

Anno scolastico 2010/2011

Tesi di approfondimento per gli esami di Stato:

**“LE AURORE POLARI”**



## EVOLUZIONE DEL PENSIERO

Per secoli le aurore hanno costituito un mistero che ha affascinato l'umanità, sfidato gli scienziati, intimorito gli animi delle popolazioni nomadi del Nord Europa, e sono state anche oggetto di congetture ed ipotesi fantasiose da parte di illustri filosofi.

I primi osservatori che hanno testimoniato il fenomeno sono stati i Cinesi, i quali descrissero le aurore nel II secolo a.C. come "nuvole luminose che infiammavano le colline".

Tra i Greci, il filosofo Anassimene le classificò come vapori ardenti, che, cadendo dal cielo, si infiammavano, ed Aristotele, nel suo "Meteorologica", sostenne al contrario, che si trattasse di vapori sollevatesi dalla superficie della Terra.

Il tentativo di spiegare questo particolare fenomeno luminoso, sfociò quindi nell'elaborazione di numerose leggende, soprattutto tra i popoli nordici.

Per i Saami, l'aurora boreale era provocata dagli spiriti dei morti mentre danzano o che sorvegliano i propri pronipoti.

Gli indiani Fox, a causa del colore rosso vivo di molte aurore, le consideravano come un cattivo presagio di guerra.

I Vichinghi interpretavano i diversi colori come i riflessi della luce sugli scudi delle Valchirie.

Al di là di queste interpretazioni popolari, importanti autori come Plinio il vecchio e Seneca, si limitarono invece a darne una semplice descrizione.

Seneca (4 a.C. - 65 d.C.) compose i sette libri delle "Naturales quaestiones" negli anni appena precedenti al suo suicidio. Nel libro I (XV, 5-6), raccontò che:

*« Inter haec licet ponas et quod frequenter in historiis legimus caelum ardere visum, cuius nunnunquam tam similis ardor est ut inter sidera ipsa videatur, nunnunquam tam humilis ut speciem longiniqui incendii praebeat.*

*Sub Tiberio Cesare cohortes in auxilium Ostiensis coloniae cucurrerunt tamquam conaflagrantis, cum caeli ardor fuisset per magnam partem noctis parum lucidus crassi fumidique ignis.*

*De his nemo dubitat, quin habeant flammam, quam ostendunt: certa illis substantia est. »*

« Tra questi fenomeni (meteore ingnee) puoi mettere anche ciò che spesso leggiamo nelle storie, cioè che il cielo è apparso infuocato e il suo fiammeggiare è talvolta così alto da sembrare proprio in mezzo alle stelle, talvolta così basso da avere l'aspetto di un incendio lontano.

Sotto il regno di Tiberio Cesare<sup>1</sup> le coorti accorsero in aiuto alla colonia di Ostia come se fosse in fiamme mentre si trattava di una **vampa celeste brillante** durata gran parte della notte, di **un fuoco grasso e fumoso**.

Per queste meteore nessuno dubita che posseggano realmente la fiamma che mostrano: esse sono fatte di una sostanza ben determinata. »

---

<sup>1</sup> L'imperatore romano Tiberio osservò un'aurora rossa sopra il porto di Ostia, così da credere che ci fosse un incendio.

Plinio (23 – 79 d.C), detto il Vecchio, concluse verso il 77-78 i trentasette libri della colossale opera “Naturalis historia”. La testimonianza che più ci interessa è presente nel libro II (97), nel quale si rivela che:

*« ... fit et sanguinea species et, quo nihil terribilius mortalium timori est, incendium ad terras cadens inde, sicut Olympiadis CVII anno tertio, cum rex Philippus Graeciam quateret. Atque ego haec statis temporibus naturae vi, ut cetera, arbitror existere, non, ut plerique, variis de causis, quas ingeniorum acumen excogitat, quippe ingentium malorum fuere praenuntia; sed ea accidisse non quia haec facta sunt arbitror, verum haec ideo facta quia incasura erant illa, raritate autem occultam eorum esse rationem ideoque non, sicut exortus supra dictos defectusque et multa alia, nosci... »*

« ... vi è qualcosa che pare sangue, e il più terribile fenomeno fra quelli che spaventano i mortali: un incendio che dal cielo cade sulla Terra, come avvenne al terzo anno della 107a Olimpiade (349 a.C.), mentre il re Filippo sconvolgeva la Grecia. Ora io penso che tutti questi eventi sorgano in tempi prefissati per forza naturale, come del resto ogni cosa, e non hanno quindi (come ritiene la maggior parte) motivazioni svariate, che si possono escogitare aguzzando la mente; è vero che sono stati forieri di disastri, ma io stimo non che i fatti siano accaduti perché quelle manifestazioni li avevano anticipati, ma, all'opposto, che quei fenomeni sono nati perché quei fenomeni stavano per verificarsi. Comunque la loro rarità ne oscura la comprensione, ed è per questo che le meteore non si conoscono nella misura in cui sono noti il sorgere delle stelle e le eclissi... e varie altre cose...»

Il primo accurato resoconto di queste particolari luci è invece presente in un testo norvegese intitolato “Kongespeil” (molto conosciuto con il titolo di “King's Mirror”), approssimativamente del 1250. In contrasto con le bizzarre e dogmatiche credenze dell'Europa centrale, in questo libro le aurore boreali vengono descritte come normali fenomeni naturali (a quel tempo ancora inspiegati) chiamati Nordurljos (Luci del Nord):

*«... appare come la fiamma di un fuoco intenso visto da lontano. Strali appuntiti di disuguale e variabilissima grandezza dardeggiano verso l'alto nell'aria, così che ora l'uno ora l'altro è il più alto, e la luce ondeggia come una vampata splendente... e talvolta sembra sprigionare scintille come un ferro incandescente estratto dalla forgia. Come la notte termina e si avvicina l'alba, incomincia a impallidire e scompare quando prorompe il giorno... Noi non sappiamo nulla della natura delle Luci del Nord, ma l'uomo saggio propone idee e semplici congetture, e crede solo in ciò che è comune e probabile...»*

Solo nel XVII secolo però, gli astronomi Galilei (1619) e Gassendi (1621) denominarono il fenomeno Aurora, utilizzando il nome dell'omonima divinità della mitologia romana; venne successivamente aggiunto il termine “borealis”, che riprendeva il nome di Borea, ovvero la personificazione, nella mitologia greca, del Vento del nord.

Durante l'Illuminismo si ritenne che queste spettacolari manifestazioni fossero dovute alla rifrazione della luce solare da parte dell'atmosfera con un meccanismo simile a quello dell'arcobaleno.

Tuttavia, solo tra '800 e '900 si riuscì a definire l'origine chimico-fisica del fenomeno e a correlarlo con l'interazione tra tempeste magnetiche e macchie solari.

In particolare, il 28 agosto 1859 vennero avvistate alcune aurore lungo una vasta area del territorio americano. Il giorno seguente, l'astronomo inglese Carrington notò un gruppo di macchie solari di dimensioni insolitamente grandi, dal quale partiva un lampo di luce biancastra, che produsse

una seconda ondata di aurore di grande intensità. Con la cosiddetta "Grande Aurora" del 1859, i modelli di spiegazione dei fenomeni di attività solare vennero sviluppati rapidamente e le antiche ipotesi di lampi ad alta quota, o di luce riflessa da iceberg vennero sostituite da quelle più attinenti agli eventi solari e alla perturbazione.

Oggi giorno, il fenomeno dell'aurora polare, può essere spiegato scientificamente. La causa dell'emissione luminosa va quindi attribuita alle collisioni ad alta energia fra i fasci di elettroni del vento solare, attirati in particolare verso i poli dal campo magnetico terrestre, e le molecole della ionosfera.

# STRUTTURA DEL SOLE E VENTO SOLARE

Il Sole è una stella di medie dimensioni e di media temperatura. Ha una bassa densità, dovuta alla prevalenza di elementi chimici leggeri, quali idrogeno ed elio.

Il modello comunemente utilizzato per descrivere la struttura del Sole, è quello di una sfera gassosa, formata da strati concentrici caratterizzati da diverse condizioni fisiche e chimiche.

Si ipotizza dunque l'esistenza di un nucleo centrale, dove avvengono i processi di fusione nucleare, dal quale l'energia prodotta migra verso l'esterno. Tra il nucleo e la fotosfera, ovvero la superficie esterna che quotidianamente osserviamo, sono presenti la zona radioattiva e la zona convettiva, entrambe importanti per il trasporto dell'energia.

I DATI DEL SOLE

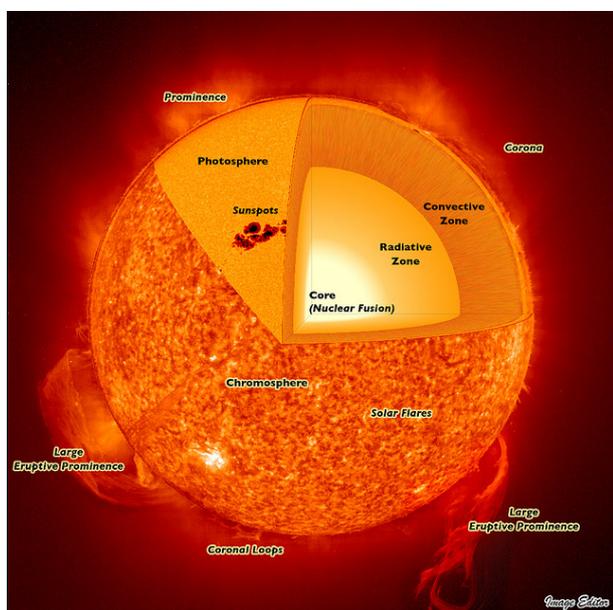
Raggio	696'000 km (109 raggi terrestri)
Massa	$2 \cdot 10^{30}$ kg (333'400 masse terrestri)
Densità media	1,4 g/cm <sup>3</sup> (¼ di quella terrestre)
Temperatura superficiale	5785 K
Classe spettrale	G
Magnitudine assoluta	5
Luminosità	1
Accelerazione di gravità	274 m/s <sup>2</sup> (28 volte quella terrestre)

La fotosfera è costituita da gas a bassa pressione ed ha una temperatura di circa 5800 kelvin (colore giallo). Su di essa si possono osservare le cosiddette macchie solari, ovvero zone a minore luminosità, poiché relativamente fredde (circa 1500 kelvin in meno rispetto alla normale fotosfera), associate a forti campi magnetici. Il numero e le dimensioni delle macchie solari variano periodicamente e sono correlate con l'intensità delle radiazioni solari. Il ciclo solare, che corrisponde ad un periodo di undici anni, è appunto l'intervallo tra due massimi di attività.

Grazie alle eclissi di Sole è stato inoltre possibile osservare la cromosfera, ovvero un involucro incandescente dal colore rosso vivo per la presenza di idrogeno gassoso a bassa pressione. Da questa zona si estende per decine di milioni di chilometri la corona solare. Si tratta della parte più esterna e tenue dell'atmosfera solare, costituita da gas fortemente ionizzati e sempre più rarefatti. Grazie all'elevatissima temperatura cinetica (2 milioni di kelvin circa), le singole particelle hanno sufficiente energia per sfuggire all'attrazione gravitazionale del Sole e disperdersi nello spazio.

Il vento solare è generato dall'espansione continua nello spazio interplanetario della corona solare.

Si tratta di un plasma molto rarefatto, la cui densità varia da alcune unità a decine di particelle per centimetro cubo, composto per il 95% da protoni ed elettroni, e per il 5% da nuclei di elio (particelle alfa). Il Sole emette nello spazio circa 800 milioni di kg di materiale al secondo, alla velocità di diverse centinaia di chilometri al secondo. Il vento solare si propaga per l'intero Sistema Solare, fino alla Terra, che raggiunge ad una velocità di circa 400 chilometri al secondo.



Venne scoperto negli anni '50 dallo scienziato tedesco L. Biermann, grazie allo studio delle comete. Egli verificò infatti che la coda delle comete puntava sempre in direzione opposta al Sole. Egli postulò che questo avveniva perché il Sole emetteva un flusso costante che spingeva lontano alcune particelle ghiacciate della cometa, formandone la coda.

Successivamente E. Parker dimostrò che, sebbene la corona solare fosse fortemente attratta dalla forza di gravità del sole, era un tale buon conduttore di calore che era ancora molto calda a grandi distanze; dunque, poiché la forza di gravità si indebolisce con la distanza dal Sole, la corona solare esterna sfuggiva nello spazio interstellare, come una sorta di vento.

## CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

Già nel VI secolo avanti Cristo, ai tempi del greco Talete, era noto che un particolare minerale, la magnetite, ha la proprietà di attrarre la limatura di ferro.

L'invenzione della bussola si attribuisce invece ai cinesi; in particolar modo essi osservarono che un ago magnetico libero di ruotare in un piano orizzontale, si dispone sempre in equilibrio indicando con i suoi estremi, approssimativamente il Nord e il Sud geografici.

Si dimostrava quindi chiaramente l'esistenza di un campo magnetico terrestre (c.m.t.).

I primi studi rivolti a questo argomento, vennero svolti da W. Gilbert (1544-1603).

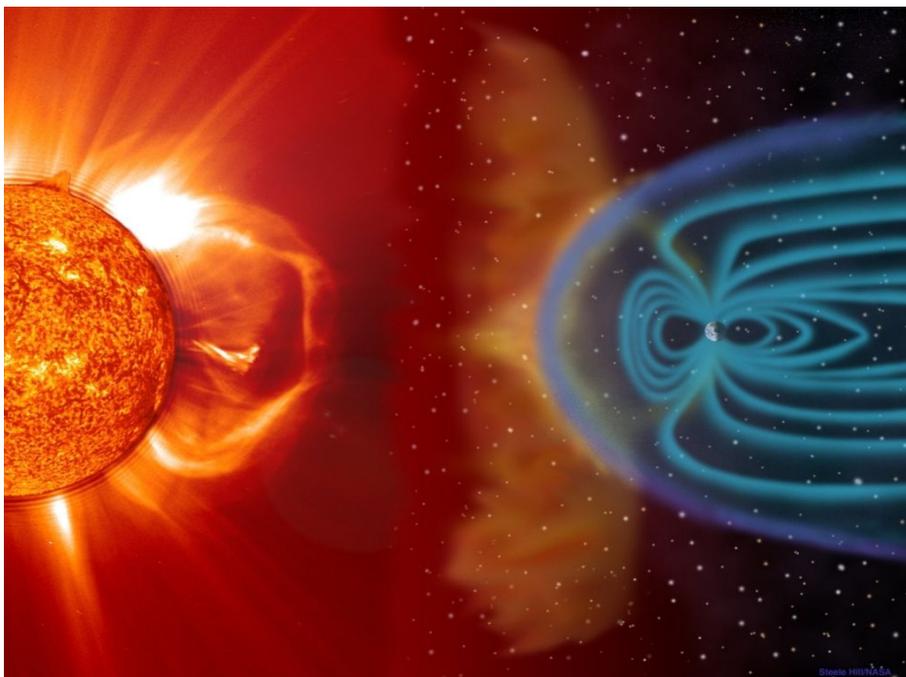
Dopo aver costruito un magnete a forma di sfera, detto Terrella, osservò che un ago magnetico sulla superficie della Terra risente di un effetto analogo a quello subito da un ago magnetico sulla superficie della Terrella. Nel "De Magnete" quindi, asserì che "l'intera Terra è un grande magnete".

L'astronomo E. Halley (1656-1742), contemporaneo ed amico di Newton, si accorse del mutamento di certe caratteristiche del campo magnetico terrestre che ne indicavano uno spostamento verso Ovest.

Tuttavia, soltanto nel 1832 K. F. Gauss (1777-1855) delineò l'esatta configurazione del campo magnetico terrestre. Descrisse quindi le linee di forza del c.m.t. e, per giustificarle, ipotizzò l'esistenza di un dipolo magnetico, cioè una barra magnetica inclinata di  $11^{\circ} 30'$  rispetto all'asse di rotazione terrestre.

Il modello del campo dipolare è solo un'approssimazione: non potrebbe infatti esistere un vero dipolo in quanto il centro della Terra si trova a temperature ben superiori ai 1043 K (circa  $770^{\circ}\text{C}$ ), valore della temperatura di Curie al di sopra della quale qualunque minerale ferromagnetico perde le sue proprietà magnetiche, divenendo paramagnetico.

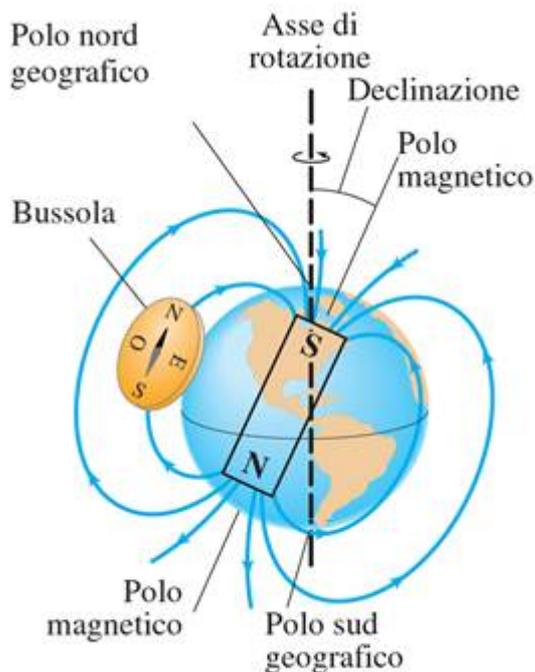
Il campo magnetico è dunque un campo vettoriale; viene descritto in ogni punto da un vettore, chiamato induzione magnetica o anche campo magnetico (B). Può essere visualizzato mediante linee di forza, cioè linee tangenti in ogni punto al campo e orientate secondo il verso del campo. Se consideriamo per esempio la già citata barra magnetica, le linee di forza escono dal polo Nord ed entrano nel polo Sud. Le linee si addensano in prossimità dei poli, dove si trova quindi un campo magnetico di maggiore intensità. Le linee di forza del campo magnetico terrestre però, non sono simmetriche come quelle di una barra magnetica. L'impatto del vento solare provoca la compressione delle linee di forza nella parte rivolta al Sole e l'allungamento di quelle nella parte in ombra, portando in quest'ultimo caso alla formazione della cosiddetta coda magnetica terrestre.



Il polo nord magnetico attrae il polo magnetico nord dei magneti; quindi, dal punto di vista fisico, si tratta di un polo magnetico di tipo sud. Nonostante questo fu chiamato polo nord magnetico perché in prossimità del Polo nord geografico (lo stesso procedimento è stato utilizzato per il polo magnetico Sud).

L'asse magnetico si scosta da quello geografico in base alla posizione e al momento della sua rilevazione: mentre i poli geografici sono approssimativamente fissi, quelli magnetici sono soggetti ad un continuo, seppur lento, spostamento lungo una circonferenza di circa 160 km.

Dato che l'ago della bussola non indica il polo Nord geografico e la sua misurazione ha sempre un fattore di imprecisione, la sua rilevazione viene corretta ricorrendo alla declinazione magnetica, che è l'angolo compreso tra la direzione indicata dalla bussola e la direzione del nord geografico.



Declinazione magnetica, intensità e inclinazione magnetica, sono appunto i tre parametri utilizzati per definire in ogni punto della superficie terrestre il campo magnetico<sup>2</sup>.

Il campo magnetico terrestre non è costante nel tempo, né uniforme nello spazio. È soggetto a continue variazioni direzionali e d'intensità di origine interna o esterna, che vengono suddivise in giornaliere e secolari. Una terza categoria è quella delle variazioni a periodo molto lungo, legate al ciclo solare di undici anni.

Le variazioni a breve periodo (da pochi minuti fino a 5 anni) sono di origine esterna; sono collegate alle interazioni tra il campo magnetico interno alla terra e gli strati fortemente conduttivi nell'atmosfera. Le variazioni giornaliere sono strettamente dipendenti dal Sole.

Queste oscillazioni variano con la latitudine, corrispondono a fluttuazioni che variano intorno allo 0.5% del campo totale e non lasciano tracce permanenti.

Tali oscillazioni possono però essere influenzate dal vento solare, soprattutto in occasione di tempeste magnetiche che sono inequivocabilmente collegate all'attività delle macchie solari.

<sup>2</sup> L'unità di misura del campo geomagnetico nel Sistema Internazionale (SI) è il tesla (T). Tuttavia, i valori del campo espressi con quest'unità di misura sono molto piccoli e nella pratica si utilizza il sottomultiplo nanotesla (nT), pari a  $10^{-9}$  T, oppure il gauss ( $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$ ). L'intensità del campo magnetico terrestre è molto debole ed il suo valore, sulla superficie terrestre, varia da 20.000 nT circa, all'equatore a 70.000 nT circa, nelle zone polari.

## **Origine del campo magnetico terrestre**

Non si conosce a tutt'oggi una teoria che sia in grado di spiegare con certezza le origini del campo magnetico terrestre. Tuttavia, come precedentemente affermato, l'ipotesi che esista una barra metallica all'interno della Terra non è plausibile, considerate le altissime temperature presenti all'interno della Terra, decisamente superiori al punto di Curie.

Nel 1919 Larmor ipotizzò che il campo magnetico solare e le sue derivazioni (come il vento solare e le macchie solari), fossero originate da un meccanismo simile a quello di una dinamo ad autoeccitazione.

Ponendo in rotazione un disco di materiale conduttore intorno ad un asse e immergendolo in un campo magnetico, esso genererà una corrente elettrica indotta. Facendo circolare quest'ultima in una bobina con asse uguale a quello di rotazione, si genera un secondo campo magnetico che va a sommarsi al precedente in un processo di rafforzamento reciproco.

Solo nel 1949 Bullard applicò tale teoria anche alla Terra. Il modello si basa sul presupposto dell'esistenza di un materiale conduttore in movimento. Il nucleo esterno, formato da una lega di nichel e ferro, potrebbe essere interessato da moti convettivi generati dal calore prodotto dal decadimento di minerali radioattivi nel nucleo interno. Se il materiale conduttore si muove attraverso le linee di forza di un campo magnetico, anche molto debole, esso genera un campo elettrico indotto, che a sua volta genererebbe un campo magnetico indotto in grado di autoalimentarsi.

Per innescare il processo rimaneva da trovare la spiegazione del campo magnetico iniziale. Questo potrebbe essere originato da deboli correnti indotte al confine tra mantello e nucleo, dovute alla composizione differente dei rispettivi materiali; oppure il campo magnetico iniziale potrebbe essersi prodotto a causa dell'interazione della Terra con campi magnetici casuali, o di origine solare.

## AUORE POLARI



È stato dunque necessario evidenziare alcune caratteristiche del campo magnetico terrestre e del vento solare, per arrivare alla comprensione dell'affascinante fenomeno luminoso delle aurore polari.

Il campo magnetico terrestre ha il compito fondamentale di proteggere il nostro pianeta dalle particelle solari cariche di energia e dai raggi cosmici.

Il vento solare è dunque un flusso di particelle cariche, sostanzialmente elettroni e protoni, che hanno quindi, rispettivamente, carica negativa e positiva. Quando queste radiazioni solari incontrano il campo magnetico terrestre, le particelle vengono deviate verso i lati della Terra con direzioni diverse, in modo tale da separare gli elettroni dai protoni.

La maggior parte delle particelle viene quindi deviata e non raggiungerà mai la superficie terrestre; alcune però, restano intrappolate in due grandi aree a forma di anello, chiamate fasce di Van Allen, dal nome dello scopritore James Van Allen che le identificò nel 1958 utilizzando dei rivelatori posti a bordo dei satelliti artificiali Explorer 1 e 2: una, interna e più stabile, a circa 9000 km di distanza dalla Terra, è composta prevalentemente da protoni, l'altra, esterna e meno stabile, prevalentemente da elettroni.

Quando si verificano delle tempeste solari, le fasce di Van Allen diventano instabili: le particelle del vento solare penetrano nell'atmosfera, in direzione dei poli, provocando appunto il fenomeno delle aurore polari.

Resta quindi da comprendere il motivo della deviazione di alcune particelle cariche verso l'alta atmosfera ed in particolare verso i poli terrestri.

## Forza di Lorentz

L'intero fenomeno delle aurore polari dipende sostanzialmente dalla cosiddetta Forza di Lorentz (in onore del fisico olandese H. A. Lorentz).

Su qualsiasi particella di carica  $q$  in moto con velocità  $\vec{v}$  in un campo di induzione magnetica  $\vec{B}$ , agisce una forza di modulo  $F_L = qv \sin \alpha$ , dove  $\alpha$  è l'angolo compreso tra i due vettori  $\vec{v}$  e  $\vec{B}$ .

Questa forza può essere espressa anche nella sua forma vettoriale, in cui la carica  $q$  va considerata con il suo segno:

$$\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Il vettore esprime la forza cui è soggetta la particella carica istante per istante;  $\vec{v}$  rappresenta la velocità istantanea della particella e  $\vec{B}$  è l'induzione magnetica nel punto dello spazio nel quale la particella possiede velocità  $\vec{v}$ .

La forza di Lorentz essendo in ogni istante perpendicolare alla velocità e quindi anche allo spostamento (per la regola della mano destra), non compie alcun lavoro<sup>3</sup>. Da ciò segue che l'energia cinetica di una particella dotata di carica elettrica in moto in un campo magnetico è costante, per cui è costante anche il modulo della sua velocità.

Poiché la velocità di una particella carica che si muove in un campo magnetico qualsiasi è costante in modulo, il moto della particella è in ogni caso un moto uniforme: il campo magnetico ha come solo effetto quello di incurvarne la traiettoria. Per questo motivo è definita forza deflettente.

Prendiamo ora in considerazione una carica  $q$  che viene iniettata entro il campo con velocità  $\vec{v}$ . Ci troveremo di fronte a tre comportamenti differenti, a seconda della direzione propria della velocità.

Se  $\vec{v}$  è parallelo a  $\vec{B}$ , l'angolo formato tra i due vettori sarà  $\alpha = 0$  e di conseguenza il modulo della forza sarà nullo. La particella potrà quindi muoversi di moto rettilineo uniforme poiché non risente di alcuna forza.

Se  $\vec{v}$  è perpendicolare a  $\vec{B}$ , la particella sarà comunque soggetta ad una forza. Infatti, per la seconda legge di Newton subirà un'accelerazione pari, in modulo, a  $F=ma$ . Essendo però la velocità costante, quest'accelerazione determinerà solamente una variazione della direzione della velocità stessa. Poiché quest'accelerazione acquisita è perpendicolare alla velocità, determina un'accelerazione centripeta<sup>4</sup>.

Infine, se  $\vec{v}$  è obliquo rispetto a  $\vec{B}$ , è possibile scomporre il vettore  $\vec{v}$  in due componenti  $\vec{v}_1$  nella stessa direzione del campo e  $\vec{v}_2$  a esso perpendicolare. In questo caso si ottiene un moto elicoidale; la particella infatti, mentre ruota in un piano perpendicolare al campo, per effetto di  $\vec{v}_2$ , compie anche una traslazione parallela al campo a causa di  $\vec{v}_1$ . In quest'ultimo caso, se il campo magnetico non è uniforme (come quello terrestre), il raggio di curvatura della spirale avrà un valore decrescente, all'aumentare dell'intensità del campo magnetico.

---

<sup>3</sup> Sappiamo infatti che  $L = F \cdot s \cdot \cos \alpha$ , dove  $\alpha$  è l'angolo compreso tra  $F$  e  $s$ ; siccome nel nostro caso, essendo la forza di Lorentz perpendicolare alla velocità e quindi anche allo spostamento, avremo  $\cos \alpha = 0$ . Il lavoro della forza è quindi nullo.

Inoltre, considerato che  $L = \Delta E_K$ ,  $E_K$  sarà costante; perciò, anche il modulo della velocità sarà costante, infatti  $E_K = \frac{1}{2}mv^2$ .

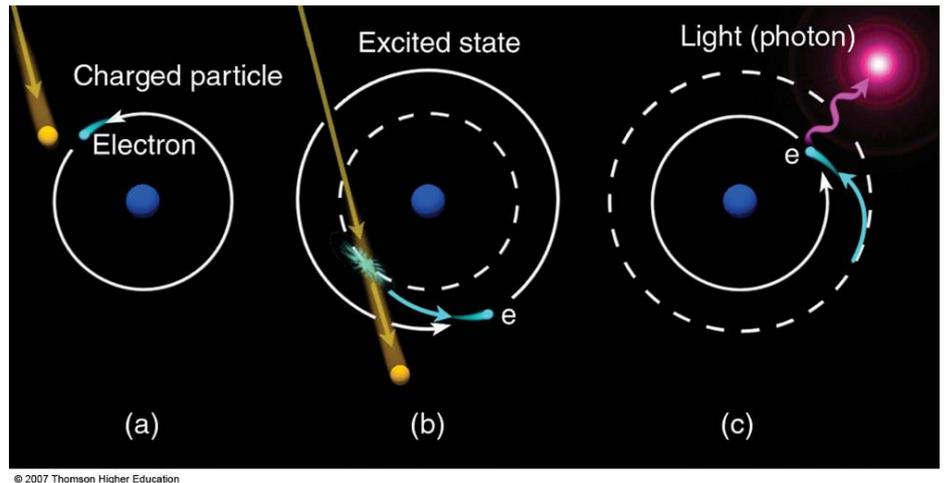
<sup>4</sup> Indicando con  $m$  la massa della particella e con  $r$  il raggio di curvatura, possiamo scrivere:

$qvB = \frac{mv^2}{r}$ , da cui  $r = \frac{mv}{qB}$ . Poiché le grandezze del secondo membro sono costanti, il raggio di curvatura non varia.

Concludendo si ha che, se una carica entra con una certa velocità all'interno di un campo magnetico, essa si muoverà di moto circolare uniforme nel piano perpendicolare al campo.

## Descrizione del fenomeno

Le particelle provenienti dal vento solare, appartengono per la maggior parte alla terza categoria sopra descritta. Sono quindi soprattutto elettroni e protoni che, entrando a contatto con il campo magnetico della Terra con una velocità che si può scomporre vettorialmente, vengono intrappolati intorno alle linee di forza del campo magnetico terrestre. Le particelle si muovono quindi con un moto a spirale, attratte verso i poli magnetici del nostro pianeta, dove l'intensità del campo è più forte.



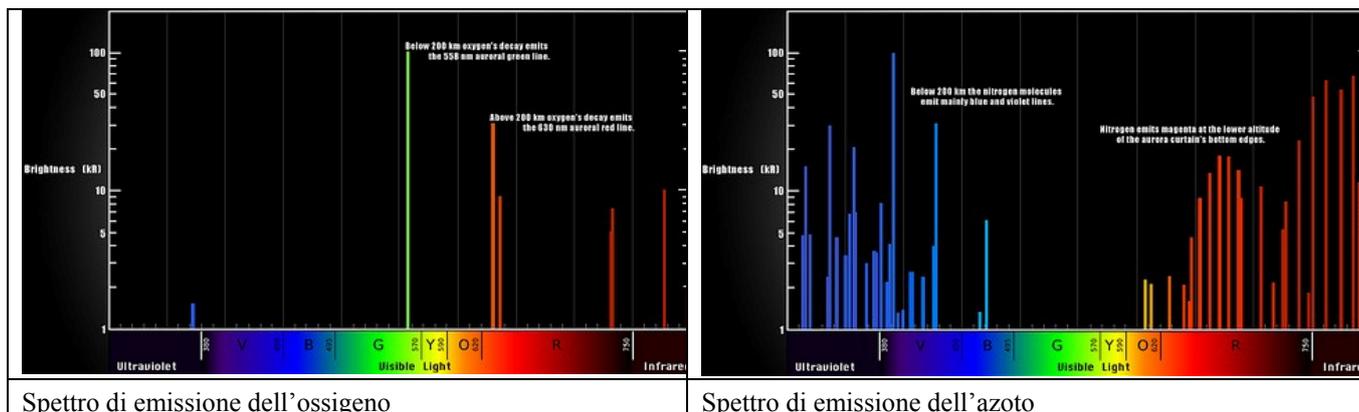
Le aurore polari sono quindi il prodotto di fenomeni fisici microscopici che avvengono nelle regioni dell'alta atmosfera ed in particolare nella ionosfera (al di sopra dei 60-70 km di altezza dal suolo), generalmente al di sopra del 65° di latitudine.

Le aurore, si estendono in ovali simmetrici nei due emisferi, detti “ovalari aurorali”, a partire dai poli magnetici, dove il fenomeno ha la sua origine, e si manifestano con uno scintillante bagliore colorato; infatti, le particelle energetiche del vento solare eccitano gli atomi di ossigeno e di azoto atmosferici (i gas più rappresentati nell'atmosfera terrestre), i quali emettono energia sotto forma di onde radio, raggi X e onde di luce visibile.

Il meccanismo che forma le aurore, è definito “salto quantico”(riprende quindi il modello atomico di Bohr). Allo stadio stazionario gli elettroni ruotano su orbite ben definite e fisse senza mai assorbire né cedere energia. Quando una particella carica collide ad alta velocità con gli elettroni di valenza dell'atomo neutro, gli cede energia. Si dice quindi che l'atomo è stato eccitato; in questo modo gli elettroni possono spostarsi dall'orbita stazionaria a maggiore energia. Ora però, l'atomo si trova in una condizione di instabilità. Spontaneamente quindi, tenderà a ritornare all'orbita stazionaria cedendo la stessa quantità di energia assorbita, sotto forma di fotoni, ovvero particelle di luce.

Miliardi di questi salti quantici simultanei creano le aurore.

I particolari colori di un'aurora dipendono da quali gas sono presenti nell'atmosfera, dal loro stato elettrico e dall'energia delle particelle che li colpiscono. L'ossigeno atomico è responsabile del colore verde (lunghezza d'onda 557,7 nm), e l'ossigeno molecolare del rosso (630 nm). L'azoto causa il colore blu.



Grazie all'osservazione dei colori tipici delle aurore alle varie latitudini è possibile risalire alla composizione chimica dell'atmosfera; infatti, una volta eccitato, ogni gas emette la luce con delle frequenze caratteristiche.

Le aurore sono più intense e frequenti durante periodi di intensa attività solare. Non sempre le aurore sono visibili ad occhio nudo a causa della loro bassa luminosità, ma oggi, con i moderni strumenti ottici, si riesce ad osservarle tutte. La possibilità di vedere le aurore è strettamente legata al ciclo solare di undici anni. Questo vuol dire che, siccome l'ultimo ciclo solare è iniziato nel 2008, il picco massimo di attività solare si terrà nel 2012.

Anche le forme delle aurore polari sono molto varie. Si parla dunque di raggi, drappaggi, corone o archi. Alcune mantengono la loro forma per qualche tempo, altre la cambiano continuamente.

Archi e brillanti raggi di luce iniziano a 100 km sopra la superficie terrestre e si estendono verso l'alto lungo il campo magnetico, per centinaia di chilometri. Gli archi possono essere molto sottili, anche solo 100 metri, pur estendendosi su di una vasta area. Possono essere quasi immobili e poi, iniziare a muoversi e torcersi.

Ci si chiede tutt'oggi se le aurore producono dei suoni. Vi sono molte testimonianze di persone che affermano di aver sentito sibili e fruscii. Tuttavia, le altezze a cui si verificano sono caratterizzate da una tale rarefazione atmosferica, per cui non è pensabile che le onde sonore si propaghino. Inoltre gli stessi scienziati non sono ancora riusciti a rilevarli.

Le aurore polari sono presenti anche in altri pianeti, come Giove, Saturno e Urano. In effetti, le aurore si possono verificare su ogni pianeta che presenti un campo magnetico e un'atmosfera.

## Conclusioni

Le aurore polari, che vengono denominate boreali o australi, a seconda che si verifichino nell'emisfero Nord o Sud, sono dunque degli spettacolari fenomeni naturali che non smettono di affascinare intere generazioni; tuttavia bisogna tenere presente anche i risvolti negativi.

Lo studio delle aurore è dunque molto importante, poiché l'attività aurorale può interferire con le comunicazioni radio e con i satelliti. Inoltre, dato che le aurore consistono in correnti elettriche fortissime, durante una intensa tempesta magnetica, una aurora può produrre correnti elettriche in conduttori eccessivamente lunghi come oleodotti, linee dell'alta tensione e telefoniche con il risultato di malfunzionamenti e cali di tensione o blackout estesi. Le tempeste magnetiche possono durare parecchie ore o anche giorni, e sottotempeste aurorali possono avvenire molte volte al giorno. Ogni sottotempesta genera centinaia di terajoule di energia, tanta quanta ne consumano gli interi Stati Uniti in dieci ore.

Ricordiamo infine la "Grande Aurora" del 1859. È stimato che tempeste di tale intensità capitino ogni 500 anni. L'ultimo evento di un'intensità pari alla metà di quella del 1859 è accaduto nel 1960 provocando interruzioni radio in tutto il pianeta. Gli esperti ritengono che i costi di una eventuale supertempesta potrebbero essere paragonabili a quelli di un grande terremoto, nel caso dovessero mancare le opportune contromisure, come procrastinare alcune attività delicate svolte dai satelliti, spostare le rotte aeree, individuare in anticipo gli elementi vulnerabili delle reti.

La parola d'ordine sarebbe quindi, ancora una volta, prevenzione.

## BIBLIOGRAFIA

What causes the Northern lights?

< [http://www-istp.gsfc.nasa.gov/polar/EPO/northern\\_lights/aurora\\_broch.pdf](http://www-istp.gsfc.nasa.gov/polar/EPO/northern_lights/aurora_broch.pdf)>

Lo spettacolare fenomeno dell'aurora polare

<<http://www.meniero.it/articoli/meteo/it/Lo%20spettacolare%20fenomeno%20dell%27aurora%20polare.php>>

“Aurora”, in Enciclopedia Treccani,

< <http://www.treccani.it/enciclopedia/aurora/>>

Aurora boreale, la danza degli Dei,

< [http://viaggi.virgilio.it/reportage/aurora\\_polare\\_boreale\\_australe.html](http://viaggi.virgilio.it/reportage/aurora_polare_boreale_australe.html)>

Aurora Borealis,

< <http://www.grantchronicles.com/astro33.htm>>

The Polar Aurora,

< <http://www.phy6.org/Education/waurora1.html>>

Secrets of the Polar Aurora,

< <http://www.phy6.org/Education/aurora.htm>>

Le aurore e I popoli nordici,

< [http://www.liceoberchet.it/ricerche/geo5d\\_06/poli/aurora.e.cultura.htm](http://www.liceoberchet.it/ricerche/geo5d_06/poli/aurora.e.cultura.htm)>

Le aurore,

< [http://www.liceoberchet.it/ricerche/geo5d\\_06/poli/aurora.htm](http://www.liceoberchet.it/ricerche/geo5d_06/poli/aurora.htm)>

Aurora boreale,

<[http://www.ilcrepuscolo.altervista.org/php5/index.php?title=Aurora\\_Boreale](http://www.ilcrepuscolo.altervista.org/php5/index.php?title=Aurora_Boreale)>

Relazioni Sole-Terra,

< <http://www.bo.astro.it/universo/venere/Sole-Pianeti/sun/relat.htm>>

Le aurore polari: belle e pericolose,

< <http://ilpoliedrico.altervista.org/2011/02/le-aurore-polari-belle-e-pericolose.html>>

Aurora Borealis, The Canadian Association of Aboriginal Entrepreneurship (C.A.A.E.),

< <http://www.aurora-inn.mb.ca/borealis.html>>

Aurore polari, parte uno e due,

<<http://www.nimbus.it/liguria/rlm23/aurore.htm>>

Le aurore polari: come si formano. L'universo della meccanica, video di Rai Edu,

< <http://www.raiscuola.rai.it/video/7147/le-aurore-boreali-come-si-formano-luniverso-della-meccanica/default.aspx>>

“Com’è fatto il Sole?”, in L’enciclopedia geografica, vol. 21, Milano, Paolo Mieli, 2005, pp. 26-29

“Atmosfera e magnetismo”, in L’enciclopedia geografica, vol. 21, Milano, Paolo Mieli, 2005, pp.372-375

La forza di Lorentz, di prof. Erasmo Modica,

<[http://www.galois.it/drupal/materiali/scuole/ipcl/va/forza\\_lorentz.pdf](http://www.galois.it/drupal/materiali/scuole/ipcl/va/forza_lorentz.pdf)>

Vento solare e campo magnetico terrestre. La scienza per concetti, video di Rai Edu,

< <http://www.raiscuola.rai.it/video/7260/vento-solare-e-campo-magnetico-terrestre-la-scienza-per-concetti/default.aspx>>

Il magnetismo,

< [http://www.geologia.com/area\\_raga/magnetismo/magnetismo.html](http://www.geologia.com/area_raga/magnetismo/magnetismo.html)>

Il campo magnetico terrestre,

< [http://www.apan.it/conferenze/campo\\_magnetico/campo\\_magnetico.htm](http://www.apan.it/conferenze/campo_magnetico/campo_magnetico.htm)>

Media-alta atmosfera, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia,

< [http://roma2.rm.ingv.it/it/aree\\_di\\_ricerca/5/media-alta\\_atmosfera](http://roma2.rm.ingv.it/it/aree_di_ricerca/5/media-alta_atmosfera)>

Il sistema solare,

< <http://www.ilsistemasolare.it/Il-Sole/Vento-Solare>>

The solar wind,

< <http://solarscience.msfc.nasa.gov/SolarWind.shtml>>