

Questa è la copia cache di Google di [http://www.matematicaescuola.it/Fisica/Campo%20magnetico%20della%20Terra/verifica\\_sperimentale.htm](http://www.matematicaescuola.it/Fisica/Campo%20magnetico%20della%20Terra/verifica_sperimentale.htm). È un'istantanea della pagina visualizzata il 2 feb 2010 21:38:59 GMT. Nel frattempo la [pagina corrente](#) potrebbe essere stata modificata. [Ulteriori informazioni](#)

[Versione completa](#)

Sono stati evidenziati i seguenti termini usati nella ricerca:

campo magnetico della terra muller stieglitz scienze 2002 verifica sperimentale

## Il campo magnetico della Terra

[Home Su Verifica sperimentale](#)

### La verifica sperimentale (Muller-Stieglitz)

da "Le Scienze"-Maggio 2002 (sintesi)

All'epoca della sua formazione, la Terra potrebbe aver in qualche modo "congelato" nella sua materia un campo magnetico esterno? La risposta potrebbe essere positiva, ma in base alle leggi dell'elettrodinamica questo tipo di campi lentamente si dissolve e per un corpo come la ferrite ciò sarebbe avvenuto già dopo circa 10.000 anni. Poiché il campo magnetico terrestre ha almeno 3 miliardi di anni, ci si è chiesto quindi attraverso quali meccanismi esso si mantenga e che cosa ne produca i cambiamenti nello spazio e nel tempo.

### Nel centro della Terra

Nel 1919 Joseph Larmor (1857-1942), fisico all'Università di Cambridge, fornì una prima indicazione per la soluzione dell'enigma. Egli suppose che i campi magnetici osservati sulla superficie solare fossero prodotti dal flusso di materia elettricamente conduttrice all'interno del corpo rotante della nostra stella. Ricondusse cioè il campo magnetico solare a un effetto dinamo. Il fisico statunitense Walter M. Elsasser e il geofisico inglese Edward C. Bullard, allora rispettivamente all'Università della California a San Diego e all'Università di Cambridge, hanno ripreso quest'idea cinquant'anni fa e l'hanno applicata alle condizioni terrestri.

Ovviamente, una dinamo all'interno della Terra non avrebbe potuto avere una struttura simile a quella di una dinamo di bicicletta o dei generatori di corrente. In questi manufatti una complicata disposizione di bobine e materiale ferritico, il rotore, gira rispetto a una configurazione simile ma statica, lo statore, inducendovi una corrente. All'interno della Terra abbiamo a che fare con una massa di metallo fuso che scorre con relativa facilità e che è un buon conduttore elettrico. Sottoposto alle forze generate dalla rotazione terrestre, questo metallo fuso potrebbe svolgere la stessa funzione del conduttore in movimento in una dinamo, che rafforza un campo magnetico già presente e lo mantiene nel tempo. Il comportamento delle correnti elettriche e dei campi magnetici in conduttori elettrici in movimento - quali i fili metallici o i metalli fusi - viene determinato da tre leggi fondamentali dell'elettrodinamica: ogni conduttore elettrico percorso da corrente è circondato da linee di forza di campo magnetico; nei conduttori che vengono mossi trasversalmente rispetto alle linee di forza di un campo magnetico, viene indotta una tensione e scorre una corrente; infine, nei fluidi buoni conduttori elettrici, come alcuni metalli fusi, le linee di forza del campo magnetico sono come "congelate" nella materia e si muovono come fasce elastiche assieme a essa.

In particolare le linee di forza possono essere distese, attorcigliate o piegate dal moto del flusso. Inoltre questo stiramento produce un lavoro meccanico che

[clicca per ingrandire](#)

altera il campo magnetico, facendo aumentare l'energia del campo magnetico dovuta all'energia cinetica del flusso. Gli specialisti chiamano questo processo "effetto alfa".

Un ulteriore meccanismo geofisico rilevante, che può rafforzare un debole campo magnetico, interviene quando un flusso conduttore esposto a forze di taglio viene portato ad assumere una forma "a bobina". Sperimentalmente un flusso di questo tipo si produce quando si riempie con un liquido lo spazio fra due gusci sferici concentrici che ruotano a velocità diverse. Si parla in questo caso di "effetto omega". Se all'effetto omega si sovrappone un processo alfa, generato da un ulteriore moto vorticoso all'interno del flusso da "bobina", il ciclo di auto-alimentazione è completato. In questa situazione i fisici parlano di «dinamo alfa-omega».

Nel nucleo di metallo fuso della Terra sono probabilmente attivi entrambi questi processi. I meccanismi cinematici della dinamo appena esposti sono però troppo semplici per rendere conto di tutte le proprietà osservate del campo magnetico terrestre. Si devono prendere in considerazione anche i processi termodinamici all'interno di una massa di metallo fuso che scorre.

Pur potendo eseguire misurazioni dirette solo nella crosta terrestre fino a pochi chilometri di profondità, i geofisici sono riusciti a ottenere rappresentazioni abbastanza dettagliate della struttura interna del nostro pianeta, grazie ad accurate analisi delle onde sismiche che ne percorrono l'interno e a stime termodinamiche generali.

Così dal bilancio termico alla superficie terrestre e dalle stratificazioni di densità all'interno della Terra si possono trarre conclusioni sulla pressione e temperatura del nucleo. Qui la pressione raggiunge circa 3,5 miliardi di ettopascal (cioè 3,5 milioni di volte la pressione atmosferica al livello del mare), mentre la temperatura raggiunge i 6300 gradi Celsius.

La parte interna del nucleo ha un raggio di circa 1200 chilometri ed è costituita da ferro e nichel solidi. Essa è circondata da un guscio spesso circa 2700 chilometri, costituito da una lega metallica fluida di ferro con piccole quantità di nichel, zolfo, silicio e ossigeno. La struttura metallica conferisce naturalmente al nucleo una buona conducibilità elettrica e termica. Intorno al nucleo si stringe il mantello, con uno spessore complessivo di circa 2900 chilometri, che è formato essenzialmente da composti di elementi leggeri come silicio, ossigeno e magnesio. La conducibilità elettrica e termica di questi materiali è bassa. Il mantello è anch'esso suddiviso in numerosi strati viscosi o plastici di diversa composizione. Al contrario del nucleo esterno molto fluido, però, il mantello non ha alcuna rilevanza per il meccanismo della dinamo.

## **Moti convettivi**

Più che la struttura statica della Terra, per il fenomeno della dinamo sono significativi i movimenti che avvengono nella parte fluida del nucleo. Le profonde differenze di temperatura e composizione chimica del metallo fuso determinano gradienti di densità che generano correnti ascensionali. Questi moti convettivi sono stimolati soprattutto dalle differenze di composizione chimica, che si rinnovano di continuo poiché i componenti più pesanti del fluido metallico si solidificano sullo strato esterno del nucleo solido. In questo modo un sottile strato adiacente si arricchisce di componenti più leggeri che nel campo gravitazionale cominciano a salire. Il solidificarsi del fluido metallico sul nucleo solido interno è causato da un raffreddamento continuo del nostro pianeta: esso irradia alla superficie 0,08 watt termici per metro quadrato.

Senza la rotazione della Terra lo scambio convettivo di calore e materia nella zona fluida avverrebbe essenzialmente in direzione radiale e alla velocità, relativamente bassa, di circa un millimetro al secondo. A causa della rotazione del pianeta, che nel nucleo fluido raggiunge una velocità media dai 10 ai 30 metri al secondo, nascono invece intense forze di Coriolis che perturbano i moti ascensionali della materia fusa. Negli anni settanta, quando si trovava all'Università della California a Los Angeles, Friedrich Busse, ha mostrato che in questa situazione si sviluppano strutture di flusso ordinate che assumono la forma di cilindri convettivi con assi orientati parallelamente all'asse di rotazione della Terra .

[clicca per ingrandire](#)

Questi cilindri convettivi formano un anello intorno al nucleo solido della Terra. A seconda dell'intensità dei moti di rotazione e di convezione essi possono anche presentarsi disposti in numerosi strati. Ciascun cilindro di convezione è delimitato da una parete "solida" di materiale plastico molto denso appartenente al mantello. Il rallentamento del moto di convezione in prossimità di questo margine provoca un flusso diretto verso il centro del cilindro. In questo modo, vicino all'asse del cilindro si stabilisce un flusso spirale diretto verso il basso, che viene ulteriormente rafforzato da forze di taglio. Questi fenomeni si sviluppano simmetricamente negli emisferi sud e nord. Nel complesso, nel nucleo esterno di metallo fluido e conduttore dovrebbe comparire una distribuzione relativamente ordinata di vortici di flusso con una struttura spirale della velocità.

Charles Carrigan e Friedrich Busse riuscirono a confermare in modo convincente questi modelli grazie agli esperimenti che realizzarono alla fine degli anni settanta all'Università della California a Los Angeles. In questi esperimenti Carrigan mise in rapida rotazione (circa 1000 giri al minuto) un liquido che riempiva una cavità a forma di guscio sferico. Riscaldando la superficie esterna e raffreddando quella interna produsse un gradiente di temperatura in grado di determinare una corrente di convezione termica. Parallelamente all'asse di rotazione del liquido si formarono vortici cilindrici

Un siffatto sistema di vortici può indurre e mantenere un campo magnetico? Per analizzare sistematicamente il problema si è dovuto aspettare di disporre di computer dotati di elevatissime prestazioni.

Tuttavia la capacità di calcolo dei più potenti computer non è ancora sufficiente per simulare gli andamenti reali all'interno della Terra alle scale temporali più interessanti dal punto di vista geofisico, quelle che vanno da alcuni giorni fino a circa 10 milioni di anni, e alle scale di lunghezza da 10 a 3500 chilometri.

Ciò nonostante si arriva a descrivere sorprendentemente bene tutto un insieme di effetti geomagnetici fondamentali e molti fenomeni relativi alle correnti interne. Gary Glatzmaier del Los Alamos National Laboratory e Paul Roberts dell'Università della California a Los Angeles presentarono nel 1995 una prima simulazione del campo magnetico dipolare della Terra, in cui inclusero anche l'inversione di polarità e la deriva a ovest del campo magnetico.

Diversi gruppi di ricerca, fra cui quello di Friedrich Busse, Andreas Tilgner e Eike Grote dell'Università di Bayreuth, tentano di calcolare accuratamente l'interazione fra correnti convettive in gusci sferici e campi magnetici autoalimentati. Ne emergono due fenomeni: lungo la sezione trasversale i cilindri convettivi vengono appiattiti con andamento spiraleggiante dalle forze di Coriolis e, alle medie latitudini, le linee di forza del campo magnetico di zona vengono deformate secondo uno schema ondulatorio per l'effetto di trasporto dei singoli cilindri convettivi .

## La dinamo simulata

Considerazioni teoriche hanno mostrato che la **verifica sperimentale** dei meccanismi della geodinamo può essere ottenuta solo con un grande sforzo **sperimentale** e accettando alcune deviazioni dal modello geofisico. Per esempio le forze ascensionali che nella Terra mettono in moto la convezione devono essere sostituite, nell'esperimento, da pompe o agitatori a elica. In questo modo al reale problema geofisico della dinamo subentra un "problema cinematico" della dinamo in cui si ha a che fare con vortici simulati.

Il problema cinematico si avvicina tanto più a quello geofisico quanto più il campo di flusso simulato nell'esperimento somiglia a quello del nucleo fluido della Terra, e ciò dipende dal tipo di fluido utilizzato e dalle sue proprietà elettriche, termiche e fluidomeccaniche, come pure dalle prestazioni della pompa o, meglio, dell'agitatore.

Affinché l'esperimento fornisca una chiara prova dell'effetto dinamo, questo indice deve assumere un valore ampiamente superiore a 1. A questo scopo si sceglie un fluido metallico dotato di alta conducibilità elettrica, bassa viscosità e bassa temperatura di fusione. Il sodio, che a temperature superiori ai 97 gradi Celsius è liquido, ha queste proprietà. Ne segue che l'apparato **sperimentale** deve contenere uno o più metri cubi di fluido e produrre in esso correnti con velocità da 5 a 20 metri al secondo. Finora due gruppi di lavoro hanno condotto con successo esperimenti di queste dimensioni: uno all'Istituto di fisica di Riga, in Lettonia, l'altro nel Centro di ricerca di Karlsruhe.

Forte di una lunga esperienza di lavoro con flussi di sodio liquido, il nostro gruppo presso il Centro di ricerca di Karlsruhe iniziò a sviluppare un apparato **sperimentale** simile nel 1992. L'elemento centrale è il "modulo-dinamo", che è costituito da 52 generatori di vortici, completati da tubi incurvati alle cui estremità si produce il campo di velocità proposto da Busse. Nel modulo il flusso viene ottenuto tramite un circuito di alimentazione sostenuto da tre pompe magneto-fluidodinamiche: due mettono in moto la corrente dei vortici, la terza genera la corrente assiale. L'apparato entrò in funzione nel 1999. Come ci aspettavamo, a una portata di sodio di circa 120 metri cubi all'ora nei canali di flusso dei generatori di vortici si stabilì un esteso campo magnetico in media stazionario nel tempo. Questo campo è circa 100 volte più intenso del campo magnetico terrestre. Come il modello terrestre, esso presenta una struttura dipolare, in cui l'allineamento del dipolo è trasversale all'asse del modulo-dinamo.

### **Verso un maggiore realismo**

I nostri esperimenti nel Centro di ricerca di Karlsruhe forniscono la chiara prova **sperimentale** che correnti vorticosi in un conduttore quasi omogeneo possono produrre spontaneamente un campo magnetico permanente. E confermano al contempo, in virtù dell'analogia con le ipotizzate strutture di corrente nel nucleo terrestre, il modello di una geo-dinamo. Prima però che gli esperimenti di Riga e di Karlsruhe possano essere considerati una dimostrazione realmente soddisfacente della geo-dinamo, vanno superate due carenze dell'apparato **sperimentale**. In primo luogo, il sodio liquido non scorre liberamente, ma entro stretti canali. Inoltre, se questo apparato **sperimentale** potesse raggiungere certe condizioni - ossia forze ascensionali termiche adeguate e un numero di giri sufficientemente elevato, le condizioni di auto-alimentazione del campo magnetico dovrebbero essere molto simili a quelle reali all'interno della Terra. I prossimi anni mostreranno se si riuscirà a realizzare queste condizioni.

(per una consultazione dell'articolo completo )

ULRICH MÜLLER, docente di meccanica dei fluidi al Politecnico di Karlsruhe, ha diretto fino all'aprile 2000 l'Istituto di tecnica nucleare ed energetica del Centro di ricerca di Karlsruhe.

ROBERT **STIEGLITZ** è direttore di progetto all'Istituto di tecnica nucleare ed energetica del Centro di ricerca di Karlsruhe e ne dirige l'esperimento di geodinamo.

Per approfondimenti, consultare gli [articoli allegati](#).

Ultima revisione :22/08/**2002**

[MAPPA](#)