

In questo articolo prenderemo in considerazione i cosiddetti indici di attività geomagnetica, **k** e **A**. Questi hanno relazione con il geomagnetismo, ossia con il campo magnetico terrestre, ma sono anche essi influenzati dall'attività solare.

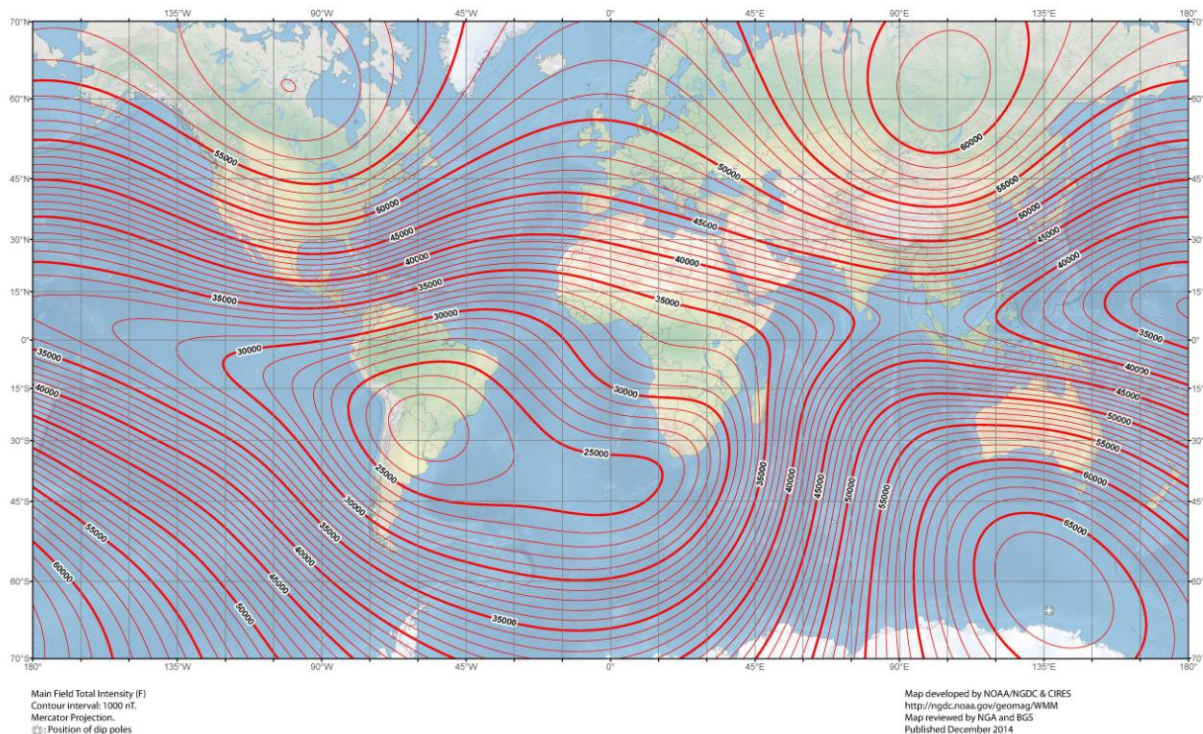
### **Il campo magnetico terrestre**

Come è noto, la Terra genera un proprio campo magnetico, la cui scoperta pare risalga addirittura al XIII secolo, ad opera di Pierre de Maricourt, uno studioso francese dell'epoca che scrisse nel 1269 la sua "Lettera sul magnete", in cui descriveva le proprie osservazioni sul magnetismo terrestre.

Il campo magnetico terrestre è responsabile di molti fenomeni naturali. E' grazie al campo magnetico terrestre, per esempio, che possiamo osservare le aurore quando particelle cariche provenienti dal Sole giungono in prossimità del nostro Pianeta e si incanalano alle alte latitudini lungo le linee di forza del campo magnetico terrestre. Tale campo, inoltre, si estende per molte decine di migliaia di chilometri nello spazio attorno alla Terra, formando quella che è nota come "magnetosfera", ossia una zona attorno alla Terra in cui si risentono gli effetti del suo campo magnetico, molto asimmetrica, ossia schiacciata nella direzione del Sole e allungata dalla parte opposta. Tale magnetosfera rappresenta una sorta di scudo elettromagnetico che la Terra oppone ai raggi cosmici e alle altre particelle cariche provenienti dallo spazio, riducendone la quantità che arriva al suolo.

Il campo magnetico terrestre viene descritto formalmente attraverso il vettore campo magnetico, che indichiamo con **F** e che, come tutti i vettori, ha un modulo (o intensità), una direzione e un verso.

**US/UK World Magnetic Model - Epoch 2015.0**  
**Main Field Total Intensity (F)**



Carta isodinamica dell'intensità totale F del campo magnetico terrestre

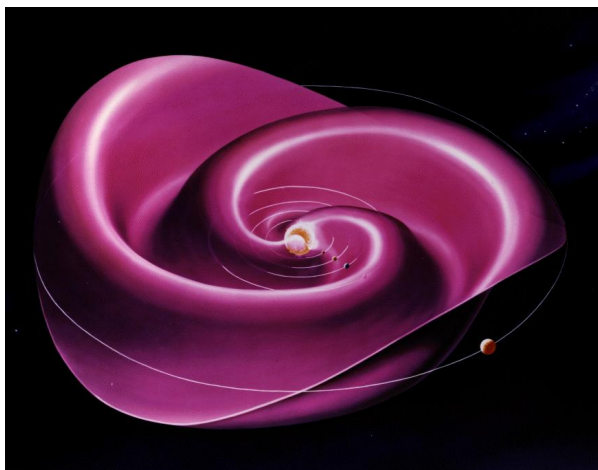
Se indichiamo con  $O$  il punto del campo magnetico in cui immaginiamo di trovarci, il vettore campo magnetico  $F$  avrà una componente orizzontale  $X$  diretta verso il Nord geografico, una componente orizzontale  $Y$  diretta verso l'Est geografico e una componente verticale  $Z$  assunta positiva se diretta verso l'interno della Terra. Se ora consideriamo le sole componenti orizzontali  $X$  e  $Y$ , indicheremo con  $H$  la loro risultante, avente intensità pari alla radice quadrata della somma dei quadrati delle intensità di  $X$  e  $Y$ . E' proprio questa componente orizzontale totale  $H$  quella che interessa per i nostri fini, perché è quella che maggiormente incide sulle interazioni Sole-Terra.

Il campo magnetico terrestre non è costante nel tempo, né uniforme nello spazio. Esso è soggetto a variazioni naturali di lungo periodo, dovute a fattori interni alla Terra, e di breve periodo, dovute a fattori esterni alla Terra. Sono proprio queste ultime che ci interessano, in particolare quelle irregolari dovute all'arrivo di particelle cariche provenienti dal Sole.

L'unità di misura del campo magnetico terrestre è il Tesla, indicato con la lettera maiuscola  $T$ , in onore del noto scienziato serbo Nikola Tesla. Poiché, come accade per il Farad nel caso dei condensatori,  $1 T$  rappresenta un campo magnetico molto grande, si utilizza il sottomultiplo  $nT$ , nano-Tesla, pari a 1 milionesimo di Tesla.

### **Il campo magnetico interplanetario (IMF)**

Per capire il meccanismo attraverso il quale avvengono variazioni irregolari e a breve periodo del campo magnetico terrestre per effetto dell'attività solare, è indispensabile introdurre il campo magnetico interplanetario, indicato con l'acronimo IMF. Questo è il campo magnetico solare trasportato nello spazio interplanetario dal vento solare. Il vento solare è un plasma, ossia un gas ionizzato, costituito da un insieme di elettroni e ioni, che si origina nel Sole e se ne allontana da esso viaggiando nello spazio interplanetario. In Fisica, il teorema di Alfvén afferma che in un fluido conduttore con resistività molto piccola, come il plasma, le linee di forza del campo magnetico restano congelate all'interno del volume di fluido considerato. Questo significa che le linee di forza del campo magnetico, in un plasma, non possono andare dove vogliono ma restano come intrappolate all'interno del plasma, che diventa in pratica il mezzo attraverso cui il campo magnetico si propaga. E' per questo che il vento solare, un plasma, trasporta il campo magnetico solare nello spazio interplanetario, che ora assume il nome di campo magnetico interplanetario (IMF). Poiché, però, il campo magnetico interplanetario si è generato nel Sole, che ruota attorno al suo asse, le sue linee di forza assumono la conformazione a spirale di Archimede (o di Parker). Tale conformazione è dovuta alla somma del moto rotatorio del Sole e del moto radiale verso l'esterno del vento solare. Per visualizzare mentalmente la situazione, possiamo pensare ai getti di acqua che fuoriescono da un irrigatore in rotazione..



Come per il campo magnetico terrestre, anche il campo magnetico interplanetario IMF può essere rappresentato formalmente con un vettore campo magnetico, che stavolta indichiamo con  $B$ . Come sistema di riferimento si sceglie in genere il GSM (Geocentric Solar Magnetospheric). In tale sistema di riferimento, il vettore  $B$  avrà una componente  $B_x$  nel piano dell'eclittica in direzione Terra-Sole e verso positivo verso Terra, una componente  $B_y$  sempre nel piano dell'eclittica e verso l'Est terrestre, e una componente  $B_z$  perpendicolare al piano dell'eclittica

e con verso positivo se orientato verso il polo nord geografico terrestre. Ho usato il grassetto solo per la componente Bz perché è proprio tale componente del campo magnetico interplanetario IMF quella implicata nelle variazioni irregolari e a breve periodo del campo magnetico terrestre a seguito di attività solare !

### Indici geomagnetici K, Kp, A e Ap

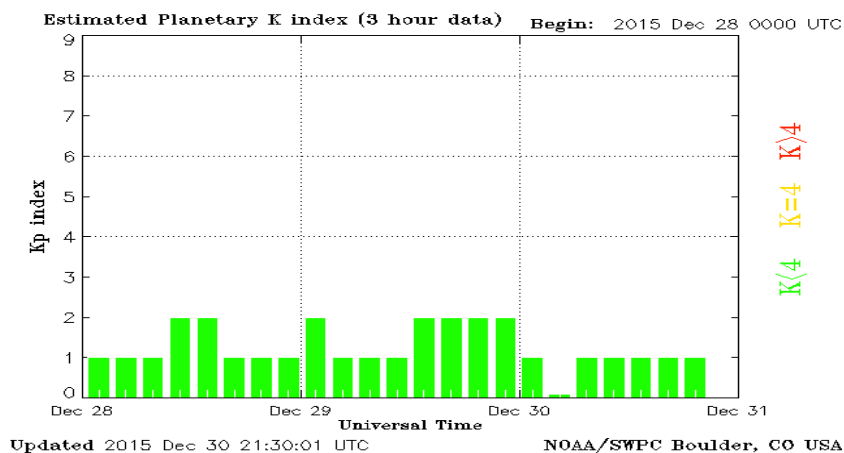
Si è detto che il campo magnetico terrestre è soggetto a variazioni sia nel tempo che nello spazio. Una misura di tali variazioni si ottiene andando a rilevare attraverso particolari strumenti detti magnetometri, lo scostamento (in Nt, nano-Tesla), rispetto alle condizioni indisturbate, della componente **H** del campo magnetico terrestre. A tale scopo, sono distribuiti sul Globo terrestre 13 osservatori dove si effettua tale misura. Poiché gli osservatori non sono tutti alla stessa latitudine, ciascuno di essi misurerà un diverso valore della variazione di campo, in nano-Tesla, al quale verrà fatto corrispondere, secondo una scala diversa per ogni osservatorio, un numero che va da 0 (campo indisturbato) a 9 (campo estremamente disturbato). Ogni tre ore, quindi 8 volte al giorno, ciascun osservatorio calcola quello che viene definito “Indice Geomagnetico” e indicato con la lettera **K**. La media dei valori provenienti da tutti e 13 gli osservatori, calcolata sempre ogni 3 ore, viene definita “Indice Geomagnetico Planetario” e indicata con **Kp**.

Il secondo indice, indicato con **A** (notare la lettera maiuscola), è stato introdotto perché c’era bisogno di derivare un qualche tipo di livello medio giornaliero per l’attività geomagnetica. A causa della relazione non lineare tra la scala dell’indice K e le oscillazioni del magnetometro, non è significativo prendere le medie di un gruppo di indici K. Quello che al contrario è stato fatto è convertire ciascun indice K in un indice a scala lineare chiamato indice “a” equivalente ad un intervallo di tre ore, secondo la seguente tabella di corrispondenza:

<b>Kp</b>	0	0+	1-	1	1+	2-	2	2+	3-	3	3+	4-	4	4+
a	0	2	3	4	5	6	7	9	12	15	18	22	27	32
<b>Kp</b>	5-	5	5+	6-	6	6+	7-	7	7+	8-	8	8+	9-	9
a	39	48	56	67	80	94	111	132	154	179	207	236	300	400

L’indice A giornaliero è semplicemente la media di otto indici “a” (3 x 8 = 24 ore) relativi al giorno considerato. Anche in questo caso, infine, **Ap**, cioè “indice A planetario”, è la media dei valori giornalieri ottenuti da tutti gli osservatori.

Da dove provengono i valori di Kp e Ap che compaiono, ad esempio, negli annunci WWV sulla rete dxcluster o in applicazioni web presenti su molti siti internet ? Dallo Space Weather Prediction Center del NOAA (USA), che li mette a disposizione del pubblico sia in forma numerica sia in forma grafica. Quello che segue, ad esempio, è l’istogramma dei valori di Kp degli ultimi tre giorni



### **Interazioni tra campo magnetico terrestre e campo magnetico interplanetario**

Visto come vengono misurate e indicate le variazioni del campo magnetico terrestre rispetto alla condizione indisturbata, ci chiediamo ora quale è il meccanismo con cui il campo magnetico terrestre (componente H) e quello interplanetario IMF (componente Bz) interagiscono tra loro per causare le suddette variazioni, segnalate da un aumento dei valori degli indici geomagnetici visti nel precedente paragrafo. Non è una cosa semplice ma proviamo a descriverla nei suoi contorni generali. Il vento solare, se di particolari caratteristiche che vedremo più avanti, riesce a oltrepassare la magnetosfera ed entrare nella ionosfera. Qui esso interagisce con il plasma ionosferico dando luogo, secondo una ipotesi ancora non del tutto accertata, alle cosiddette “collisioni con scambio di carica” tra gli ioni idrogeno H<sup>+</sup> contenuti nel vento solare in arrivo e gli elettroni liberi presenti nel plasma ionosferico. Tali collisioni danno così luogo a atomi di idrogeno neutri e ad una riduzione delle cariche negative (elettroni) in circolazione nel plasma ionosferico, con aumento della componente H del campo magnetico terrestre e con ripercussioni sulle proprietà fisiche della ionosfera.

Si accennava prima al fatto che il vento solare deve avere determinate caratteristiche per interagire significativamente con il plasma ionosferico. Queste caratteristiche sono:

- Avere velocità elevate (anche superiori a 1000km/s)
- Il suo flusso deve essere orientato in modo giusto verso Terra, deve cioè essere “geo-effective”
- Deve avere pressione, temperatura e densità elevate;
- La componente Bz dell’IMF deve essere negativa, ossia tale da opporsi al verso delle linee del campo magnetico terrestre, in pratica deve essere orientata verso il basso (orientazione “southward”).

Può quindi accadere che, a seguito di una espulsione di massa coronale (CME) orientata in modo giusto verso Terra, arrivi un vento solare caldo, denso e veloce, ma con componente Bz avente lo stesso verso delle linee di campo magnetico terrestre. In tal caso gli effetti non saranno così eclatanti come ci si sarebbe aspettato. Nella dispensa citata in bibliografia viene citato un esempio a tale proposito. Il 15 febbraio 2011 alle ore 01:58 TU un intenso flare di classe X2.2 fu emesso dalla regione attiva NOAA 11158, che si trovava in direzione geoeffettiva, essendo a bassa latitudine nell’emisfero Sud del Sole ed in prossimità del meridiano centrale. Circa due ore dopo due Full-Halo CMEs veloci (oltre i 1000Km/sec) furono lanciate dal Sole verso la Terra. Dopo due giorni circa gli effetti avrebbero dovuto manifestarsi sulla Terra, ma di fatto non successe nulla o quasi, in quanto Bz si mantenne su valori positivi per tutto il tempo del viaggio delle CMEs.

### **Bibliografia:**

Il sistema Sole-Terra - Viaggio nello Space Weather -Appunti di fisica solare per gli Studenti della 5G – Prof. Mario Gatti - Osservatorio Solare Istituto di Istruzione Secondaria Superiore “Valceresio” – Bisuschio (Marzo 2011): [http://www.solarspots.net/downloads/dispensa\\_5G.zip](http://www.solarspots.net/downloads/dispensa_5G.zip)

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV – Geofisica, Aeronomia e Geofisica Ambientale - [http://roma2.rm.ingv.it/it/tematiche/23/indici\\_geomagnetici](http://roma2.rm.ingv.it/it/tematiche/23/indici_geomagnetici)

1-gennaio-2016

73 de IK7JWY (ik7jwy@gmail.com)