

Le variazioni del campo geomagnetico rilevate dagli Osservatori magnetici Italiani

Lili Cafarella

Istituto Nazionale di Geofisica, Roma, Italia

1. Breve storia degli Osservatori magnetici Italiani

L'idea di fondare il primo Osservatorio magnetico Italiano nacque intorno al 1880 quando Tacchini, il direttore dell'Ufficio Centrale di Meteorologia costituito in quegli anni, assegnò a Chistoni, l'assistente fisico, l'incarico di studiare la distribuzione del magnetismo terrestre in Italia, già iniziata da Padre Denza qualche anno prima. Il primo progetto di legge per l'istituzione di un Osservatorio magnetico fu presentato dal ministro dell'agricoltura Grimaldi nel 1884, ma decadde per more parlamentari con la magistratura nonostante l'approvazione della commissione parlamentare. Lo stesso avvenne quando il progetto fu ripresentato nel giugno del 1887. In quegli anni cominciarono a svilupparsi, in varie città d'Italia, gli impianti a trazione elettrica rendendo difficile, a causa del rumore elettromagnetico artificiale, la scelta della località per la realizzazione del nuovo Osservatorio. Una delle proposte suggeriva di realizzare l'Osservatorio in una località vicino Modena, a Sestola, dove già sorgeva, in un vecchio castello, un Osservatorio meteorologico. Altre proposte suggerivano invece di situare l'Osservatorio magnetico nell'Italia meridionale soprattutto per aderire ai desideri della Commissione Internazionale per il Magnetismo Terrestre che mirava a completare verso il Sud le osservazioni dell'Osservatorio magnetico di Pola (funzionante nell'Impero Austro-Ungarico dal 1881). Prese forma così l'idea di aggregare un Osservatorio

magnetico al già esistente Osservatorio geofisico di Catanzaro o a quello di Messina, ma il terremoto del 1908 in tali zone rese inattuabili i propositi. Si tornò all'idea iniziale di Sestola ma tale scelta però fu giudicata insostenibile, e quindi scartata, in seguito ad un rilievo di dettaglio della regione eseguito da Pacini nel 1908 (Pacini, 1908).

Le misure di ripetizione su caposaldi eseguite da Palazzo in varie località mostrarono intanto che per l'aggiornamento della cartografia magnetica italiana era sufficiente ridurre le misure di campagna con i dati dell'Osservatorio magnetico di Pola (Palazzo, 1911). Fino a quando funzionò tale Osservatorio, l'istituzione del primo Osservatorio nazionale fu così subordinata ad altre esigenze. L'Osservatorio di Pola venne però ad essere sempre più perturbato a causa della nascita di vari impianti di tram elettrici nelle vicinanze e nel 1925 l'Osservatorio fu definitivamente chiuso.

Nel 1932 l'Istituto Idrografico della Marina mise in funzione l'Osservatorio magnetico di Castellaccio (Genova), annettendo un padiglione amagnetico all'Osservatorio meteorologico ivi già esistente. Le osservazioni magnetiche che venivano effettuate a Castellaccio erano osservazioni assolute di declinazione e di componente orizzontale; di queste venivano fornite sugli annuari le medie orarie, mensili e giornaliere per entrambi gli elementi (Tenani, 1933). Gli strumenti utilizzati per l'esecuzione delle misure assolute, provenienti interamente dall'Osservatorio di Pola come quelli destinati a misure di variazioni, erano costituiti da un

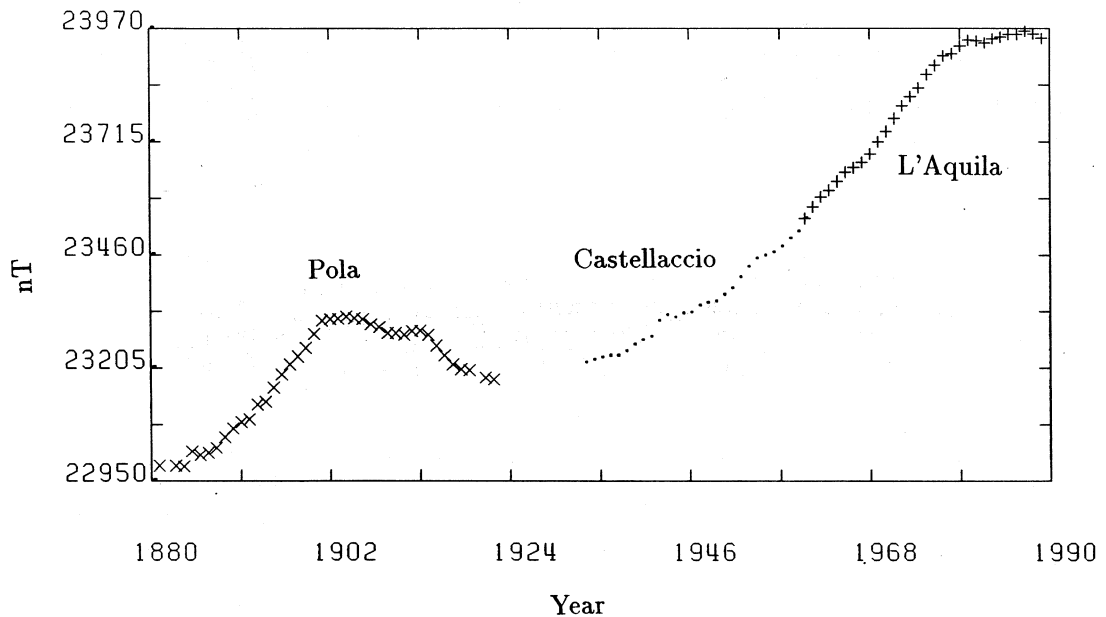


Fig. 1. Andamento temporale delle misure della componente H provenienti dalla composizione dei dati tratti dagli annuari degli Osservatori di Pola (Istria), Castellaccio (Ge) e L'Aquila.

teodolite magnetico di Bemberg per le misure di H e D . La strumentazione per la registrazione delle variazioni era costituita da un variometro D tipo Otto Topfer e un variometro H tipo bifilare con sospensione del magnete compensata per temperatura. L'Osservatorio restò in funzione fino al 1962 quando fu chiuso a causa dell'elevato livello di urbanizzazione raggiunto dalla regione.

L'Osservatorio magnetico dell'Aquila, tutt'oggi funzionante, fu fondato dall'Istituto Nazionale di Geofisica nel 1958 in occasione dell'Anno Geofisico Internazionale. Già da molti anni l'ING stava conducendo degli studi per la realizzazione di un Osservatorio magnetico nazionale. Furono effettuati vari tests in diverse località come ad esempio Asiago, Corinaldo e Gibilmanna e fu la località nell'aquilano, in prossimità del comune di Preturo, a mostrarsi la più idonea allo scopo. Per due anni l'Osservatorio funzionò essenzialmente come variografo, registrando solamente le variazioni delle tre componenti D , H e Z mediante dei variometri fotografici Ruska. Nel 1960 iniziò

l'effettuazione regolare delle misure assolute permettendo così la determinazione dei valori assoluti del campo: da quell'epoca sono stati pubblicati regolarmente gli annuari dell'Osservatorio magnetico sui quali vengono riportati i valori delle medie annuali, mensili e orarie per le tre componenti. All'inizio degli anni '70 fu introdotto presso l'Osservatorio il magnetometro a precessione nucleare per la misura assoluta dell'intensità del campo; l'introduzione della strumentazione automatica per la registrazione digitale dei valori del campo ogni minuto, risale invece agli inizi dello scorso decennio.

Oggi l'Osservatorio magnetico dell'Aquila è dotato di un teodolite magnetico Ruska per le misure assolute di declinazione e un magnetometro a protoni vettore ELSEC per le misure delle componenti verticale e orizzontale mediante il metodo di compensazione. Le misure di variazione delle componenti D , H , Z vengono effettuate mediante un sistema tradizionalmente formato da una terna di variografi Ruska a registrazione fotografica e dal sistema

automatico digitale basato su un magnetometro a precessione vettoriale e su un sistema misto fluxgate e precessione derivato da un AMOS MKIII dell'EDA (Canada).

Gli Osservatori di Pola, Castellaccio e dell'Aquila hanno raccolto misure assolute delle componenti del campo magnetico terrestre; altri Osservatori, alcuni dei quali ancora funzionanti, hanno effettuato misure assolute solo in determinate occasioni o solo misure di variazioni temporali delle grandezze del campo basate solo su strumenti relativi. Esempi sono gli Osservatori di Gibilmanna, di Capri e di Asiago. Un discorso particolare va fatto per l'Osservatorio di Castello Tesino che fu fondato nel 1964 per colmare la lacuna del Nord Italia e ha eseguito anche un gran numero di misure assolute del campo oltre a misure di variazio-

ne temporale. Queste sono regolarmente pubblicate a partire dal 1987.

2. L'analisi della periodicità

È stato possibile comporre, per gli elementi D (declinazione) ed H (componente orizzontale), un unico intervallo partendo dalle medie annuali dei tre Osservatori magnetici sopra citati. Si è ottenuta così una serie quasi continua di dati dal 1881 al 1989 (vedi ad esempio Parkinson, 1983). La serie si interrompe in corrispondenza del 1922 per riprendere nel 1933 a causa della completa mancanza di funzionamento di Osservatori italiani in tale periodo. Riportiamo qui, per brevità, la descrizione e l'analisi solo per la componente orizzontale H .

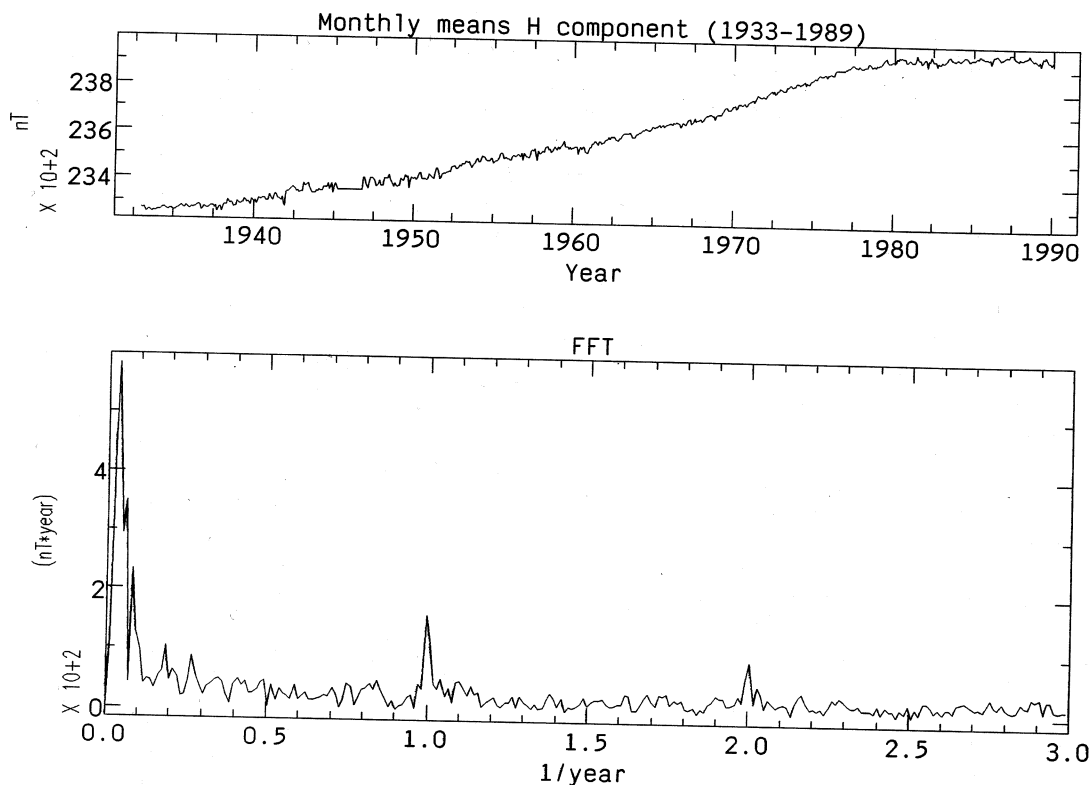


Fig. 2. Andamento temporale e analisi spettrale della componente H per le medie mensili ottenute dall'Osservatorio di Castellaccio e dell'Aquila.

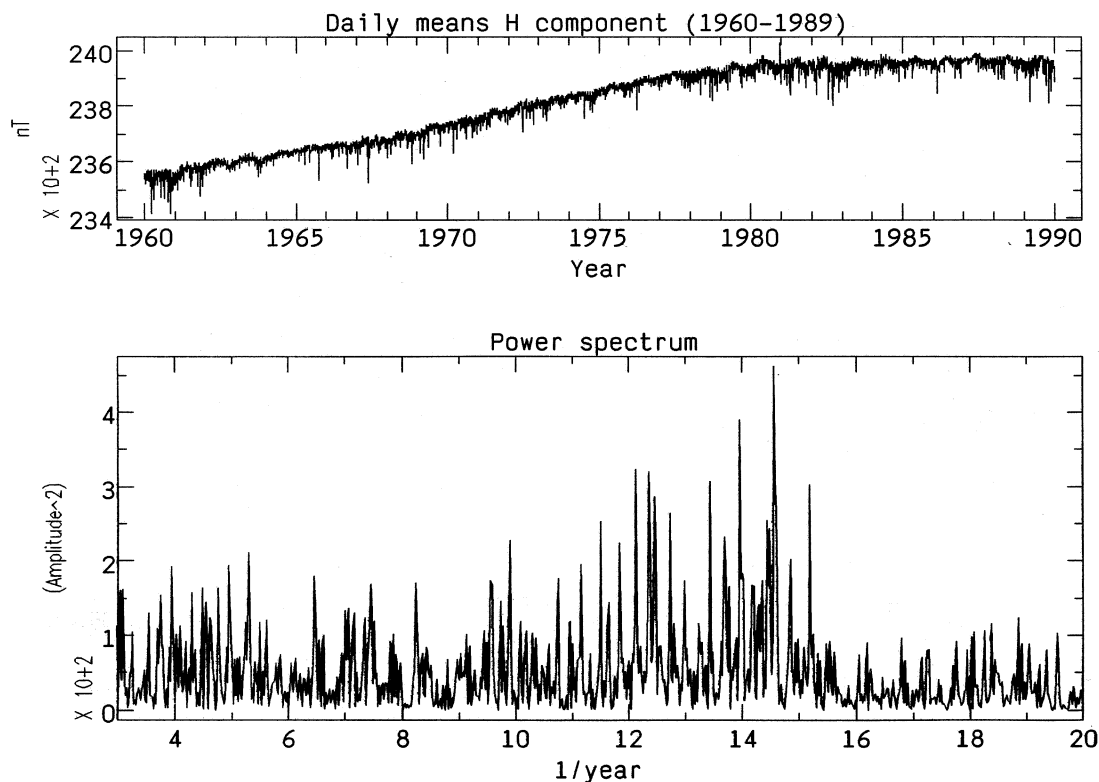


Fig. 3. Andamento temporale e analisi spettrale della componente H per le medie diurne ottenute dall'Osservatorio dell'Aquila.

L'andamento per tale elemento è riportato in fig. 1. I valori riportati che coprono l'intervallo che va dal 1881 al 1922 sono quelli registrati all'Osservatorio di Pola. I valori sono stati traslati di livello di una quantità opportuna in modo da far coincidere l'ultimo valore dell'Osservatorio di Pola con il primo, estrapolato, della serie dell'Osservatorio di Castellaccio. La parte del grafico che riporta le misure del secondo Osservatorio utilizzato, è quella che si estende dal 1933 al 1960 mentre l'ultimo periodo, dal 1960 al 1989, è costituito dai valori annuali registrati all'Aquila. È stata effettuata, a questo punto, una ulteriore traslazione in modo da portare a coincidere l'ultimo valore della serie dei dati di Pola e Castellaccio con il primo del set di dati dell'Osservatorio dell'Aquila (Cafarella *et al.*, 1992).

Dalle serie ottenute dagli Osservatori è

possibile analizzare le variazioni del campo magnetico terrestre a breve termine per lo studio delle diverse sorgenti.

Nella fig. 2 è riportato l'andamento temporale H dal 1933 al 1989 ottenuto componendo le medie mensili degli Osservatori di Castellaccio e dell'Aquila con il relativo periodogramma su scala lineare ottenuto con la Fast Fourier Transform (Meloni *et al.*, 1992). Sono evidenti i picchi che individuano le ben note periodicità a 22 e 11 anni corrispondenti al ciclo delle macchie solari. La correlazione tra periodicità delle macchie solari e quelle del campo magnetico terrestre è stata ampiamente discussa da molti studiosi: secondo alcuni, mentre la variazione del campo geomagnetico a 11 anni è sicuramente legata a cause esterne alla Terra ed associate al Sole (Bhargava e Yacob, 1969; Currie, 1974; Gubbins e Tom-

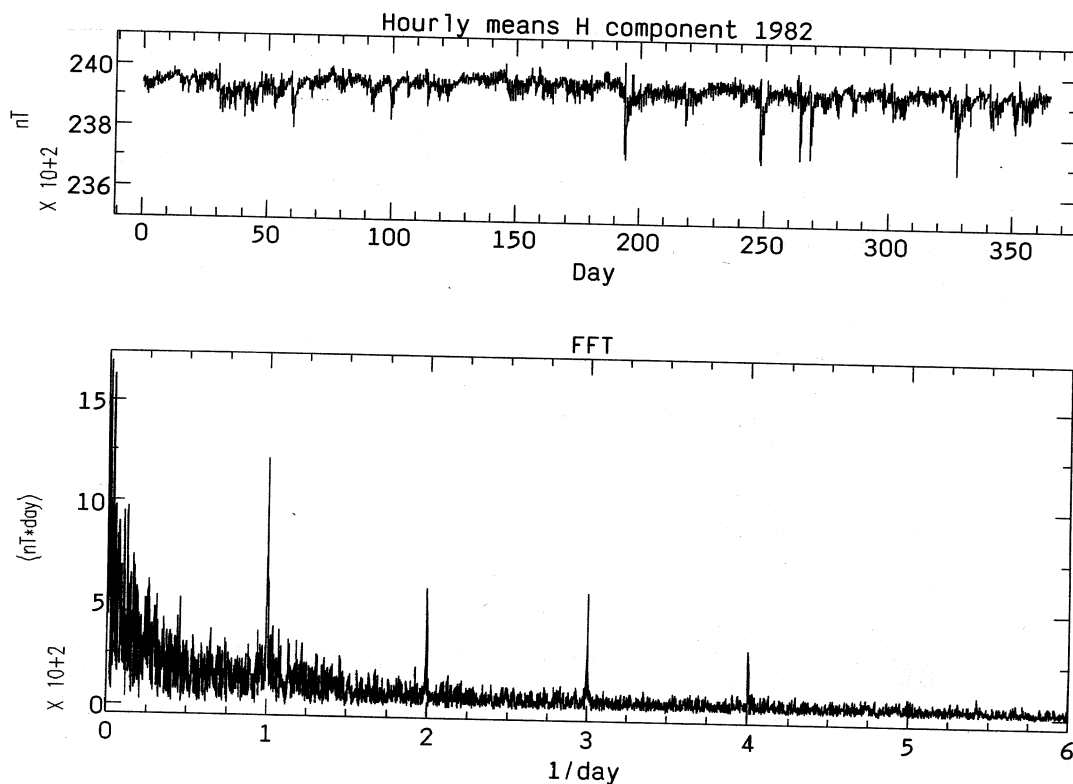


Fig. 4. Andamento temporale e analisi spettrale della componente H per le medie orarie per l'anno 1982 provenienti dall'Osservatorio dell'Aquila.

lison, 1986), quella a 22 anni potrebbe essere di origine interna ad essa: l'analisi di misure magnetiche eseguite in vari Osservatori mostra infatti, in alcuni casi, una periodicità di H compresa tra 18 e 25 anni, mentre in altri tale picco è del tutto assente. Questo fenomeno può essere giustificato solo se si pensa che la causa di tale periodicità non sia da attribuirsi al ciclo solare (che dovrebbe lo stesso effetto indipendentemente dalla scelta del luogo dove le misure vengono effettuate) ma sia originato all'interno della Terra causato, probabilmente, da oscillazioni idromagnetiche libere all'interno del nucleo (Allredge, 1977; Braginskiy, 1982).

Nella figura citata è ben evidente il picco corrispondente ad una periodicità di 1 anno. Le differenze di ampiezza e fase di questo picco con quello relativo alla periodicità a 6

mesi, che verrà tra poco trattata, fa presupporre che il meccanismo generante sia differente nei due casi. Vestine (1961) attribuì l'origine della linea annuale ad un meccanismo della dinamo, interno quindi alla Terra, mentre Paetzold e Zschorner (1961) associarono la periodicità annuale al vento interstellare provocato dal moto del Sole.

La periodicità a 6 mesi può essere spiegata secondo due teorie differenti. Entrambe ne attribuiscono l'origine all'interazione tra la Terra e il Sole: la prima è l'ipotesi assiale, secondo la quale l'effetto semiannuale è legato alla variazione della latitudine eliografica della Terra. I massimi in frequenza dei grandi disturbi magnetici si hanno quando la Terra è alla sua massima latitudine eliografica ($+7.25^\circ$, -7.25° , raggiunta intorno al 7 Settembre e al 6 Marzo) (Cortie, 1912; Russel e

McPherron, 1973). La seconda ipotesi è quella equinoziale (Mc Intosh, 1959; Bartels, 1963; Green, 1984): secondo tale teoria è fondamentale l'orientazione dell'asse di rotazione della Terra relativa alla linea congiungente Sole-Terra. Gli effetti semiannuali sono dovuti alla variazione dell'angolo dell'asse di rotazione della Terra rispetto alla direzione di provenienza del vento solare. Poiché le due ipotesi assegnano dei massimi in giorni che differiscono di poco, non è possibile ottenere un'evidenza conclusiva a favore di un'ipotesi o dell'altra. Le due ipotesi però non si escludono a vicenda.

I dati utilizzati per effettuare l'analisi spettrale riportata nella fig. 3 sono le medie diurne fornite dall'Osservatorio geomagnetico dell'Aquila concernenti l'intervallo temporale 1960-

1989. È molto chiara la periodicità a 27 giorni dovuta alla rotazione solare e alla conseguente variazione dell'intensità delle correnti circolanti nella ionosfera; una periodicità di pari grandezza fu individuata da Chree nella *C-figures* (indice legato al grado di disturbo magnetico medio su un giorno) che fece pensare di far risalire al Sole la causa di tale perturbazione.

Nelle figg. 4 e 5 sono riportati gli andamenti temporali con l'analisi di Fourier delle medie orarie provenienti dall'Osservatorio dell'Aquila per due anni distinti, rispettivamente 1982 e 1989. La scelta di tali anni è stata dettata dalla diversa intensità di attività solare, minima nel 1982 e massima nel 1989. Si può osservare sui periodogrammi il picco corrispondente alla periodicità temporale di 24 ore

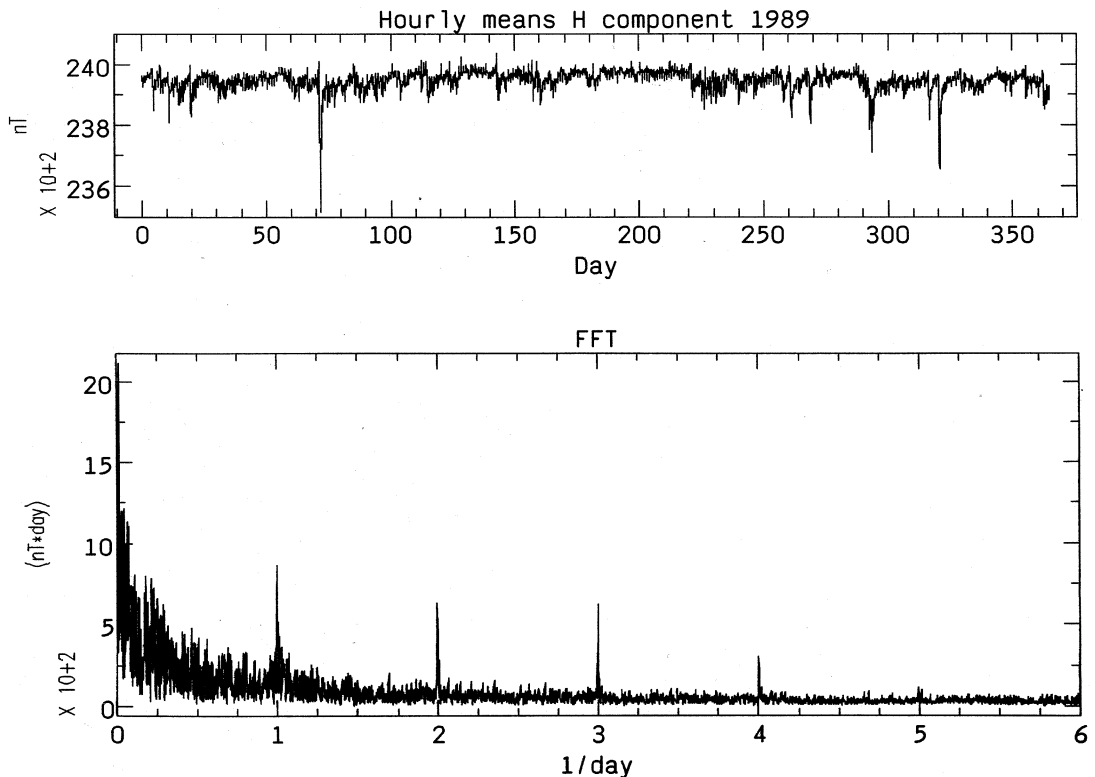


Fig. 5. Andamento temporale e analisi spettrale della componente H per le medie orarie per l'anno 1989 ottenute dall'Osservatorio dell'Aquila.

con le sue armoniche a 12, 6 e 4 ore. Tale periodicità è determinata, per la maggior parte, dalla variazione di flusso di correnti elettriche nella ionosfera (in una zona compresa tra i 90 e i 130 km dalla superficie terrestre) mentre la parte rimanente è determinata da correnti all'interno della Terra generatesi per induzione.

3. La variazione secolare

Una deviazione dalla schematizzazione che assegna a variazioni del campo magnetico terrestre su breve scala temporale un'origine esterna, mentre a quelle a lungo termine un'origine interna, è rappresentata dalle osservazioni di un jerk negli anni '70 (McLeod, 1989). Nel 1970, in un intervallo temporale di circa 2 anni, fu osservato sui dati di vari Osservatori un cambiamento di pendenza nella derivata prima della declinazione e della componente H del campo geomagnetico. Tale scoperta è molto importante poiché se tale segnale fosse di origine interna fornirebbe un nuovo limite inferiore alla durata del segnale magnetico che può penetrare il mantello terrestre. Prima dell'osservazione del fenomeno infatti si pensava che la conduttività del mantello attenuasse tutte le variazioni magnetiche con durata inferiore a 4 anni. È stato però notato che il segnale osservato sulla superficie terrestre non necessariamente riflette la durata vera del segnale che ha luogo nel nucleo terrestre; questo perché spesso si presentano processi di filtraggio e di sovrapposizione di segnali a quelli provenienti dal nucleo. Quindi l'uso del jerk per la determinazione della conduttività del mantello potrebbe non essere molto appropriata (Nevalinna e Mundt, 1987).

In fig. 6 sono mostrati gli andamenti della derivata prima della declinazione per vari Osservatori Europei tra cui l'Osservatorio dell'Aquila (da Malin e Hodder, 1982 riadattata).

Gli andamenti temporali della declinazione magnetica ottenuti da medie annuali con le derivate prima, seconda e terza per l'Osservatorio dell'Aquila sono riportate in fig. 7. Il fenomeno è mascherato da variazioni irregolari che possono essere attenuate applicando un

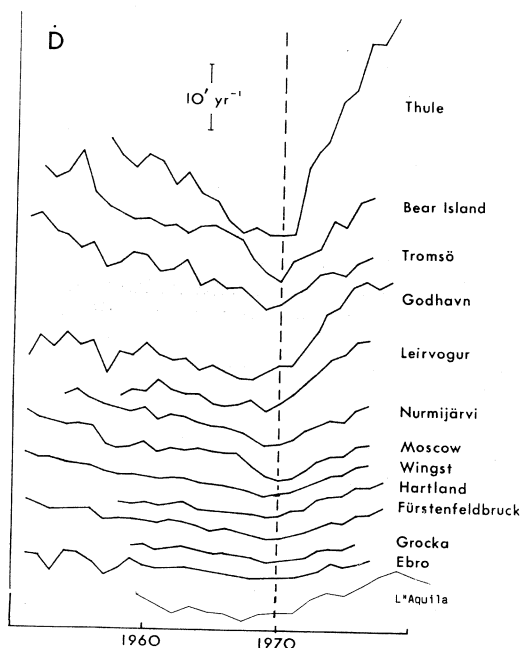


Fig. 6. Andamenti temporali della derivata prima della declinazione magnetica per vari Osservatori Europei.

filtro che esegue uno smoothing sui valori di tre anni (fig. 8). Il jerk è individuato dalla presenza di un picco nella derivata terza in corrispondenza del 1970 circa e di una funzione a gradino nell'andamento della derivata seconda. La presenza del jerk può anche essere individuata dal cambiamento di pendenza nell'andamento temporale della derivata prima. La scoperta del jerk negli anni '70 ha spinto gli osservatori a vedere se, negli anni precedenti, era possibile riscontrare un fenomeno dello stesso tipo. L'identificazione di un fenomeno di questo tipo è difficoltosa se i periodi esplorati risalgono ad epoche antecedenti il 1910 a causa della scarsità di Osservatori magnetici in funzione (Courtilot e Le Mouel, 1984). Dopo tale epoca, alcuni studiosi hanno trovato, studiando i dati di alcuni Osservatori, comportamenti che possono far pensare che un fenomeno, probabilmente un jerk, si sia verificato intorno al 1910. Analizzando le medie annuali dell'Osservatorio di Pola in nostro

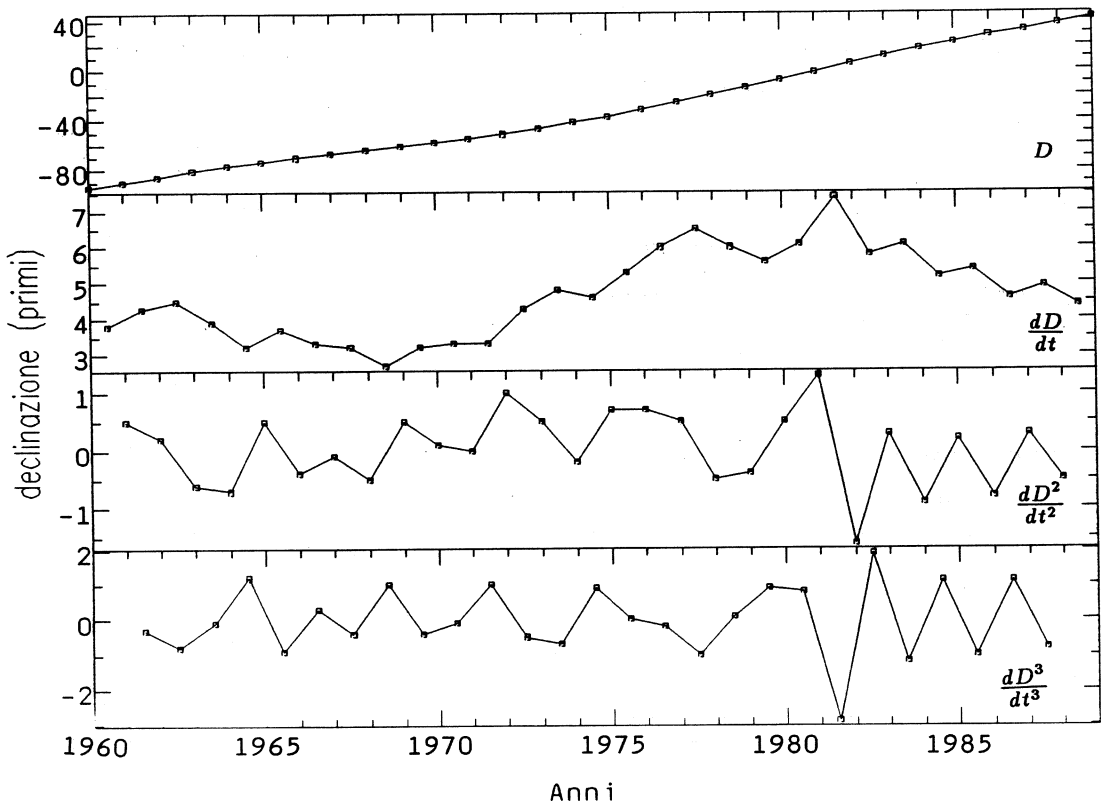


Fig. 7. Andamento temporale della declinazione magnetica con derivata prima, seconda e terza ottenute da medie annuali dell'Osservatorio dell'Aquila.

possesto, funzionante in questo periodo (1881-1922), non è emersa nessuna informazione che confermasse l'ipotesi suddetta. Dai dati a nostra disposizione dunque, l'unico jerk chiaramente visibile nell'arco degli ultimi 100 anni, risulta quello del 1970.

La variazione secolare può essere analizzata non soltanto utilizzando dati di Osservatori, che in genere non si spingono molto indietro nel tempo, ma utilizzando dati di rete, dati cioè sporadici, ricavati da misure effettuate da osservatori isolati. Dall'analisi di serie sporadiche che si spingono più indietro nel tempo è possibile risalire a variazioni del campo magnetico terrestre più probabilmente legati a fenomeni di natura interna: i risultati dell'analisi di tali serie saranno rese note nel catalogo italiano di prossima pubblicazione (Cafarella *et al.*, 1992).

4. Conclusioni

Il primo Osservatorio magnetico italiano nacque a Castellaccio, in provincia di Genova, nel 1932 pur essendo nata l'idea già nel 1880. Misure assolute precedenti al 1932 sono però disponibili, grazie agli annuari dell'Osservatorio di Pola (italiano per un certo intervallo di tempo) funzionante dal 1881 al 1925. L'Osservatorio di Castellaccio chiuse nel 1962 a causa dell'elevato livello di urbanizzazione raggiunto dalla regione.

In quegli stessi anni veniva fondato dall'Istituto Nazionale di Geofisica, in occasione dell'anno geofisico internazionale, l'Osservatorio magnetico dell'Aquila. Tale Osservatorio è tutt'oggi funzionante.

Le misure dei tre Osservatori sono state composte per ottenere un'unica serie di misure

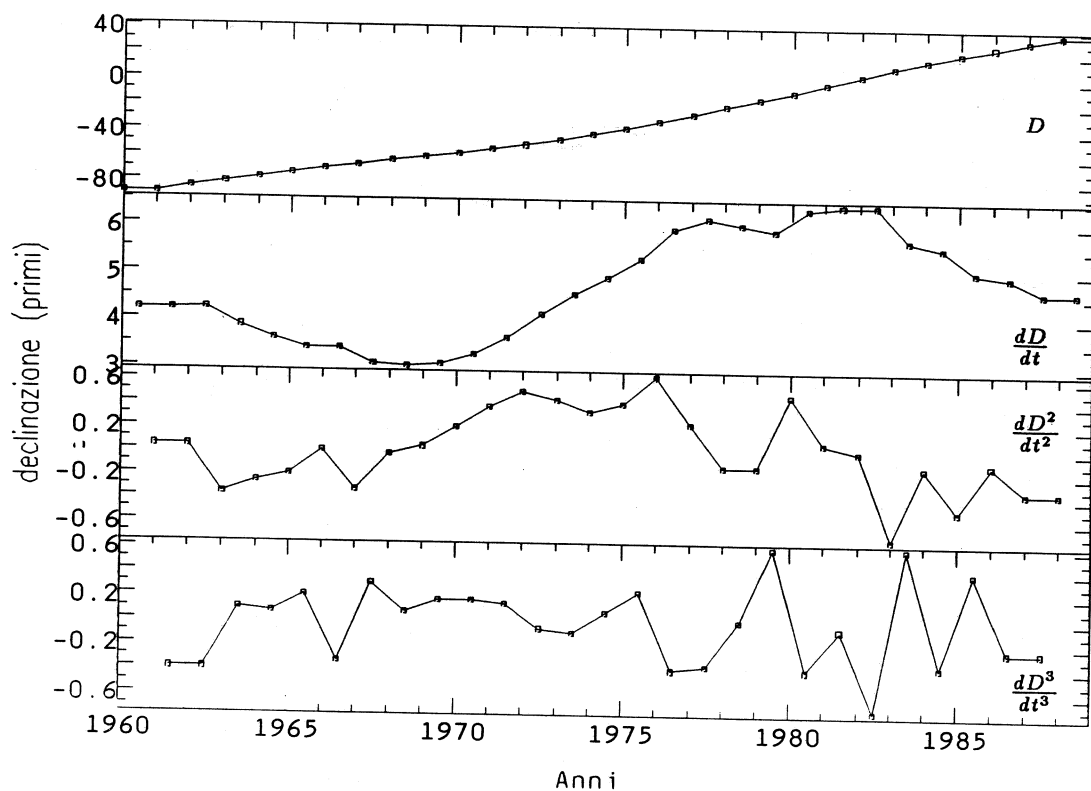


Fig. 8. Andamento temporale della declinazione magnetica con derivata prima, seconda e terza con smoothing su tre anni.

quasi continua dal 1881 al 1989. Da tale serie è possibile ricavare delle informazioni sulle variazioni del campo a breve termine per lo studio di diverse sorgenti delle variazioni stesse mediante analisi periodica.

I periodogrammi elaborati per la componente orizzontale mostrano le periodicità di 22 anni, determinate, secondo alcuni da meccanismi di origine interna alla Terra (Allredge, 1977). Altre periodicità trovate sono quelle a 11 anni, a 1 anno, a 6 mesi e a 24, 12, 6 e 4 ore.

È stato poi confermato anche per L'Aquila un fenomeno che, pur manifestandosi con variazioni del campo geomagnetico su breve scala temporale sembra essere legato a meccanismi interni alla Terra. Tale fenomeno, denominato *jerk* è stato osservato in vari Osservatori distribuiti in tutta l'Europa ed è importan-

te poiché fornisce un limite inferiore per la conducibilità del mantello, più basso di quello previsto teoricamente.

BIBLIOGRAFIA

- ALLDREDGE, R.L. (1977): Geomagnetic variation with period from 13 to 30 years, *J. Geomagn. Geoelectr.*, **29**, 123-135.
- BARTELS, J. (1963): Discussion of time-variation of geomagnetic activity, indices k_p and A_p , *Ann. Geophys.*, **19**, 1932-1961.
- BRAGINSKIY, S.I. (1982): Analytic description of the variation in the geomagnetic field in the 20th century. *Geomagn. Aeron.*, **22**, 696-698.
- BHARGAVA, B.N. e A. YACOB (1969): Solar cycle response in the horizontal force on the earth's magnetic field, *Geomagn. Geoelectr.*, **21**, 385-397.
- CAFARELLA, L., A. DE SANTIS, A. MELONI (1992a): Secular variation in Italy from geomagnetic field historical measurements, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **73**, 206-221.

- CAFARELLA, L., A. DE SANTIS e A. MELONI (1992b): *Il catalogo geomagnetico italiano*, Pub. ING n. 7.
- CORTIE, A.L. (1912): Sunspots and terrestrial magnetic phenomena, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 1989-1911.
- COURTILLOT, V. e J.L. LE MOUËL (1984): Geomagnetic secular variation impulses. *Nature*, **311**, 709-716.
- CURRIE, R.G. (1974): Harmonics of the geomagnetic annual variation, *J. Geomagn. Geoelectr.*, **26**, 319-328.
- GREEN, C.A. (1984): The semiannual variation in the magnetic activity indices A_a and A_p , *Planet Space Sci.*, **32**, 297.
- GUBBINS, D., e L. TOMLINSON (1986): Secular variation from monthly means from Apia and Amberley magnetic Observatories, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, **86**, 603-615.
- MALIN, S.R.C. e B.M. HODDER (1982): Was the 1970 geomagnetic jerk of internal or external origin?, *Nature*, **296**, 726-729.
- MC INTOSH, D.H. (1959): On the annual variation of magnetic disturbance, *Philos. Trans. R. Soc. London*, **7**, 387-394.
- MCLEOD, M.G. (1989): Geomagnetic secular variation, in *Geomagnetism and Palaeomagnetism*, a cura di F.J. LOWES *et al.*, 19-30.
- MELONI, A., L. CAFARELLA e A. DE SANTIS (1992): Historical measurements of the geomagnetic field in Italy: a short report, in *Exploring the Earth: progress in geophysics since the 17th century*, a cura di SCHRÖDER, COLACINO, GREGORI, Interdivisional commission on history, IAGA, Bremen-Roennebeck, Germany.
- NEVALINNA, H., e W. MUNDT (1987): Rapid geomagnetic variation of internal and external origin, in *Proceedings of IAGA-Symposium, Space-Time structure of geomagnetic field*, 75-78.
- PACINI, D. (1908): Sulla variazione locale della componente orizzontale del campo magnetico terrestre nei dintorni di Sestola (Modena). *Annali dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica*, serie 2, vol. 30 (parte 1), 10-15.
- PAETZOLD, H.K. e H. ZSCHORNER (1961): Structure of the upper atmosphere and its variation after satellite observations, *Space Res.*, **2**.
- PALAZZO, L. (1911): *Meteorologia e Geodinamica in Cinquanta anni di Storia italiana (1860-1910)*, Pubblicazione fatta sotto gli auspici del governo e della Reale Accademia dei Lincei, 54.
- PARKINSON, W.D. (1983): *Introduction to Geomagnetism* (Scottish Academic Press, Edinburgh and London), 434.
- RUSSEL, C.T. e R.L. MCPHERRON (1973): Semiannual variation of geomagnetic activity, *J. Geophys. Res.*, **78**, 92-108.
- TENANI, M. (1933): L'Osservatorio Magnetico dell'Istituto Idrografico della Reale Marina in Genova, *Ric. Sci.*, **9-10**.
- VESTINE, E.H. (1961): Solar influences on geomagnetic and related phenomena, *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **95**, 3-16.