diagramma e la curva undecennale del ciclo sono riportate in figura 3. La polarità delle macchie, la cui evoluzione è riportata in figura 4, obbedisce alle cosiddette leggi di polarità di Hale.

DAILY SUNSPOT AREA AVERAGED OVER INDIVIDUAL SOLAR ROTATIONS



<http://science.msfc.nasa.gov/ssl/pad/solar/images/bfly.gif>

NASA/MSFC/HATHAWAY 09/2000

Fig.3

Le macchie di solito compaiono in coppie bipolari e sono orientate su un asse est-ovest. Questi gruppi bipolari consistono in una macchia principale "di guida" e una successiva macchia "di coda" rispetto al senso di rotazione del sole. Hale osservò che la polarità di questi gruppi bipolari mostra un comportamento regolare. Dapprima, in ciascun emisfero la macchia che precede e quella che segue sono di polarità opposta. In seguito, la macchia guida nell'emisfero nord mostra una polarità opposta rispetto alla macchia di coda nell'emisfero sud. E infine, all'inizio di ogni nuovo ciclo la polarità della macchia di guida e di quella di coda si inverte.

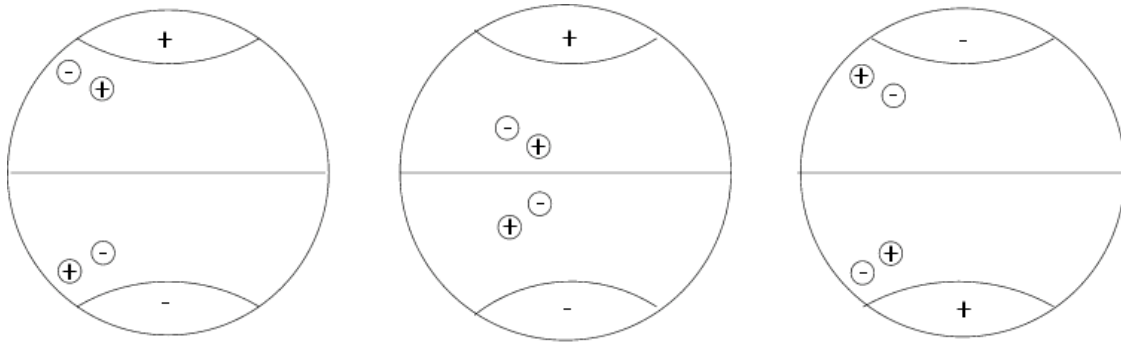


Fig.4

Le macchie hanno un campo magnetico di circa 3.000 Gauss, un valore prossimo a quello di equipartizione della pressione ambiente del plasma. Si ritiene che campi così intensi siano in grado di sopprimere i moti convettivi ed è per questa ragione che le macchie solari sono più fredde di circa 2.000 gradi Kelvin rispetto all'ambiente circostante e appaiono come macchie scure sulla superficie del sole. Poiché su tale superficie le regioni bipolari attive - come le macchie - sono allineate parallelamente all'equatore, si ritiene che il campo magnetico sottostante nella zona di convezione, consista principalmente in tubi di flusso toroidali e che le macchie solari compaiono quando questi tubi si spezzano attraversando la superficie a causa dell'effetto di spinta fluidostatica (*buoyancy*) magnetica, come indicato in figura 5.

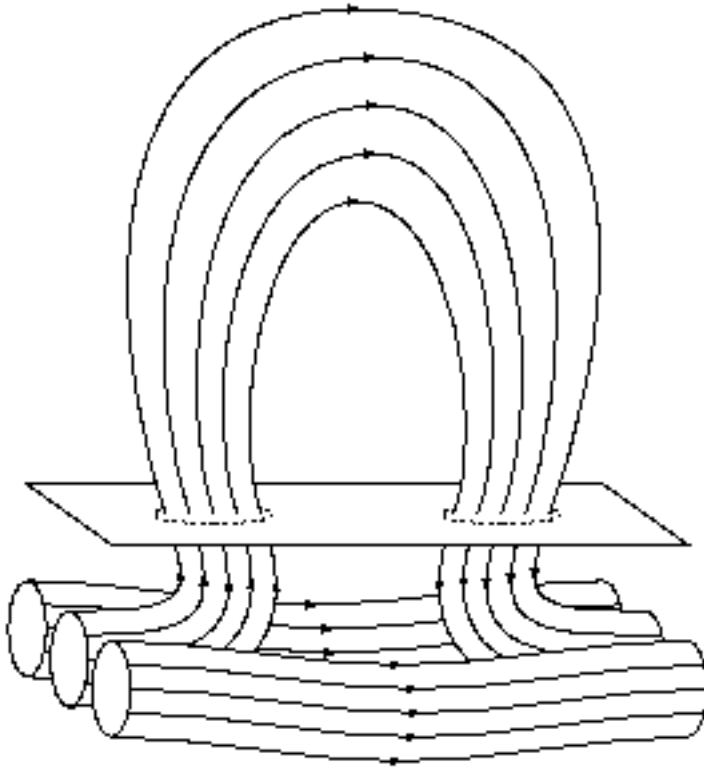


Fig.5

In termini più semplici, la macchia è costituita da due parti: l'ombra, situata al centro della macchia, che a sua volta è costituita da un intenso campo verticale, la cui intensità decade con l'approssimarsi al bordo dell'ombra; e la penombra, costituita da linee di campo trasversali che si allargano a ventaglio man mano che ci si sposta radialmente verso l'esterno. La maggior parte delle macchie ha una durata di pochi giorni, ma le più grosse possono perdurare più a lungo, subendo un lento decadimento nell'arco di alcuni mesi.