

1 - Istituto di Misure e Sistemi Geofisici Integrati, Consorzio Universitario della Spezia

2 - Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa

3 - Dipartimento di Fisica, Università di Pisa

## SISTEMA AUTOMATICO DI MISURA DELLE VARIAZIONI DEL CAMPO GEOMAGNETICO PER LUNGHI PERIODI DI OSSERVAZIONE.

**RIASSUNTO:** Si presentano i risultati sperimentali ottenuti da un sistema automatico per la misura delle variazioni del campo geomagnetico costituito dall'integrazione di sottosistemi standard di calcolo e misura (AT486-EDA.FM100B, AT486-Elsec.820). L'integrazione è ottenuta per mezzo di una scheda multifunction I/O board (NI.AT-MIO-16) sostenuta da apposito software.

### AUTOMATIC MEASUREMENT SYSTEM OF GEOMAGNETIC VARIATIONS FOR LONG PERIOD OF OBSERVATIONS.

**ABSTRACT:** We show the experimental results obtained by an automatic system to measure earth magnetic field variations. The system is made for integration of calculus and measurement standard systems (AT486-EDA.FM100B, AT486-Elsec.820). The integration is made by means of multifunction I/O board (NI.AT-MIO-16) and specific software.

### INTRODUZIONE

Nell'attività di lunga durata di registrazione delle variazioni del campo geomagnetico, risultano fondamentali la disponibilità di una sufficiente quantità di memoria di massa e la possibilità di accedere al dato in tempo reale (Palangio P. & G.Romeo, 1988). Quando il sistema di misura è chiamato ad operare in automatico per lunghi periodi, ad esempio, utilizzando strumentazione assoluta, per lo studio della fenomenologia geomagnetica di origine interna (Meloni A., 1993) o perché sito in zone impervie, risulta altresì di primaria importanza la sua capacità di segnalare i settori temporali di malfunzionamento ed ovviare a detti malfunzionamenti. Il sistema di misura in oggetto opera in ambiente LabWINDOWS su microprocessore Intel 486 preposto alla gestione ed al controllo dell'attività di registrazione di un magnetovariometro flux-gate EDA FM100B (apparato sensoriale FMX-126) attraverso l'impegno di una scheda multifunction I/O board che permette l'acquisizione del segnale proveniente da FM100B. L'ambiente geomagnetico italiano risulta essere caratterizzato, a livello del suolo, da soglie di rumore artificiale che difficilmente risultano compatibili con le misure geomagnetiche a causa delle attività produttive, degli echi elettromagnetici propri delle zone urbanizzate e, soprattutto, dalla presenza della rete ferroviaria elettrificata che, fatta salva la sola Sardegna, è presente su tutto il territorio nazionale (Palangio et Al., 1991). La non semplice ricerca di siti idonei all'impianto di stazioni di misura del campo geomagnetico si orienta quindi inevitabilmente su zone molto decentrate, impervie, non facilmente raggiungibili. Risulta quindi di notevole interesse, per limitare la presenza di operatori in campagna, poter disporre di sistemi di rilevamento il più possibile autonomi e in grado di fornire il loro servizio

per periodi lunghi (Meloni A. & P.Palangio, 1988). La presente nota descrive le soluzioni tecniche adottate ed i risultati sperimentali ottenuti nell'automatizzazione di una stazione permanente di rilevamento variometrico delle componenti vettoriali X,Y,Z del campo geomagnetico. La stazione in oggetto, situata in località "Passo della Cappelletta" Comune di Varese Ligure (SP), alimentata da batterie sostenute da pannelli solari, è attualmente predisposta per operare in completa autonomia energetica per giorni 150.

## IL SISTEMA DI MISURA E REGISTRAZIONE

Il sistema di rilevazione magnetovariometrico (Fig. 1) di tipo fluxgate e' alloggiato in un prefabbricato in legno coibentato a pannelli di polistirolo. Nella sua configurazione tradizionale, comprende un'unità di rilevamento EDA FMX-126 costituita da tre sensori a saturazione magnetica, indipendenti, a montaggio ortogonale (tale unita' comprende dispositivi per l'orientamento ed allineamento e un termistore per la compensazione degli effetti termici sul segnale), e una console elettronica FM-100B per l'alimentazione dei sensori, la calibrazione ed il monitoraggio dei livelli del segnale, sia durante il setting dei livelli di riferimento, sia durante la rilevazione. In questa unità risiedono l'oscillatore Doubler, gli amplificatori e le reti di retroazione.

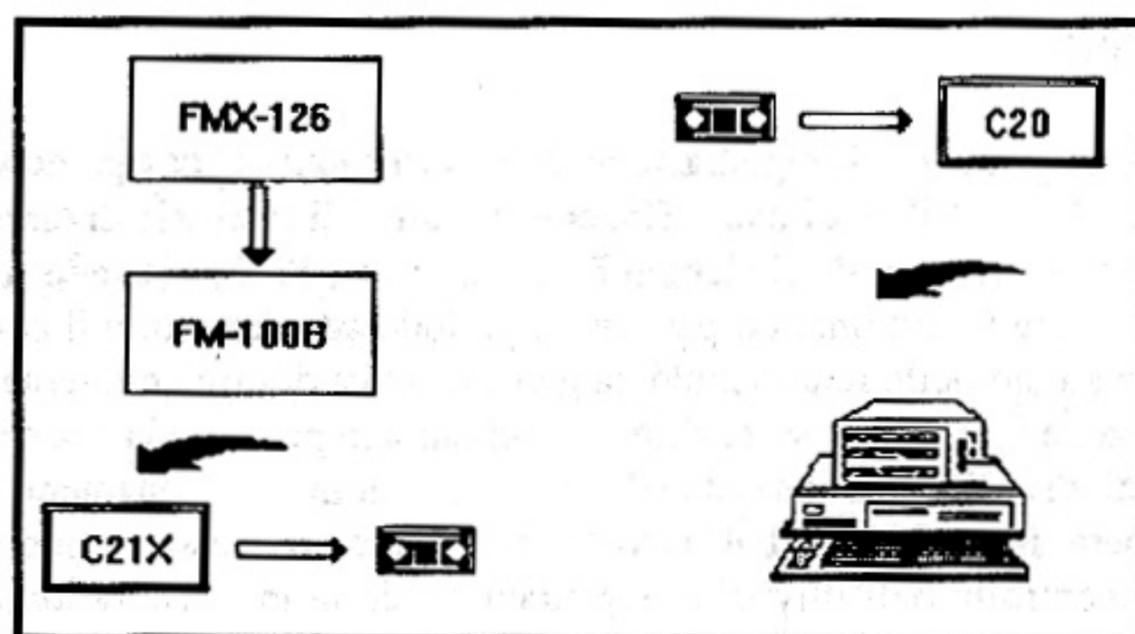


Fig1. - Sistema di misura magnetovariometrico flux gate e dispositivo di registrazione standard

L'output del sistema è costituito da tre tensioni analogiche variabili in un range di  $\pm 10V$  con una risoluzione di 0.4 nT ed una sensibilità di 100 nT/V. Nella configurazione base questa stazione è gestita da un micrologger C21X (Campbell Scientific Inc.) che fornisce la conversione A/D dei segnali acquisiti, con una frequenza di 256 misure single ended al secondo. Il micrologger è inoltre in grado di effettuare un trattamento numerico sui dati acquisiti, basato

su una procedura residente di tipo filtro passa-basso. Detta procedura, che opera su un insieme definito di dati, esegue un filtro passa-basso numerico ricorsivo del primo ordine descritto dall'algoritmo seguente :

$$F[x_i] = w \cdot x_i + F[x_{(i-1)}] \cdot (1 - w)$$

dove  $x_i$  costituisce il dato della misura in corso,  $w$  è un peso limitato ( $0 < w < 1$ ) introdotto dall'utente ed  $F[X_{(i-1)}]$  rappresenta l'output calcolato sulla base delle misure precedenti. Per valori di  $w < 0.25$ , la corrispondente frequenza di taglio è rappresentata da  $w/(2\pi T)$  dove  $T$  è il tempo di campionamento espresso in secondi.

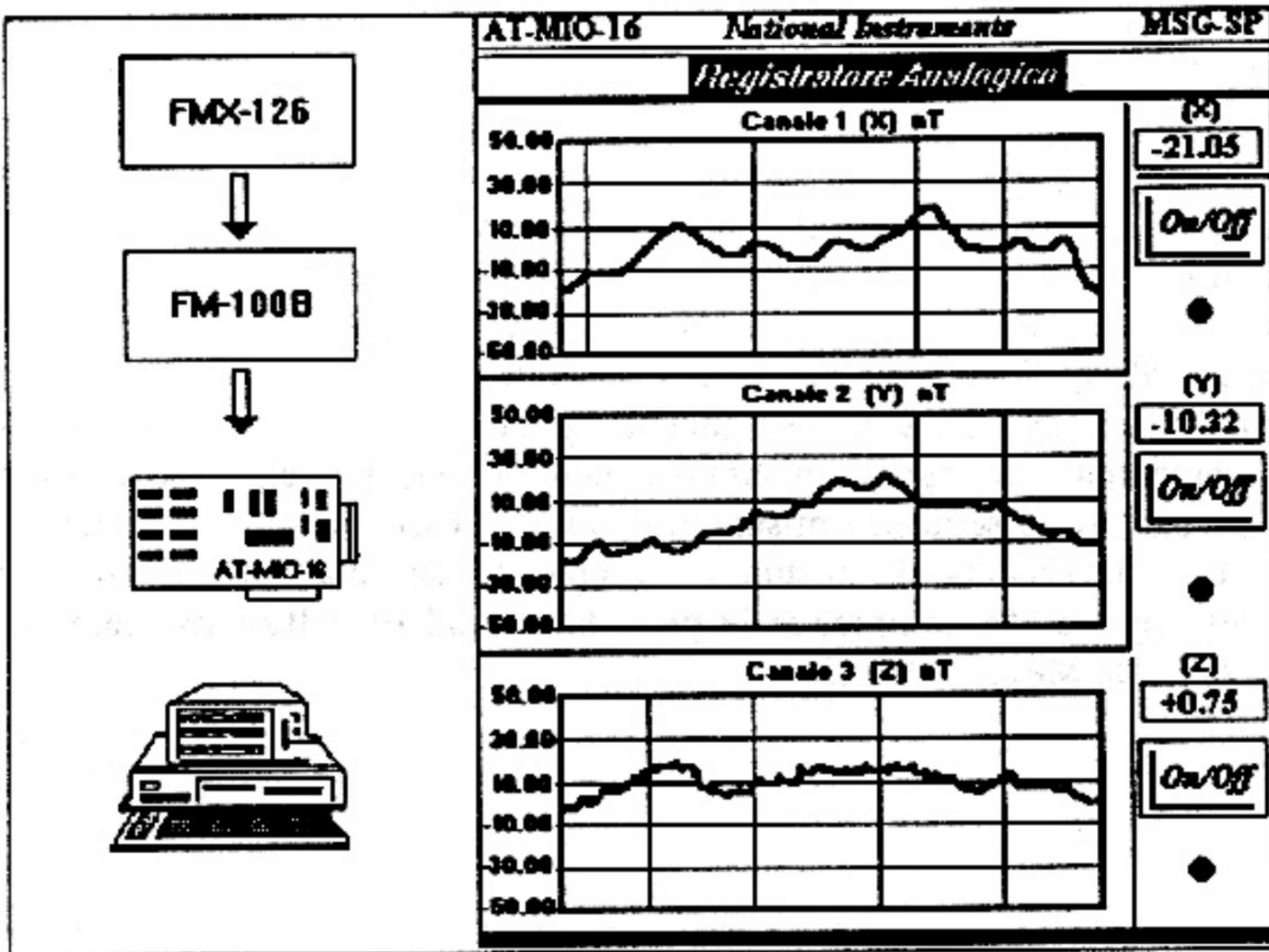


Fig. 2 - Integrazione del sistema di misura magnetovariometrico flux gate con personal computer AT486/AT-MIO-16 e output grafici in real time.

Dal C21X i dati trattati vengono trasferiti, in formato binario codificato, con un DTR di 100 dati al secondo su di un registratore a nastro. A valle del sistema, e dopo interruzione della sequenza misura-registrazione, i dati memorizzati su nastro vengono trasferiti su AT-486 per mezzo di un decoder tipo C20. In questa configurazione il sistema di misura è vincolato alla durata del nastro di registrazione, che è comunque di periodo inferiore a quello richiesto, alla scarsa

affidabilità del sistema di registrazione stesso e al trasferimento manuale del nastro registrato dal registratore al decoder e quindi al calcolatore. Il passaggio non automatico fra il dato registrato su nastro magnetico ed il decoder rappresenta il vincolo più limitante per la qualità operativa del sistema. Questo punto critico è stato superato sostituendo l'intero apparato di digitalizzazione, registrazione ed elaborazione con una scheda multifunction I/O board della National Instruments tipo AT-MIO-16 (Fig. 2). La scheda è un sottosistema hardware che consente l'acquisizione di 16 canali analogici d'ingresso in configurazione single-ended con un sampling rate di 100 KHz e comprende un convertitore A/D a 12 bit che, con selezione di amplificatori a guadagno contenuto consente una risoluzione  $4.88 \mu\text{V}$ .

La scheda AT-MIO-16 viene gestita in ambiente LabWINDOWS dove è possibile, attraverso le librerie User Interface, ottenere rappresentazioni grafiche (magnetogrammi) in tempo reale. L'ambiente operativo LW, essendo dotato di librerie di analisi numerica dei segnali (DSP), consente inoltre una completa capacità d'intervento numerico sul segnale. L'applicazione dei filtri, a differenza di quanto avviene nel sistema di misura tradizionale che procede alla registrazione solo a valle del filtro, non è più distruttiva rispetto al segnale in quanto il dato acquisito dal magnetometro, se ciò è necessario, può essere registrato sia nella forma precedente che in quella conseguente all'operazione di filtraggio. La disponibilità dell'area di calcolo di AT486 permette inoltre una completa capacità di intervento numerico sul segnale. La sezione di elaborazione, specifica per stazioni automatiche, esegue la verifica di continuità del segnale. In caso di caduta di segnale il sistema procede automaticamente alla segnalazione del periodo di malfunzionamento e si predispone per l'attivazione opzionale della procedura di ricostruzione sintetica della sezione mancante minimizzando la distorsione spettrale indotta dai completamenti analitici delle serie numeriche misurate (Faggioni O. et Al., 1991). Vengono inoltre segnalati i periodi delle sezioni di magnetogramma calcolati e la stabilità della misura intesa come percentuale di segnale misurato rispetto al segnale registrato al fine di rendere chiara la differenza fra le sequenze misurate, di valenza osservazionale, e quelle calcolate di valenza statistica. Il sistema di misura è completato da una sezione di interpretazione preliminare del segnale che comprende le procedure standard dell'analisi numerica geofisica (De Vuyst A. & F. De Meyer., 1973).

## RISULTATI SPERIMENTALI

Il sistema di rilevamento e registrazione basato su AT-MIO-16 è stato sperimentato presso la stazione di rilevamento di Passo della Cappelletta (SP) per un periodo di prova di 51 giorni (dal GG 276 '93 al GG 326 '93). Il campo geomagnetico presso questo sito ha una soglia di rumore non irrilevante nella componente X e, soprattutto, nella componente Z che risente dell'azione elettromagnetica della linea ferroviaria Pisa-La Spezia-Genova distante in linea d'aria intorno ai 13 Km ma è comunque idoneo quale sito sperimentale di valutazione del sistema di misura (Fig. 4).

L'uso di AT-MIO-16 ed il conseguente accesso alle librerie DSP, ha permesso di eseguire un efficace contrasto numerico non distruttivo del rumore magnetico dell'area. Per esempio è interessante osservare, nel magnetogramma del GG 301 '93, l'andamento della variazione di X

fra le ore 11.43 UT e le ore 13.49 UT. In questo periodo si verifica una interessante variazione anomala locale (Bozzo E. et Al., 1985) del campo, connessa probabilmente ad attivita' di tipo *D* contribuito *DS* (De Santis A., 1993) che appare quasi del tutto mascherata dal rumore anche dopo l'applicazione del filtro ricorsivo (1), (Fig. 3A).

L'uso di un filtro FFT passa basso sui dati acquisiti nello stesso periodo, reso possibile da AT-MIO-16, ha permesso di evidenziare, in modo non distruttivo, ed in tempo reale, il segnale geomagnetico anomalo (Fig. 3B) e di inviarlo alla registrazione come tale. L'accesso al segnale geomagnetico registrato e' ottenuto per mezzo di una routine residente sul sistema che visualizza in funzione del tempo di misura il magnetogramma delle componenti X,Y,Z ed il valore numerico rilevato sia per la registrazione corrente che per periodi pregressi.

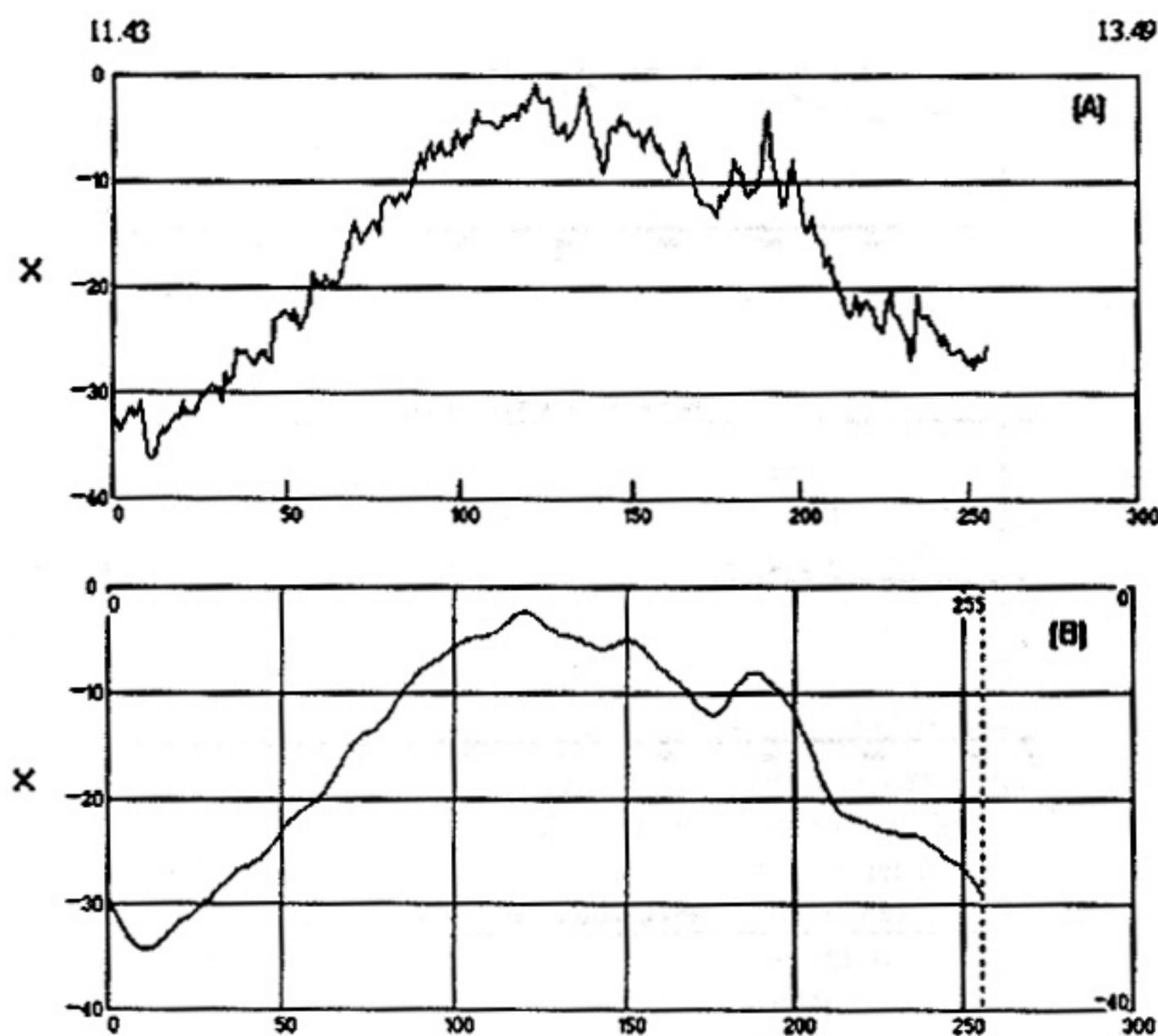


Fig. 3 - Magnetovariogramma della componente X del campo osservato in localita' Passo della Cappelletta (SP) (A) e della stessa componente filtrata LP.FFT cf  $.22E-2$  [Hz] (B). In  $x$  N° campioni con  $\Delta x=30$ [s],  $t_i=11$  43(UT),  $t_f=13$  49(UT), GG30193.

In figura 3 sono mostrati i "magnetogrammi di campagna", cioè le risposte grafiche che si possono ottenere già in sede di misura ed in tempo reale mentre un esempio dello standard d'osservatorio del sistema in oggetto, ottenibile con l'impiego di un plotter, e' riportato in figura 4. I magnetogrammi di figura 4 rappresentano le registrazioni delle variazioni di X, Y, Z eseguite dalle ore 11.24 UT alle ore 15.24 UT del GG 301 '93 presso il Passo della Cappelletta. I dati in oggetto sono filtrati con il passa basso ricorsivo standard (1) eseguito in modo automatico dal sistema AT-MIO-16-AT486 che in quel periodo di ricezione era in perfetta emulazione del sistema standard micrologger C21X - registratore a nastro - convertitore C20 - AT486.

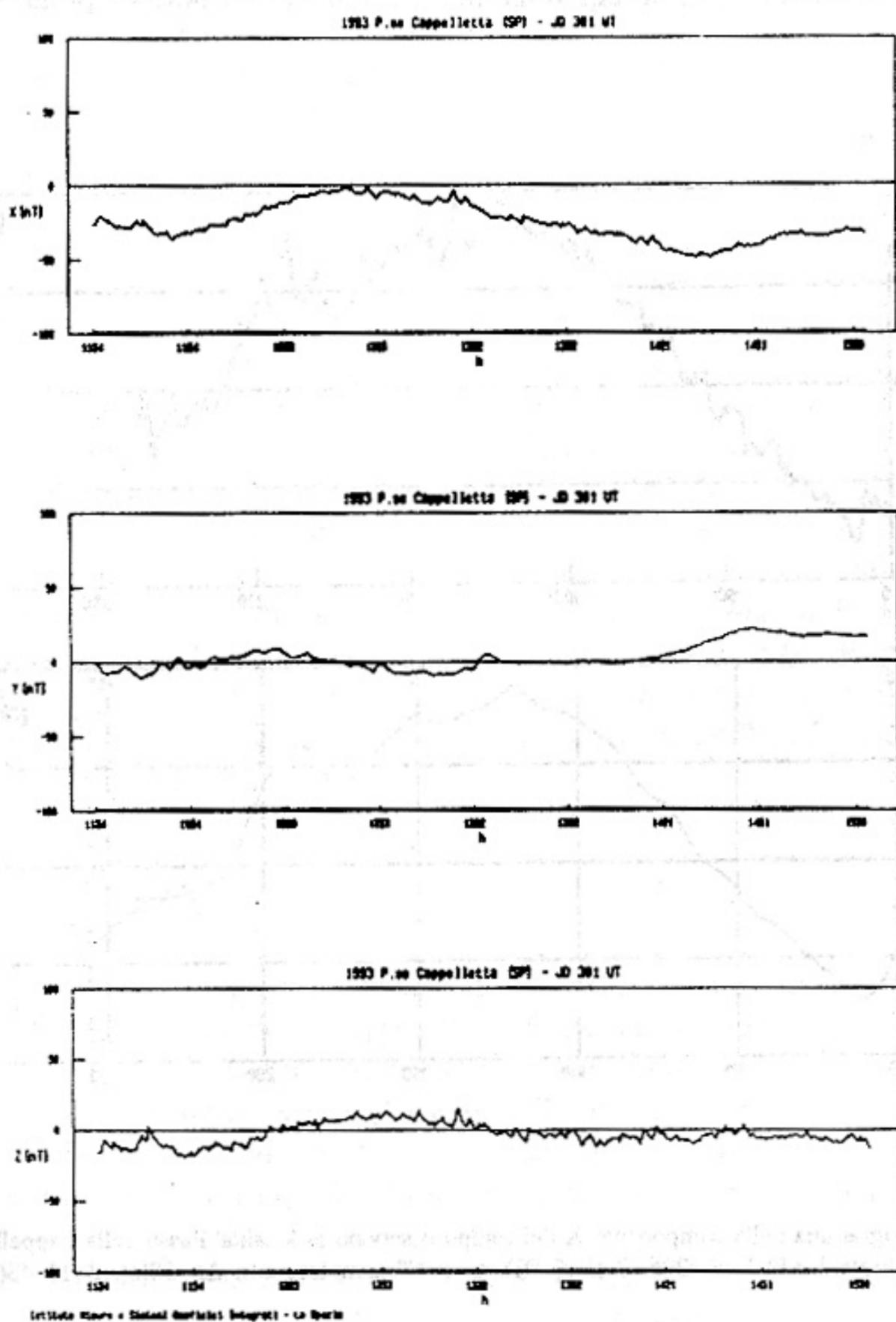


Fig.4 - Magnetovariogrammi X, Y, Z, registrati presso la stazione fissa di Passo della Cappelletta (SP).

Il sistema nella configurazione completamente automatica e' stato utilizzato anche nella stazione marittima di riferimento (Spigolo di Mezzogiorno- Faro Isola del Tino) usata per le riduzioni temporali dei rilevamenti geomagnetici marittimi nell'area della Liguria orientale, (Fig. 5).

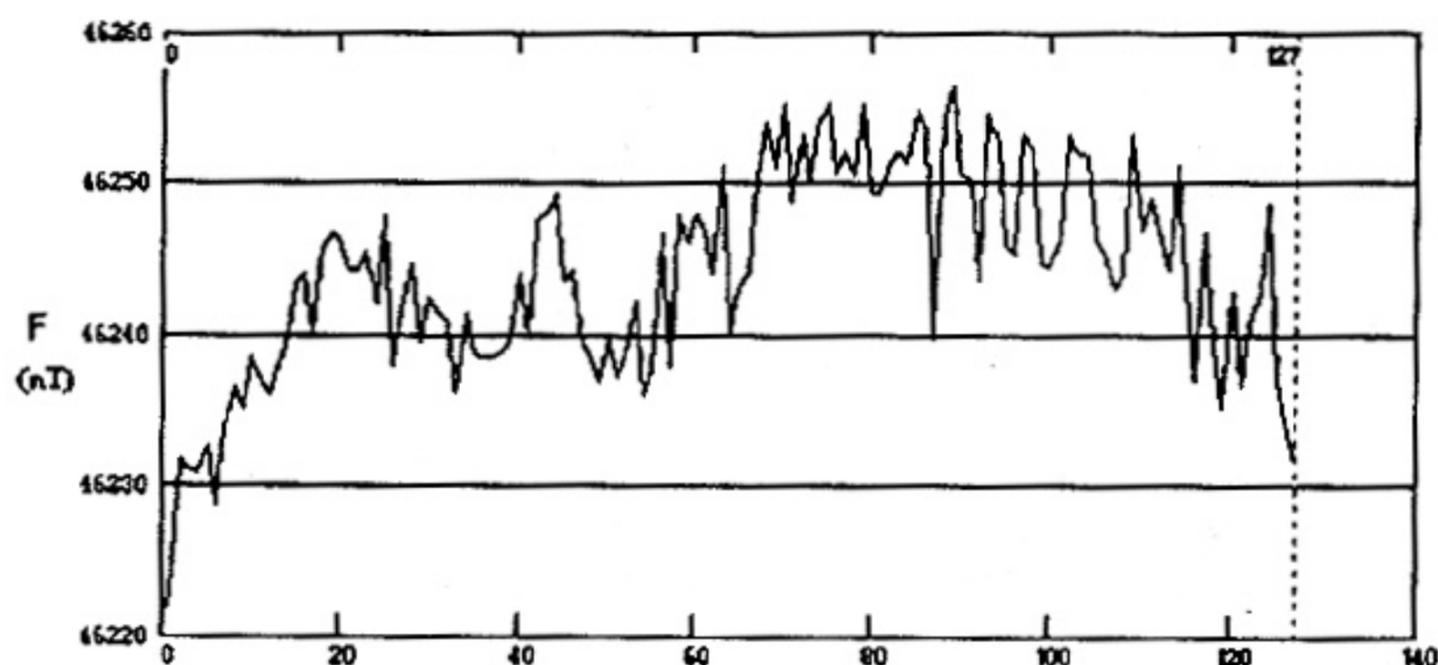


Fig. 5 - Magnetogramma dell'intensita' totale F del cmt osservato presso la stazione mobile Spigolo di Mezzogiorno - Faro Isola del Tino (SP). X N°campioni  $\Delta=120[s]$ ,  $t_i=09\ 05$  (UT),  $t_f=13\ 19$  (UT), GG76'94; Y F[nT].

Nel caso riportato il sottosistema di gestione automatica della misura era asservito ad un magnetometro a precessione di protoni di tipo Elsec 820 (Meloni A. et Al., 1993). L'esempio proposto e' il magnetogramma dell'intensita' totale F del campo geomagnetico acquisito con passo di campionatura 30 s e restituito con intertempo 120 s. (GG76'94 dalle 09 05 alle 13 19).

## CONCLUSIONI

Il sistema automatico basato su AT-MIO-16 e' stato sperimentato per un periodo complessivo di 59 giorni (51 presso la stazione magnetovariometrica sperimentale del Passo della Cappelletta di Varese Ligure e 8 presso la stazione geomagnetica di Spigolo di Mezzogiorno - Faro Isola del Tino). Durante il periodo di misura magnetovariometrico (dal GG 276 '93 al GG 326 '93) sono stati acquisiti dati ininterrotti su quattro canali (X,Y,Z,T) con passo di campionatura 30 s, elaborati e restituiti alla registrazione con intertempo di 60 s per un totale di circa 2.5 Mbyte (HD) di memoria senza necessita' di assistenza diretta da parte di operatori. Analogamente in localita' Spigolo di Mezzogiorno il sistema ha registrato su due canali (F,T) dal GG 83 '94 al GG 90 '94 registrando con intertempo 120 s per un impegno di memoria HD di circa 0.1 Mbyte. Nella precedente versione operativa il sistema di misura, per gli stessi periodi di osservazione, avrebbe richiesto tre o quattro interventi per lo scarico dei dati registrati su nastro magnetico.

Testo controllato da Antonio Meloni.

## BIBLIOGRAFIA:

Bozzo E., G.Caneva, M.Cattaneo, O.Faggioni, A. Meloni; *Anomalie delle Variazioni di Origine Lito-Astenosferica nell'Italia Nord-Occidentale*; Atti IV Conv. Naz. Geof. Terra Solida; pgs 911-923; Roma 29-31 Ottobre 1985.

De Santis A, (1993); *Tempeste, Sottotempeste, e Baie Magnetiche*; Atti del Conv. "Geomagnetismo e Magnetotellurica" - L'Aquila 15-17 Maggio 1991; Annali di Geofisica Volume XXXVI, Suppl. N 5-6.

De Vuyst A., De Meyer F., (1973); *Spectral Analysis of Geomagnetic Data from One Station (Dourbes 1960-1970)*; Institut Royal Meteorologique de Belgica; Publ., A, N° 80, pg 32.

Faggioni O., P.Palangio, E.Pinna; *Osservatorio Geomagnetico Stazione Baia Terra Nova: Ricostruzione Sintetica del Magnetogramma 01.00(UT)GG1.88:12.00(UT)GG18.88*; Atti X Conv. Geof. Terra Solida; pgs 687-706; Roma 6-8 Novembre 1991.

Meloni A., (1993); *La Variazione Secolare del Campo Geomagnetico*; Atti del Conv. "Geomagnetismo e Magnetotellurica" - L'Aquila 15-17 Maggio 1991; Annali di Geofisica Volume XXXVI, Suppl. N 5-6.

Meloni A., F.Molina, P.Palangio, Q.Taccetti, A.De Santis, (1984); *Automatic Digital Recording of Geomagnetic Elements by Means of a Proton Precession Magnetometer*; Geoph. Surveys. 6, 339-350.

Meloni A., P.Palangio; *L'automazione degli Osservatori Geomagnetici nell'Istituto Nazionale di Geofisica*; Atti II Conv. Geomagnetismo e Aeronomia; pgs 429-446; Roma 18-20 Ottobre 1988.

Palangio P., M.Marchetti, L.Di Diego; *Rumore Elettromagnetico Prodotto dalle Ferrovie Elettrificate. Effetti sulle Misure Magnetotelluriche e Geomagnetiche*; Atti X Conv. Gr. Naz. Geof. Terra Solida; pgs 745-760; Roma 6-8 Novembre 1991.

Palangio P., G.Romeo; *Stazione Magnetometrica da Impiegare in Ambiente Antartico*; Atti II Conv. Geomagnetismo e Aeronomia; pgs 417-428; Roma 18-20 Ottobre 1988.