



Il nostro amico (?) Sole

di Marco Lisi

Il comportamento del Sole, o "Space Weather", può influenzare il comportamento dei sistemi GNSS, come GPS o Galileo, in vari modi.

"Il sole, con tutti quei pianeti che gli girano attorno e da lui dipendono, può ancora far maturare una manciata di grappoli d'uva come se non avesse nient'altro da fare nell'universo."

Galileo Galilei

Il Sole è la stella intorno alla quale ruota il nostro microcosmo planetario, simile ad altri miliardi di stelle nell'universo, ma per noi unica, perché fonte primaria ed insostituibile di energia, in ultima analisi di vita. Il ruolo fondamentale del Sole è tanto importante, quanto spesso considerato come scontato, nonostante l'attenzione ad esso dedicata negli ultimi anni come fonte rinnovabile di energia pulita, attraverso l'utilizzo di pannelli termici e solari.

È solo quando il Sole fa i capricci, comportandosi in modo anomalo (secondo i nostri standard), che ci si accorge di lui e si deve, a volte, correre ai ripari.

L'attenzione scientifica e tecnica al comportamento del Sole è come vedremo vecchia di alcuni secoli, ma solo con l'avvento dell'elettricità prima e delle tra-

smissioni radio poi che essa ha assunto un'importanza primaria, a volte strategica. Negli ultimi anni, lo studio del Sole e degli effetti da esso indotti su vari aspetti tecnologici e biologici della nostra vita e della nostra salute è stato denominato "Space Weather".

Il primo evento storico di proporzioni catastrofiche, che ha dimostrato l'estrema fragilità della nostra tecnologia "elettrica" (non si parlava ancora di elettronica, telecomunicazioni "wireless" o computer) risale al cosiddetto "Carrington Event", una potentissima tempesta geomagnetica verificatasi il primo settembre 1859, come conseguenza di una "eruzione" solare ("Coronal Mass Ejection", CME) di enorme potenza.

Questa tempesta solare, oltre a provocare spettacolari aurore

a tutte le latitudini, degradò (a volte distrusse) il sistema di telecomunicazioni allora diffuso, basato sulla telegrafia via fili. È importante notare che un evento simile a quello del 1859 provocherebbe ai nostri giorni una calamità planetaria con conseguenze catastrofiche su tutti gli aspetti della nostra società: danni alle apparecchiature elettroniche, distruzione delle reti di telecomunicazione, danni e blackout nelle reti di distribuzione dell'energia elettrica. In altri termini, niente smartphone, reti cellulari e Wi-Fi; niente Internet e Web; niente computer, frigoriferi, condizionatori, radio, televisione. E non si pensi che un altro disastro di portata simile sia così improbabile: nel 2012 si fu ad un passo da esso, quando un'eruzione solare di simile potenza mancò di poco la nostra Terra.

La domanda che sempre più spesso ci si pone è: che succederebbe se un evento simile a quello di Carrington si ripetesse oggi? E indipendentemente da prospettive catastrofiche, qual è l'incidenza degli eventi solari, anche di piccola e media entità, su comunicazioni radio, sistemi di navigazione globali (GNSS) e sistemi di controllo del traffico aereo?

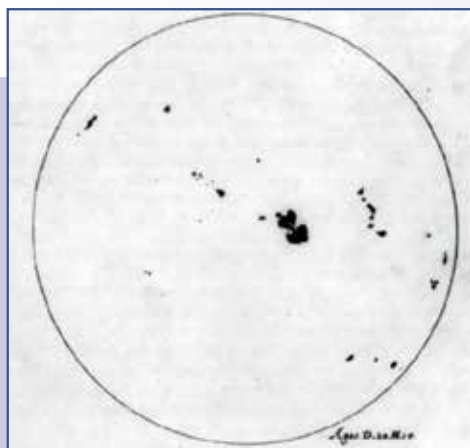


Fig. 1 - Le macchie solari osservate e disegnate da Galileo Galilei.

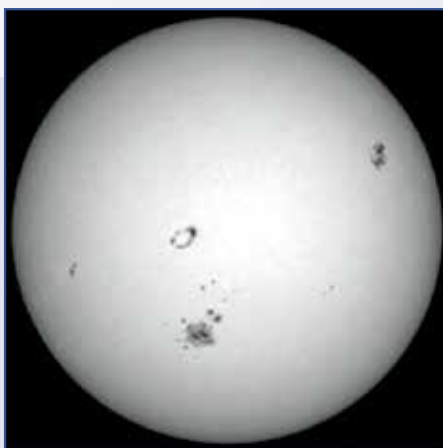


Fig. 2 - Immagine presa dalla sonda SOHO dell'ESA.

Galileo e l'osservazione scientifica del Sole

Il primo, o perlomeno uno fra i primi, a scoprire che il Sole, nella sua fiera potenza, non era esente da comportamenti anomali fu, nessuna sorpresa, il nostro Galileo Galilei. Nell'estate del 1611, in Toscana, Galileo usò il suo piccolo e rudimentale telescopio per proiettare l'immagine del Sole su uno schermo bianco (deve aver qualche volta provato ad osservare direttamente con gli occhi, perché in tarda età diventò purtroppo quasi cieco). Ciò che vide e riportò nei suoi appunti e libri (figura 1) era alquanto sorprendente: lungi dall'essere un astro perfetto, esente da impurità ed imperfezioni, la nostra stella presentava invece delle piccole imperfezioni, delle "macchie": da qui il termine "macchie solari" ("Sun Spots"). In realtà, l'osservazione delle macchie solari, almeno di quelle più grandi, è possibile anche ad occhi nudo, seppur in condizioni particolari (nebbia, cielo nuvoloso, alba e tramonto). Gli astronomi cinesi già 2000 anni fa avevano registrato tali eventi. Solo dopo Galileo e per mezzo del telescopio, tuttavia, è cominciata l'osservazione sistematica della superficie solare. Oggigiorno abbiamo ben altri e più potenti telescopi, ma soprattutto satelliti sonda dedicati all'osservazione del Sole, come il satellite SOHO dell'Agenzia Spaziale Europea. I risultati, tuttavia, non sono molto dissimili (figura 2).

Cosa sappiamo del Sole?

Il Sole emette radiazione elettromagnetica e materia come conseguenza dei processi di fusione nucleare che avvengono al suo interno.

Le radiazioni elettromagnetiche coprono tutto lo spettro, partendo dalle onde radio a frequenza più bassa, passando per le mi-

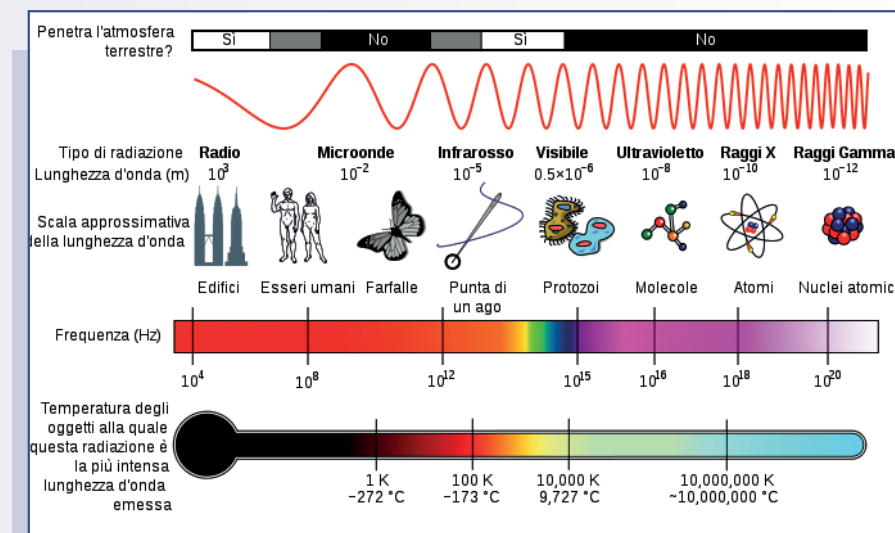


Fig. 3 - Lo spettro elettromagnetico.

croonde, l'infrarosso, lo spettro visibile, l'ultravioletto ed arrivare ai raggi X ed ai raggi gamma (figura 3).

Maggiore la frequenza della radiazione, maggiore la temperatura dell'oggetto che emette la radiazione stessa.

Oltre alle radiazioni elettromagnetiche, il Sole emette anche materia, incluse particelle cariche come elettroni e protoni, che costituisce il cosiddetto "vento solare" ("Solar Wind"). In un giorno di "quiete", questo vero e proprio vento di particelle viaggia verso la Terra con una velocità di 400 chilometri al secondo.

Mentre le radiazioni elettromagnetiche ionizzano strati diffe-

renti dell'atmosfera terrestre, la cosiddetta ionosfera, creando vari fenomeni di propagazione (ed influenzando, come vedremo, i segnali dei satelliti GNSS), le particelle cariche vengono intrappolate dal campo magnetico terrestre, creando le fasce di particelle della magnetosfera (figura 4).

Ma, come anticipato, il nostro astro non è sempre in quiete. Innanzi tutto presenta periodicamente sulla sua superficie delle macchie scure (perché più "fredde", si fa per dire, rispetto al resto della superficie solare), le già citate macchie solari, o macchie fotosferiche. Il numero e le dimensioni delle macchie solari segue un ciclo mediamente pari



Fig. 4 - Vento solare e magnetosfera terrestre.

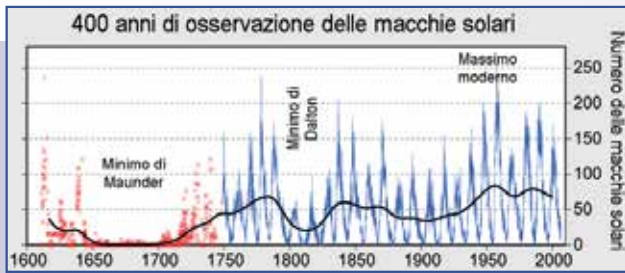


Fig. 5 - Evolversi dei cicli solari, da Galileo ad oggi.



Fig. 6 - Predizioni sul prossimo ciclo solare, il 25° (2021 - 2022 circa).

ad undici anni, detto ciclo solare, che è anche la principale causa delle periodiche variazioni di tutti i fenomeni solari che influiscono sul tempo meteorologico spaziale (“space weather”) (figura 5, 6).

Ad un maggiore numero di macchie solari è quasi sempre associata una maggiore probabilità di eventi macroscopici, quali i brillamenti solari (“Solar Flares”) e le espulsioni di massa coronale (“Coronal Mass Ejection”, CME).

I brillamenti solari avvengono in prossimità di macchie solari

e consistono in un potentissimo “flash” di energia elettromagnetica su tutto lo spettro, fino ai raggi X. Questa emissione di energia elettromagnetica può avere influenza sulla propagazione delle onde radio e quindi sulle radiocomunicazioni e, in generale, su tutti i sistemi terrestri che operano a radiofrequenza.

Le espulsioni di massa coronale sono espulsioni di materiale dalla corona solare, nello stato di plasma, composto essenzialmente da elettroni e protoni, ma anche di nuclei

di elementi più pesanti, quali elio, ossigeno e ferro. Insieme a spettacolari aurore polari (“Luci del Nord” o aurore boreali e “Luci del Sud” o aurore australi), questi eventi oltre a disturbare le trasmissioni radio, creare interruzioni di energia e danneggiare le linee di trasmissione elettriche, possono, a causa delle particelle ionizzate dotate di massa e di alta energia cinetica, danneggiare, in modo temporaneo o definitivo, i componenti elettronici dei satelliti (microprocessori, memorie, pannelli solari) ed essere letali per esseri

umani in viaggio o in permanenza nello spazio (per esempio, gli astronauti della Stazione Spaziale Internazionale, ma anche, cosa poco conosciuta, viaggiatori e membri dell’equipaggio dei voli transatlantici di linea ad alta quota). È importante sottolineare che tutti gli eventi legati al

Sole sono di portata gigantesca e coinvolgono energie elevatissime. Senza ritornare sull’Evento di Carrington del 1859, in tempi molto più recenti, nel marzo 1989, una tempesta geomagnetica, innescata da una emissione di massa coronale particolarmente potente, provocò nove ore di black-out dell’energia elettrica nel Quebec canadese, oltre ad aurore a basse latitudini, interruzioni nelle trasmissioni radiofoniche e problemi con vari satelliti in orbita.

Eventi di minore entità, che tuttavia provocano anomalie e disagi in vari contesti (figura 7), sono molto più frequenti e devono essere presi in seria considerazione.

Il Sole, lo Space Weather ed i sistemi GNSS

Il comportamento del Sole, o “Space Weather”, può influenzare il comportamento dei sistemi GNSS, come GPS o Galileo, in vari modi.

Ricordiamo che il principio alla base di questi sistemi è la misura del tempo impiegato da un segnale radio, opportunamente modulato, per viaggiare da un satellite al ricevitore dell’utente. D’altra parte i segnali radio provenienti dai satelliti devono passare attraverso la ionosfera terrestre. Il plasma di particelle cariche della ionosfera “piega” (rifrange) il percorso dei segnali radio GNSS, un po’ come una lente agisce sul passaggio di un raggio di luce.

In situazioni di comportamento solare “quieto”, i ricevitori GNSS, anche quelli più semplici ed economici, compensano gli effetti della ionosfera attraverso l’uso di modelli matematici alquanto fedeli. Tali modelli falliscono quando il comportamento solare è anomalo e ne conseguono sostanziali modifiche della ionosfera. Si hanno quindi come risultato degli errori di propaga-

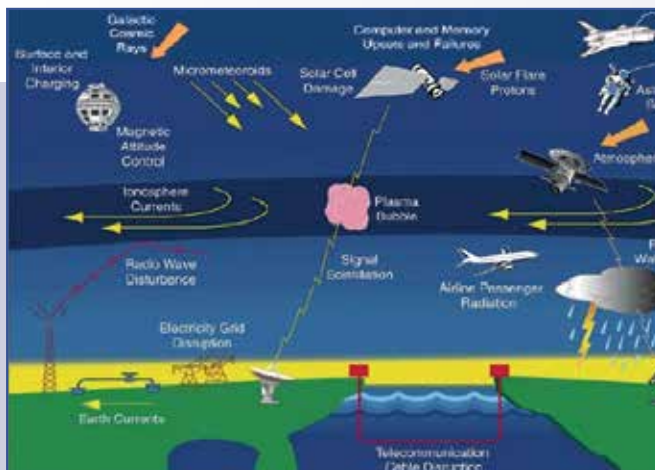


Fig. 7 - Lo “Space Weather” ed i suoi effetti.

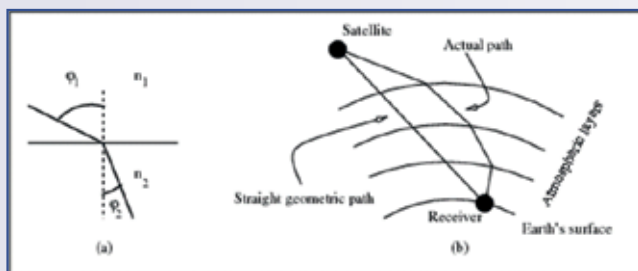


Fig. 8 - Effetti della ionosfera sui sistemi GNSS.

zione molto alti, che si riflettono in più alti errori sulla stima della posizione e del tempo, ovvero, in alcuni casi, all'impossibilità di fatto di utilizzare alcuni dei satelliti (figura 8).

Tale è l'importanza dei sistemi GNSS nelle attività industriali ed economiche della nostra società (in particolare quelle "safety critical" come i trasporti aerei), che si pone la necessità di studiare continuamente i fenomeni solari per adattare in tempo reale i nostri modelli della ionosfera e fornire segnalazioni di allarme agli utenti nel caso di eventi gravi.

Per questo motivo la Commissione Europea ha promosso e recentemente lanciato il progetto "Galileo Ionosphere Prediction Service (IPS)" (figura 9), il quale ha lo scopo di monitorare, attraverso una rete di sensori, la composizione della ionosfera e la sua evoluzione in presenza di eventi solari. Le informazioni e gli eventuali "allarmi" vengono distribuiti continuamente agli utenti attraverso un portale pubblico (l'iscrizione è gratuita) (<https://ionospheric-prediction.jrc.ec.europa.eu/>). Il servizio IPS è attualmente gestito dal "Joint Research Center" (JRC) della Commissione Europea, in Ispra, sul lago Maggiore, in provincia di Varese.

Le informazioni distribuite da IPS riguardano non solo il territorio europeo ma tutta la superficie terrestre e sono fornite in tre orizzonti temporali: tempo reale, 30 minuti e 24 ore di anticipo. IPS genera più di 160 prodotti

in quattro differenti aree:

1. Fisica del Sole:
 - a. Detezione automatica delle regioni solari attive e valutazione della probabilità di brillamenti ("flares");

- b. Predizione ed allarmi su brillamenti ed emissioni di massa coronale ("CME's");

- c. Misure su particelle solari ad alta energia ("Solar Energetic Particles", SEP) e su raggi cosmici di origine galattica.

2. Ionosfera: misura e predizioni della composizione della ionosfera in termini del suo contenuto di elettroni liberi ("Total Electron Content", TEC);

3. Prestazioni dei sistemi GNSS: stima e predizione sugli errori indotti dalla situazione ionosferica sulle misure di posizione a livello ricevitore utente (figura 10);

4. Prestazioni delle applicazioni basate su GNSS:

- a. Stime e predizioni delle prestazioni di posizionamento e tempo con riferimento ad un numero di stazioni selezionate;

- b. Stime e predizioni delle prestazioni a livello globale.

Iniziative come quelle dell'IPS contribuiranno sicuramente non solo a meglio conoscere il nostro Sole ed i suoi comportamenti, ma, e soprattutto, a saperne gestire le implicazioni sull'organizzazione della nostra società, anche negli aspetti più minuti della nostra vita quotidiana. Una nota conclusiva: numerosi scienziati, alcuni di essi italiani, sostengono la tesi di una relazione di causalità tra fenomeni solari e fenomeni geofisici, quali terremoti ed eruzioni vulcaniche. In particolare, si sarebbe notata una forte correlazione statistica fra minimi del ciclo solare e stato

di attività dei vulcani. In questi mesi siamo al minimo del ciclo solare passato ed all'inizio del nuovo (il venticinquesimo) e l'Etna ha ripreso ad eruttare...

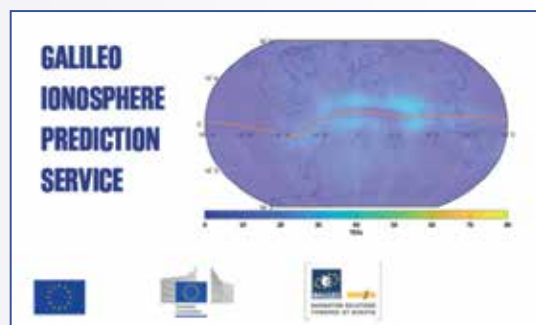


Fig. 9 - Il portale del servizio di predizione ionosferica della Commissione Europea.

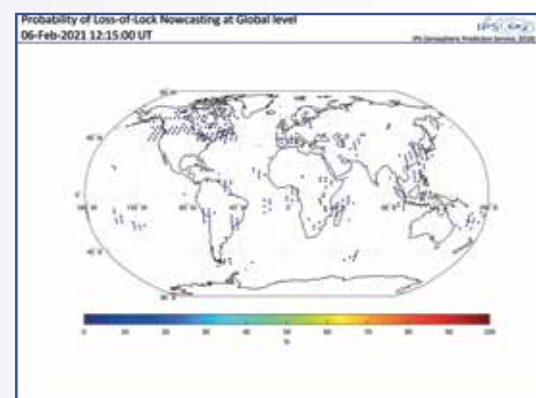


Fig. 10 - Probabilità a livello globale che un ricevitore GNSS perda l'aggancio al segnale

PAROLE CHIAVE

GNSS; SPACE WEATHER; GPS; GALILEO; MACCHIE SOLARI; GALILEO GALILEI; IONOSFERA; BRILLAMENTI; ERUZIONI SOLARI; PROPAGAZIONE IONOSFERICA

ABSTRACT

THE BEHAVIOUR OF OUR STAR, THE SUN, ALSO KNOWN AS "SPACE WEATHER" MAY AFFECT OUR TECHNOLOGICAL SOCIETY AND OUR DAILY LIVES IN VARIOUS WAYS. MAJOR EVENTS, ALREADY OCCURRED IN THE PAST AND NOT SO UNLIKELY, WOULD HAVE CATASTROPHIC EFFECTS ON OUR CIVILIZATION, HEAVILY BASED ON ELECTRICITY, WIRELESS COMMUNICATIONS AND ELECTRONICS. BUT EVEN LESS DISASTROUS (BUT MUCH MORE FREQUENT) SOLAR ANOMALIES MIGHT AFFECT SOME OF OUR CRITICAL INFRASTRUCTURES, SUCH AS THE GNSS SYSTEMS (GPS AND GALILEO), IN TERMS OF PERFORMANCE AND AVAILABILITY. FOR THIS REASON, INCREASING ATTENTION IS BEING SPENT, ALSO IN EUROPE, ON THE STUDY OF THE SUN AND ON THE PREDICTION OF ITS ANOMALIES.

AUTORE

DOTT. ING. MARCO LISI
INGMARCOLISI@GMAIL.COM
INDEPENDENT CONSULTANT
AEROSPACE & DEFENSE