

Analisi qualitativa dei dati  
*Intermagnet 2010* di L'Aquila

# Quaderni di Geofisica

# 100



# Quaderni di Geofisica

## **Direttore**

Enzo Boschi

## **Editorial Board**

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Simona Masina (BO)

Mario Mattia (CT)

Nicola Pagliuca (RM1)

Umberto Sciacca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

## **Segreteria di Redazione**

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it

# **Analisi qualitativa dei dati *Intermagnet* 2010 di L'Aquila**

## **Qualitative analysis of data Intermagnet 2010 of L'Aquila**

Manuele Di Persio, Cesidio Gizzi

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Geomagnetismo, Aeronomia e Geofisica Ambientale - Osservatorio Geofisico di L'Aquila)

# Analisi qualitativa dei dati *Intermagnet 2010 di L'Aquila*

Lo scopo di un Osservatorio non è solo quello di fornire dati ma di garantirne la validità e la continuità in modo tale che essi possano essere utilizzati per ricerche scientifiche. Il fine è quello di permettere a tutti i ricercatori di poter sviluppare una propria linea di studio. Negli ultimi anni si è sviluppato un largo interesse verso i dati geomagnetici, soprattutto per la ricerca di precursori sismici. La continuità dei dati è necessaria per poter studiare fenomeni fisici su più scale temporali e la loro attendibilità è indispensabile per poter avere una accurata rappresentazione del fenomeno in esame. Dati inficiati da rumore potrebbero fuorviare il ricercatore, evidenziando anomalie inesistenti o nascondendo effetti reali. In questo lavoro si vuole affrontare una semplice analisi qualitativa sui dati acquisiti presso l'Osservatorio Geomagnetico di L'Aquila nell'anno 2010, evidenziando i problemi riscontrati nell'acquisizione ed illustrando la procedura seguita per cercare di individuarne e correggerne la causa. Riteniamo che tale approccio possa rivelarsi utile non solo per chi elabora i dati di osservatori magnetici ma anche per gli utenti finali dei dati.

*The purpose of an observatory is not only to provide data but also to ensure their validity and continuity in order that they could be used for scientific researches. In recent years there has been a growing interest towards geomagnetic data, especially for seismic precursors research. The continuity of data is necessary to be able to study physical phenomena on many time scales and their reliability is needed to be able to have an accurate representation of the phenomenon under investigation. Data affected by noise could mislead the researcher, showing anomalies that do not exist or hiding real effects. In this paper we want to show a simple qualitative analysis of data acquired at L'Aquila Observatory during 2010, highlighting criticalities observed in the acquisition system and describing the procedure used to identify and correct their cause. We believe that this approach will be useful not only for people involved in the elaboration of data from magnetic observatories, but also for the data final users.*

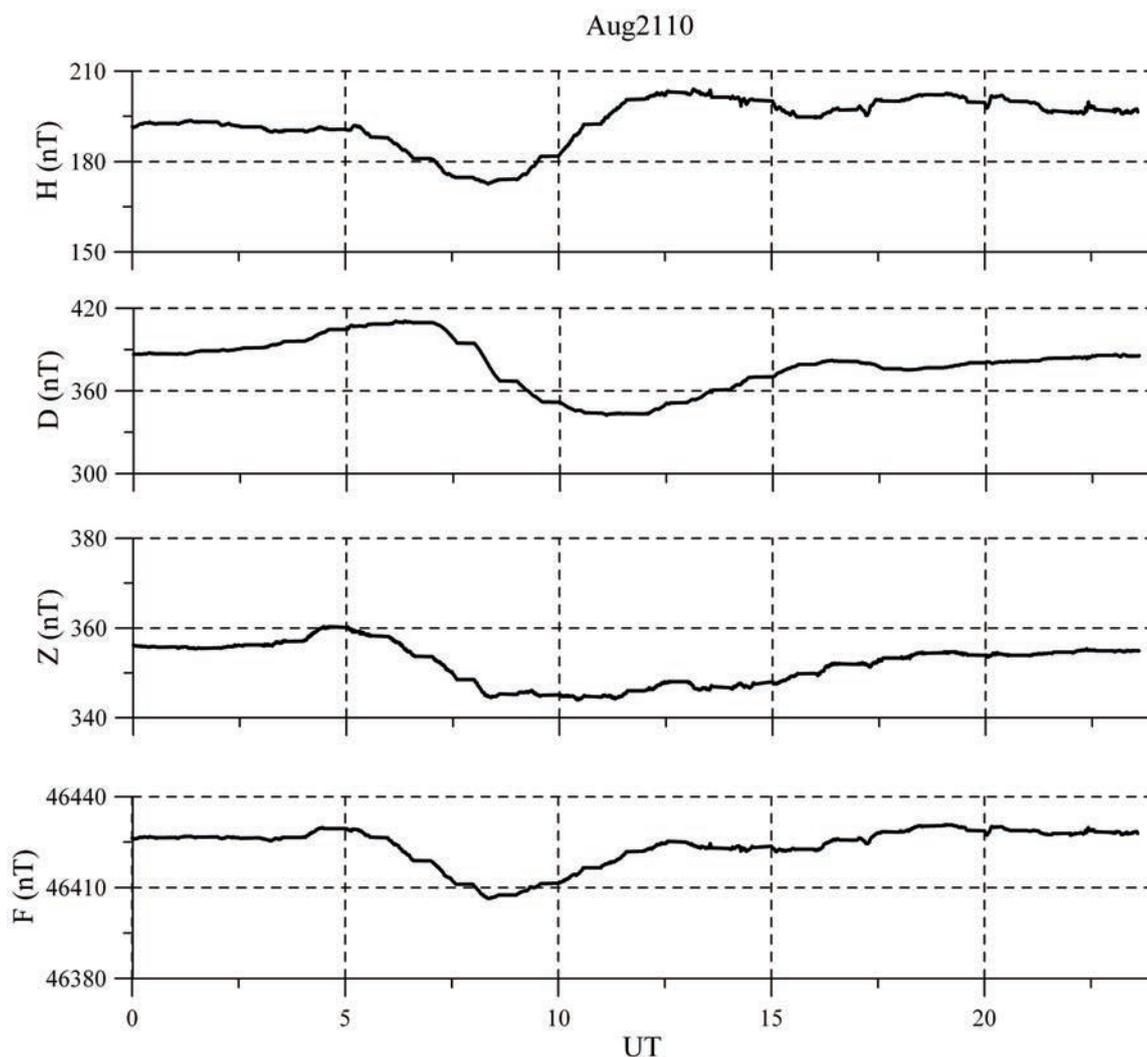
## Introduzione

L'osservatorio geomagnetico di L'Aquila (loc. Preturo, 42° 23' N-13° 19' E-682m s.l.m.), nato nel 1958, è stato inserito nella rete mondiale degli osservatori nel 1960 e dal 2000 fa parte della rete mondiale *Intermagnet* (*INTERNational Real-time MAGnetic Observatory NETWORK*). Negli anni altre attività di monitoraggio hanno affiancato il sistema *Intermagnet* ponendo gli osservatori magnetici al centro dell'interesse mondiale. Per poter far parte di una rete come quella di *Intermagnet* è necessario garantire la qualità (continuità ed attendibilità) dei dati e assicurare la funzionalità e l'affidabilità del sistema di acquisizione del dato magnetico e, a tale scopo, non si può trascendere dal controllo periodico dell'osservatorio. Per garantire la continuità dei dati l'utilizzo di sistemi di riserva in tempo reale ha permesso di non perdere neppure una singola misura inoltre, sistemi di alimentazione alternativi a 12V

con batterie tampone hanno consentito di supplire egregiamente alla saltuaria mancanza di alimentazione principale a 220 V. Tuttavia, la continuità dei dati non è sufficiente a garantire che essi possano essere utilizzabili dalla comunità scientifica per lo studio dei fenomeni fisici che coinvolgono il campo magnetico terrestre e, come mostreremo, anche la loro analisi qualitativa volta a verificarne l'attendibilità riveste un ruolo di fondamentale importanza.

## 1. Il sistema variografico di L'Aquila

Lo scopo di un osservatorio geomagnetico è quello di fornire dati validi e continui di alcune grandezze che caratterizzano il campo magnetico terrestre per lo studio di fenomeni fisici ad esso legati. In questo lavoro si vuol mostrare un'analisi qualitativa eseguita sui dati magnetici registrati presso



**Figura 1** Andamenti variografici delle componenti H, D e Z e campo magnetico totale F registrati il 21 Agosto 2010.  
**Figure 1** Variographic diagrams of H, D and Z components and of total magnetic field F recorded on August 21 2010.

L'Osservatorio Geomagnetico di L'Aquila durante l'anno 2010 destinati alla rete *Intermagnet* allo scopo di verificare la funzionalità e l'affidabilità del sistema di acquisizione.

Avere semplicemente un grafico come quello di Figura 1 oppure il relativo listato di dati rende poco l'idea di quanto essi siano attendibili pur riscontrando analogie con i dati di altri osservatori. Quindi, per un primo approccio, fornire un insieme di grafici è utile ma sicuramente fornire dati validi e veritieri è la cosa fondamentale. La procedura di verifica permette di evidenziare eventuali anomalie sui dati. Prima di tutto possiamo fare un piccolo riassunto sulla procedura classica della prima elaborazione dei dati per comprendere meglio come si ricava il dato magnetico e poi possiamo vedere come assicurarci della loro validità.

Il campo magnetico terrestre è un campo vettoriale le cui linee di forza possono essere rappresentate come un vettore generalmente indicato con F. La Figura 2 mostra un sistema

di riferimento cartesiano, centrato sul punto di osservazione, che permette la descrizione degli elementi strutturali del campo magnetico che sono i seguenti:

- F: vettore campo magnetico totale.
- X: componente orizzontale diretta lungo il Nord Geografico.
- Y: componente orizzontale diretta lungo l'Est Geografico.
- Z: componente verticale diretta verso il centro della Terra.
- H: componente orizzontale diretta lungo il meridiano magnetico.
- D: angolo di declinazione magnetica sul piano orizzontale.
- I: angolo di inclinazione magnetica sul piano verticale passante per il meridiano magnetico.

I punti cardine di un osservatorio della rete *Intermagnet* sono: il sistema variografico e le misure assolute. Il sistema variografico è composto da un magnetometro assoluto *Overhauser* e da

un magnetometro triassiale di tipo *fluxgate* che danno rispettivamente il modulo del vettore campo magnetico totale e le componenti variografiche, che sono variazioni rispetto ad un valore iniziale di zero, denominate HDZ oppure XYZ secondo il sistema di riferimento adottato. In particolare a L'Aquila è adottato da sempre il sistema HDZ e a questo faremo riferimento. Al sistema variografico, che è automatico, sono affiancate delle misure eseguite manualmente. Tali misure sono denominate misure assolute e sono realizzate con un DIM (*Declination and Inclination Magnetometer*), che è un teodolite sul cui binocolo è montato un singolo sensore variografico a simmetria cilindrica. La misura assoluta è una procedura con la quale si ricavano gli angoli di Inclinazione e di Declinazione del vettore campo magnetico totale  $F$ . Gli schemi di Figura 3 riassumono la procedura standard di validazione dei dati. Dai due magnetometri ricaviamo la componente totale del campo, indicata con  $F_A$ , e le variazioni delle componenti, indicate con  $H_V$ ,  $D_V$  e  $Z_V$ . Tale procedura è eseguita considerando i valori

di campo acquisiti dagli strumenti nei minuti che occorrono per eseguire la misura assoluta. Da questi dati con semplici passaggi matematici si ricavano le cosiddette basi di H, D e Z, valori che ci si aspetta restino costanti nel tempo. Sommando le basi ai valori variografici del *fluxgate* si ottengono i valori assoluti delle componenti, indicati con  $H_A$ ,  $D_A$  e  $Z_A$ . La condizione di buon funzionamento di un osservatorio è evidenziata da un andamento costante delle basi. Supponendo che questo requisito sia soddisfatto, come si può sapere se i valori delle componenti così ottenuti sono attendibili? Un aiuto viene dalla stima del valore della quantità  $\Delta F$  definita come la differenza tra il valore assoluto di  $F$  fornito dall'Overhauser ed il valore di  $F$  ricostruito dalle componenti come , che possiamo indicare come  $F_V$ . Di tale differenza si calcola un valore al minuto ottenendone 565600 valori nell'arco dell'intero anno. Se le componenti del campo ottenute sono giuste allora il  $\Delta F$ , che rappresenta il parametro di riferimento per la qualità dei dati acquisiti, sarà uguale a zero.

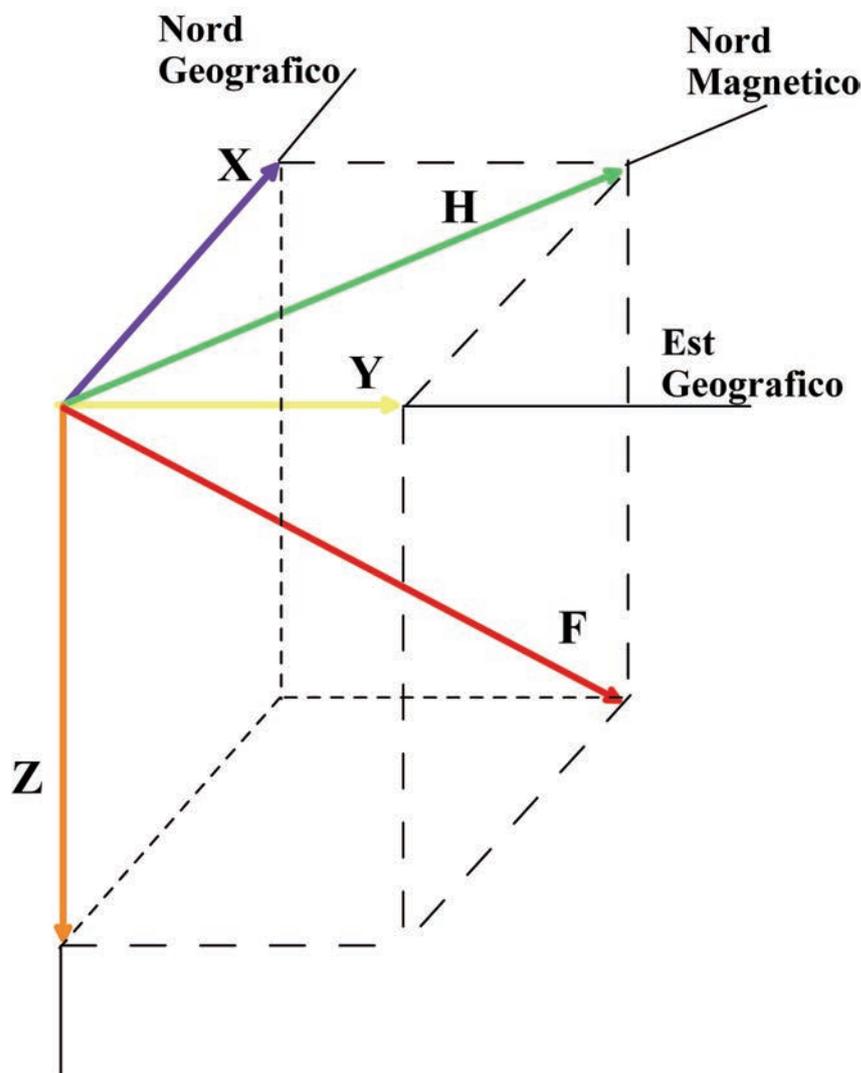


Figura 2 Elementi fondamentali del campo magnetico della Terra.  
Figure 2 Fundamental elements of the Earth's magnetic field.

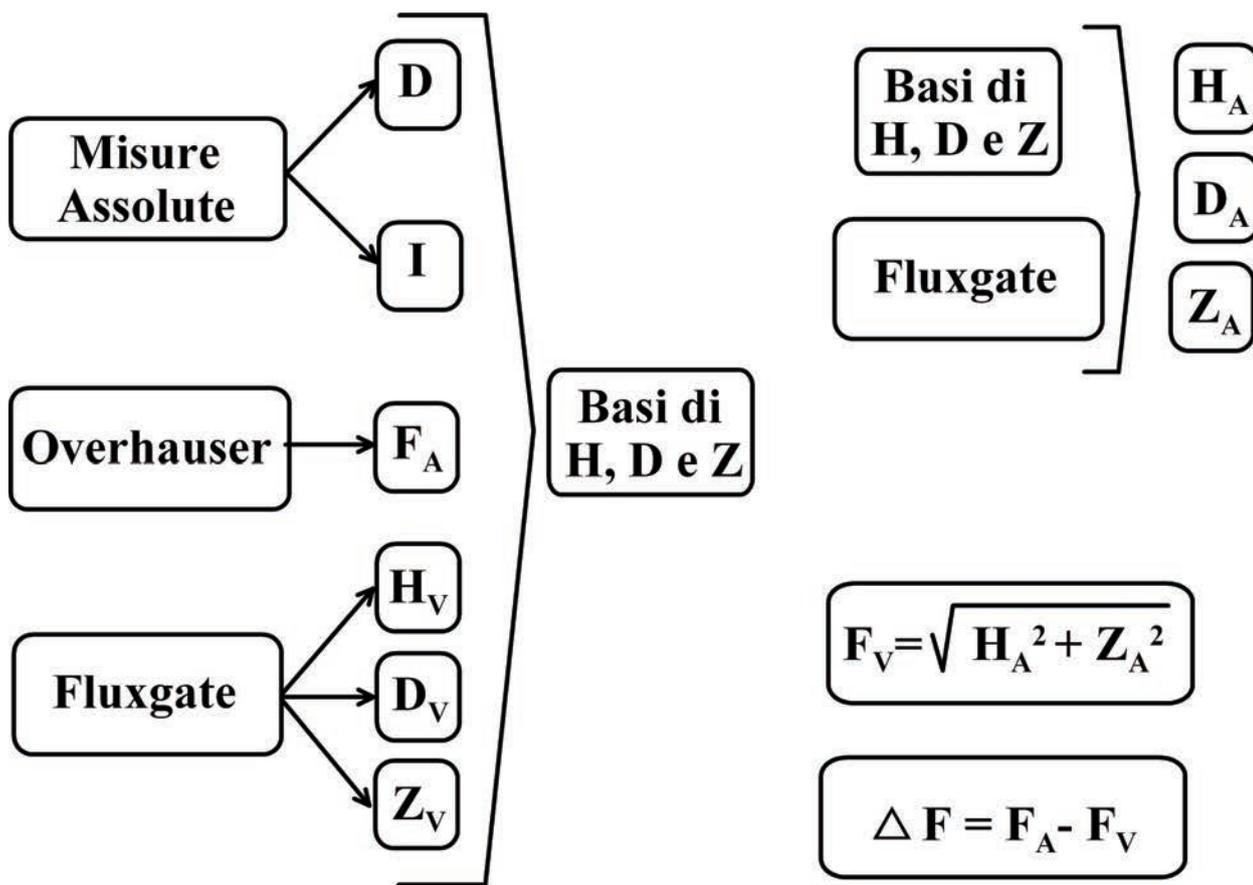


Figura 3 Schema della procedura per il calcolo delle basi e valutazione del  $\Delta F$ .  
 Figure 3 Sketch of the procedure for the estimate of base values and evaluation of  $\Delta F$ .

## 2. Le basi ed il $\Delta F$ del 2010

Un andamento ottimale per una base è quello mostrato in Figura 4, in cui si evidenzia l'andamento rettilineo e una differenza tra le misure di frazioni di nT. Una tale base è sicuramente rassicurante e garantisce che la strumentazione sta lavorando bene. Il calcolo delle basi a L'Aquila non ha avuto un esito così positivo come si può vedere nelle Figure 5, 6 e 7 nelle quali sono indicati i valori delle basi di H, D e Z per ogni misura assoluta eseguita nell'anno.

Ci si rende subito conto che c'è qualche cosa che non va nel funzionamento dell'osservatorio. A cosa è attribuibile questo andamento fuori dal normale delle basi? Le possibili cause sono da ricercare tra: i dati acquisiti, le misure assolute, l'instabilità termica all'interno della struttura dei variografi, il non corretto funzionamento della strumentazione oppure qualche fenomeno naturale sconosciuto. A parte qualche misura chiaramente errata si può notare che la maggior parte di esse risultano ben compatte e consecutive, contribuendo ad un andamento continuo, anche se non rettilineo. In generale si può affermare che le misure assolute sono state ben eseguite e la loro cattiva esecuzione si può escludere

re come possibile causa dell'anomalo andamento delle basi. Anche una deriva della temperatura è da escludere visto che le stanze dei variografi sono termostate. Volgiamo allora l'attenzione alla strumentazione e consideriamo la possibilità che uno o entrambi gli strumenti, l'*Overhauser* ed il *fluxgate*, non stiano funzionando nel modo corretto e di conseguenza che i dati acquisiti non siano veritieri. Abbiamo stabilito precedentemente che il parametro per valutare la qualità dei dati è il  $\Delta F$ . Un esempio di andamento di  $\Delta F$  anomalo è riportato in Figura 8 che mostra i valori di  $\Delta F$  per la prima metà del 2011. Si nota una forte anomalia il giorno 24 maggio alle ore 14:10 UT (16:10 locali).

In Tabella 1 è possibile vedere i dati acquisiti in quegli istanti e quindi ipotizzare ciò che potrebbe essere successo agli strumenti. La sigla GG indica Giorno Giuliano che è un sistema di numerazione ordinale dei giorni dell'anno. Si nota che la misura dell'*Overhauser* (colonna denominata Fass) è stata disturbata nei minuti 14:10 e 14:11 UT a differenza del *fluxgate* (colonne denominate H<sub>v</sub>, D<sub>v</sub> e Z<sub>v</sub>) che sembra non accorgersi di nulla. Questo può essere dovuto solamente ad un disturbo localizzato e limitato in entità, per esempio una persona non magneticamente pulita che si è avvicinata

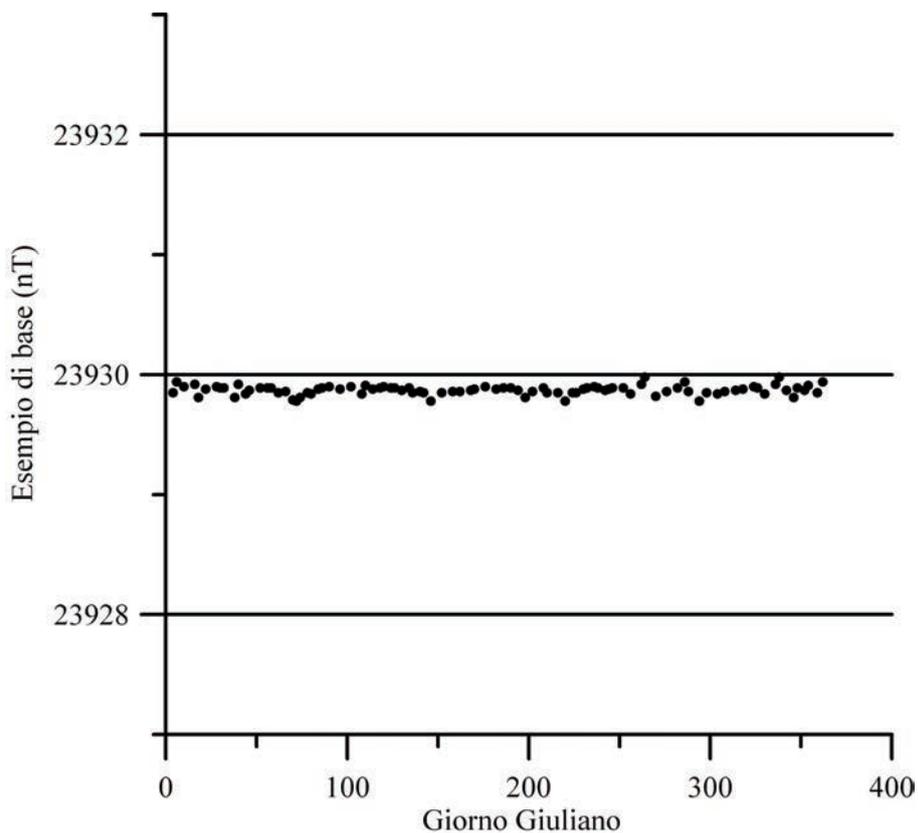


Figura 4 Esempio di valori di base.  
Figure 4 Example of base values.

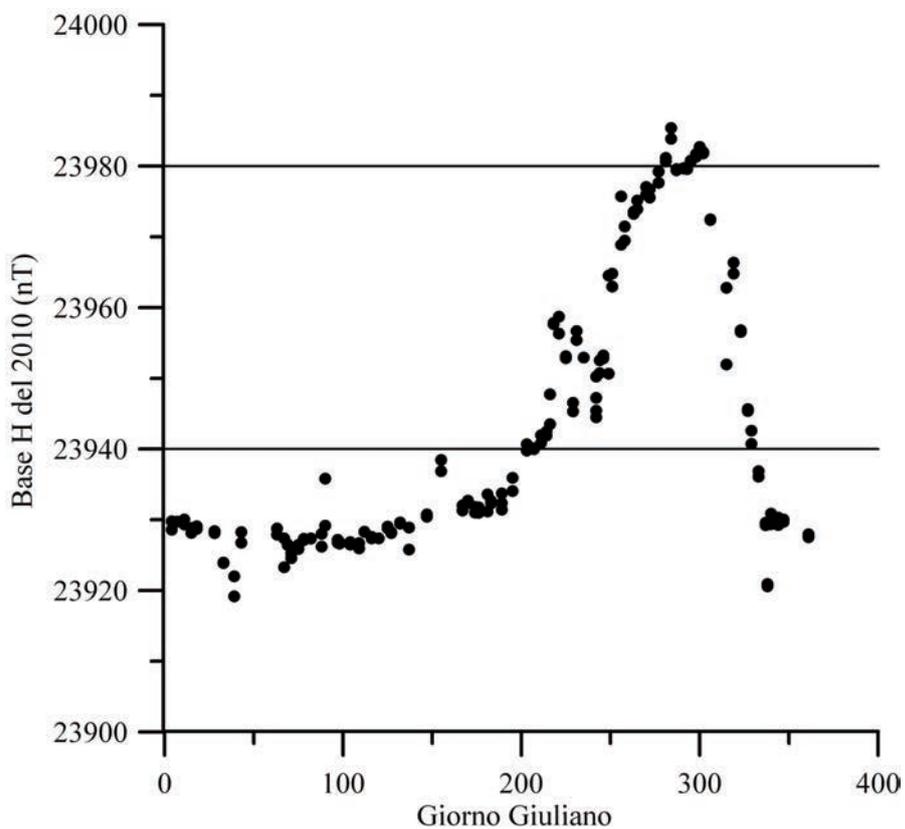


Figura 5 Base H per il 2010.  
Figure 5 H base for 2010.

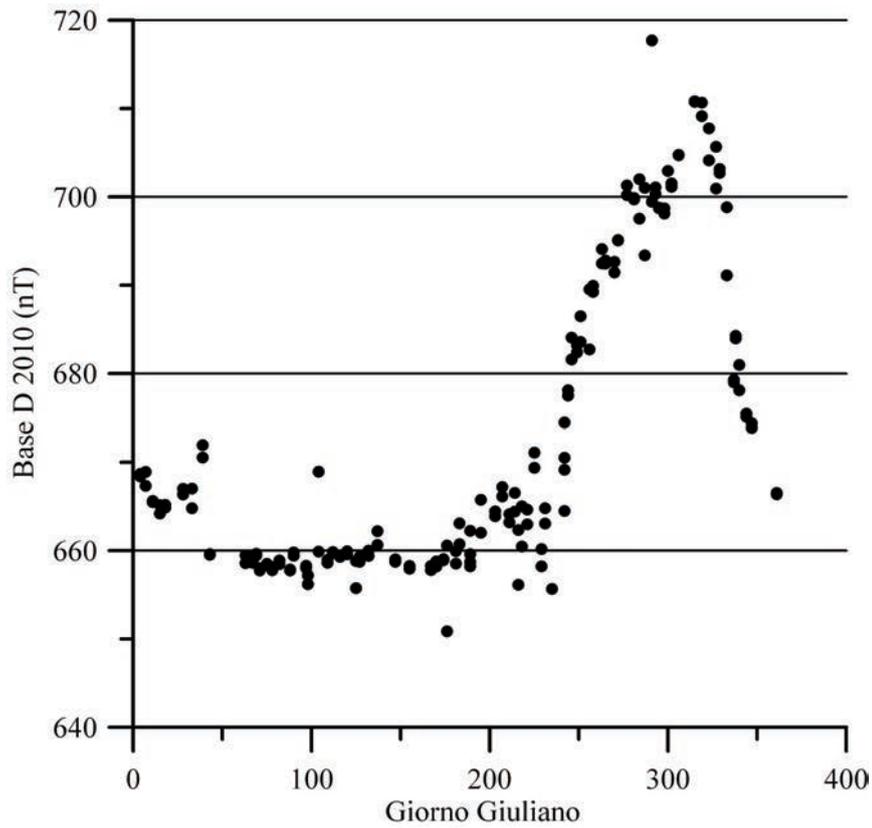


Figura 6 Base D per il 2010.  
Figure 6 D base for 2010.

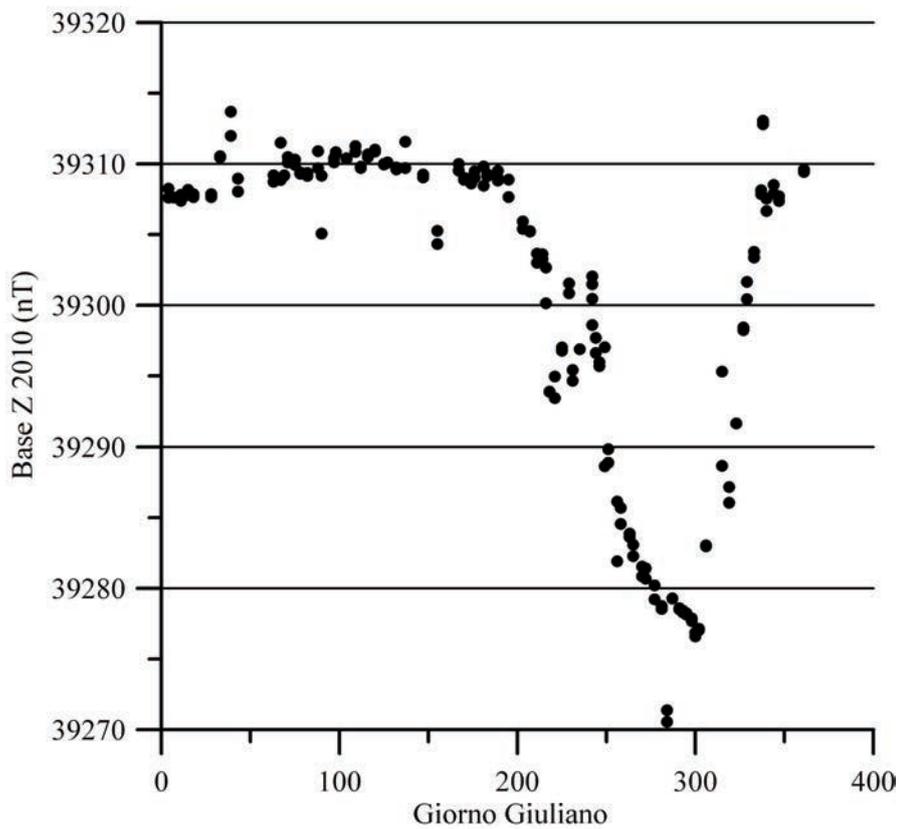
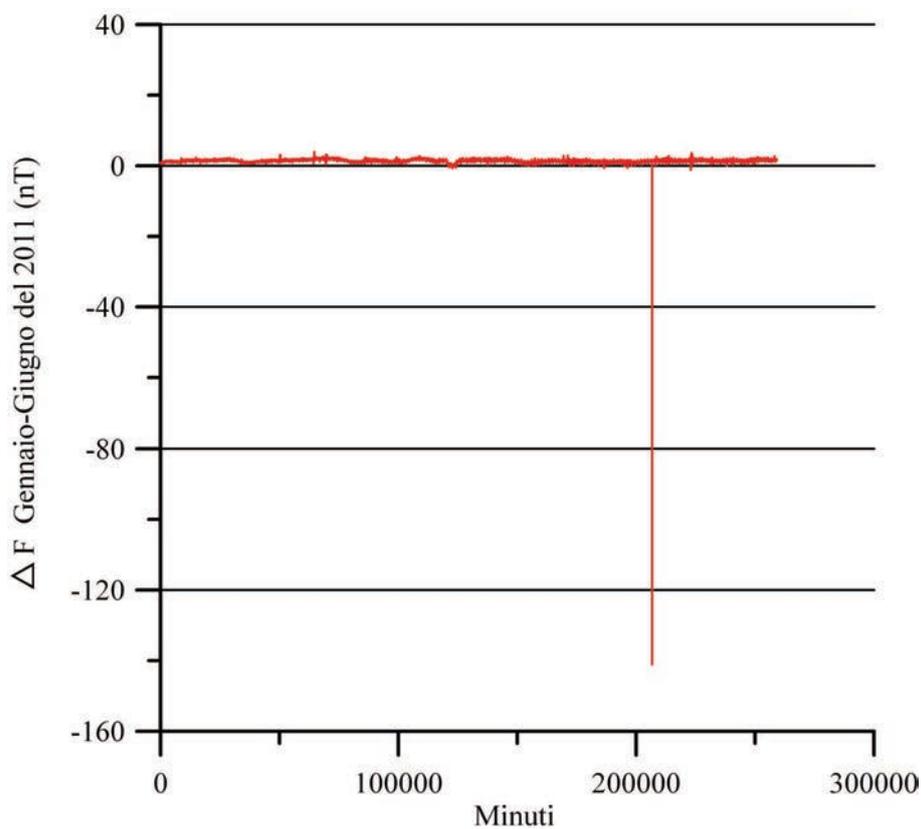


Figura 7 Base Z per il 2010.  
Figure 7 Z base for 2010.

GG	Tempo UT	Hv(nT)	Dv(nT)	Zv(nT)	Fass(nT)
144	14:03	243.4	412.1	347.6	46445.1
144	14:04	243.1	412.3	347.5	46445.0
144	14:05	242.4	412.8	347.1	46444.5
144	14:06	241.7	413.5	347.0	46443.8
144	14:07	241.5	413.9	347.2	46443.8
144	14:08	240.8	414.5	347.4	46443.7
144	14:09	240.4	414.9	347.4	46443.5
144	14:10	240.4	414.8	347.6	46301.2
144	14:11	239.9	415.2	347.1	46430.1
144	14:12	239.7	415.4	346.9	46442.7
144	14:13	239.7	415.2	346.8	46442.5
144	14:14	239.3	415.4	347.0	46442.4
144	14:15	239.1	415.5	347.1	46442.4
144	14:16	238.8	415.5	347.2	46442.3

**Tabella 1** Dati registrati al momento del disturbo osservato il 24 maggio 2011.  
**Table 1** Recorded data at the time of the disturbance observed on May 24 2011.



**Figura 8**  $\Delta F$  Gennaio-Giugno 2011.  
**Figure 8**  $\Delta F$  January-June 2011.

all'*Overhauser*. Fenomeni più vasti come un passaggio di un mezzo vicino allo stabile dei variografi o un'attività naturale avrebbero influenzato entrambi gli strumenti.

A questo punto possiamo analizzare la Figura 9 che rappresenta l'andamento del  $\Delta F$  per il periodo in esame e cioè l'intero 2010. Anche in questo caso si notano alcuni picchi sporadici attribuibili probabilmente a disturbi dovuti all'operatore ma il grafico, centrato sullo zero con una piccola deriva da -1 nT a +1 nT, presenta una oscillazione massima di circa 2 nT, risultato che fa sicuramente ben sperare. In effetti, l'anomalia sulle basi si estende di parecchi nT, circa 60 nT per le basi di H e di D e circa 30 nT per la base di Z, molto di più dell'effetto evidenziato sul  $\Delta F$  del 2010 in Figura 9. Dove vengono compensate le anomalie delle basi? Analizziamo la Figura 10 che rappresenta l'andamento annuale delle componenti variografiche registrate dal *fluxgate*. Si può facilmente notare che quando le basi (Figure 5, 6 e 7) subiscono una elongazione le rispettive componenti variografiche si comportano in maniera simile ma con verso opposto tanto che tali elongazioni negli andamenti delle componenti totali spariscono o comunque sono molto attenuate. L'effetto si può benissimo vedere sulle Figure 11, 12 e 13. Per questo motivo all'atto della ricostruzione del campo totale si ottiene un valore prossimo a quello misurato effettivamente dall'*Overhauser* tanto che il  $\Delta F$  risulta quello di Figura 9. In questo caso l'andamento del  $\Delta F$  ci rassicura sul buon fun-

zionamento dei magnetometri, almeno dal lato elettrico, vista la coerenza che c'è tra dati e basi.

### 3. Effetto compensativo delle misure assolute

Come interpretare l'effetto di compensazione tra le basi e i dati variografici? Se rappresentiamo l'entità osservatorio dal punto di vista della teoria dei sistemi abbiamo uno schema come quello visualizzato in Figura 14. Questo è un sistema senza ingressi nel quale il blocco di controllo è costituito dalle misure assolute che ha una risposta modulata dal blocco di andata, cioè dai valori variografici, in modo da ottenere i dati assoluti. Proprio perché questo è un sistema chiuso, agire dall'esterno o inserire altri sistemi sulla linea di andata o su quella di retroazione, come ad esempio metodologie alternative di valutazione delle componenti assolute o variografiche oppure misure assolute alternative, rende il sistema instabile e comunque non più auto controllabile. Tale sistema di retroazione verrebbe sicuramente alterato dalla presenza di altri elementi. Essi risulterebbero in evoluzione libera e separata da quella dei due elementi di riferimento rendendo l'intero sistema non solo altamente vulnerabile ma anche impreciso nelle risposte. Il fatto che sia necessaria una deriva delle basi per compensare i dati variografici ci fa pensare che sono le componenti variografiche a presentare il

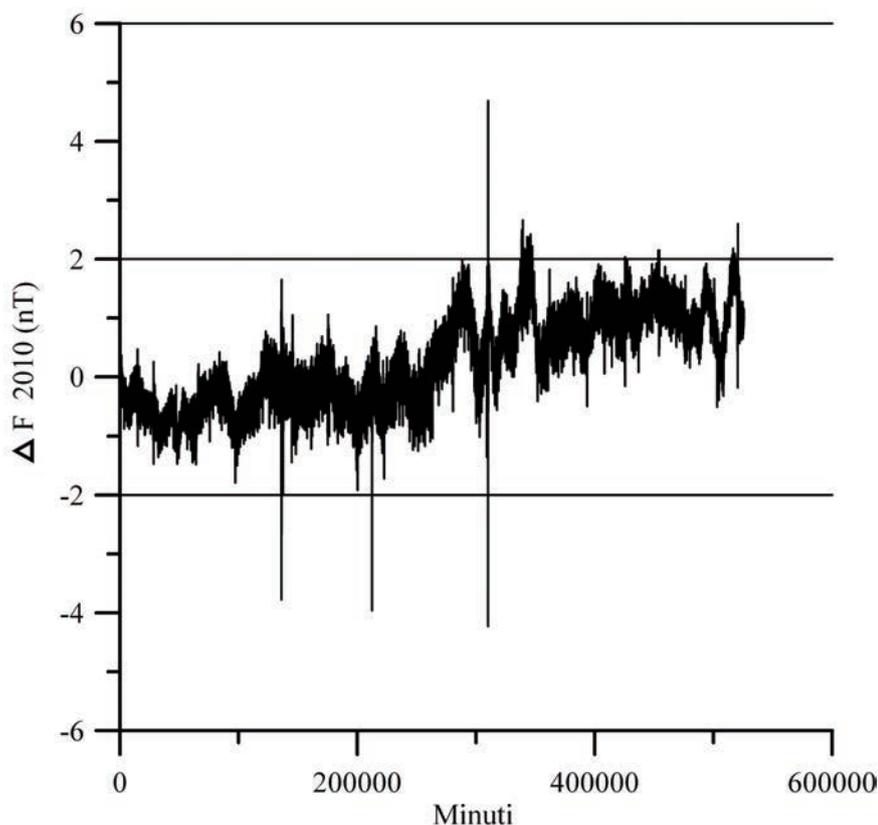
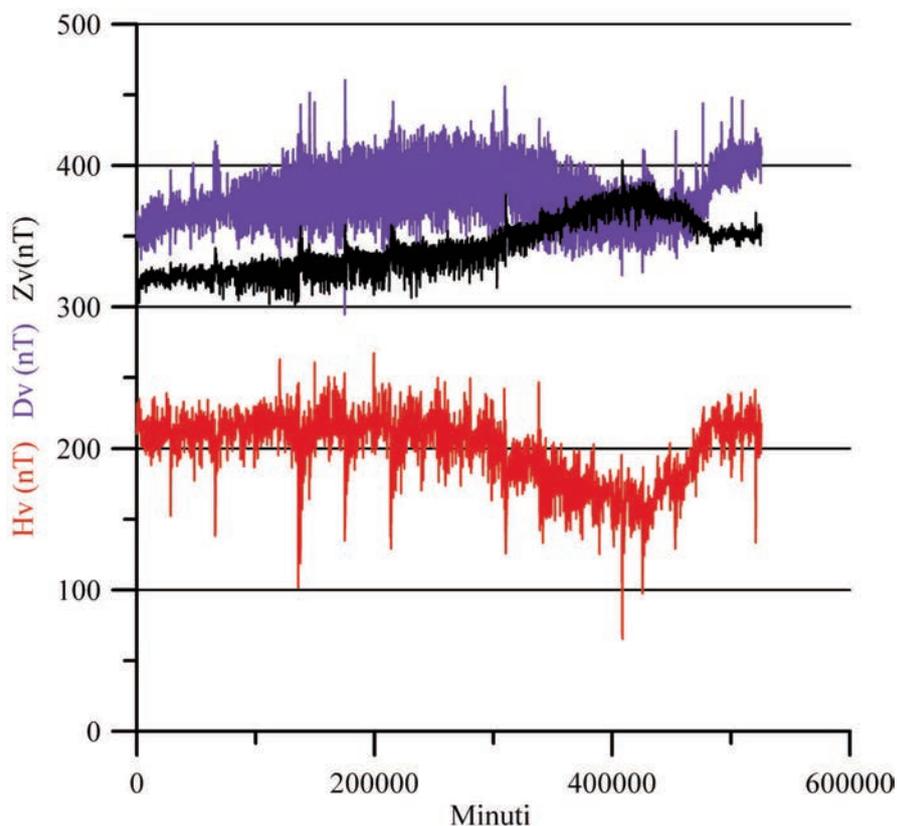
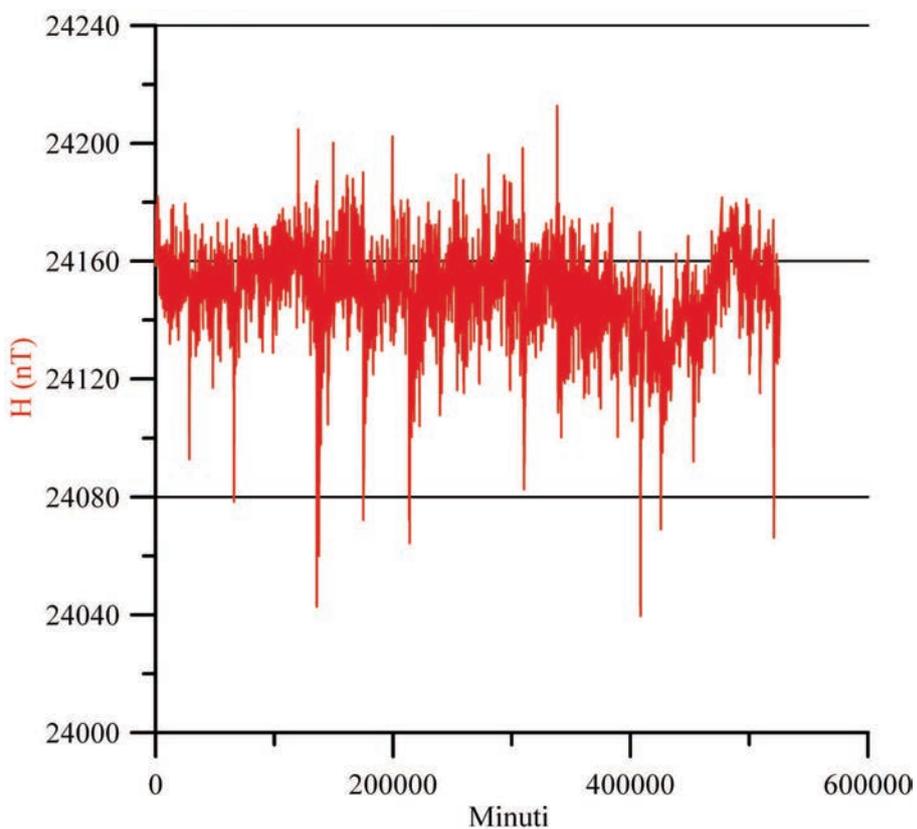


Figura 9  $\Delta F$  per il 2010.

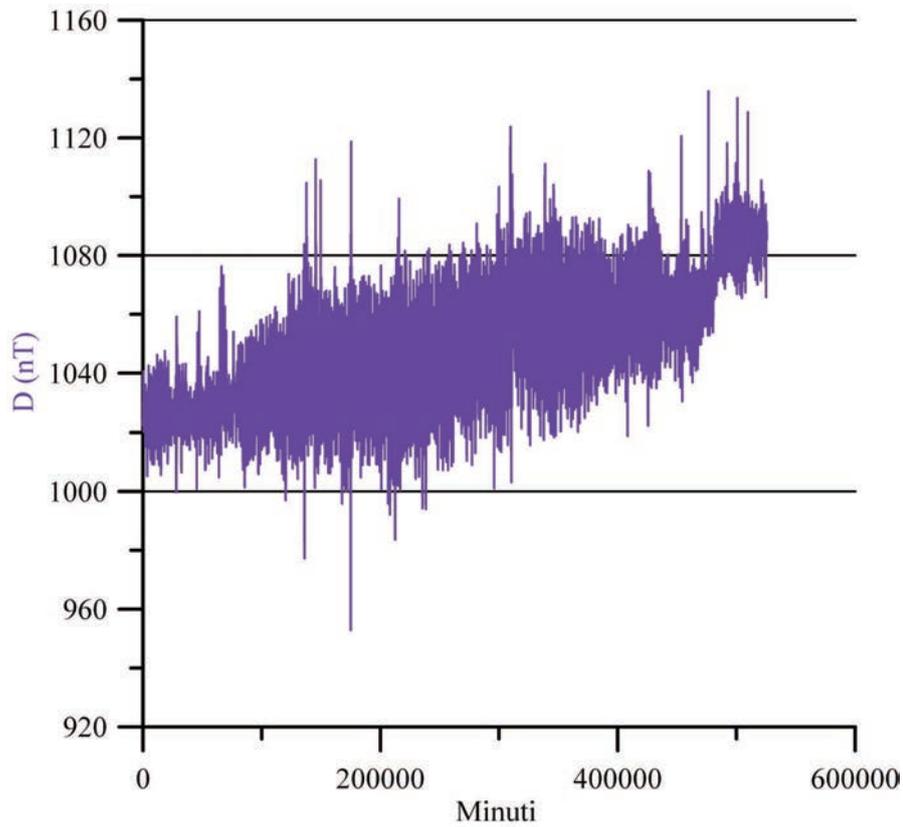
Figure 9  $\Delta F$  for 2010.



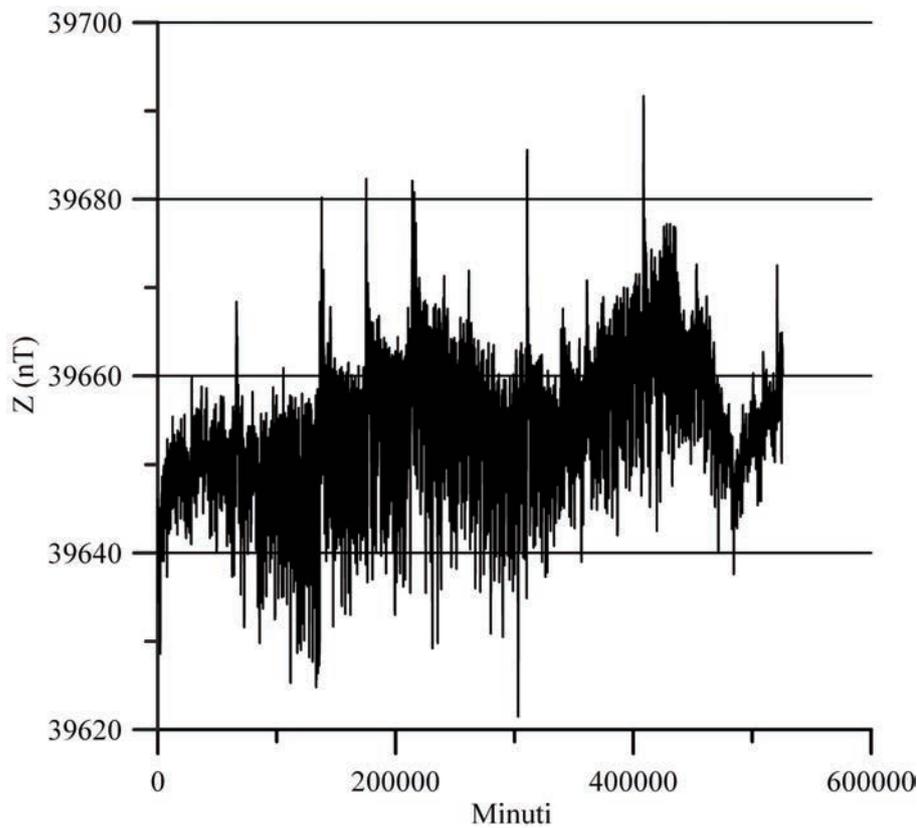
**Figura 10** Andamenti variografici delle componenti H, D e Z per il 2010.  
**Figure 10** Variographic diagrams for H, D and Z components for 2010.



**Figura 11** Componente orizzontale H per il 2010.  
**Figure 11** Horizontal component H for 2010.



**Figura 12** Declinazione D per il 2010.  
**Figure 12** Declination D for 2010.



**Figura 13** Componente verticale Z per il 2010.  
**Figure 13** Vertical component Z for 2010.

problema e non le componenti assolute dato che il  $\Delta F$  è di buon livello. In particolare se dilatiamo l'asse dei tempi ci accorgiamo che, nel periodo in cui le basi derivano, il  $\Delta F$  presenta una oscillazione di circa 1 nT, Figura 15. Tale andamento risulta praticamente identico, come forma e segno, alla variazione diurna sulla D, anche se di entità molto minore. L'oscillazione, che scompare nel periodo in cui le basi non derivano, può essere rappresentata come una quantità, che possiamo indicare con l'espressione  $\delta \cdot D$ , piccola e proporzionale alla D. Dal punto di vista matematico possiamo allora introdurre la seguente relazione:

$$\Delta F = \Delta F_{corr} + \delta \cdot D = F_A - F_V$$

con  $\delta > 0$ ,  $\delta \approx 0$  ma non costante

Questa espressione indica semplicemente che il  $\Delta F$  ottenuto non è quello corretto; esso devia dal vero  $\Delta F$ , indicato con  $\Delta F_{corr}$ , di una quantità piccola e proporzionale alla D, indicata con  $\delta \cdot D$ . Il  $\Delta F_{corr}$  può essere espresso in due modi:

Equazione 1:  $\Delta F_{corr} = (F_A - \delta \cdot D) - F_V$

Equazione 2:  $\Delta F_{corr} = F_A - (F_V + \delta \cdot D)$

Il primo caso, rappresentato dalla Equazione 1, attribuisce l'effetto all'*Overhauser* ma sicuramente la cosa è da escludere perché significa che lo strumento riesce a discriminare la variazione diurna rispetto al campo totale, al quale esso è sensibile, e misurarne una piccola parte aggiuntiva. Il secondo caso, rappresentato dalla Equazione 2, è allora quello da valutare. In esso si contempla la possibilità che la combinazione dei dati variografici e delle basi sia inficiata da errore. In particolare avendo visto che le basi sono l'elemento di controllo, volgiamo l'attenzione sui dati variografici. La seconda relazione implica che il magnetometro *fluxgate* misura delle variazioni delle componenti leggermente inferiori a quelle reali e la componente orizzontale H è quella che ne risente di più. Nell'ultimo passaggio si vede chiaramente che al  $\Delta F$  corretto ( $\Delta F_{corr}$ ) si somma una interferenza proporzionale alla D. Se, come abbiamo supposto, l'elettronica del magnetometro funziona correttamente, quale potrebbe essere il problema? Sicuramente l'orientamento del sensore è un fattore determinante per la coerenza

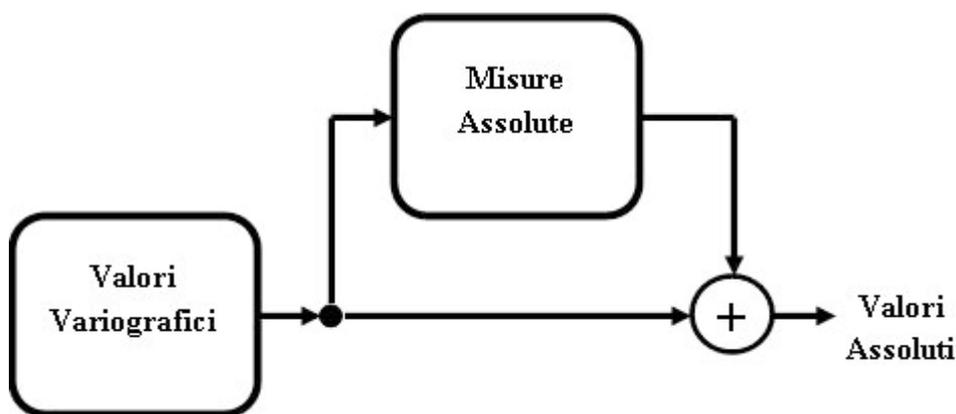
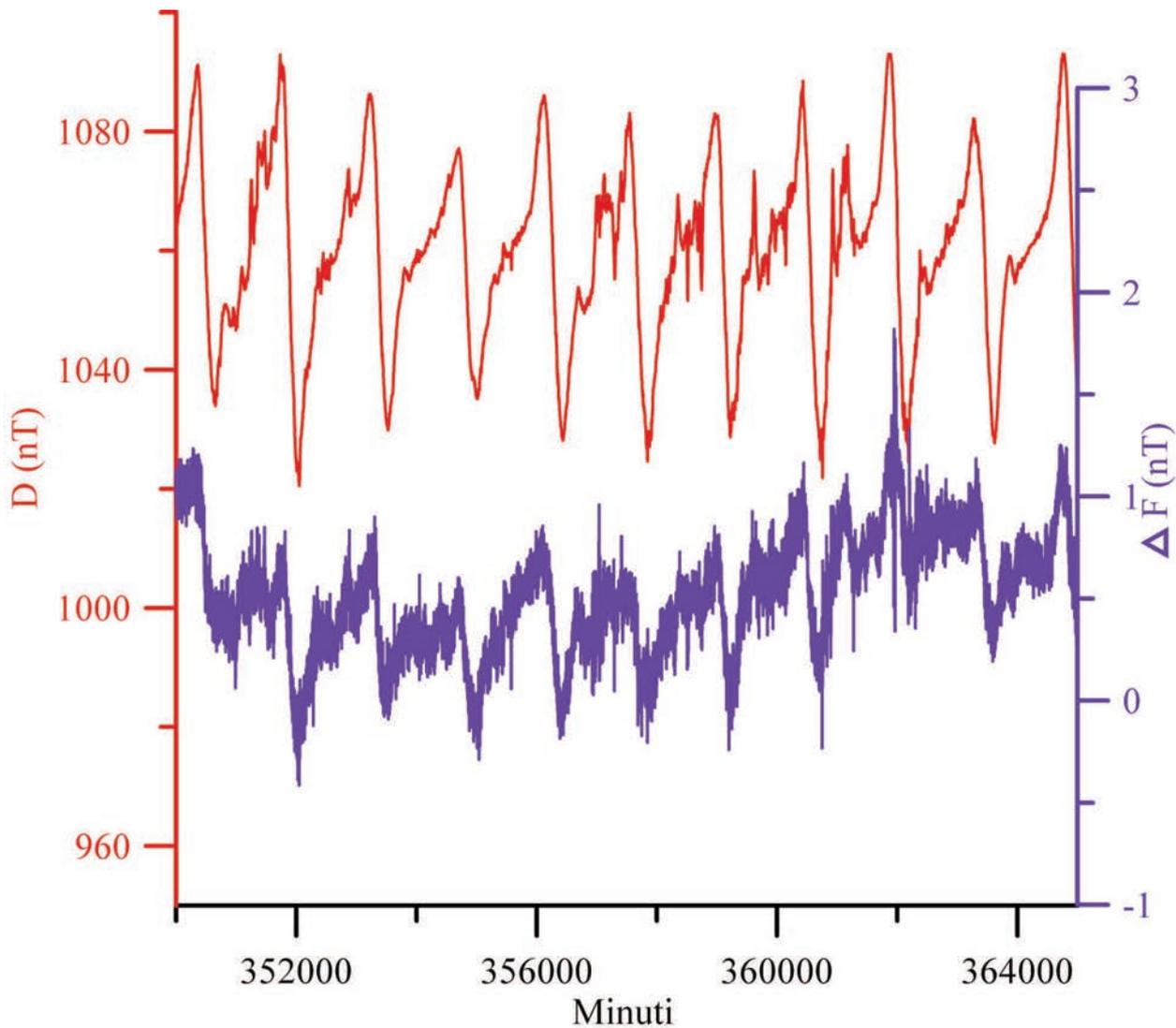


Figura 14 Schema a blocchi che rappresenta il sistema variografo.  
Figure 14 Block diagram representing the variograph system.

delle componenti. La perdita dell'assetto iniziale e della stabilità nel tempo sono sicuramente le possibili cause d'errore.

#### 4. Considerazioni finali

Il sensore del magnetometro *fluxgate* è estremamente sensibile ai movimenti meccanici ed alla perdita del livello. Il suo principio fisico di funzionamento e la sua struttura rigida a tre assi con sensibilità assiale, richiedono una verticale ed un allineamento perfetto con le componenti da misurare. Se, per motivi meccanici, il sensore devia dalla posizione iniziale si crea un angolo tra la componente da misurare e l'asse del sensore con il risultato di avere una misura errata. Il disassamento generale determina una interferenza reciproca tra le componenti sulla stessa direzione di misura per tutte e tre le direzioni. Tale effetto è presente sia nel sistema HDZ che nel sistema XYZ. Ovviamente la componente lungo l'asse è prevalente ma ad essa si sovrappongono, in misura molto ridotta, le altre componenti, nel nostro caso è evidente l'influenza della D. Un effetto di questa deviazione dei valori misurati è la comparsa nel  $\Delta F$  dell'oscillazione diurna. Non è possibile individuare l'effettiva influenza reciproca perché risulta difficile conoscere gli angoli di deriva. Come può lo strumento *fluxgate* perdere stabilità nel tempo essendo poggiato su solide guide ancorate al piano del pilastro di misura? L'unica possibilità è che l'intero pilastro abbia perso stabilità. La sua posizione potrebbe essere influenzata dalla pioggia che rigonfia il terreno dell'osservatorio nei periodi più piovosi. Gli stessi manufatti presenti nell'osservatorio, già prima del terremoto dell'Aprile 2009, presentavano cedimenti e fratture chiaramente di dissesto idrogeologico in piccola scala. Così come siamo abituati a numeri positivi e negativi così dobbiamo pensare alla pioggia come positiva o negativa e cioè alta piovosità o secca. Durante i mesi invernali più piovosi ed interessati da precipitazioni anche nevose,



**Figura 13** Confronto tra la  $D$  ed il  $\Delta F$ .  
**Figure 13** Comparison from  $D$  and  $\Delta F$ .

il terreno argilloso non drenante, su cui l'osservatorio poggia, saturando si dilata mantenendo il pilastrino di misura stabile. Nei mesi estivi avviene il contrario, la mancanza d'acqua crea spaccature nel terreno il quale si contrae. Il pilastrino del *fluxgate* è sottoposto a questo tira e molla stagionale ed è molto probabile che questa sia la causa principale della deriva dei dati variografici e, conseguentemente, delle basi. Il risultato è che lo strumento misura componenti leggermente diverse da quelle reali, anche se la terna resta pressoché invariata e tale da permettere di ricostruire la  $F$  totale. Sicuramente l'utilizzo di un pilastrino più stabile o il ripristino della stabilità di quello esistente, ridurrebbe notevolmente tale difetto, migliorando sia il  $\Delta F$  che i dati. L'unico dubbio che resta è sulla natura del segnale, che resta oggetto di ricerche specifiche.

#### Riferimenti bibliografici

Jankowski, J., Sucksdorff, C., (1996). *IAGA Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice*, International Association of Geomagnetism and Aeronomy, Boulder.



# Indice

Introduzione	4
1. Il sistema variografico di L'Aquila	4
2. Le basi ed il $\Delta F$ del 2010	7
3. Effetto compensativo delle misure assolute	11
4. Considerazioni finali	14
Riferimenti bibliografici	15

**Coordinamento editoriale e impaginazione**

Centro Editoriale Nazionale | INGV

**Progetto grafico e redazionale**

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2012 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

**<http://www.ingv.it>**



**Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**