

# Sulla misura delle variazioni temporali del campo magnetico terrestre in Provincia della Spezia

OSVALDO FAGGIONI \*, NICOLÒ BEVERINI \*\*,  
COSMO CARMISCIANO \* e LUCIA ROSSI \*

## *Premessa*

Il campo magnetico terrestre (CMT) è definito comunemente come dipolare; ma si avvicina a tale forma geometrica solo se mediato su lunghissimi intervalli temporali o lunghissimi profili spaziali. A livello del suolo la componente dipolare è solo circa l'80-85 % della sua intensità totale; il restante 15-20% ha una forma geometrica molto più complessa che risente dell'influenza di varie sorgenti geomagnetiche. La mutua interferenza dei campi generati da tali sorgenti, dipolari e non, per lo più interne al pianeta e localizzate a profondità assai variabile, ha come prodotto finale un campo magnetico risultante, detto appunto CMT che è compiutamente descritto da un vettore  $F$ . Tale vettore è individuato dal modulo  $F$ , dalla inclinazione  $i$ , positiva verso il centro della Terra e dalla declinazione  $d$ , positiva o negativa rispetto alla direzione meridiana, ovvero dalla sua componente verticale  $Z$  e dalla sua componente orizzontale  $H$  (convenzionalmente scomposta in  $X$  in direzione nord geografico e  $Y$  in direzione est geografico) e varia a seconda del luogo d'osservazione (MOLINA, 1984). Tale campo, in grado di fornire importanti informazioni sulle strutture interne del pianeta, non è stazionario ma, oltre alle variazioni spaziali, presenta variazioni temporali in tutte le sue componenti. Queste

---

\* Istituto di Geofisica e Ambiente Marino - Consorzio Universitario della Spezia e Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Pisa.

\*\* Dipartimento di Fisica e INFN - Università di Pisa.

Gli Autori ringraziano l'Amministrazione Provinciale della Spezia per la collaborazione offerta e per il prestito d'uso della strumentazione geomagnetica assoluta di sua proprietà che ha reso possibile la presente ricerca. Ringraziano inoltre per la collaborazione tecnica e logistica i seguenti Enti: Marina Militare, Comando in Capo Alto Tirreno, La Spezia; Comune della Spezia; Comune di Varese Ligure. Un ringraziamento infine al dott. F. Marchio per l'attenta collaborazione prestata nell'esecuzione delle misure d'osservatorio.

variazioni, le cause che le inducono e la loro correlazione con strutture interne al pianeta o con sorgenti extraterrestri, sono studiate mediante gli osservatori geomagnetici (BOZZO et al. 1985; CANDIDI, 1993). Il controllo e la registrazione delle variazioni temporali del CMT riveste un ruolo di fondamentale importanza anche nel quadro della prospezione geomagnetica ove i magnetogrammi prodotti dagli osservatori vengono utilizzati per la riduzione temporale dei rilevamenti geomagnetici spaziali.

Nella provincia della Spezia sono attive dal 1993 due stazioni di registrazione geomagnetica permanenti utilizzate sia per studi puramente variazionali sia quale riferimento temporale per la riduzione delle attività di rilevamento geomagnetico terrestre, marittimo e aereo in atto nel comprensorio geografico Italia nord occidentale e Toscana - Mar Tirreno settentrionale, di importanza fondamentale nei rilevamenti geomagnetici di alta definizione (FAGGIONI et al. 1995). Negli impianti in oggetto, siti in località Foresta del Gottero - Varese Ligure (osservatorio di riferimento) e località Spigolo di Mezzogiorno - Isola del Tino (stazione periferica)

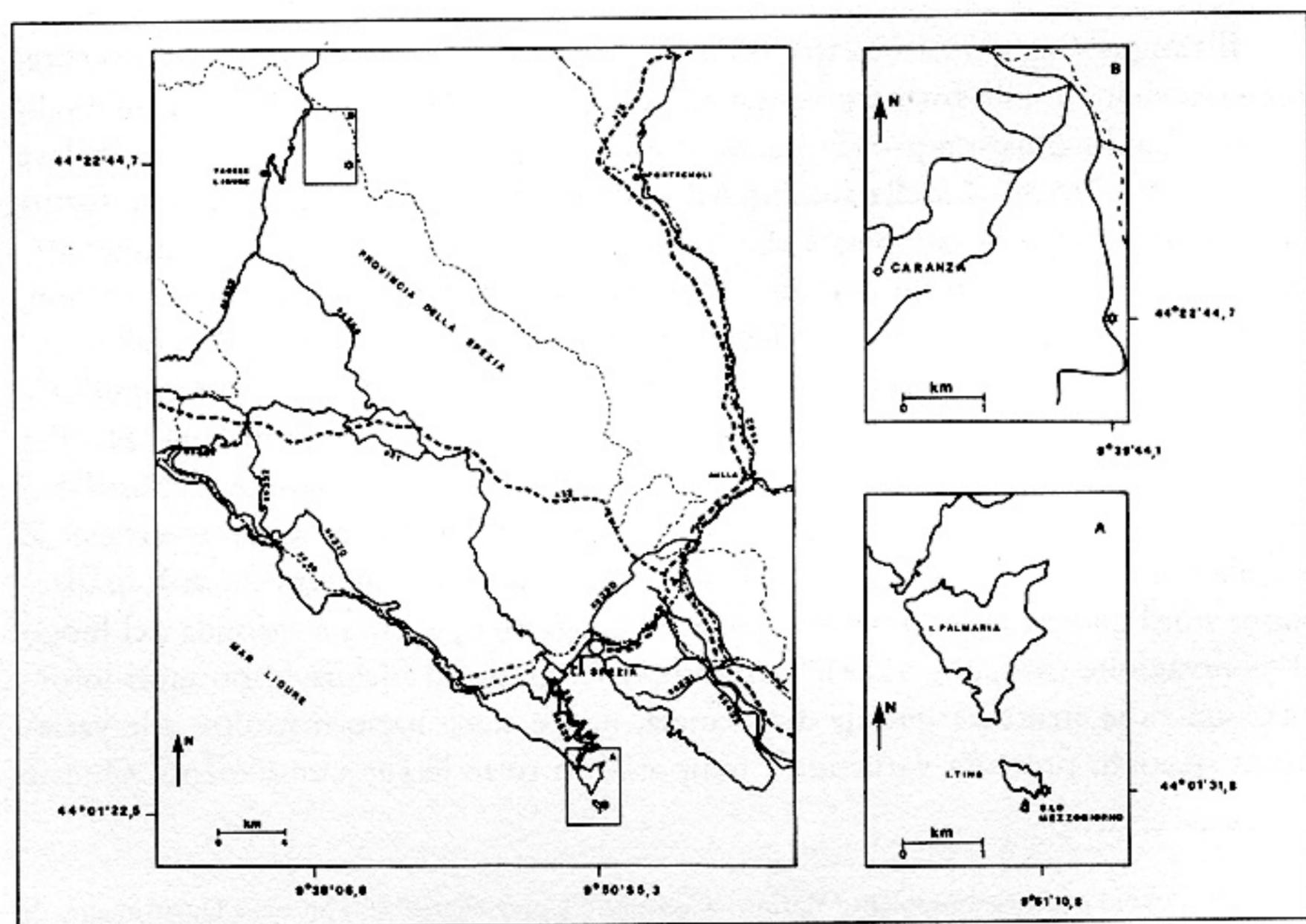


Fig.1 - Carta del territorio della Provincia della Spezia con localizzazione dei siti delle stazioni di osservazione geomagnetiche: Foresta del Gottero - Varese Ligure (B) e Spigolo di Mezzogiorno - Isola del Tino (A).

- |                |   |
|----------------|---|
| Osservatorio   | ..... Confine Amministrativo di Provincia |
| --- Autostrade | —— Strade Statali                         |
| - - - Ferrovie |   |

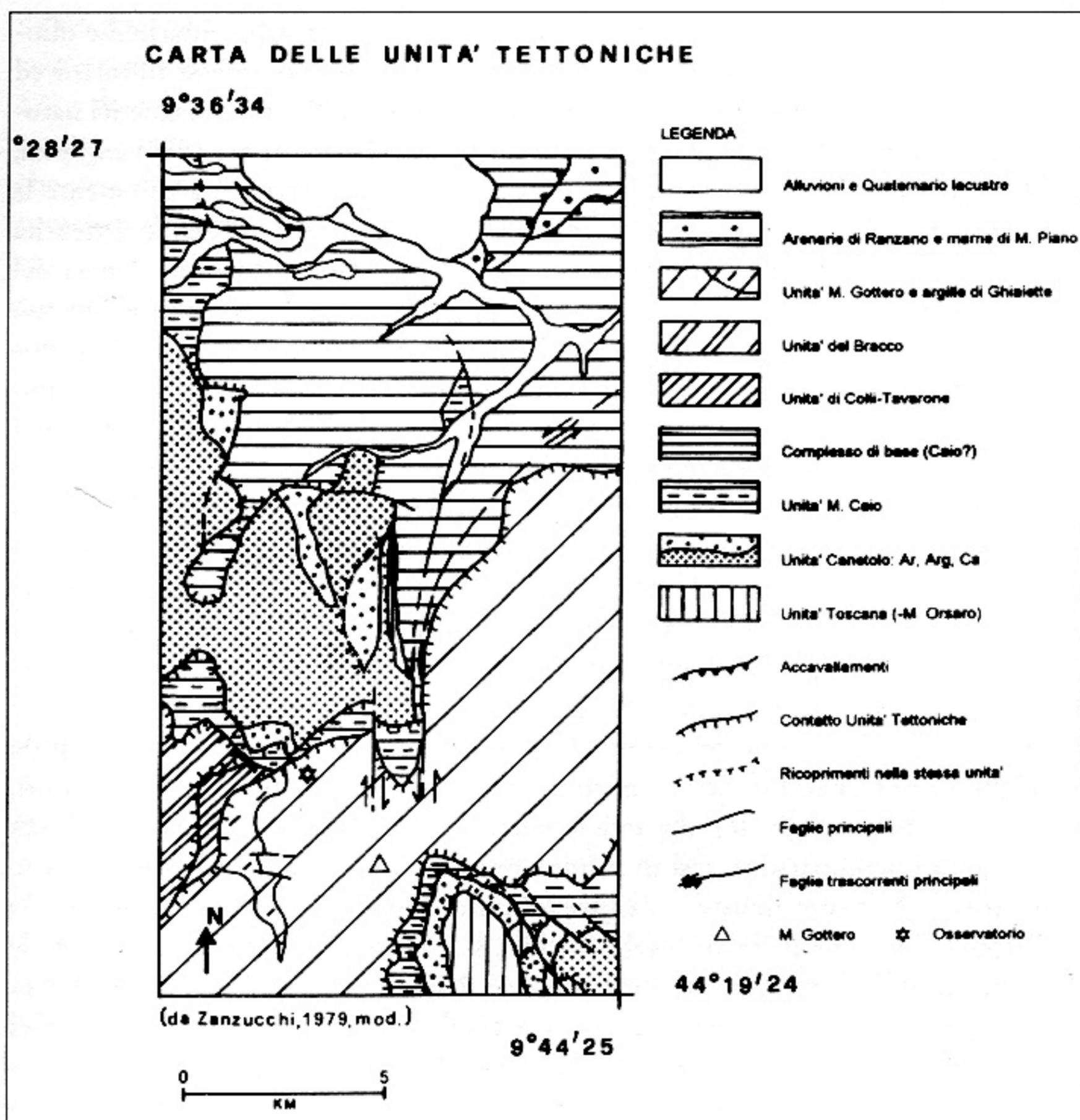


Fig. 2 - Carta geologica dell'area della stazione di osservazione del CMT della Foresta del Gottero.

(fig. 1), operano sia magnetometri assoluti a precessione di protoni per la misura scalare di  $F$  che magnetovariometri vettoriali a saturazione per la misura relativa delle variazioni delle componenti  $Z$ ,  $X$  e  $Y$ .

### *Inquadramento geologico dell'area della Foresta del Gottero*

La caratterizzazione geomagnetica dei siti candidati ad ospitare impianti di osservazione delle variazioni temporali del campo geomagnetico si articola nella valutazione della soglia di rumore elettromagnetico artificiale e nella definizione delle caratteristiche naturali del CMT. L'Appennino ligure, settore del dominio oceanico ligure-piemontese appartenente alla Tetide occidentale, è caratterizzato

da sequenze ofiolitiche giurassiche e dalle relative coperture sedimentarie. Le ofioliti, associazione di termini ultrabasici, masse gabbroidi, complessi filoniani ed effusioni basaltiche sottomarine, sono, di norma, sorgenti di campi magnetici naturali di elevata intensità e di elevato gradiente spaziale (BOZZO et al., 1984) e quindi, la loro posizione in affioramento e sotto copertura caratterizza pesantemente la geometria del campo geomagnetico, creando aree di anomalia ad elevata intensità ed elevato gradiente orizzontale. In generale tali litotipi inducono, al pari del rumore generato da sorgenti artificiali, interferenze di campo non compatibili con le misure geomagnetiche d'osservatorio. In queste condizioni una accurata conoscenza della geologia della zona e una buona lettura spaziale del CMT sono condizioni necessarie per la validazione del sito d'osservatorio. Il basso grado di metamorfismo delle successioni dell'Appennino ligure ha permesso la conservazione delle caratteristiche primarie delle sequenze ofiolitiche la cui stratigrafia è stata descritta in settori dell'Appennino più favorevoli (DECANDIA e ELTER, 1972; ABBATE et al., 1980; CORTESOGNO et al. 1987). L'area dell'Alta Val di Vara è caratterizzata dal prevalente affioramento delle coperture sedimentarie, in particolare, nel settore NW si rilevano unità torbiditiche (M. Zuccone) comprendenti un corpo arenaceo inferiore (Arenarie M. Zuccone) tettonicamente sormontato da livelli siltitici e arenacei, interposto tra due orizzonti di "argille e calcari" di spessore variabile (Complesso di Canetolo). Le successioni ofiolitiche giurassiche delle Unità Liguri, dominio oceanico originatesi durante lo spreading tra i margini di placca Africana ed Europea e scomparso in fasi di subduzione ed obduzione successive (Cretaceo superiore - Eocene medio), rappresentano i livelli strutturali più elevati dell'Appennino settentrionale. Nel Miocene, sui domini del margine continentale della placca Adria, attualmente rappresentati dall'Unità di Canetolo e dall'Unità Toscana, è sovrascorso l'insieme strutturale, già deformato, delle Unità Liguri. Tali unità sono suddivise in interne, sequenze ofiolitiche giurassiche e copertura sedimentaria, ed esterne, flysch calcarei, arenacei e calcareo-marnosi su complessi di base a dominante argillosa derivanti dalle Liguridi interne (Supergruppo Val di Vara) (ELTER e PERTUSATI, 1973; ELTER, 1975; PICCARDO, 1983) sulla base delle caratteristiche stratigrafiche e strutturali (fig. 2). Di particolare rilevanza per gli studi geomagnetici possono risultare i campi associati a ofioliti in posizione "anomala" rinvenute come slide blocks.

### *Caratteristiche tecniche degli impianti*

L'osservatorio di Foresta del Gottero è strutturato per l'esecuzione automatica di registrazioni di lunga durata finalizzate allo studio della fenomenologia geomagnetica di interazione Terra - Sole (DE SANTIS, 1993; MELONI, 1993; VILLANTE, 1993) e quale riferimento per la riduzione temporale di lunghe campagne terrestri e marittime di rilevamento geomagnetico spaziale. Il sistema di misura è costituito

da un apparato di rilevamento polisensoriale costituito da un magnetovariometro relativo di tipo flux-gate modello EDA FM100B con sensore a saturazione FMX-126 e da un magnetometro assoluto a precessione di protoni di tipo ELSEC 820. Il magnetometro a precessione di protoni è dotato di una interfaccia seriale RS232 che permette il trasferimento dei dati ad un personal computer portatile. Il magnetovariografo può essere gestito in automatico mediante due tecniche alternative collaudate nel corso di preliminari campagne sperimentali (FAGGIONI et al., 1993); entrambe le soluzioni sono valide e la scelta è in funzione del contesto ambientale-operativo nel quale ha luogo la misurazione. Nel primo caso il magnetovariografo è collegato ad un sistema di acquisizione dati basato su scheda multifunction I/O board AT-MIO N.I. operante in ambiente LabWindows. Tale scheda effettua la conversione A/D e, mediante un opportuno software, programma il passo di campionamento e può eseguire un pre-processamento dei dati in acquisizione. Nella seconda ipotesi il magnetovariografo viene collegato ad un data-logging (micrologger Campbell 21X) che opera la conversione A/D, il pre-processamento dei dati in una memoria temporanea di media capacità ed infine l'archiviazione dei dati su una unità a nastro (vedi appendice). Il trasferimento dei dati da nastro a computer avviene mediante una specifica unità Campbell C20 che provvede alla lettura ed alla gestione della comunicazione con protocollo standard RS232. Le soluzioni descritte permettono una autonomia teorica di circa 850 giorni per il magnetovariografo e di circa 250 giorni per il magnetometro. L'autonomia reale è vincolata alla potenza di alimentazione in quanto, allo scopo di evitare il rumore indotto dalle reti elettriche, si alimentano i sistemi con un set di batterie da 24 V che vanno sostituite con cadenza almeno mensile. La stazione geomagnetica di Spigolo di Mezzogiorno è preposta al servizio di riduzione temporale delle campagne geomagnetiche navali ed è attivata solo in concomitanza di tali attività. È costituita da un magnetometro a precessione di protoni portatile SCINTREX MP2 e da un magnetovariometro a saturazione di tipo EDA FM100B, il sistema può lavorare in completa autonomia per 6 giorni.

La frequenza massima di campionamento del sistema magnetovariometrico è di un campione ogni 0.125 secondi che in teoria permette la definizione dei fenomeni variazionali geomagnetici di tipo Pulsazione (PC1 - PC2 - PC3) e di quelli a frequenza inferiore (DE VUYST e DE MEYER, 1973). La frequenza massima di campionamento delle stazioni dei magnetometri a precessione di protoni è di un campione ogni 10 secondi per l'ELSEC 820 e di un campione ogni 5 secondi per lo SCINTREX MP2 con una risoluzione di 1 nT.

L'Osservatorio di Foresta del Gottero è collegato per confronto con l'Osservatorio Geomagnetico Centrale dell'Istituto Nazionale di Geofisica di Roma sito in località Preturo (AQ) e la stazione di osservazione di Spigolo di Mezzogiorno è collegata, sempre per confronto, con l'Osservatorio di Foresta del Gottero. Tale organizzazione della rete degli osservatori ha permesso la definizio-

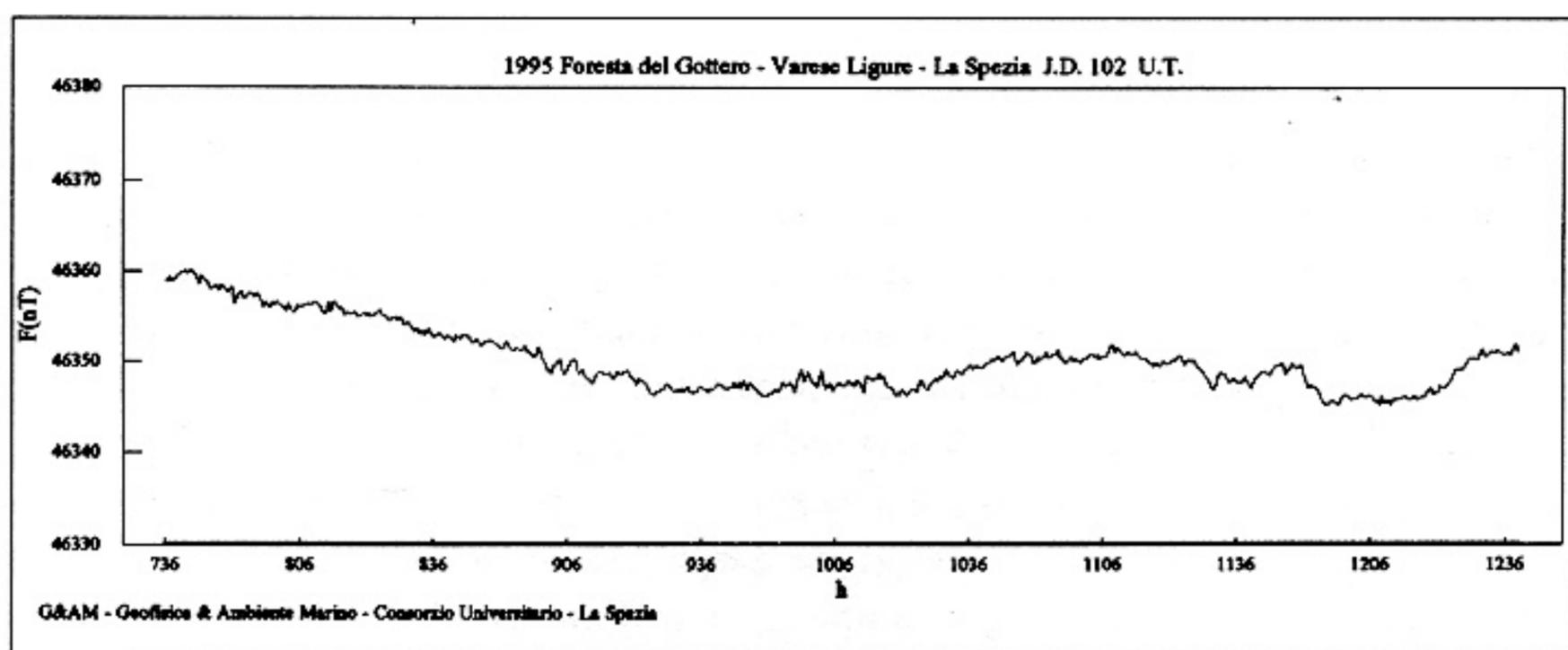


Fig. 3 - Magnetogramma dell'intensità totale del CMT. Foresta del Gottero, 7.36(UT)GG102.95: 12.36(UT)GG102.95.

ne della loro soglia di disturbo magnetico, evidenziando la discreta qualità di campo di località Foresta del Gottero e la sufficiente qualità di campo di località Spigolo di Mezzogiorno. Questi risultati hanno un notevole interesse in campo nazionale in quanto l'ambiente geomagnetico italiano continentale è caratterizzato da una soglia di disturbo artificiale molto elevata a causa dell'attività umana in generale e, in particolare, dall'elettrificazione delle linee ferroviarie (MELONI e PALANGIO, 1988).

### *Caratteristiche osservative e analitiche dei sistemi*

Con il termine "*Caratteristica osservativa degli impianti*" definiamo la banda di fluttuazioni temporali del CMT che il sistema di registrazione è in grado di descrivere spettralmente. Il limite d'alta frequenza di questa banda è correlato al passo di campionatura con cui è eseguita la lettura del campo e quindi, nella pratica, ognuno dei tre strumenti presenta una capacità spettrale leggermente differente: per i due magnetometri a precessione di protoni tale limite è definito dai tempi di acquisizione strumentale mentre per il magnetogradiometro flux-gate, strumento analogico, è definito dalla frequenza di taglio superiore del sensore. In linea teorica è possibile eseguire un campionamento sul segnale restituito dal flux-gate ogni 0,125 secondi; ciò permette la risoluzione di variazioni temporali di  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  a partire dalla lunghezza d'onda  $= 0,25$  s. Il magnetometro ELSEC 820 è in grado di descrivere variazioni di  $F$  a partire da lunghezza d'onda  $= 20$  s e il magnetometro SCINTREX MP2 quelle da  $= 10$  s. La risolutività spettrale teorica dell'insieme dei sistemi di lettura è quindi corrispondente alla banda di variazioni temporali con lunghezza d'onda uguale o maggiore ai 20 secondi pari ad una frequenza di  $5 \cdot 10^{-2}$  Hz che corrisponde ad una capacità di lettura di eventi variazionali geomagnetici

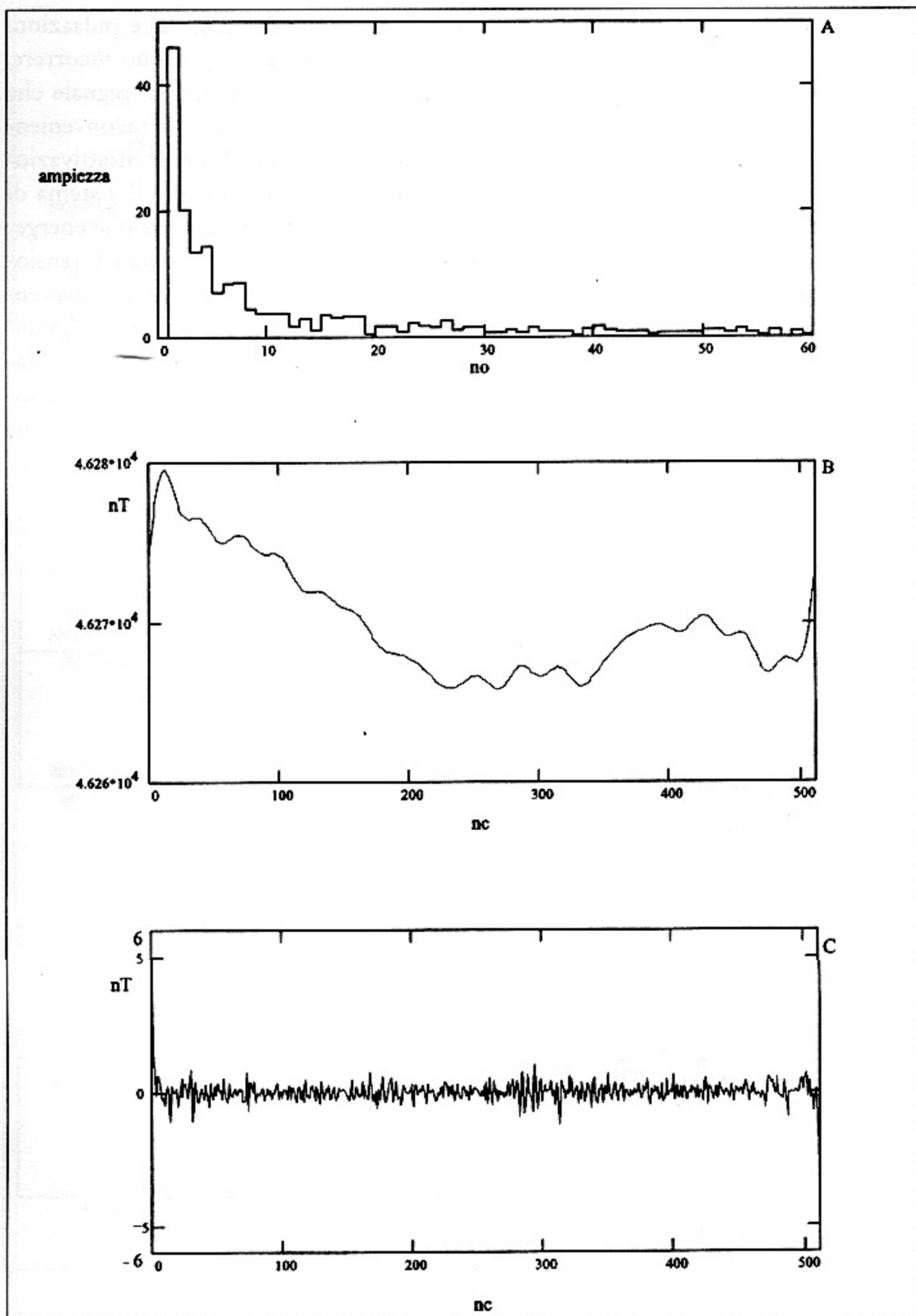


Fig. 4 - Spettro di ampiezza (A), banda di bassa frequenza (B) e rumore di alta frequenza (C) del magnetogramma Foresta del Gottero 7.36(UT)GG102.95: 12.36(UT)GG102.95.

caratterizzati da periodi di evoluzione superiori di quelli tipici delle pulsazioni PC1. Le stazioni di osservazione geomagnetiche automatiche possono incorrere, nel corso del normale funzionamento, nel problema della caduta del segnale che non di rado è connesso alla caduta di tensione di alimentazione. Tale inconveniente, che comunque porta alla perdita di informazione per il periodo di disattivazione, può avere effetti molto gravi sulla pratica sperimentale qualora il sistema di misura non sia in grado di ripartire, una volta rialimentato da una sezione energetica di riserva. Un sistema non assistito in questo senso, alla prima caduta di tensione può cessare di funzionare in modo definitivo fino a quando non si ha l'intervento di riattivazione da parte dell'operatore: ciò con grave pregiudizio dell'affidabilità del sistema stesso specie per gli impianti molto decentrati quali appunto la stazione automatica di Foresta del Gottero. Per ovviare a questa eventualità, la stazione dispone di un sistema standard di riattivazione della registrazione che ne

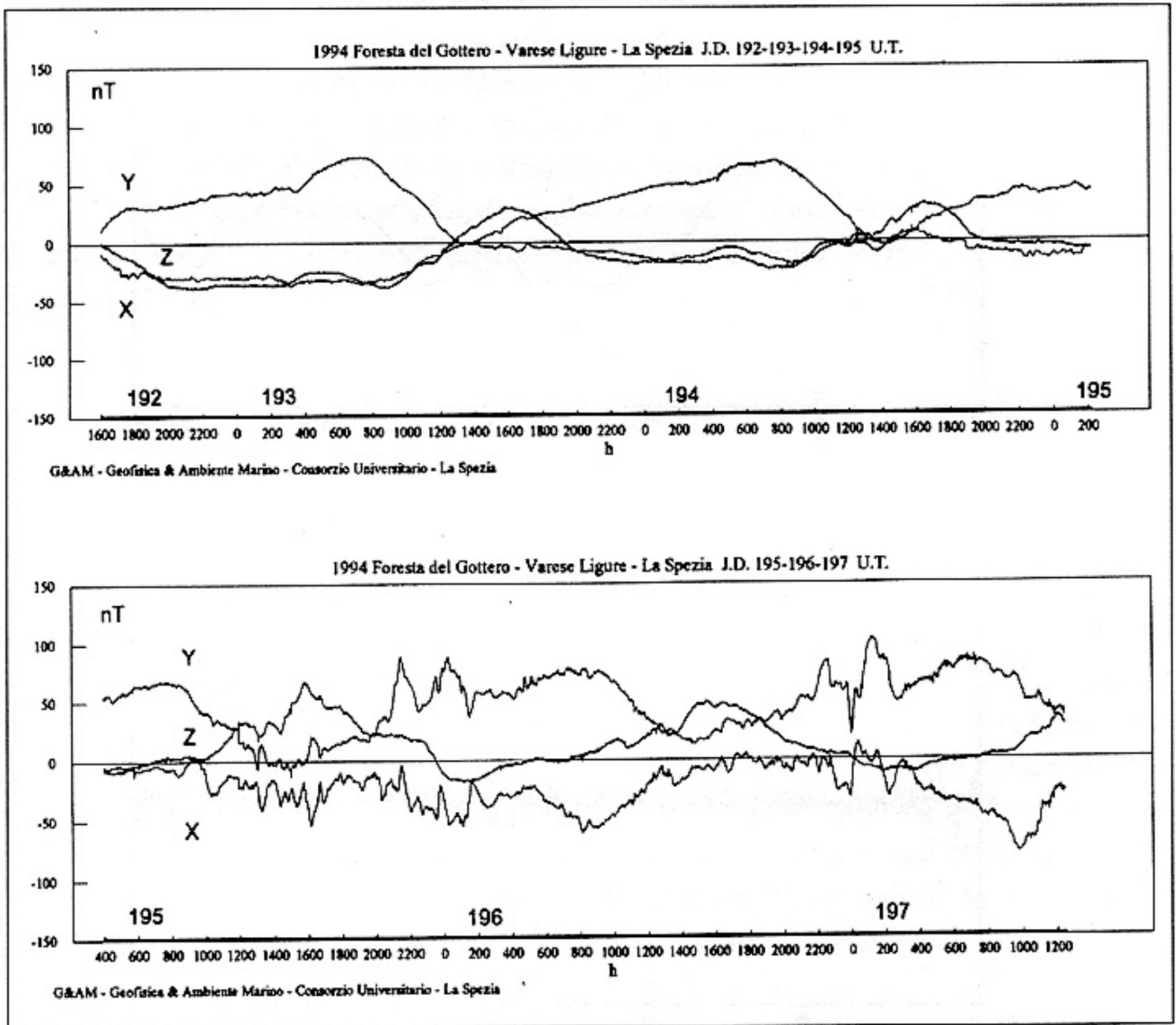


Fig. 5 - Magnetovariogramma delle componenti vettoriali X, Y, Z del CMT. Foresta del Gottero, 16.00 (UT) GG192.94:12.30(UT)GG197.94. Esempio di CMT calmo e di CMT perturbato per attività solare; tempo di inizio perturbazione 8.08(UT)GG195.94.

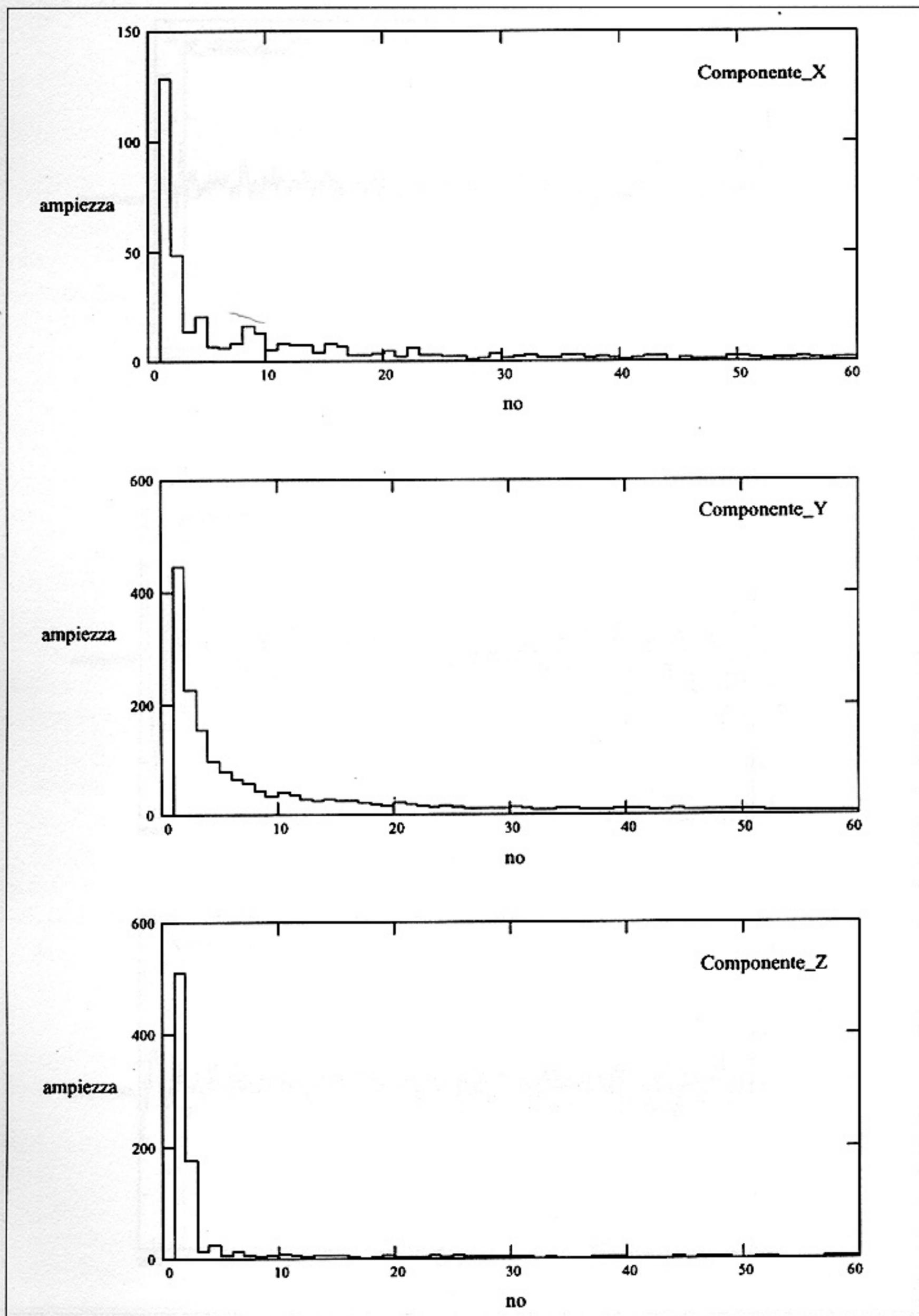


Fig. 6 - Spettro di ampiezza delle componenti geomagnetiche X, Y, Z. Periodo di calma 12.00(UT)GG193.94:12.00(UT)GG194.94.

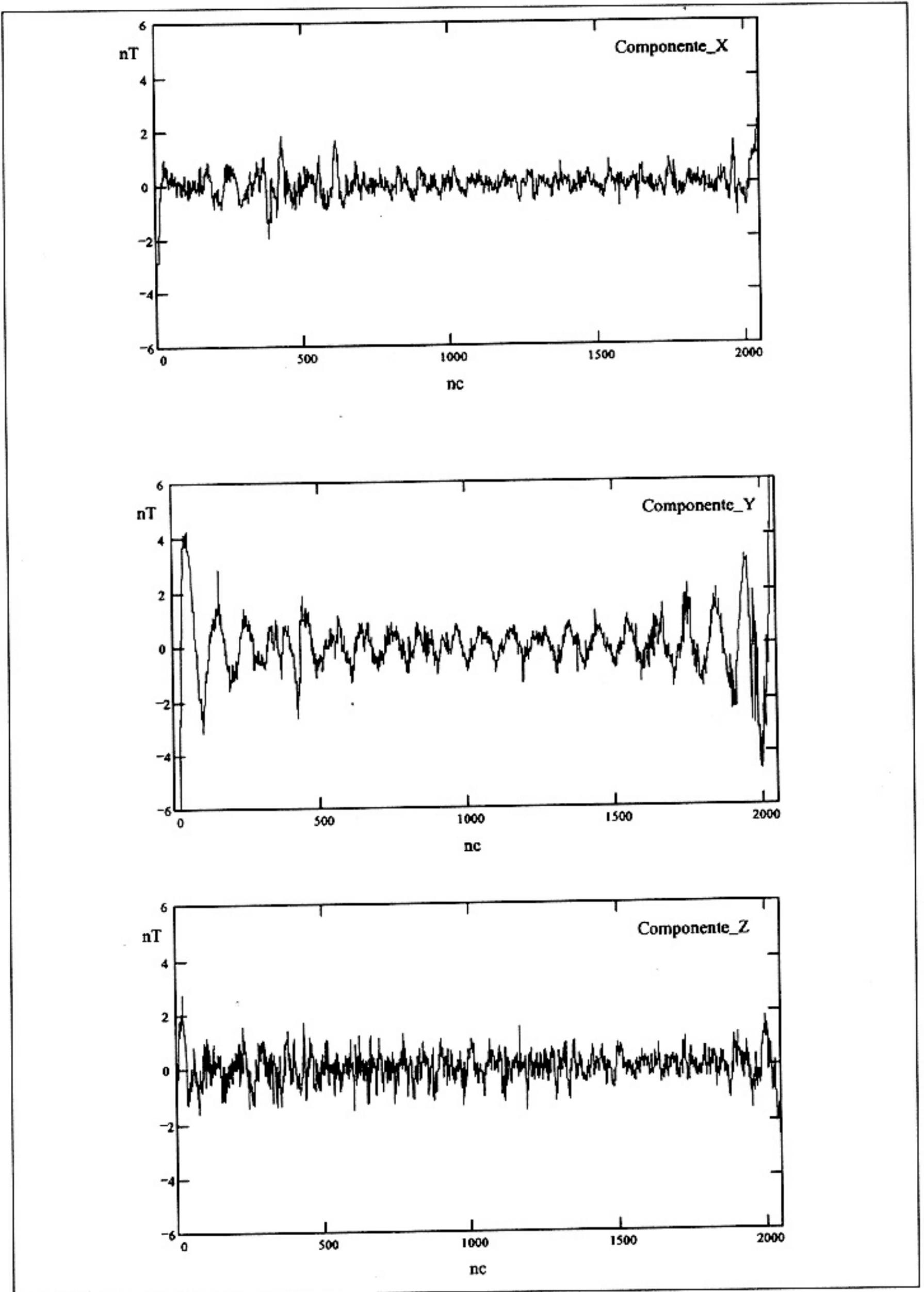


Fig. 7 - Disturbo di alta frequenza delle componenti geomagnetiche X, Y, Z. Periodo di calma del CMT 12.00(UT)GG193.94:12.00(UT)GG194.94. Foresta del Gottero.

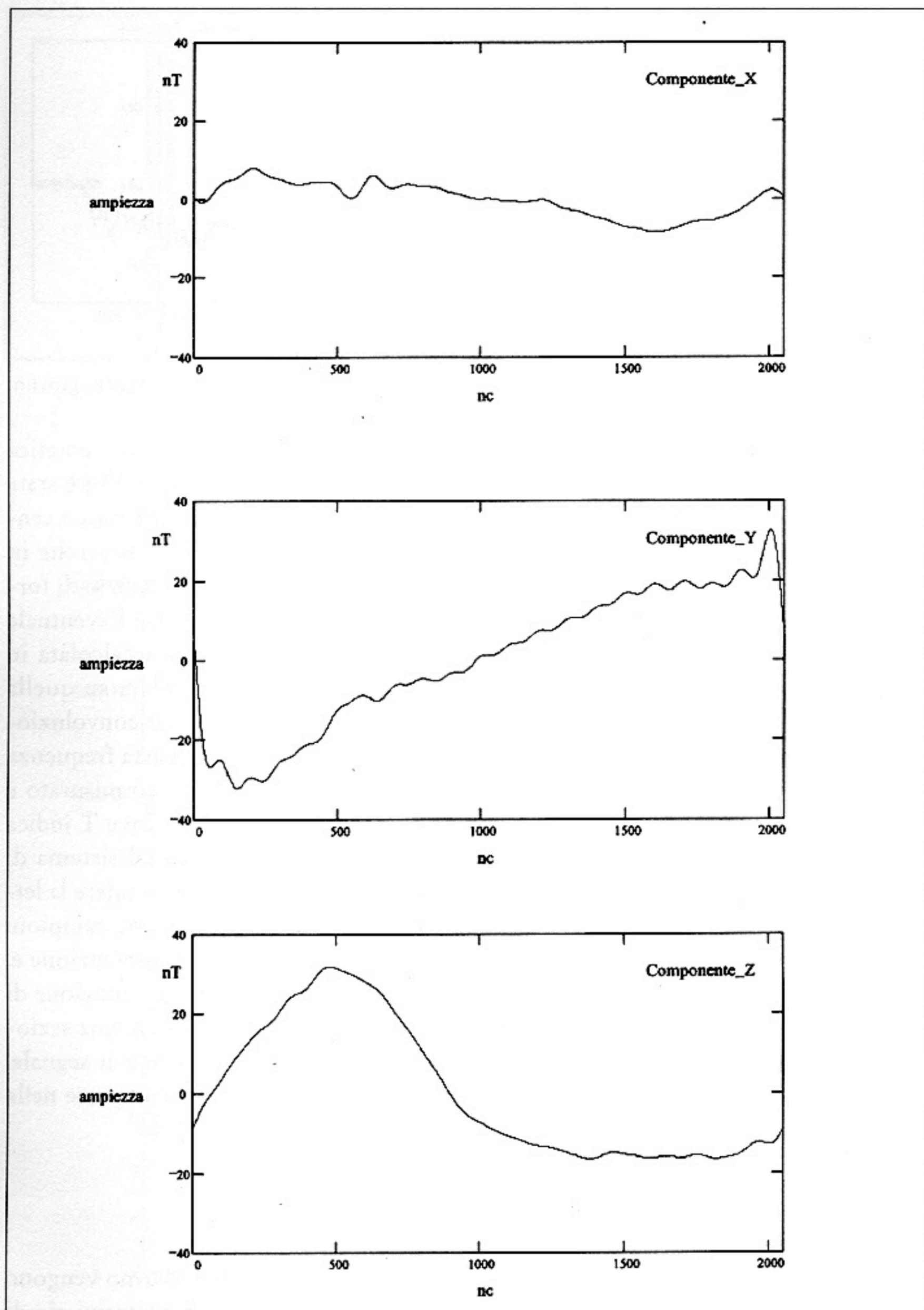


Fig. 8 - Banda di bassa frequenza di origine naturale delle componenti geomagnetiche X, Y, Z. Periodo di calma del CMT 12.00(UT)GG193.94:12.00(UT)GG194.94 Foresta del Gottero.

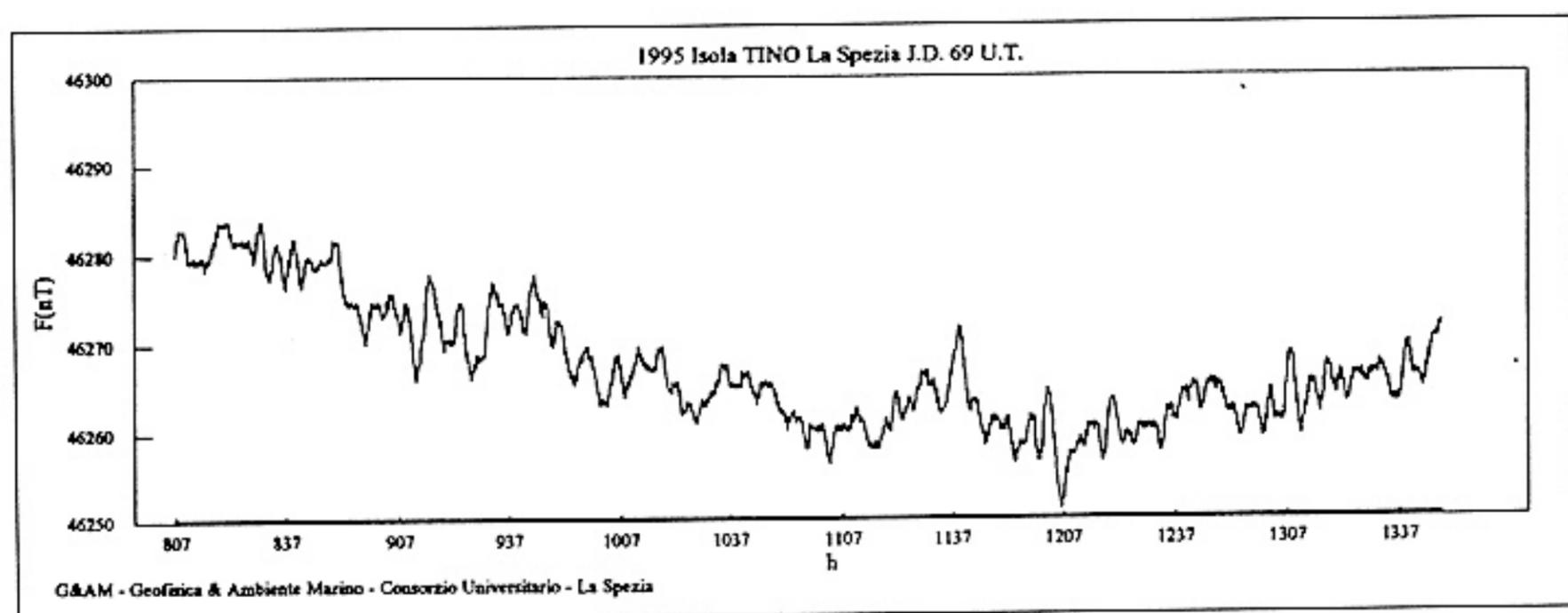


Fig. 9 - Magnetogramma dell'intensità totale del CMT. Spigolo di Mezzogiorno, 8.07(UT)GG69.95:13.37(UT)GG69.95.

aumenta l'autonomia di servizio e di un sistema numerico di ricostruzione sintetica della sezione di segnale perduto. La procedura di ricostruzione automatica è stata sperimentata nei magnetogrammi provenienti dall'osservatorio geomagnetico centrale della Stazione Baia Terra Nova del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide. L'obiettivo dell'algoritmo di ricostruzione sintetica non è quello di fornire valori di campo nel settore di caduta di segnale, ma di suturare l'eventuale interruzione della serie numerica misurata con una serie numerica calcolata in modo di minimizzare gli effetti spettrali della componente calcolata su quella misurata (FAGGIONI et al., 1991). La ricostruzione sintetica avviene per convoluzione di due funzioni di bande di frequenza differenti. La funzione di bassa frequenza è ottenuta in FFT per sottocampionamento del segnale geomagnetico misurato e digitalizzato utilizzando un intervallo di campionamento  $T + 2\Delta T$  dove  $T$  indica l'intervallo di caduta di segnale e  $\Delta T$  il passo di campionamento del sistema di acquisizione. La fase della funzione di sottocampionamento è tale da rendere la lettura della serie misurata opaca alla finestra di caduta di segnale estraendo campioni con intervallo  $T + 2\Delta T$  fino all'ultimo dato misurato precedente all'interruzione e, in sequenza, a partire dal primo dato misurato dopo l'interruzione. La funzione di alta frequenza è ottenuta, sempre in procedura di Fourier, estraendo da una sezione di magnetogramma immediatamente a monte del settore di caduta di segnale, lunga almeno due volte tale settore, tutte le armoniche elementari comprese nella banda  $\lambda(\min) = 2\Delta T, \Delta(\max) = T$  (OPPENHEIM et al., 1968).

### Risultati sperimentali

Dalla collezione dei dati dell'Istituto di Geofisica e Ambiente Marino vengono analizzati alcuni magnetogrammi e magnetovariogrammi rappresentativi sia di periodi di calma geomagnetica che di periodi a campo geomagnetico perturbato. Le registrazioni di campo non perturbato sono utilizzate per la valutazione della

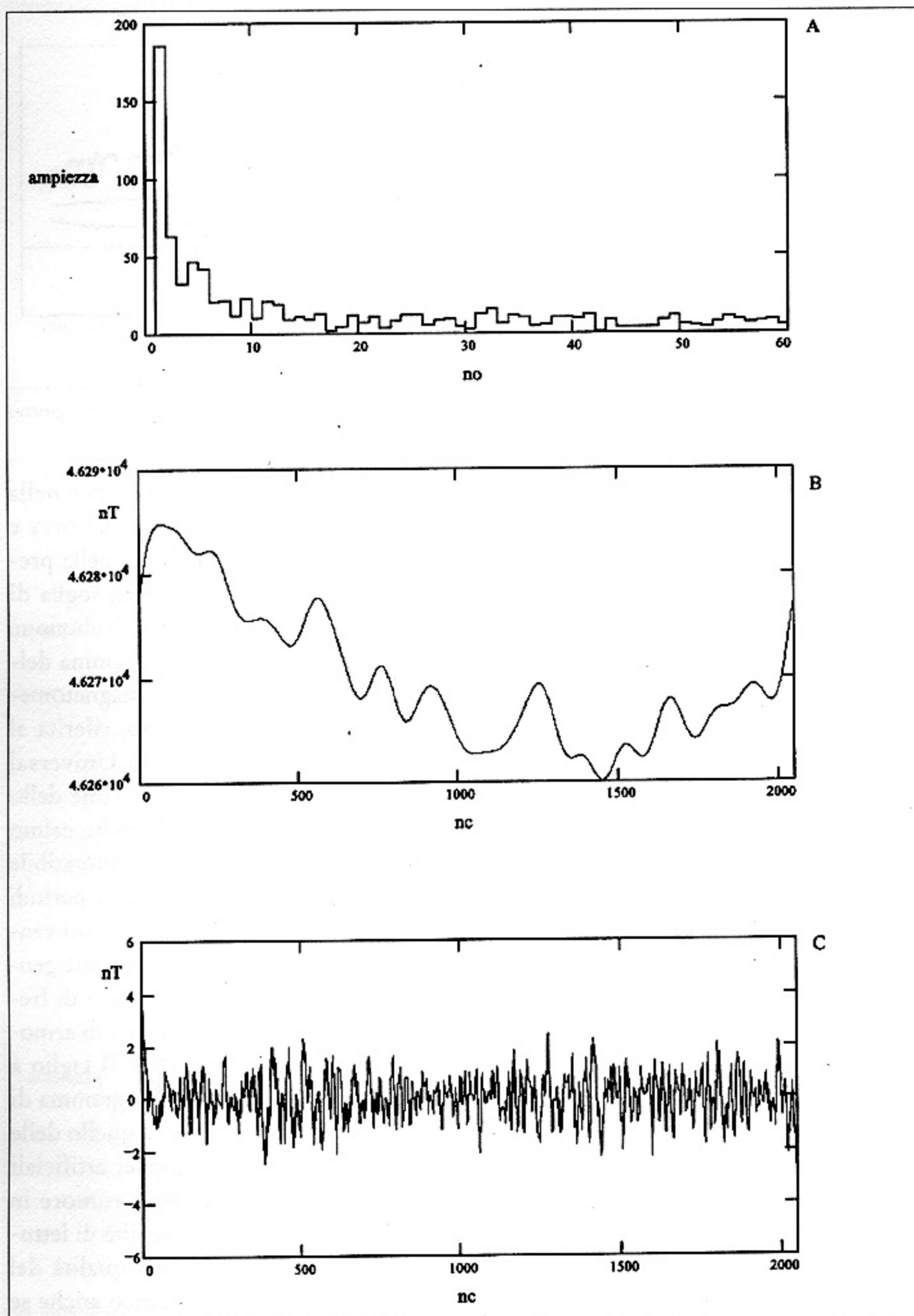


Fig. 10 - Spettro di ampiezza (A), banda di bassa frequenza (B) e rumore di alta frequenza (C) del magnetogramma. Spigolo di Mezzogiorno 8.07(UT)GG69.95:13.37(UT)GG69.95.

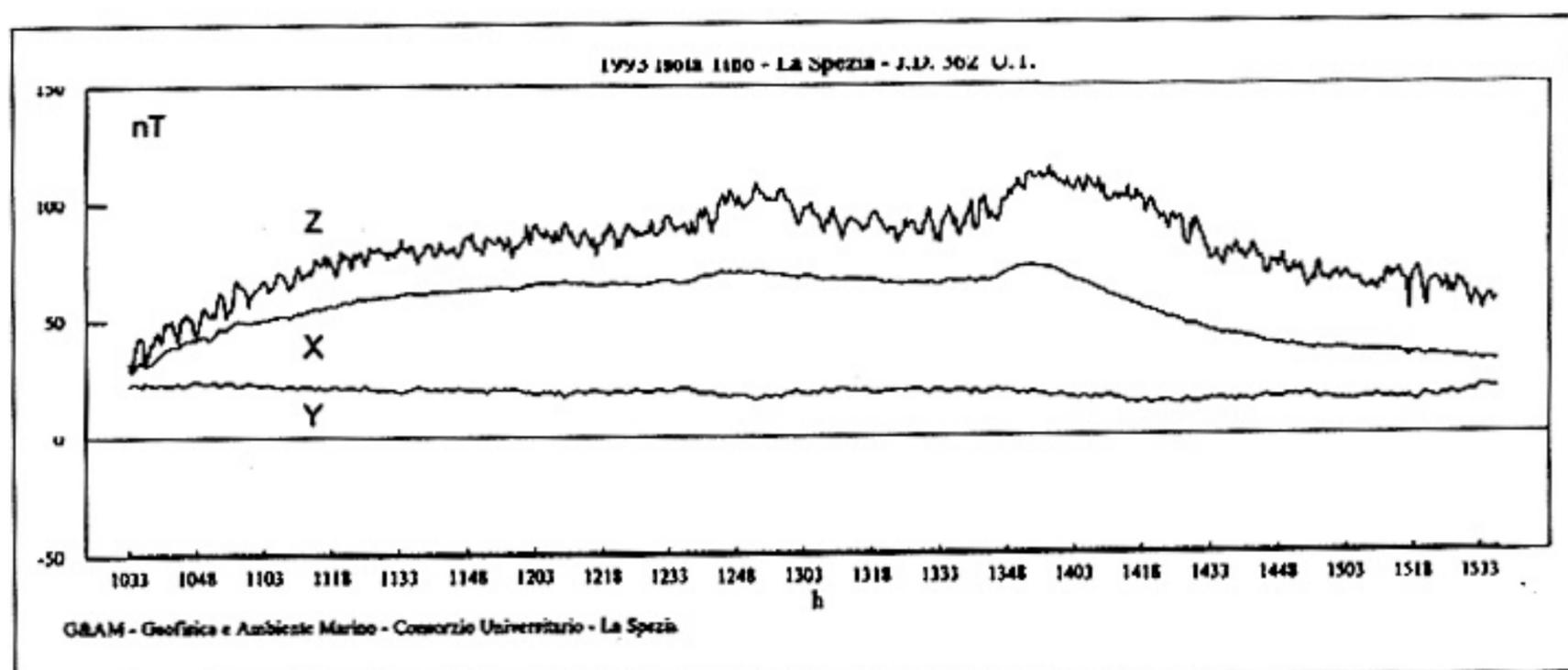


Fig. 11 - Magnetovariogramma delle componenti vettoriali, X, Y, Z, del CMT. Spigolo di Mezzogiorno 10.33(UT)GG362.93:15.33(UT)GG362.93.

soglia di disturbo artificiale per deconvoluzione in procedura di Fourier nella forma FFT del segnale di alta frequenza da quello di bassa frequenza (COOLEY e TURKEY, 1965). Tutti i magnetogrammi e magnetovariogrammi utilizzati nella presente nota, sia come esempi di registrazione che per la definizione della soglia di rumore magnetico artificiale, sono campionati con  $\Delta T=30$  s per una risoluzione spettrale di Nyquist di  $1,7 \cdot 10^2$  Hz. In figura 3 è riportato il magnetogramma dell'intensità totale F registrato presso il sito di Foresta del Gottero dal magnetometro a precessione di protoni ELSEC 820. La registrazione in oggetto, riferita al periodo 07,36(UT) GG102.95:12,36(UT)GG102.95 (dalle ore 07,36 Universal Time del Giorno Giuliano 102 dell'anno 1995 alle ore 12,36 Universal Time dello stesso giorno), mostra, nelle basse frequenze, un andamento del CMT molto calmo e, nelle alte frequenze, un disturbo abbastanza contenuto e comunque compatibile con gli studi geomagnetici variazionali di perturbazioni caratterizzate da periodi non inferiori ai 5 minuti primi e ampiezza superiore ai 5 nT. Tali osservazioni vengono confermate e meglio puntualizzate dallo studio in frequenza del segnale geomagnetico. Lo spettro di ampiezza calcolato in FFT, che risolve una banda di frequenza compresa fra  $1,7 \cdot 10^2$  Hz e  $6,5 \cdot 10^5$  Hz (fig. 4a), evidenzia due classi di armoniche distinte separate dalla componente di ordine 20 ( $f_z=1,3 \cdot 10^3$  Hz). Il taglio a tale frequenza e la FFT<sup>1</sup> delle due distinte bande producono il magnetogramma di bassa frequenza delle variazioni del CMT di origine naturale (fig. 4b) e quello delle alte frequenze tipico, nelle nostre zone, dei contributi elettromagnetici artificiali (fig. 4c). Il magnetogramma delle alte frequenze indica una soglia di rumore in generale contenuta al di sotto di  $\pm 1$  nT e quindi compatibile con la qualità di lettura dei magnetometri di standard scientifico. Analoghe risposte nella qualità del segnale vengono rilevate anche nelle misure di tipo magnetovariometrico anche se la soglia di rumore appare di intensità variabile in ragione della componente vettoriale considerata. In figura 5 è riportato il magnetovariogramma delle componenti

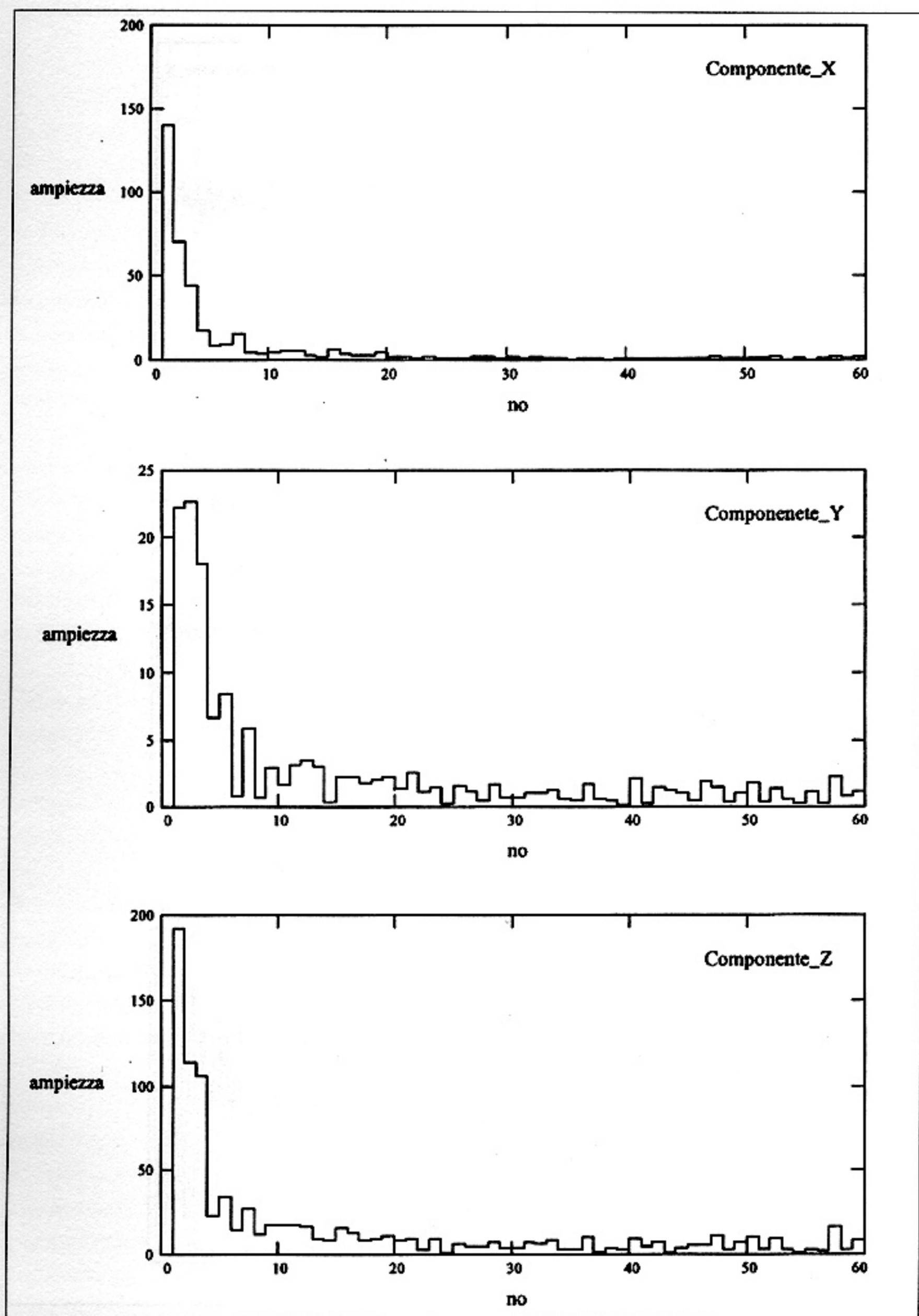


Fig. 12 - Spettro di ampiezza delle componenti X, Y, Z del CMT.  
 Periodo 10.33(UT)GG362.93:15(UT)GG362.93. Spigolo di Mezzogiorno.

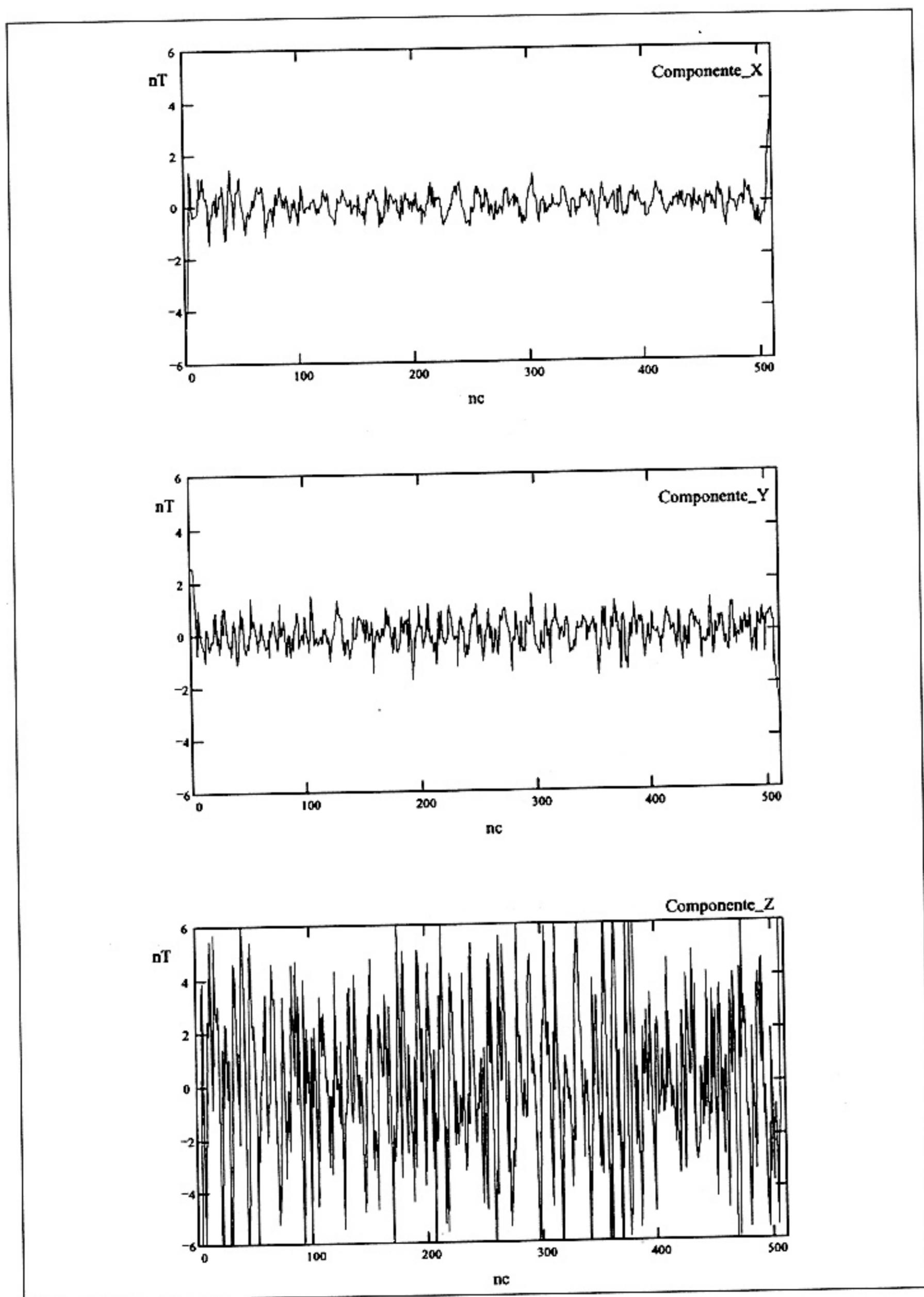


Fig. 13 - Disturbo di alta frequenza delle componenti geomagnetiche X, Y, Z. Periodo 10.33(UT)GG362.93:15.33(UT)GG362.93. Spigolo di Mezzogiorno.

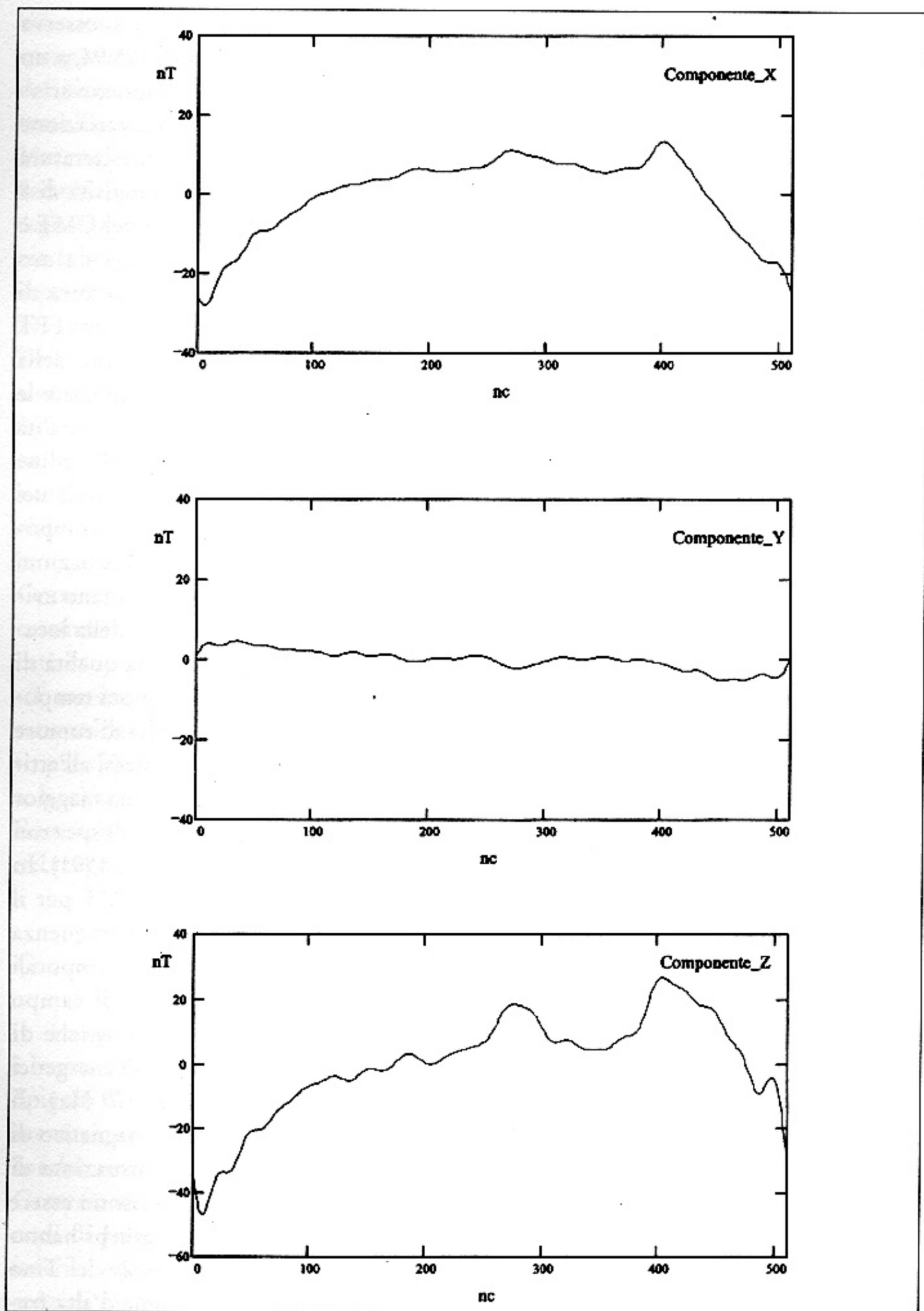


Fig. 14 - Banda di bassa frequenza di origine naturale delle componenti geomagnetiche X, Y, Z. Periodo 10.33(UT)GG362.93:15.33(UT)GG362.93. Spigolo di Mezzogiorno.

X, Y, Z del periodo 16.00(UT)GG192.94:12.30(UT)GG197.94 nel quale si osserva il passaggio da un periodo di campo calmo, fino alle ore 8,08(UT)GG195.94, a un periodo a campo perturbato di tipologia "tempesta magnetica". Nel magnetovariogramma della componente vettoriale X si nota, per tale tempo, la brusca variazione di campo che precede la tempesta magnetica. Tale variazione, nota in letteratura anglosassone come "sudden commencement" ha, nel caso presente, l'intensità di 8 nT (fig. 5). La valutazione del disturbo sulle tre componenti vettoriali del CMT è stata eseguita sui magnetovariogrammi del periodo di campo calmo 12.00(UT)GG193.94:12.00(UT)GG194.94 (fig. 5) utilizzando la procedura di deconvoluzione delle componenti di alta e bassa frequenza secondo la tecnica FFT con gli stessi parametri numerici di campionamento dell'analisi di rumore della misura assoluta scalare. Negli spettri d'ampiezza di fig. 6 a, b, c sono riportate le prime 60 componenti armoniche risolte nelle quali è distribuita la quasi totalità dell'energia dei segnali. La soglia di taglio corrispondente alla armonica di ordine 20 ( $3,2 \cdot 10^4$  Hz) individua componenti di alta frequenza di intensità contenuta nei termini di 1 nT per la componente Z (fig. 7c) e X (fig. 7a) mentre per la componente Y (fig. 7b) evidenziano un rumore leggermente più intenso e con fluttuazioni temporali in banda più larga. Nella banda a frequenza più bassa non risultano evidenti disturbi di tipo artificiale (fig. 8 a, b, c). L'ambiente geomagnetico della località Spigolo di Mezzogiorno - Isola del Tino, pur rimanendo entro una qualità di campo compatibile con la funzione di stazione di riferimento per riduzioni temporali di rilevamenti spaziali marittimi, appare caratterizzato da una soglia di rumore più intensa. Ciò è dovuto, da una parte, ai campi elettromagnetici connessi all'attività degli impianti elettrici di servizio del faro dell'isola e dall'altra, ad una maggior vicinanza al centro urbano della Spezia, agli impianti industriali e portuali spezzini e, in primo luogo, alla linea ferroviaria Genova - La Spezia (BERTI et al., 1991). In figura 9 è riportato il magnetogramma dell'intensità totale F del CMT per il periodo 8.07(UT)GG69.95:13.37(UT)GG69.95. Le fluttuazioni di alta frequenza del CMT, dovute all'attività umana, sono caratterizzate da fluttuazioni temporali di ampiezza superiore ai  $\pm 2$  nT, con un abbassamento della qualità di campo rispetto alla stazione di Foresta del Gottero di ordine 2. Tali caratteristiche di campo sono evidenziate dallo spettro di ampiezza che segnala contenuti energetici non trascurabili anche nelle armoniche di ordine superiore al 20 ( $1,5 \cdot 10^3$  Hz) di cui è riportata in grafico la banda d'ordine 20-60 (fig. 10a). Il campo magnetico di bassa frequenza (fig. 10b) mostra un andamento caratterizzato da fluttuazioni di compresa fra i 50 e 100 min e ampiezza compresa fra 4 e 7 nT che possono essere identificate come disturbi artificiali non strettamente locali. Tali disturbi hanno banda più bassa di quelli dovuti all'attività umana impiantata sull'Isola del Tino che sono caratterizzati dalle fluttuazioni di campo del magnetogramma d'alta frequenza del grafico di figura 10c. Questa capacità di lettura dei disturbi artificiali provenienti da sorgenti remote riveste una notevole importanza nel quadro delle

riduzioni temporali dei rilevamenti geomagnetici costieri di alta definizione del comprensorio marittimo dall'Arcipelago Toscano al Promontorio di Portofino. La definizione di tali disturbi ne permette infatti l'eliminazione, per confronto, su tutta l'area in oggetto. La situazione delle interferenze artificiali nel sito Spigolo di Mezzogiorno è chiarita in modo definitivo dall'analisi dei magnetovariogrammi vettoriali del periodo 10.33(UT)GG362.93:15.33(UT)GG362.93. La sezione di registrazione magnetovariometrica proposta, che corrisponde ad un periodo di inizio misura, risulta interessante anche dal punto di vista tecnico in quanto evidenzia il periodo di messa a regime dello strumento (fig. 11). Lo strumento entra in funzione alle ore 10,33 e registra una risalita di bassa frequenza delle componenti X e Z che si conclude alle 11,20 circa; tale effetto è dovuto alla compensazione progressiva della deriva termica strumentale che si conclude, per raggiunta temperatura interna di lavoro, alle ore 11,20, tempo di validazione effettiva di inizio registrazione. L'analisi spettrale dei magnetogrammi delle componenti vettoriali del CMT nel sito Spigolo di Mezzogiorno indica una polarizzazione verticale del disturbo artificiale. Le ampiezze delle componenti armoniche di ordine superiore al 20 delle componenti X e Y sono infatti dell'ordine di quelle registrate in Foresta del Gottero (fig. 12 a, b) mentre nello spettro della componente Z (fig. 12 c) sono marcatamente superiori. Nei magnetogrammi di alta frequenza, tale effetto è quantificato in un disturbo che, per le componenti X e Y (fig. 13 a, b), è compreso fra  $\pm 2$  nT mentre per la componente Z (fig. 13 c) è compreso fra  $\pm 7$  nT (in diagramma saturazione a  $\pm 6$  nT). Tale situazione conferma la validità del sito quale riferimento per riduzioni temporali scalari. Nei magnetogrammi di bassa frequenza (fig. 14 a, b, c) si conferma, specialmente nella componente Y, la tendenza al persistere di fluttuazioni di campo artificiali di origine non strettamente locali già evidenziate nel magnetogramma dell'intensità totale F.

### Conclusioni

La rete di osservazione del campo magnetico terrestre in provincia della Spezia è basata sulle stazioni di osservazione fisse di Foresta del Gottero - Varese Ligure e Spigolo di Mezzogiorno - Isola del Tino. Gli impianti sono equipaggiati con strumentazione scalare assoluta e vettoriale relativa. La caratterizzazione del rumore di fondo, eseguita per analisi di frequenza dei segnali registrati in Foresta del Gottero, indica la compatibilità della qualità di campo di questo sito con quella dei nodi di primo ordine della rete geomagnetica nazionale e quindi, la possibilità di inserire tale stazione nella rete stessa quale osservatorio per gli studi geomagnetici spaziali di vasta area. Tale qualità di campo permette anche lo studio variazionale di interazione geomagnetica Terra - Sole di bassa frequenza come, ad esempio, gli studi di classe GDS (Geomagnetic Deep Sounding) e la validazione operativa di

nuovi magnetometri sperimentali. Il sito di Spigolo di Mezzogiorno - Isola del Tino presenta una soglia di disturbo a polarizzazione verticale che, specialmente nella componente verticale Z, presenta una ampiezza più marcata. La stazione di Spigolo di Mezzogiorno appare in grado di leggere disturbi artificiali non strettamente locali (faro dell'isola), provenienti da attività umane varie decentrate rispetto all'osservatorio (urbanizzazione della Spezia, attività industriali, traffico portuale, linee ferroviarie elettrificate ecc.). Tali disturbi caratterizzano sicuramente anche l'ambiente geomagnetico marittimo costiero del Mar Ligure - Alto Tirreno e quindi il sito di Spigolo di Mezzogiorno si propone quale riferimento ideale per la riduzione temporale per confronto dei campi geomagnetici rilevati con mezzi navali in tale comprensorio. Ciò aumenta notevolmente la precisione delle misure geomagnetiche navali base delle ricerche geologico-minerario e ambientale in corso, e in progetto, nella zona.

### *Riassunto*

A supporto dell'attività di ricerca dell'Istituto di Geofisica e Ambiente Marino sono state impiantate nel comprensorio continentale e insulare della Provincia della Spezia, a partire dai primi anni '90, delle stazioni per la rilevazione delle variazioni temporali del campo magnetico terrestre (CMT). Nella presente nota sono indicate le località prescelte per l'impianto dell'osservatorio centrale e di quello periferico, le procedure e i risultati ottenuti nella caratterizzazione della soglia di rumore degli ambienti geomagnetici dei due siti, nonché le caratteristiche tecniche delle strumentazioni in attività presso tali strutture. L'osservatorio centrale (località Foresta del Gottero - Varese Ligure) mostra una qualità di campo compatibile con lo studio dei fenomeni variazionali geomagnetici di periodo superiore ai 5÷10 minuti. La stazione periferica (località Spigolo di Mezzogiorno - Isola del Tino), data la maggiore vicinanza al centro urbano e soprattutto alla linea ferroviaria, evidenzia una soglia di disturbo più elevata ma comunque compatibile con l'attività di stazione di riferimento per le riduzioni temporali dei rilevamenti geomagnetici marittimi del Mar Ligure Orientale - Alto Tirreno. Il livello di risoluzione del rumore magnetico artificiale di provenienza non strettamente locale rende la stazione di Spigolo di Mezzogiorno particolarmente idonea quale riferimento fisso per le riduzioni temporali dei rilevamenti geomagnetici marittimi del comprensorio Alto Tirreno - Mar Ligure Orientale.

### *Summary*

In the continental and insular territory of La Spezia, the Istituto di Geofisica e Ambiente Marino has established some measurement stations of geomagnetic time

variations (CMT). In this work we show the characteristics of the area selected for the central and peripheries geomagnetic observatories installation, the results obtained in the measure of the magnetic noise in the two areas and the technical characteristics of instruments used here.

The Central observatory (Foresta del Gottero - Varese Ligure) has a high geomagnetic field quality, sufficient for the study of geomagnetic variational phenomena of period superior to 5÷10 minutes. The peripheries observatory (Spigolo di Mezzogiorno - Tino Island) has a noise level higher than the central observatory because the area is near to the city and to railroad. The magnetograms of this station are used for the time reduction of the Ligurian Sea and High Tyrrhenian Sea geomagnetic surveys.

### BIBLIOGRAFIA

- ABBATE E., BORTOLOTTI V., PRINCIPI G. (1980) - *Appennine ophiolites: a peculiar oceanic crust*. Ofioliti, Special Issue.
- BERTI G., CANTINI P., CARRARA R., FAGGIONI O., PINNA E. (1991) - *Misure di Anomalie Magnetiche Artificiali*. Atti X Conv. Gr. Naz. Geof. Terra Solida. Roma, 809-814.
- BOZZO E., CANEVA G., CATTANEO M., FAGGIONI O., MELONI A. (1985) - *Anomalie delle variazioni geomagnetiche di origine lito-astenosferica nell'Italia Nord-Occidentale*. Atti IV Conv. Gr. Naz. Geof. Terra Solida, Roma, 911-923.
- BOZZO E., CORRADO G., ELENA A., FAGGIONI O., PINNA E. (1984) - *Magnetic anomalies and deep crustal structure along the Elba - Levanto - Ottone - Varzi Line*. Boll. Geof. Teor. Appl., 25, (101-102) 67-75.
- CANDIDI M. (1993) - *Interazioni Magnetosfera-Ionosfera*. Ann. Geofisica, 36, Suppl. 5-6, 11-19.
- CORTESOGNO L., GALBIATI B., PRINCIPI G. (1987) - *Note alla "Carta Geologica delle Ofioliti del Bracco" e ricostruzione della Paleogeografia Giurassico-Cretacica*. Ofioliti, 12 (2).
- COOLEY J.V. e TUKEY J.M. (1965) - *An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series*. Math. Comput., 91, 297-301.
- DECANDIA F.A. e ELTER P. (1972) - *La zona ofiolitifera del Bracco nel settore compreso tra Levanto e la Val Graveglia (Appennino Ligure)*. Mem. Soc. Geol. It., 11, 503-530.
- DE VUYST A. e DE MEYER F. (1973) - *Spectral Analysis of Geomagnetic Data from One Station (Dourbes 1960-1970)*. Institut R. Meteorol. Belgique Publ., Sen. A, 80.
- DE SANTIS A. (1993) - *Tempeste, Sottotempeste e Baie Magnetiche*. Ann. Geofisica, 36, Suppl. 5-6, 55-57.
- ELTER P. e PERTUSATI P.C. (1973) - *Considerazioni sul limite Alpi - Appennino e sulle relazioni con l'arco delle Alpi Occidentali*. Mem. Soc. Geol. It., 12, 359-375.
- ELTER P. (1975) - *L'Ensemble Ligure*. Bull. Soc. Geol. France, 17, 984-997.

- FAGGIONI O., PALANGIO P., PINNA E. (1991) - *Osservatorio Geomagnetico Stazione Baia Terra Nova: ricostruzione sintetica del Magnetogramma 01.00(UT)GG1.88:12.00(UT)GG18.88*. Atti X Conv. Naz. Geof. Terra Solida, Roma, 687-706.
- FAGGIONI O., CARMISCIANO C., CARRARA R., PINNA E. (1993) - *Sistema automatico di misura delle variazioni del campo geomagnetico per lunghi periodi di osservazione*. Atti XII Conv. Naz. Geof. Terra Solida, Roma, 885-892.
- FAGGIONI O., BEVERINI N., CARMISCIANO C. (in stampa) - *Geomagnetic time variations and high definition study of space magnetic effects induced by artificial submergesources*. Boll. Geof. Teor. Appl.
- MELONI A. e PALANGIO P., P. (1988) - *L'automazione degli osservatori geomagnetici nell'Istituto Nazionale di Geofisica*. Atti II Conv. Geomagnetismo e Aeronomia, Roma.
- MELONI A. (1993) - *La variazione secolare del Campo Geomagnetico*. Ann. Geofisica, 36, Suppl. 5-6, 41-54.
- MOLINA F. (1984) - *Il Campo Geomagnetico e le sue variazioni*. Atti I Conv. Geomagnetismo, Roma.
- OPPENHEIM A.W., SCHAFER R.W., STACKAM T.G.Jr. (1968) - *Nonlinear filtering of multiplied and convolved signals*. Proc. IEEE, 56 (8).
- PICCARDO G.B. (1983) - *Genesi delle ofioliti dell'Appennino settentrionale*. Mem. Soc. Geol. It., 25, 78-89.
- VILLANTE U. (1993) - *Vento Solare e Magnetosfera Terrestre*. Ann. Geofisica, 36 Suppl. 5-6, 1-10.

## APPENDICE

```

Program MEASURE (input:chan1..chan5,KBD);
const
  MIN_W=1;
  MAX_W=6;
  MIN_GG=1;
  MAX_GG=366;
  NULL_TIME='00:00';
  MIN_AREA=1;
  MAX_AREA=3;

type day = MIN_GG..MAX_GG;
type area = array [MIN_AREA..MAX_AREA] of real;

var
  VOLT,TEMPERATURE,YEAR: integer;
  ELAPSED_TIME,ACQ_TIME,COUNT_TIMER: timer;
  X,Y,Z: real;
  WEIGHT:array [MIN_W..MAX_W] of real;
  GIULIAN_DAY: day;
  X_AREA,Y_AREA,Z_AREA: area;

procedure INITIAL;
var
  COUNTER: integer;
begin
  Reset timer;
  read (KBD,ACQ_TIME);
  GetDate (GIULIAN_DAY,YEAR);
  for COUNTER=MIN_W to MAX_W do
    read (KBD,WEIGHT[COUNTER]);
end;

procedure READ_DATA(var X,Y,Z:real;var V,T:integer;var EL_TIME:timer);
begin
  Receive (chan1,X);
  Receive (chan2,Y);
  Receive (chan3,Z);
  Receive (chan4,V);
  Receive (chan5,T);
  GetTime (EL_TIME);
end;

procedure DATA_PROCESSING(X,Y,Z:real;varX_ZONE,Y_ZONE,Z_ZONE:area);
var
  COUNTER:integer;
begin
  for COUNTER=MIN_W to MAX_W do
    Lowpassfilter (X_ZONE,Y_ZONE,Z_ZONE,WEIGHT[COUNTER]);
end;

```

```
procedure DATA_TRANSFER (X_ZONE,Y_ZONE,Z_ZONE:area);
begin
  Average (X_ZONE);
  Average (Y_ZONE);
  Average (Z_ZONE);
  Move (X_ZONE);
  Move (Y_ZONE);
  Move (Z_ZONE);
end;

{ main program}

begin
INITIAL;
loop
  READ_DATA (X,Y,Z,VOLT,TEMPERATURE,ELAPSED_TIME);
  if ELAPSED_TIME=ACQ_TIME then
    begin
      DATA_TRANSFER (X_AREA,Y_AREA,Z_AREA);
      Reset (ELAPSED_TIME);
    end;
  GetTime(COUNT_TIMER);
  DATA_PROCESSING (X,Y,Z,X_AREA,Y_AREA,Z_AREA);
  if (COUNT_TIMER = NULL_TIME) then
    begin
      Move (GIULIAN_DAY);
      NextDay (GIULIAN_DAY);
    end;
end_loop
end.
```