

BRILLAMENTI X SOLARI A PORTATA D'ASTROFILO

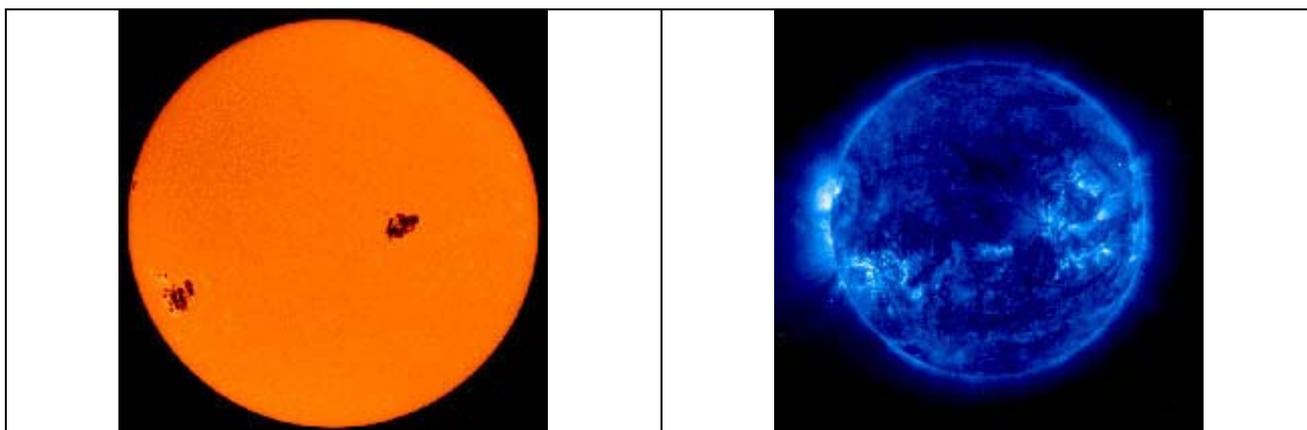
Una proposta per monitorare con una radio le eruzioni più energetiche del Sole

Giorgio Bressan, Dario Gaiotti, Valter Giuliani

Questo articolo è stato pubblicato sul numero 25, gennaio 2005, della rivista "Le Stelle"

E' mai possibile che l'astrofilo possa in qualche modo contribuire al monitoraggio del Sole nella banda dei raggi X ? La risposta più ovvia sembrerebbe un no secco: occorre infatti una strumentazione particolarmente complessa, oltretutto collocata a bordo di un satellite, al di sopra dell'atmosfera. Invece, è possibile, con un semplice artificio: quello di osservare in tutt'altra banda dello spettro elettromagnetico.

In questo articolo vogliamo illustrare come sia possibile monitorare il flusso della radiazione X emessa dal Sole con un radiorecettore operante nella banda delle basse frequenze, in particolare quelle comprese tra i 3 kHz e i 40 kHz, definite *VLF (Very Low Frequency)* o onde lunghissime, per via delle loro lunghezze d'onda chilometriche.



Le immagini sono state catturate dal satellite SOHO il 25 ottobre 2003 in luce visibile (a sinistra) e nei raggi X (a destra). L'immagine nel visibile mostra la presenza di due estesi e complessi gruppi di macchie nella fotosfera solare. E' evidente una corrispondenza tra le regioni di attività nelle due bande spettrali. Tuttavia l'immagine nella banda X permette di scorgere un maggior numero di dettagli. La zona scura centrale è un buco coronale, cioè una regione della corona solare con temperature e densità inferiori alla norma. Le zone luminose sono delle regioni di intensa emissione X.

L'idea di base per un progetto così insolito nasce da un fenomeno ben noto ai radioamatori, i quali sanno che, quando ricevono segnali radio a frequenza non troppo elevata, la qualità della loro ricezione varia dal giorno alla notte e con la stagione; inoltre, è massima intorno al mezzogiorno locale, potendo comunque subire improvvise variazioni nelle altre ore della giornata. Il ciclo dell'attività solare influenza il lavoro dei radioamatori, tanto è vero che nelle pubblicazioni specialistiche non mancano mai un paio di pagine che sembrano prese a prestito da una rivista astronomica di buon livello, ricche come sono di informazioni sui fenomeni solari.

Insomma, vi è uno stretto legame tra le radiazioni emesse dal Sole e la propagazione dei segnali radio qui sulla Terra. Le cause sono rimaste per molti anni sconosciute. Ecco che cosa scriveva nel 1930 Guglielmo Marconi: ".....*La propagazione delle onde elettriche attraverso grandi*

distanze dipende ancora da una serie di incognite che vanno indagate e che hanno apparentemente a che fare con le forze elettriche e magnetiche dell'universo, fra le quali non bisogna dimenticare le aurore boreali e soprattutto il nostro Sole onnipotente. Chissà dove ci condurranno queste ricerche? “. A questa domanda fu data una risposta soltanto nel dopoguerra, quando, grazie agli strumenti trasportati dai razzi, fu possibile analizzare la struttura della nostra atmosfera e i complessi meccanismi legati alla propagazione delle onde elettromagnetiche all'interno di essa.

Oggi sappiamo bene che i segnali radio di bassa frequenza sono riflessi dalla *ionosfera* la cui capacità riflettente, essendo legata allo stato di ionizzazione degli atomi e delle molecole che la compongono, è fortemente influenzata dalla quantità della radiazione ionizzante proveniente dal Sole, come sono i raggi X. Nel processo di ionizzazione indotto dai raggi X vengono prodotti elettroni liberi e ioni positivi. Queste cariche elettriche costituiscono appunto la ionosfera, il cui strato a più alta quota, denominato *F2*, è particolarmente sensibile alle fluttuazioni di breve periodo della radiazione X e la cui densità elettronica varia prontamente e conseguentemente con esse. Anche gli strati inferiori, denominati *F1*, *E* e *D*, rispondono alle sollecitazioni del flusso X, ma sono prevalentemente sensibili alle variazioni a lungo periodo, per esempio quelle giornaliere, mensili o annuali.

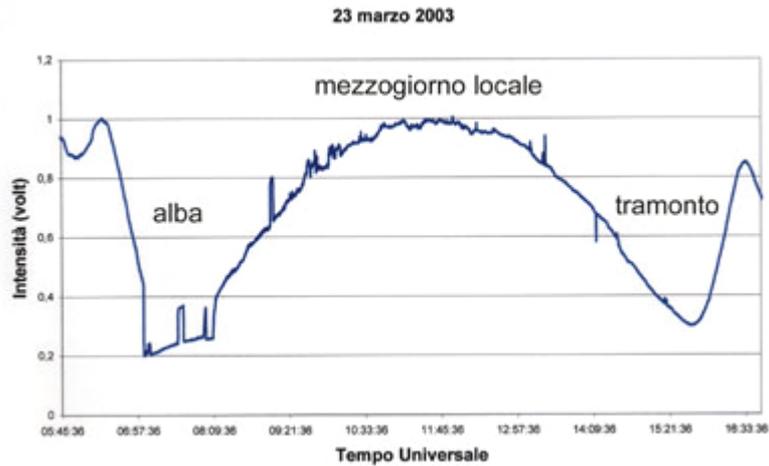
Ecco allora che, se si monitora durante il giorno l'intensità del segnale radio di una stazione che trasmette a bassa frequenza, si esegue indirettamente un controllo sull'emissione di raggi X dal Sole.

Il primo passo è individuare una stazione radio adatta: a tal proposito possiamo sfruttare le stazioni militari sparse in diversi punti della superficie terrestre che trasmettono 24 ore al giorno nelle VLF. Con un semplice dispositivo costituito da un'antenna poco ingombrante, un ricevitore e un PC (vedi alle pagine successive), è possibile ricevere tali scambi di messaggi riservati; per noi saranno ovviamente incomprensibili, perché criptati, ma ciò che ci interessa è solo l'intensità del segnale ricevuto, non il loro contenuto. L'intensità dipende dalla densità elettronica degli strati ionosferici: le VLF emesse dalla stazione si propagano in linea retta e quelle che si dirigono verso lo spazio esterno vengono riflesse verso terra dalla ionosfera. Sono questi “rimbalzi” che permettono la propagazione delle VLF a distanze enormi senza l'ausilio di ponti radio. Quando il nostro pianeta viene investito da un improvviso aumento del flusso X da parte del Sole, quasi sempre associato ad un intenso brillamento (*flare*) - tanto che si parla di *brillamento X*- immediatamente la densità elettronica nella ionosfera aumenta e conseguentemente l'intensità del segnale ricevuto nelle VLF diventa più forte.

I rapidi aumenti dei segnali VLF vengono identificati con il nome di SID, dall'inglese *Sudden Ionospheric Disturbance*, cioè “improvviso disturbo ionosferico”. I SID riscuotono particolare interesse da parte di chi studia le interazioni Terra-Sole. Per questo motivo, nel 1965, è nato l'*AAVSO SID Program* voluto da uno sparuto gruppo di appassionati, prevalentemente radioamatori, appartenenti alla *Solar Division dell' American Association of Variable Stars Observers* (AAVSO).

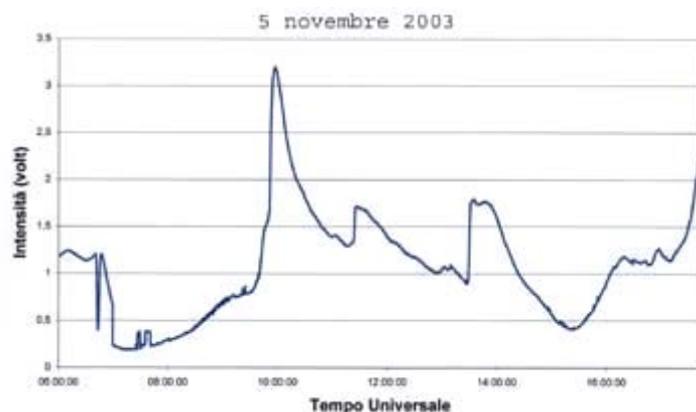
Gli osservatori di SID nell'AAVSO attualmente sono più di cento, distribuiti in tutto il mondo; alcuni di questi sono italiani. Tale attività è una delle poche che permettono agli astrofili di esplorare le regioni non ottiche dello spettro elettromagnetico, partecipando con i professionisti ad un programma scientifico di alto profilo.

Vediamo in pratica cosa si rivela captando le VLF. Dopo aver sintonizzato la strumentazione per la ricezione di una stazione emittente, si può verificare che l'andamento nel tempo di una registrazione giornaliera (in un giorno senza brillamenti) segue una curva tipica come quella riportata nella figura sottostante.



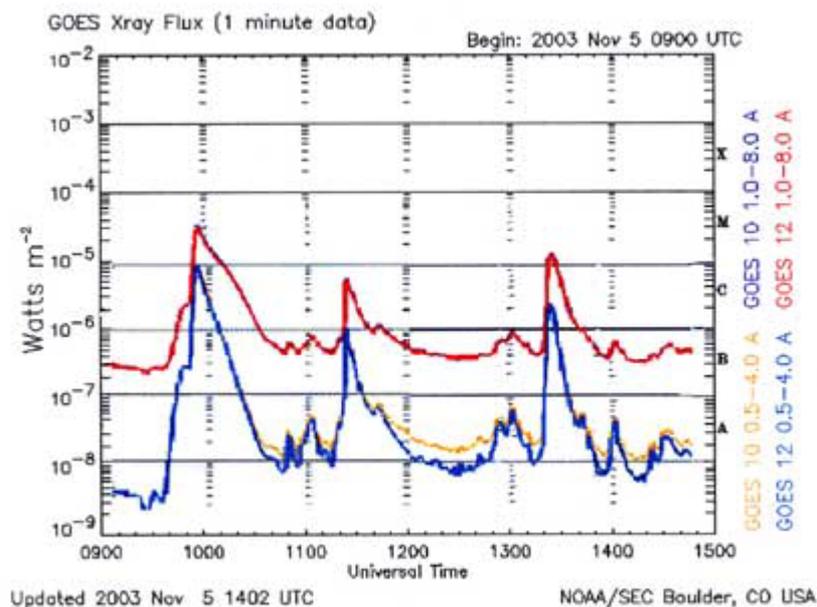
Le caratteristiche salienti della registrazione sono la presenza di un massimo nei pressi delle ore centrali della giornata, mentre in corrispondenza del sorgere e del tramonto del Sole, si osservano dei minimi. Durante la notte il segnale torna ad essere elevato. L'interpretazione di questo peculiare comportamento giornaliero, specie all'alba e al tramonto, è ancora oggetto di dibattito tra gli esperti.

Nel caso dell'occorrenza di brillamenti X, alla curva tipica giornaliera si sovrappongono picchi di intensità e durata che sono connessi al brillamento: si tratta dei SID. Nella figura sottostante, sono riportati gli effetti di tre brillamenti occorsi il 5 novembre 2003 nelle ore centrali della giornata, che quindi si sono sovrapposti al massimo relativo diurno .



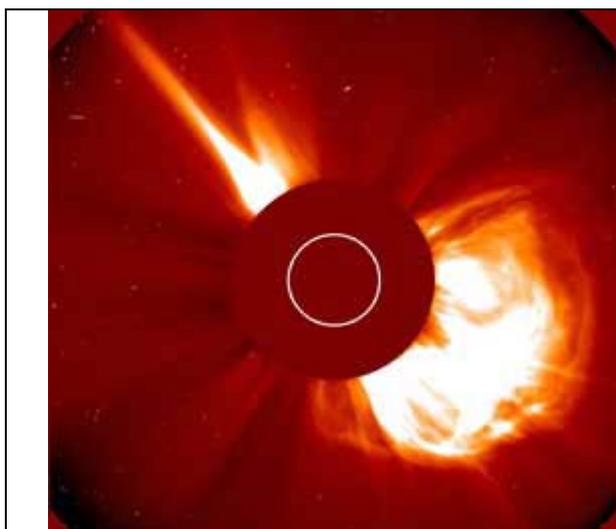
Durante un brillamento, l'intensità del segnale aumenta repentinamente in pochissimi secondi per poi decrescere in tempi più lunghi, anche di ore. L'incremento dell'intensità nelle VLF è inconfondibile; nel caso qui illustrato, l'ampiezza dei SID è quasi il doppio rispetto al segnale normale.

Interessante è il confronto che si può fare con i dati X rilevati dai satelliti GOES che sono riportati nella seguente figura.



E' evidente che esiste una corrispondenza precisa: i tempi di inizio e di fine del brillamento sono gli stessi, entro i margini d'errore; inoltre, sono riconoscibili, anche nel segnale VLF, alcuni dettagli fini che hanno una corrispondenza nelle misure X. Invece, bisogna dire che, con la strumentazione utilizzata per eseguire le osservazioni qui presentate, non si è in grado di rilevare i brillamenti X che hanno variazioni di flusso poco marcate.

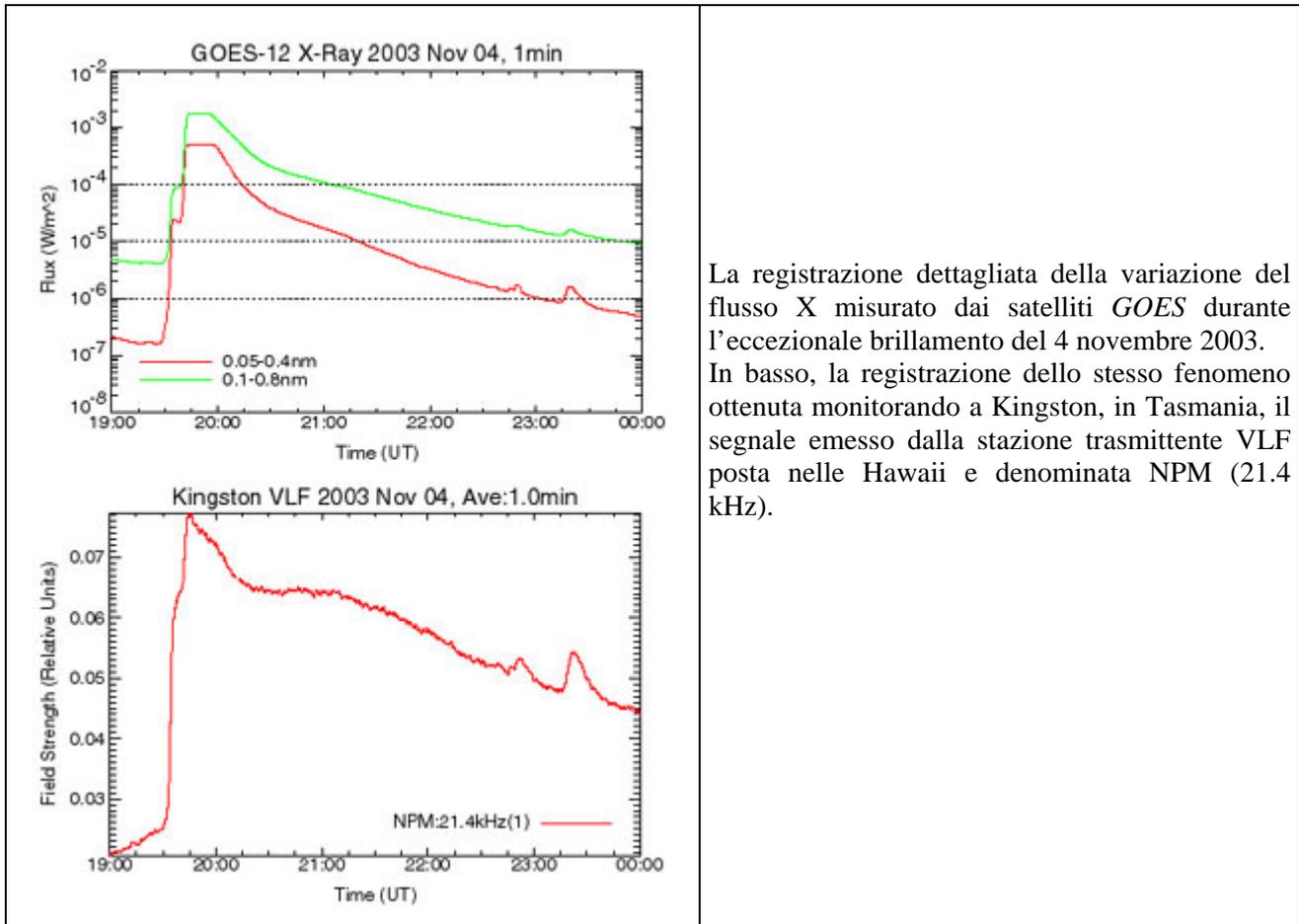
Circa un anno fa, nell'ultima decade del mese di ottobre 2003 e nella prima settimana di novembre si verificò la comparsa sul Sole di vasti gruppi di macchie solari e l'attività globale che ne seguì dette luogo a fenomeni di notevole spettacolarità. Il 4 novembre, intorno alle 19h 30m T.U., dal maggior centro di attività, estremamente esteso, venne prodotto il più potente brillamento nella banda X mai registrato per una singola regione attiva solare. Assai intensa fu anche la conseguente emissione di massa coronale.



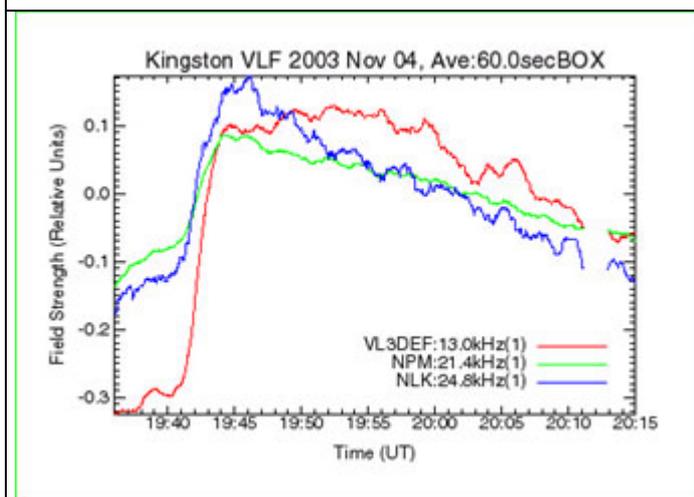
La straordinaria eiezione di materiale solare (*coronal mass ejection*, CME) verificatasi il 4 novembre 2003, rilevata dal coronografo LASCO C2 a bordo della sonda SOHO. La regione attiva all'origine del fenomeno era in prossimità del bordo solare e pertanto l'eiezione non ha investito direttamente la Terra. Al centro il disco coronografico nasconde il Sole, il cui bordo è segnato sul disco stesso.

Poiché il brillamento da record è avvenuto quando in Italia il Sole era già tramontato, non fu possibile la sua registrazione nelle VLF da parte delle stazioni riceventi collocate nel nostro Paese.

Il fenomeno è stato però ben osservato in Tasmania (Australia) dalla stazione di osservazione VLF di Kingston, come mostrato nei grafici seguenti.



La registrazione dettagliata della variazione del flusso X misurato dai satelliti *GOES* durante l'eccezionale brillamento del 4 novembre 2003. In basso, la registrazione dello stesso fenomeno ottenuta monitorando a Kingston, in Tasmania, il segnale emesso dalla stazione trasmittente VLF posta nelle Hawaii e denominata NPM (21.4 kHz).



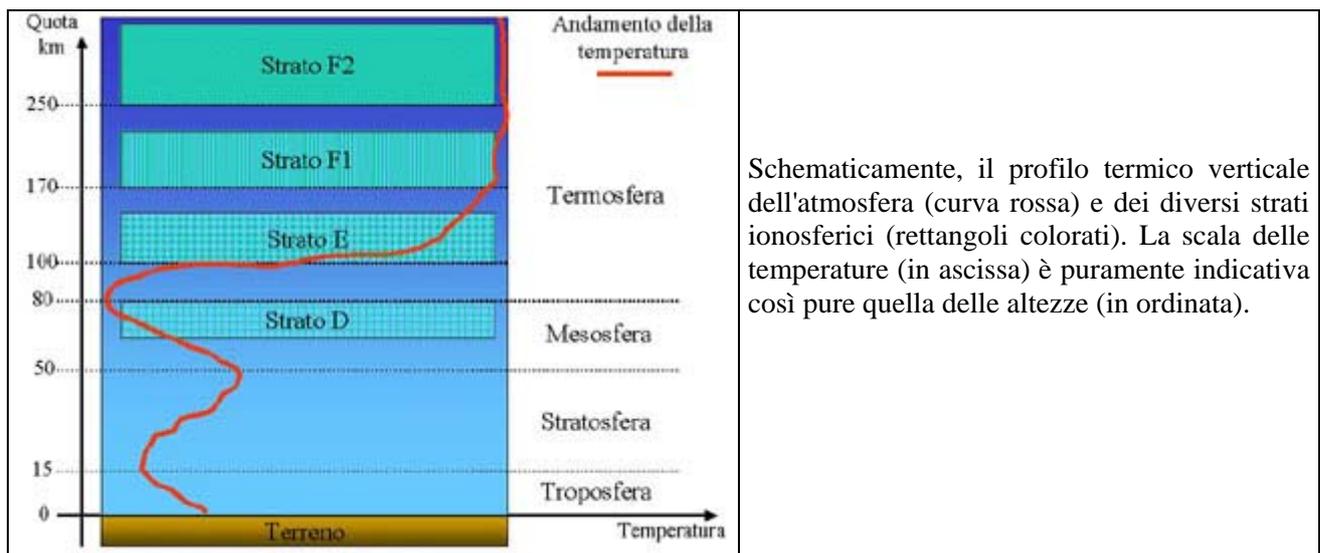
La qualità della strumentazione della stazione di Kingston ha permesso di rilevare anche le deboli oscillazioni, quasi periodiche (2-5 minuti), del segnale ricevuto da tre stazioni trasmittenti diverse. (cortesia Andrei Klekociuk)

Un limite dell'osservazione indiretta dei brillamenti X tramite SID è dato dall'impossibilità di poter eseguire misure quantitative del flusso X: la risposta della propagazione delle VLF ai brillamenti solari è complessa e ciò rende difficoltoso tarare il rilevatore dei SID in modo da risalire al flusso X che li ha causati. Sono perciò possibili solo esami quantitativi riguardanti il conteggio degli

eventi e la loro durata. Per il resto, ci si deve accontentare di valutazioni qualitative, ma non per questo poco soddisfacenti o poco emozionanti.

La ionosfera come specchio

La nostra atmosfera viene suddivisa in regioni distinte in base all'andamento della temperatura con l'altezza. Partendo dalla superficie terrestre e salendo in quota la temperatura decresce fino a un'altezza caratteristica che ai poli è all'incirca di 8 km, mentre all'equatore raggiunge i 18 km. Questo primo strato, nel quale avvengono tutti i fenomeni meteorologici e nel quale noi viviamo, è la *troposfera*. Il gas presente nella troposfera è continuamente rimescolato dai movimenti orizzontali e verticali dell'aria.



Al di sopra della troposfera la temperatura rimane costante per alcuni chilometri, mentre a quote superiori la temperatura aumenta con l'altezza fino alla quota di circa 50 km. L'aumento della temperatura con l'altezza conferisce caratteristiche di stabilità di questo strato atmosferico nel quale i moti verticali sono inibiti e il gas è stabilmente stratificato. È nella *stratosfera* che risiede l'ozono, quel gas che assorbendo la radiazione ultravioletta preserva tutte le forme di vita terrestri dai danni fatali che sarebbero causati da una significativa esposizione a tale radiazione.

Al di sopra della stratosfera, per una trentina di chilometri la temperatura decresce con l'altezza; è questa la zona denominata *mesosfera*. A quote superiori agli 80-90 km la temperatura torna a crescere con l'altezza e questo strato viene definito *termosfera*. La termosfera può estendersi fino a 250 km o 500 km dal suolo, a seconda della stagione e della latitudine geografica, oltre quelle quote gli atomi e le molecole che compongono il gas termosferico risentono scarsamente dell'attrazione gravitazionale terrestre tanto che, grazie alla loro elevata energia cinetica, vengono perduti nello spazio interplanetario. La radiazione proveniente dal Sole interagisce con l'atmosfera, in particolare la radiazione più energetica (raggi X) viene assorbita nella termosfera e solo una parte raggiunge la mesosfera. Nel processo di assorbimento, gli atomi e le molecole subiscono una ionizzazione; quindi, nella termosfera vengono a trovarsi particelle cariche libere, quali elettroni e ioni positivi. La densità di elettroni varia con l'altezza all'interno della termosfera; ciò permette di individuare strati aventi caratteristiche proprie di densità e di variabilità nel tempo. L'insieme di questi strati costituisce quella che viene sinteticamente chiamata *ionosfera*. La ionosfera risiede prevalentemente nella termosfera. Lo strato ionosferico più basso viene identificato con la lettera *D* e la sua densità tipica diurna si aggira attorno ai 10^4 elettroni/cm³, esso scompare durante la notte per l'assenza di radiazione solare ionizzante e a seguito della rapida ricombinazione degli elettroni con gli ioni positivi. Gli strati *E* e *F1* si trovano a quote superiori e anche la loro densità elettronica

varia in funzione dell'irraggiamento solare seguendo cicli diurni e stagionali. Gli strati *E* e *F1* sono presenti anche durante la notte, seppure con densità ridotte rispetto a quelle diurne, che possono raggiungere i 10^5 elettroni/cm³. Lo strato *F2* è quello più alto in quota ed è anche il più ricco di elettroni liberi, con densità che si aggirano sempre al di sopra dei 10^5 elettroni/cm³. Questo strato, con la sua notevole densità elettronica, è il più potente elemento riflettente della ionosfera per le onde elettromagnetiche.

La strumentazione è semplice

Le apparecchiature necessarie per la registrazione dei brillamenti solari nella banda X tramite i loro effetti sulle VLF sono:

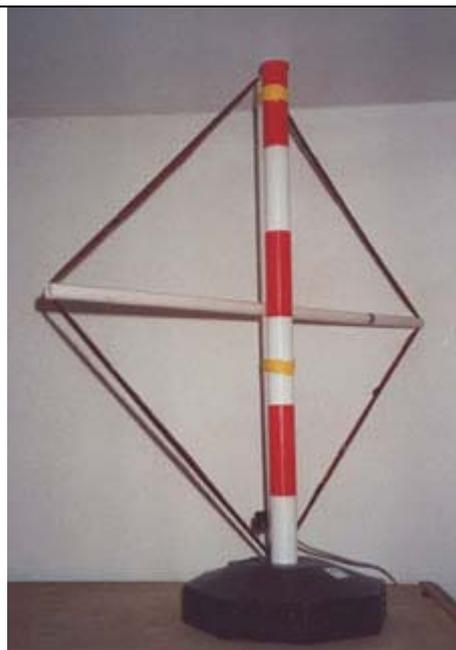
- un ricevitore per le VLF;
- un'antenna LOOP costituita da due aste di legno lunghe 70 cm e unite a formare una croce sulla quale sono avvolte 120 spire di filo di rame smaltato di diametro 0,4 mm che costituisce l'avvolgimento primario, in parallelo al quale è saldato un condensatore da 1450 pF. Sopra l'avvolgimento primario ci sono 20 spire dello stesso filo smaltato, ai capi del quale è saldato il cavo da 75 ohm che collega l'antenna al ricevitore;
- un'interfaccia analogico-digitale da interporre tra l'uscita del ricevitore e una delle porte di ingresso di un PC che, mediante un apposito programma, rilevi ad intervalli regolari l'intensità del segnale ricevuto, memorizzi il corrispondente valore e mostri successivamente il relativo grafico.

Il ricevitore, la relativa antenna e l'interfaccia possono essere autocostruiti se si ha un minimo di nozioni elettroniche e radiantistiche seguendo le dettagliate indicazioni reperibili al seguente sito Web <http://www.aavso.org/observing/programs/solar/equipment.shtml>



Il ricevitore VLF autocostruito che Giorgio Bressan utilizza per il rilevamento dei SID è dotato di manopole per la sintonia e per il controllo del guadagno. In questo tipo di ricevitore la frequenza portante del segnale trasmesso da una stazione trasmittente VLF viene rettificata ottenendo una tensione positiva proporzionale al segnale ricevuto. Questa tensione arriva a un computer passando per un convertitore analogico/digitale che viene gestito da un software installato sul PC.

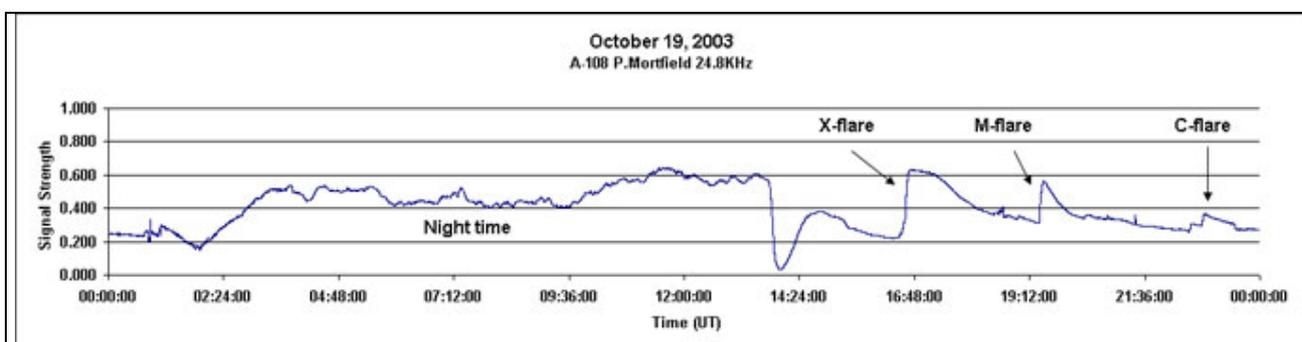
L'antenna LOOP utilizzata per la ricezione delle VLF



Chi non avesse tali competenze potrà intraprendere l'attività di ricerca acquistando attrezzature già montate e pronte all'uso, come un ricevitore semiprofessionale che copra la banda HF fino 30 MHz facendolo precedere da un *converter* per le VLF. Un'alternativa all'antenna di tipo LOOP, che deve essere necessariamente autocostruita, è l'antenna cosiddetta "attiva" per la banda VLF che, oltre ad essere reperibile in commercio, offre il vantaggio di occupare pochissimo spazio. Per il convertitore e l'antenna attiva si può contattare: LF Engineering Co. al sito <http://www.lfengineering.com>

Chi fosse interessato all'osservazione dei SID nelle VLF, una volta costruita o acquistata l'apparecchiatura, non appena sia riuscito a ottenere un grafico completo di una giornata con i minimi tipici del sorgere e tramonto del Sole, lo spedisca all'analista SID dell'AAVSO, il quale gli assegnerà un codice identificativo di osservatore: a questo punto, sarà entrato a far parte del gruppo internazionale di osservatori. La partecipazione è molto apprezzata: al momento, in Italia gli osservatori sono solamente tre. Oltre a uno degli autori di questo articolo, ultimo arrivato (Giorgio Bressan, gbressan@adriacom.it), ci sono due veterani come Guglielmo Di Filippo e Roberto Battaiola, che danno il loro prezioso aiuto ai neofiti.

Purtroppo, tre persone sono poche considerato il numero degli astrofili italiani, ma è auspicabile che nel prossimo futuro le cose abbiano a migliorare.

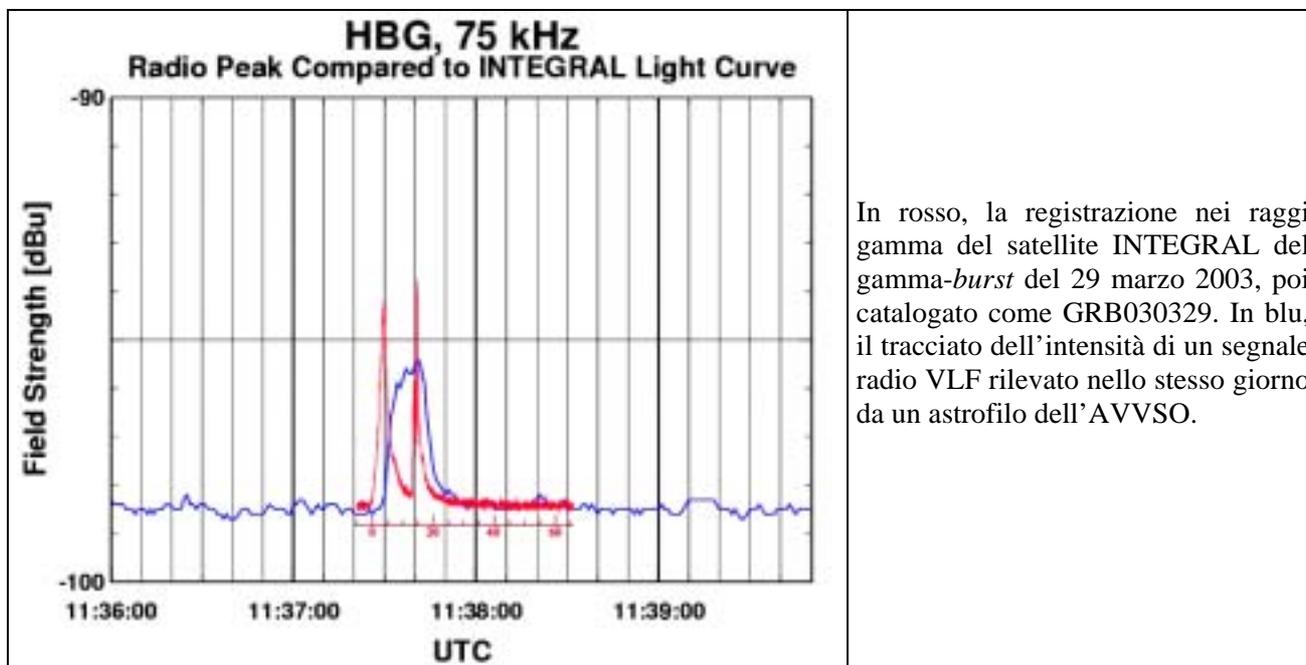


Il tracciato ottenuto da P. Morfield di Cupertino - California, uno dei circa 100 osservatori di SID nell'AAVSO - che ha registrato nella banda VLF il segnale trasmesso dalla stazione radio NLK (24.8 kHz) di Washington il 19 ottobre riuscendo a catturare tre brillamenti solari.

Si possono “cappare” anche i gamma-burst

In media una volta al giorno, in modo del tutto imprevedibile, appare in cielo un *gamma-burst* (GRB), o *lampe gamma*. Si tratta di improvvise “esplosioni” di raggi gamma di straordinaria potenza, tale da sovrastare, nel breve tempo della loro comparsa (al massimo, qualche minuto) tutte le altre sorgenti gamma del cielo. Si ritiene verosimilmente che la loro sorgente sia l’esplosione di una super-supernova (o *ipernova*). Anche i raggi gamma, essendo radiazioni energetiche ionizzanti, sono in grado di aumentare la densità elettronica nella ionosfera. C’è da attendersi, pertanto, che l’intensità di un segnale radio VLF diventi più forte quando compare in cielo un *lampe gamma*. Anche questi fenomeni, quindi, dovrebbero essere rilevabili con la stessa attrezzatura radio utilizzata per il monitoraggio della radiazione X solare.

Una possibile correlazione tra un *gamma-burst* e un repentino aumento del segnale radio in banda VLF è stata in effetti registrata il 29 marzo 2003 da P. Schnoor, osservatore SID dell’AVVSO, che ha monitorato a Kiel (Germania) il segnale orario emesso dalla stazione HBG (75 kHz) che trasmette nei pressi di Ginevra a 920 km di distanza. Si osservi il grafico sottostante, nel quale è riportata sia la registrazione del *lampe gamma* da parte del satellite INTEGRAL dell’ESA (in rosso), che l’intensità del segnale radio VLF (in blu). Come si vede, vi è una evidente contemporaneità tra i due segnali; anche la durata è la stessa. Questa sovrapposizione temporale tra i due eventi porterebbe a ritenere che si tratti di due fenomeni legati tra di loro. Qualche dubbio potrebbe forse nascere confrontando la forma delle curve che sono evidentemente diverse: quella radio presenta un solo picco mentre le altre hanno una struttura più complessa con due picchi. Bisognerebbe conoscere il modo specifico in cui la radiazione gamma interagisce con la ionosfera per giustificare questo diverso comportamento



Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare sentitamente Roberto Battaiola, Guglielmo Di Filippo e Valter Gennaro per gli innumerevoli aiuti ricevuti e per gli utilissimi confronti e scambi di idee.

Autori

Giorgio Bressan vive a Udine e si occupa di radioastronomia da oltre venti anni, è coordinatore del gruppo di lavoro Fenics Work Group, che collabora con l'Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia. Da alcuni anni ha intrapreso l'osservazione sistematica dei SID nell'ambito del programma SID dell'AVVSO.

Dario Gaiotti è fisico e lavora presso l'Osservatorio Meteorologico Regionale dell'ARPA del Friuli Venezia Giulia. Si interessa di astronomia e radioastronomia amatoriale; cura gli aspetti scientifici del Fenics Work Group.

Valter Giuliani è docente di fisica presso l'Istituto Superiore Statale "A.Greppi" di Monticello (Lc). È socio fondatore del Gruppo Astrofili Brianza che gestisce l'Osservatorio Astronomico di Sormano (Co).