



QUADERNI di GEOFISICA

Correzione alla deriva dei valori di base
sui dati geomagnetici dell'osservatorio
dell'Aquila, primi risultati



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

152

Direttore Responsabile

Valeria DE PAOLA

Editorial Board

Luigi CUCCI - Editor in Chief (luigi.cucci@ingv.it)
Raffaele AZZARO (raffaele.azzaro@ingv.it)
Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)
Mario CASTELLANO (mario.castellano@ingv.it)
Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)
Rosa Anna CORSARO (rosanna.corsaro@ingv.it)
Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)
Mauro DI VITO (mauro.divito@ingv.it)
Marcello LIOTTA (marcello.liotta@ingv.it)
Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)
Milena MORETTI (milena.moretti@ingv.it)
Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)
Umberto SCIACCA (umberto.sciacca@ingv.it)
Alessandro SETTIMI (alessandro.settimi1@istruzione.it)
Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)

Segreteria di Redazione

Francesca DI STEFANO - Referente
Rossella CELI
Barbara ANGIONI

redazionecen@ingv.it

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.174 | 2014, 23 LUGLIO

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI
Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

QUADERNI di GEOFISICA

Correzione alla deriva dei valori di base sui
dati geomagnetici dell'osservatorio
dell'Aquila, primi risultati

*Correction to the drift of the base values on the
geomagnetic data from the observatory of
dell'Aquila, first results*

Manuele Di Persio, Cesidio Gizzi, Umberto Sciacca, Domenico Di Mauro, Paolo Bagiacchi

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Geomagnetismo, Aeronomia e Geofisica Ambientale

Accettato 4 dicembre 2018 | Accepted 4 December 2018

Come citare | How to cite Di Persio M. et al., (2019). Correzione alla deriva dei valori di base sui dati geomagnetici dell'osservatorio dell'Aquila, primi risultati. Quad. Geofis., 152: 1-18.

In copertina | La stanza delle misure assolute con il teodolite e le bobine di Helmholtz | Cover The room of the absolute measures with the theodolite and the Helmholtz coils

152

INDICE

Riassunto	7
<i>Summary</i>	7
Introduzione	7
1. Il sistema variografico dell'Aquila	9
2. Le basi del 2017	12
3. Compensazione della perdita del livellamento	14
4. Considerazioni finali	15
Riferimenti bibliografici	15

Riassunto

La ricerca scientifica, per avere successo, ha bisogno di potersi affidare a dati validi. Gli strumenti magnetici, in particolare i magnetometri triassiali, possono essere soggetti a derive per vari motivi come variazioni di temperatura, perdita di allineamento, perdita di livellamento. Tutti questi eventi possono avere effetti spuri sui dati registrati. In questo articolo mostriamo la caratterizzazione di uno di questi casi, la perdita di livellamento e la modificazione riscontrabile sui dati, nonché la procedura usata per correggere gli effetti sui valori numerici registrati.

Summary

Scientific research needs to rely on valid data to be successful. Magnetic instruments, in particular triaxial magnetometers, can be subject to drifting for various reasons such as temperature variations, loss of alignment, loss of leveling. All these events can have spurious effects on the recorded data. In this article, we show the characterization of one of these cases, the loss of leveling and the changes found on data, as well as the procedure used to correct the effect on the recorded numeric values.

Introduzione

Una ricerca scientifica può ritenersi valida quando i suoi risultati rispecchiano effettivamente il fenomeno naturale osservato e la teoria che lo governa si arricchisce, permettendo di identificare le variabili estranee al fenomeno stesso. Nei casi migliori si può individuare un utile modello interpretativo del fenomeno investigato, azione necessaria affinché le deduzioni tratte dai dati siano estensibili ad altri contesti. Fondamentale è l'esame relazionale tra le variabili, cioè l'analisi della possibile reciproca influenza tra le variabili che caratterizzano il fenomeno. Tutti questi aspetti sono particolarmente importanti in un osservatorio geomagnetico per poter stabilire se i dati registrati siano validi ed utili ai fini della ricerca.

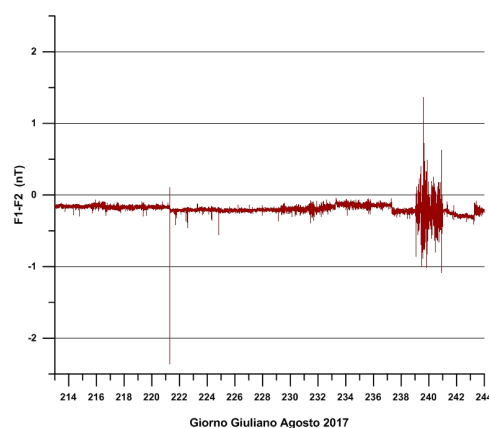
L'osservatorio geomagnetico dell'Aquila (loc. Preturo, 42°23' N, 13°19' E, 682m s.l.m.), nato nel 1958, è stato inserito nella rete mondiale degli osservatori magnetici nel 1960. Dal 2000 fino al triste epilogo post terremoto del 2009 ha fatto parte della rete mondiale *Intermagnet* (*INTERNational Real-time MAGnetic observatory NETWORK*). Dal 2002 l'osservatorio produce dati di alto livello nella banda di frequenza tipica degli osservatori geomagnetici standard, nella banda di frequenza ULF e VLF, utili per le osservazioni delle micro-pulsazioni del campo magnetico terrestre, e dati di potenziale elettrico nel sottosuolo. I progetti MEM, 2003/2008, e FIRB, 2010/2015 sono due esempi di applicazione in questi campi di studio che hanno avviato in Istituto le prime ricerche di eventuali segnali sismogenetici. Attualmente l'attività di monitoraggio geomagnetico è portata avanti nell'ambito del monitoraggio Nazionale. I dati aquilani sono impiegati nella realizzazione della mappa magnetica d'Italia oltre che essere distribuiti ad altri enti di ricerca ed università che collaborano con l'INGV. L'osservatorio dell'Aquila affianca altri osservatori geomagnetici nazionali, Duronia, Castello Tesino e Lampedusa.

1. Il sistema variografico dell'Aquila

Il sistema principale di acquisizione dati, denominato AQU1, e il sistema ridondante dell'osservatorio geomagnetico dell'Aquila, denominato AQU2, tra il 2016 e il 2017 sono stati aggiornati mediante l'utilizzo di nuovi acquisitori basati su macchine di calcolo industriali ad alte prestazioni e nuovo software. Sono stati eseguiti diversi lavori di bonifica, con la rimozione di cavi inutilizzati, e di ripristino di alcuni ambienti che ospitano alcune parti della strumentazione. Questi interventi hanno permesso di ottenere una differenza quasi nulla tra i valori di campo magnetico totale nei due principali locali dell'osservatorio, la casetta *variografi* e la casetta *misure assolute*. Nella casetta *variografi* sono alloggiati un magnetometro vettoriale e uno scalare, mentre nella casetta *misure assolute*, oltre ad ospitare un magnetometro scalare, vi è presente un pilastro sul quale è installato uno strumento magneto-ottico per la misura manuale della declinazione e inclinazione magnetica (teodolite geomagnetico). In Figura 1 è possibile vedere l'andamento della differenza dei valori misurati dai due scalari, valori di campo magnetico totale, durante il mese di Agosto del 2017. Si nota chiaramente un disturbo continuo dal giorno 239 al giorno 241 del calendario Giuliano. Si notano anche dei piccoli gradini dell'ordine del decimo di nT.

Figura 1 Differenza tra i valori assoluti di campo misurati nei variografi e nelle misure assolute nell'Agosto del 2017.

Figure 1 Difference between the absolute values of the field measured in the variograph and in the absolute measures in the August of 2017.



Tutti questi effetti sulla strumentazione sono di natura antropica. Tra il giorno 239 e il giorno 241, infatti, è stato installato nella casetta misure assolute un magnetometro in taratura. L'introduzione di alimentatori e sistemi di registrazione aggiuntivi ai dispositivi già presenti ha determinato il disturbo. Questo effetto dimostra quanto la strumentazione magnetica sia sensibile alle alterazioni della configurazione di un osservatorio. La differenza dei valori assoluti prossima a zero mette in evidenza una uniformità di campo nell'osservatorio dell'Aquila, condizione necessaria ai fini di un corretto funzionamento. 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. Essi 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.

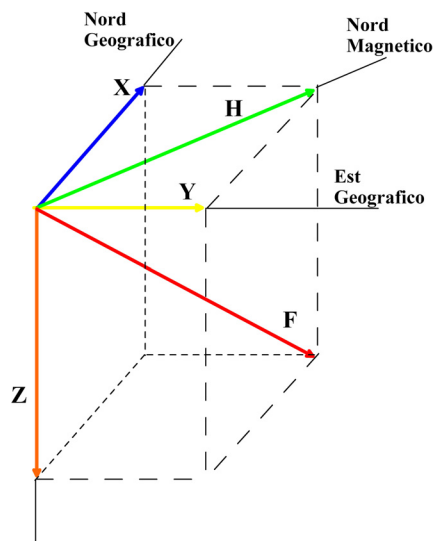


Figura 2 Elementi fondamentali del campo magnetico della Terra.

Figure 2 Fundamental elements of the Earth's magnetic field.

I due sistemi di acquisizione dell'Aquila, quello principale e quello ridondante, sono composti entrambi da un magnetometro assoluto ad effetto *Overhauser* e da un magnetometro triassiale di tipo *Fluxgate*. Nel sistema principale abbiamo un overhauser Geomag SM100R e un triassiale FGE del Danish Meteorological Institute. Nel sistema secondario abbiamo un overhauser Gem GSM90 ed un triassiale LEMI 025. Gli overhauser misurano il modulo del vettore campo magnetico totale, denominato F, mentre i triassiali misurano le variazioni temporali delle componenti vettoriali del campo, che sono variazioni rispetto ad un valore iniziale di zero, denominate HDZ oppure XYZ secondo il sistema di riferimento adottato. Al sistema di acquisizione sono affiancate delle misure assolute della inclinazione e della declinazione eseguite manualmente tramite il teodolite geomagnetico generalmente denominato DIM (*Declination and Inclination Magnetometer*). Il DIM è un teodolite sul cui binocolo è montato un singolo sensore variografico a simmetria cilindrica. La combinazione dei dati variografici del magnetometro triassiale, dei dati assoluti del magnetometro scalare e delle misure assolute del DIM permette di determinare le componenti assolute del campo magnetico [Jankowski J., Sucksdorff C., (1996). *IAGA Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practic*].

2. Le basi del 2017

L'analisi dei dati dell'osservatorio dell'Aquila che si vuole descrivere in questo articolo è stata portata avanti per il solo sistema principale, AQU1. Anche nel 2017 è stata evidente una deriva delle basi collegabile alla perdita di livellamento del sensore triassiale con conseguente deriva delle componenti registrate, [Di Persio M., Gizzi C. 2012, Quaderni di Geofisica n.100]. L'andamento delle basi per l'anno indicato è stato infatti quello mostrato nelle seguenti Figure 3, 4 e 5.

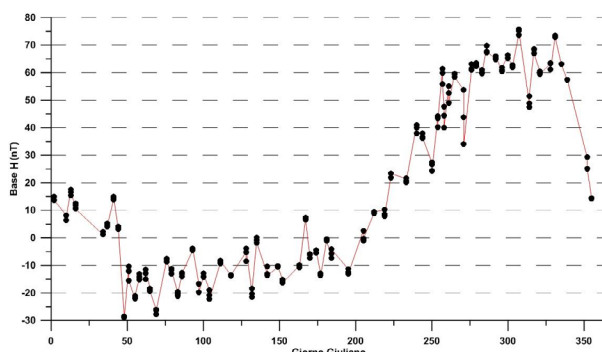


Figura 3 Valori base per la componente orizzontale H in nT.

Figure 3 Base values for the horizontal component H in nT.

Figura 4 Valori base per la declinazione D in primi d'arco.

Figure 4 Base values for the declination D in minutes of arc.

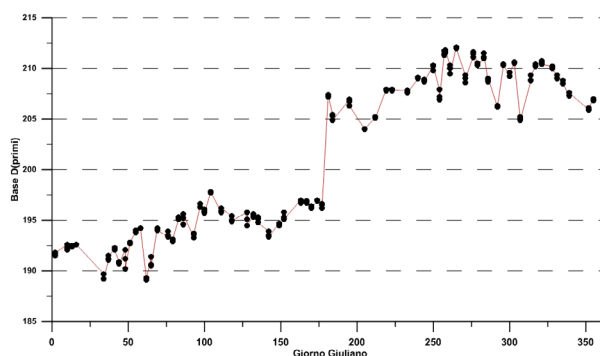
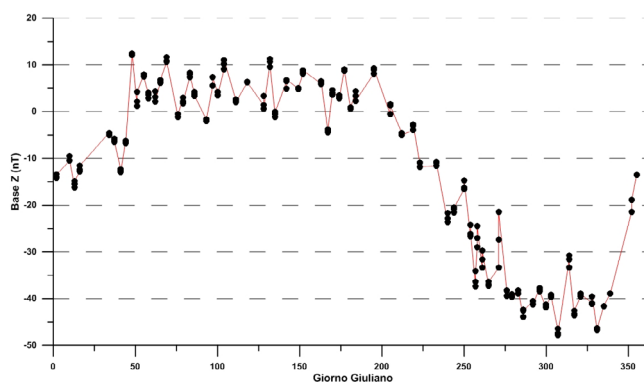


Figura 5 Valori base per la componente verticale Z in nT.

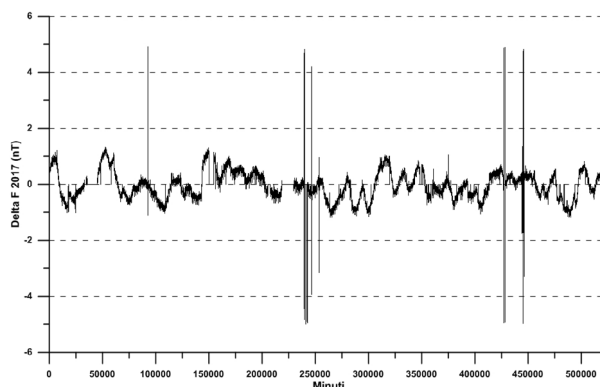
Figure 5 Base values for the vertical component Z in nT.



A metà anno circa, il giorno giuliano 183, il sensore triassiale è stato livellato nuovamente e riallineato. L'operazione è evidente sulla base della D, Figura 4. Il ΔF confinato in un range di 2nT e visibile in Figura 6, indica una tendenza compensativa delle basi rispetto alla deriva dei dati acquisiti. Questo consente di ottenere dei valori assoluti delle componenti tali da poter ricostruire con molta precisione il campo totale F. Sul tracciato del ΔF sono evidenti alcuni picchi attribuibili a disturbi localizzati nelle vicinanze di uno dei due strumenti del sistema di acquisizione. Se il sensore del triassiale perde il livellamento accade che il sistema di riferimento solidale allo strumento ruota nello spazio rispetto al sistema di riferimento adottato, HDZ o XYZ. Le componenti misurate dallo strumento non sono esattamente quelle reali. Ad ogni componente si sovrappongono gli effetti delle altre due componenti che vengono proiettate lungo l'asse della prima. Per semplicità, considerando il sistema di riferimento cartesiano indichiamo con α , β e γ gli angoli di apertura tra il sensore X rispetto ai tre assi principali, vedi Figura 7.

Figura 6 Delta F del 2017 espresso in nT.

Figure 6 Delta F of 2017 expressed in nT.



Similmente con α' , β' e γ' e con α'' , β'' e γ'' indichiamo gli angoli di apertura tra i sensori Y e Z rispetto agli assi. Possiamo scrivere una equazione matriciale che individua le componenti misurate, X_m , Y_m e Z_m , rispetto a quelle vere, indicate con X_v , Y_v e Z_v . Gli angoli sono legati tra loro da relazioni di reciprocità o complementarità ma in questa trattazione li considereremo per generalità diversi.

$$\begin{pmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\alpha & \cos\beta & \cos\gamma \\ \cos\alpha' & \cos\beta' & \cos\gamma' \\ \cos\alpha'' & \cos\beta'' & \cos\gamma'' \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} X_v \\ Y_v \\ Z_v \end{pmatrix}$$

Considerando il primo prodotto, per avere $X_m = X_v$ bisognerebbe avere costantemente $\alpha=0^\circ$, $\beta=90^\circ$ e $\gamma=90^\circ$. Il sensore del magnetometro vettoriale è estremamente sensibile ai movimenti meccanici e alla perdita del livellamento. Il suo principio fisico di funzionamento e la sua struttura rigida che contempla una geometria tri-assiale richiedono una violazione minima da una configurazione perfettamente e reciprocamente trasversale tra le tre componenti.

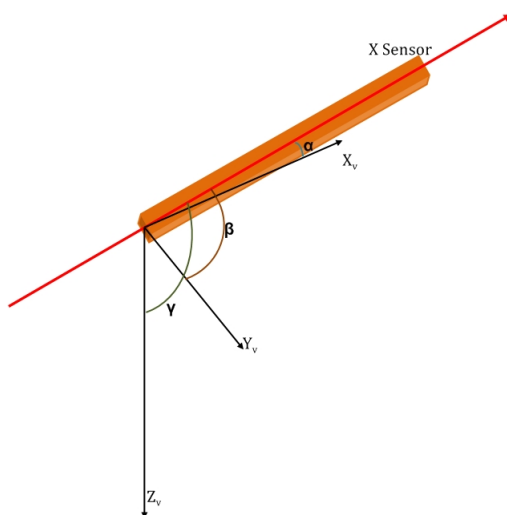


Figura 7 Angoli tra la direzione della componente X del sensore e le tre direzioni di misura.

Figure 7 Angles between the direction of the X component of the sensor and the three directions of measure.

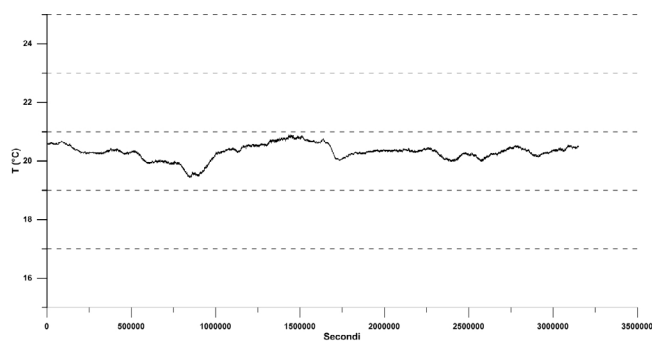
Dato che i due magnetometri scalari sono distanti circa 30 metri, l'uguaglianza dei valori misurati è possibile solo per campi omogenei la cui origine, naturale o artificiale, deve essere necessariamente lontana. Influenze locali prossime ad uno o all'altro strumento sono evidenti nei punti in cui si rilevano picchi nel ΔF .

3. Compensazione della perdita del livellamento

Per correggere la perdita di livellamento e la conseguente deriva delle basi e delle componenti, assumendo che i sensori dell'osservatorio dell'Aquila si trovano in un ambiente termostato, possiamo supporre che i *trend* sulle componenti non siano legate alla variazione di temperatura, benché l'elettronica e i sensori siano estremamente sensibili a tale parametro. La temperatura all'interno dei variografi è registrata da un sensore inglobato nel *fluxgate*. Ad ogni singola misura del magnetometro triassiale, che avviene con una periodicità di un secondo, viene associata la misura di temperatura. In Figura 8 è possibile vedere l'andamento di tale temperatura durante tutto il 2017. I gradienti termici sono tali da poterne ritenere trascurabili gli effetti sulla strumentazione.

Figura 8 Temperatura registrata nei variografi nel 2017.

Figure 8 Temperature recorded in the variograph on 2017.



Assumendo che la strumentazione funzioni correttamente possiamo ipotizzare che la deriva delle componenti sia legata solo alla perdita di livellamento. Se con X_m indichiamo la componente misurata e con X_v la componente vera potremmo scrivere le seguenti relazioni:

$$X_m = X_v + d_x \quad \text{e} \quad X_v = X_{var} + B_x$$

in cui d_x indica la porzione della misura legata alla deriva, X_{var} è il valore variografico misurato dal magnetometro vettoriale al quale si somma la relativa base B_x per ottenere il valore effettivo della componente. Si considerano trascurabili gli errori legati alla misura stessa. Quest'ultima assunzione ovviamente pur se semplificativa è accettabile nell'ambito di questa analisi. Similmente si possono scrivere le relazioni per le altre due componenti Y e Z, pertanto si ha:

$$X_v = X_m - d_x \quad (1)$$

e di conseguenza per le altre due componenti

$$D_v = D_m - d_y \quad (2)$$

$$Z_v = Z_m - d_z \quad (3)$$

Secondo queste relazioni, isolando la deriva dovuta alla perdita del livellamento si potrebbe risalire alle vere componenti. Possiamo provare a valutare questo *trend* per ogni componente, partendo dall'andamento delle basi di ognuna di esse. Quello che possiamo provare a fare è trasformare l'andamento di ogni base in una curva mediante una semplice interpolazione. Data l'uniformità di campo magnetico in osservatorio, le misure ben eseguite e visto il costante controllo della temperatura nei locali, possiamo azzardare l'ipotesi che tale andamento si possa considerare come un effetto legato solamente alla perdita di livello dei magnetometri triassiali. Abbiamo in questo modo individuato i tre contributi d_x , d_y e d_z che si adattano ai valori durante l'anno. A questo punto possiamo applicare le relazioni 1, 2 e 3 ai valori acquisiti dando una valutazione delle componenti vere. A riprova di quanto affermato è stato ripetuto il calcolo delle basi considerando i nuovi valori per le componenti. I risultati ottenuti sono quelli evidenziati nelle Figure 9, 10 e 11. Si nota subito che il *trend* delle basi, prima evidente, ora è scomparso del tutto. Si nota bene l'effetto sulle basi del livellamento e del riallineamento del sensore del magnetometro vettoriale, avvenuto il giorno giuliano 183.

Dopo il riallineamento del giorno 183 i valori delle basi si distribuiscono intorno allo zero. Significa che i valori di campo ricalcolati sono vicini ai valori veri. C'è da notare che nei giorni in cui viene eseguita una misura assoluta, essendo questa ripetuta 3 o 4 volte, non sempre i punti rappresentativi di tali misure sono sufficientemente addensate intorno ad un valore medio.

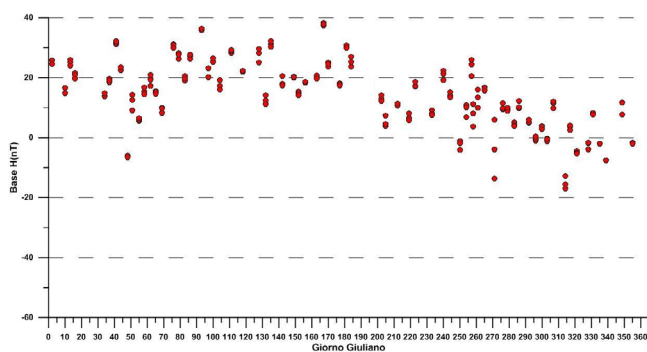


Figura 9 Nuovi valori di base per la componente H.

Figure 9 New base values for the H component.

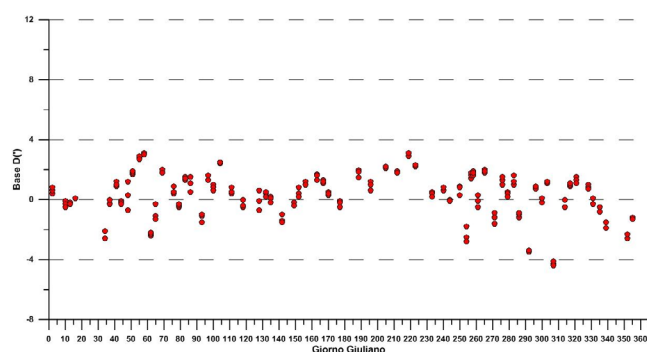


Figura 10 Nuovi valori di base per la declinazione D.

Figure 10 New base values for the declination D.

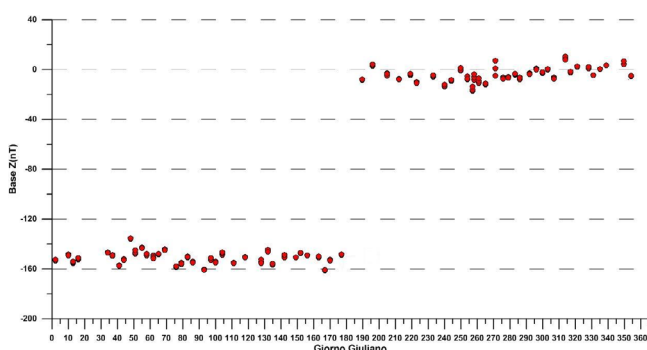


Figura 11 Nuovi valori di base per la componente Z.

Figure 11 New base values for the Z component.

Giornalmente le misure assolute danno dei valori delle rispettive basi molto vicini se non addirittura identici. Solo in alcuni casi sporadici si hanno dei valori che si discostano in modo evidente (come ad esempio per il giorno 270). Questo ci tranquillizza sulla buona esecuzione delle misure assolute. La non compattezza delle basi invece è attribuibile all'effetto di interferenza delle altre componenti, effetto non monitorabile e che non può essere evitato.

4. Considerazioni finali

Se, per motivi meccanici, il sensore subisce uno spostamento dalla posizione iniziale con la conseguente perdita dell'allineamento di un asse del sensore stesso dalla direzione iniziale, quella fissata durante l'installazione, l'effetto che si crea è quello di registrare una misura errata e di generare una indesiderata variazione anche nelle altre componenti, indotta dalla perdita dell'allineamento. Tale effetto è presente sia nel sistema orientato in HDZ che nel sistema orientato in XYZ. Ovviamente l'effetto è prevalente per la componente lungo la quale si è avuto lo spostamento più significativo dell'asse del sensore ma ad essa si sovrappongono, in misura molto ridotta e modulate secondo il coseno dell'angolo d'apertura, le altre due componenti. Non

è possibile individuare con esattezza l'effettiva influenza reciproca perché risulta difficile conoscere gli angoli deviati. Per poter risalire ai valori corretti delle componenti è necessario monitorare l'evoluzione temporale degli angoli α^i , β^i e γ^i , ad esempio clinometri ad alta precisione qualora disponibili in materiali amagnetici. Un'alternativa molto valida è rappresentata dall'utilizzo di magnetometri con sensori sospesi autolivellanti, garantendo sempre, per effetto della gravità, un perfetto allineamento almeno lungo la direzione verticale. Per essi è importante che non subiscano rotazioni nel piano orizzontale con conseguente inquinamento delle componenti corrispondenti. Magnetometri di questo tipo sono già in uso, ad esempio, presso l'Osservatorio di Duronia. La procedura per la correzione della deriva, appena descritta, è molto efficace pur essendo una pratica da usare solo in condizioni estreme ed è valida, ricordiamo infine, sotto l'ipotesi che i tre assi sensoriali interni ai magnetometri vettoriali siano tra loro perfettamente ortogonali per costruzione o che gli angoli di deviazione siano molto maggiori degli angoli di disallineamento.

Riferimenti bibliografici

Di Persio M., Gizzi C., (2012). *Analisi qualitativa dei dati Intermagnet 2010 di L'Aquila*. Quaderni di Geofisica n.100, Roma.

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

QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/quaderni-di-geofisica.html/>

I QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) accolgono lavori, sia in italiano che in inglese, che diano particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari che necessitano di rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. Per questo scopo la pubblicazione on-line è particolarmente utile e fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi. I QUADERNI DI GEOFISICA sono presenti in "Emerging Sources Citation Index" di Clarivate Analytics, e in "Open Access Journals" di Scopus.

QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) welcome contributions, in Italian and/or in English, with special emphasis on preliminary elaborations of data, measures, and observations that need rapid and widespread diffusion in the scientific community. The on-line publication is particularly useful for this purpose, and a multidisciplinary Editorial Board with an accurate peer-review process provides the quality standard for the publication of the manuscripts. QUADERNI DI GEOFISICA are present in "Emerging Sources Citation Index" of Clarivate Analytics, and in "Open Access Journals" of Scopus.

RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/rapporti-tecnici-ingv.html/>

I RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico come manuali, software, applicazioni ed innovazioni di strumentazioni, tecniche di raccolta dati di rilevante interesse tecnico-scientifico. I RAPPORTI TECNICI INGV sono pubblicati esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) publish technological contributions (in Italian and/or in English) such as manuals, software, applications and implementations of instruments, and techniques of data collection. RAPPORTI TECNICI INGV are published online to guarantee celerity of diffusion and a prompt access to published data. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favorisce la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV. In particolare, MISCELLANEA INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc. La pubblicazione è esclusivamente on-line, completamente gratuita e garantisce tempi rapidi e grande diffusione sul web. L'Editorial Board INGV, grazie al suo carattere multidisciplinare, assicura i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi sottomessi.

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favours the publication of scientific contributions regarding the main activities carried out at INGV. In particular, MISCELLANEA INGV gathers reports of scientific projects, proceedings of meetings, manuals, relevant monographs, collections of articles etc. The journal is published online to guarantee celerity of diffusion on the internet. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

Coordinamento editoriale e impaginazione

Francesca DI STEFANO, Rossella CELI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Progetto grafico e impaginazione

Barbara ANGIONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

©2019
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata, 605
00143 Roma
tel. +39 06518601

www.ingv.it



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA