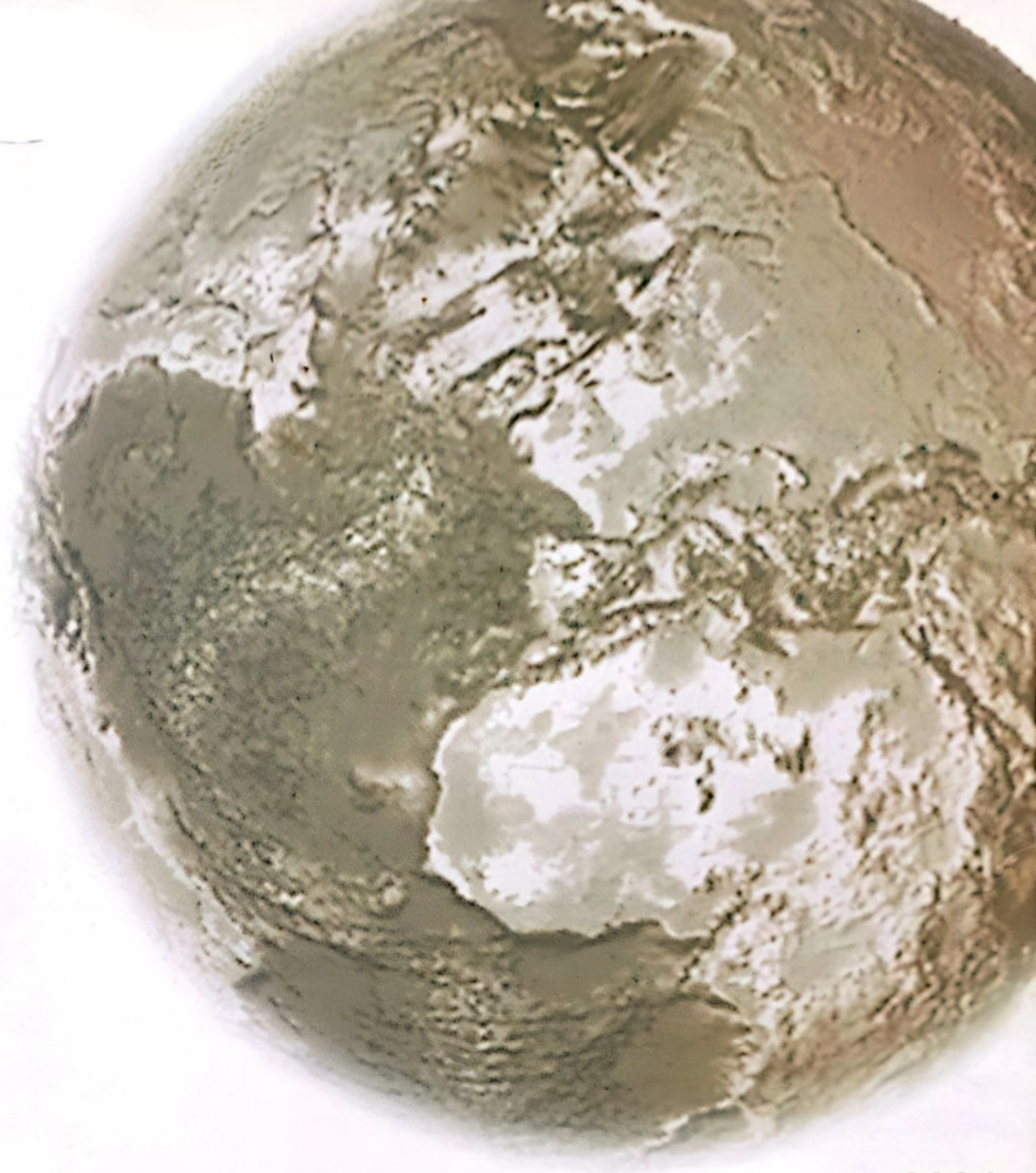




2004

**L'osservatorio geomagnetico
presso la base italiana
Stazione Mario Zucchelli
in Antartide**

L. Cafarella, D. Di Mauro e A. Zirizzotti

n. 26

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata 605 - 00143 Roma

tel. 06518601 • fax 065041181

www.ingv.it



L'osservatorio geomagnetico presso la base italiana *Stazione Mario Zucchelli* in Antartide

L. Cafarella, D. Di Mauro e A. Zirizzotti



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

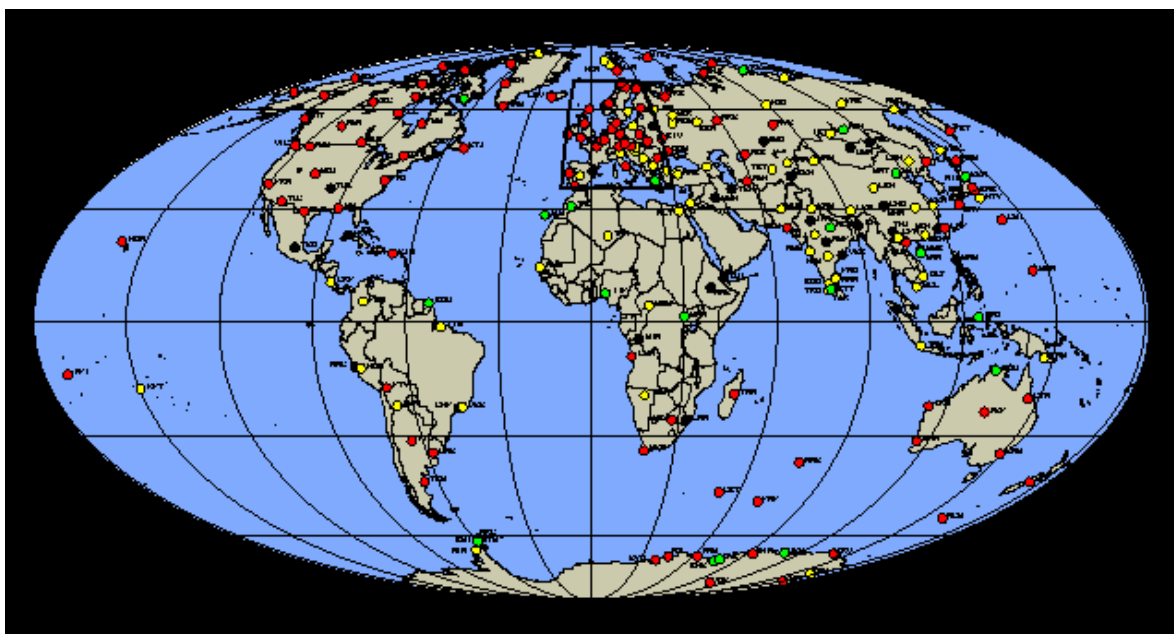


Figura 8: distribuzione degli osservatori geomagnetici sul globo terrestre (dal sito del National Geophysical Data Center, NGDC)

L'osservatorio geomagnetico presso la Stazione Mario Zucchelli

In Antartide, gli sforzi e i disagi di ambientamento degli specialisti sono ampiamente ripagati dalla totale assenza dei tipici disturbi elettromagnetici presenti in tutte le zone antropizzate del mondo: la raccolta di segnali immuni da rumore è già di per se un buon risultato ma soprattutto un incoraggiante punto di inizio per una produttiva elaborazione dei dati. L'Italia, nell'ambito del proprio programma nazionale di ricerche in Antartide, il PNRA, partecipa alla distribuzione mondiale dei dati magnetici che dalla spedizione 1985/86 sono continuamente raccolti presso la Stazione Mario Zucchelli.

L'osservatorio geomagnetico della Stazione Mario Zucchelli è operativo dal 1986. Dal 2000 si trova nella configurazione strumentale descritta in questo manuale ed è collocato presso OASI, a poche centinaia di metri dagli edifici principali della base scientifica italiana (Coordinate geografiche: Lat. 74° 41' 36.89" S, Long. 164° 5' 51.01" E, alt.: 9.5 m s.l.m.). Le misure vettoriali (automatiche) e le misure assolute (manuali) del campo magnetico terrestre sono state raccolte sistematicamente a partire dal 1986, anno di fondazione del vecchio osservatorio (coordinate geografiche: Lat. 74° 41' 24"S, Long. 164° 7' 26.4" E, alt. 0 m s.l.m.), ubicato sulle rocce costiere nelle immediate vicinanze della base. La continua espansione e la potenziata attività della base ha reso necessario lo spostamento dell'installazione nella sua attuale posizione (ad OASI). Questo trasferimento oltre ad una riduzione dei disturbi elettromagnetici generati dalle attività antropiche sulle misure magnetiche, consente il recupero della precedente area particolarmente utile per l'attivazione di un approdo navale e delle infrastrutture ad esso collegate.

Nell'osservatorio geomagnetico antartico vengono registrate le misure vettoriali del campo magnetico terrestre nella banda di frequenza DC-1 Hz, utilizzate in diverse aree di ricerca:

- 1) per lo studio delle variazioni temporali del campo geomagnetico [Consolini et al., 1997; Villante et al., 1997; Cafarella et al., 1998; Villante et al., 1998; Lepidi et al., 2001];
 - a) variazioni lente del campo geomagnetico (variazione secolare) nell'area della Base;
 - b) variazioni rapide del campo magnetico (micropulsazioni e risonanza Schumann);
- 2) per la riduzione delle misure effettuate nei rilievi aeromagnetici delle aree prossime alla Base;
- 3) i dati sono forniti alle banche dati mondiali (WDC-A, WDC-B, AGONET, etc.) dove vengono utilizzati per definire i campi di riferimento internazionali (IGRF) e vengono resi disponibili alla comunità scientifica. Le medie annuali dell'osservatorio antartico contribuiscono al modello di riferimento antartico (ARM) valido dal 1960 ad oggi (DeSantis et al., 2002).

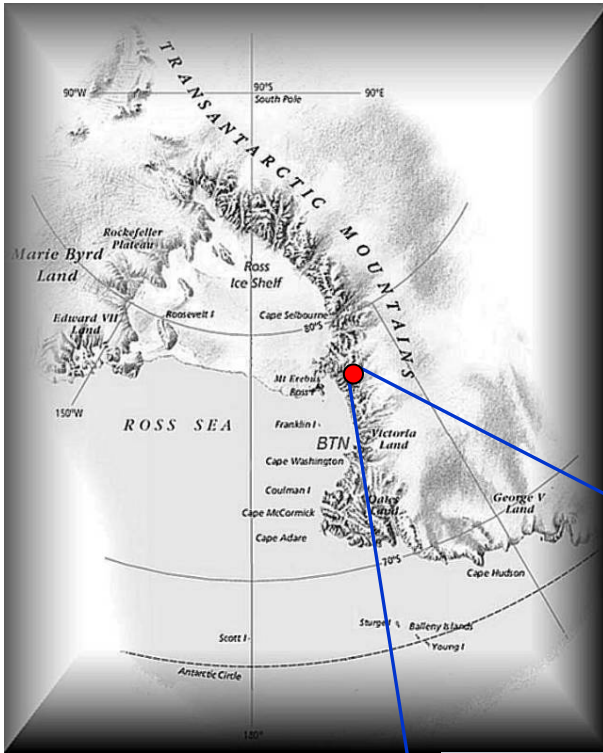
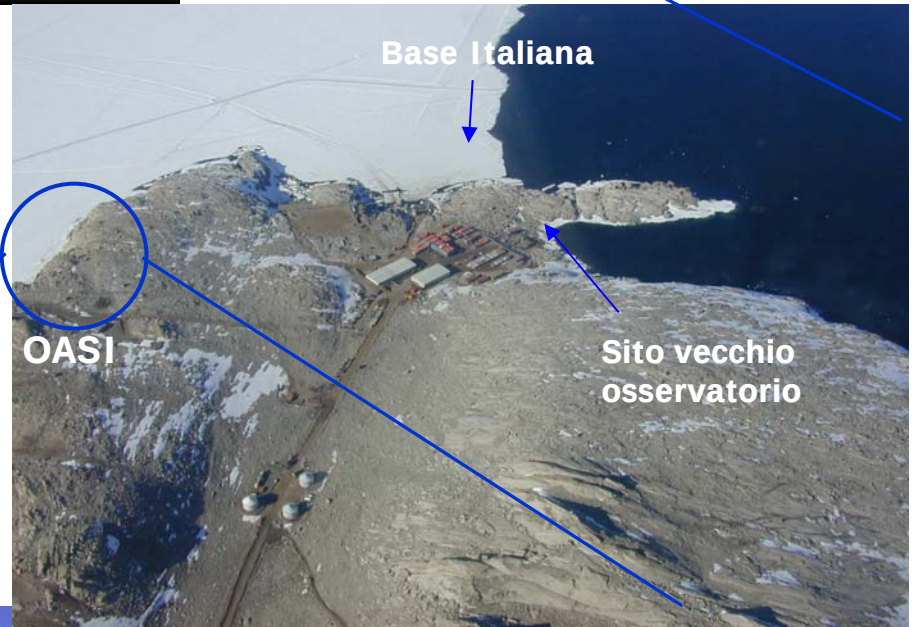


Figura 9: L'osservatorio geomagnetico della stazione Mario Zucchelli sorge presso l'area di ricerca OASI, a poche centinaia di metri dagli edifici principali della base scientifica italiana.



La variazione secolare presso l'osservatorio della Stazione Mario Zucchelli

Come già accennato, uno dei principali compiti di un osservatorio geomagnetico è quello di monitorare il campo magnetico terrestre e di fornire informazioni sul suo comportamento. I valori registrati dai vari osservatori vengono utilizzati per realizzare i vari modelli matematici del campo con lo scopo di definirne i valori per ogni parte del globo. L'IGRF (International Geomagnetic Reference Field) ad esempio, adottato per la prima volta nel 1968, è una descrizione temporanea del campo geomagnetico ottenuta attraverso l'analisi in armoniche sferiche dai dati provenienti da tutti gli osservatori mondiali e fornisce i valori medi del campo durante il periodo di validità del modello stesso [Langel, 1987; Langel, 1992].

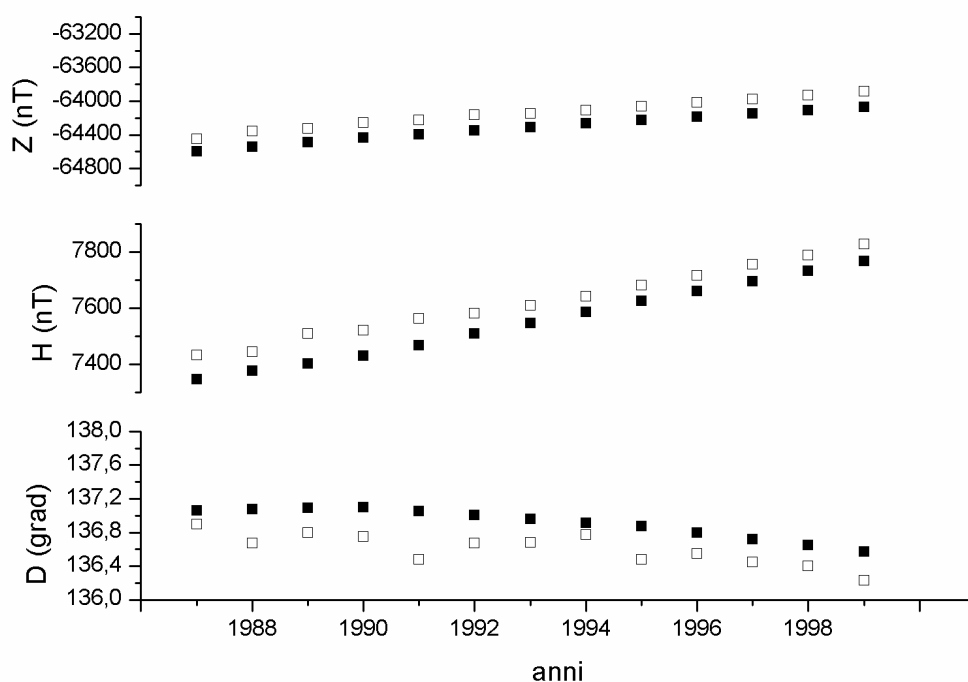


Figura 10: Valori medi annui per le componenti D , H e Z registrati all'Osservatorio di BTN (quadretti pieni) e corrispondenti valori IGRF (quadretti vuoti).

Osservando i valori mediati su un anno dei valori del campo, è possibile osservare la sua lenta variazione. Questo tipo di variazione del campo è chiamata *variazione secolare* propria del campo principale. Grazie all'IGRF è possibile ottenere delle mappe globali a varie epoche in modo da caratterizzare il campo e le sue variazioni portando così informazioni importanti per lo studio dei meccanismi di generazione del campo stesso.

Il grafico di figura 10 mostra la variazione secolare (calcolata però soltanto sui dati estivi) registrata nell'osservatorio italiano antartico. I quadretti vuoti sono i valori calcolati dall'IGRF (9° generazione con revisione all'anno 2003) del corrispondente anno mentre i quadretti pieni sono quelli i valori sperimentali dell'osservatorio. Il grafico mostra un buon accordo tra i dati sperimentali e i valori del modello.

PARTE II: Informazioni per l'utente sull'osservatorio

Il vecchio osservatorio

Il vecchio osservatorio geomagnetico, come accennato nella prima parte di questo manuale, è stato installato alla Stazione Mario Zucchelli nel 1986. Ha funzionato con alcune modifiche alla strumentazione originale fino al 2000, anno in cui si è deciso di spostarlo in una sede più isolata dalla base principale e idonea da un punto di vista magnetico. La collocazione del vecchio osservatorio è alla estremità della penisola adiacente al campo base, a SE di questo. L'osservatorio ha cominciato la sua attività con un variometro EDA FM100 per la misura delle componenti del campo, un magnetometro scalare Geometrix G856 (per la misura dell'intensità del campo) e un EDA DIM 100 per la misura delle componenti angolari D ed I. Oltre questi, per il primo anno soltanto, è stato utilizzato anche un variografo Askania con magneti sensori e amplificazione ottica per la misura delle componenti H e D. Nel vecchio sito rimane la casetta in legno delle misure assolute con il suo pilastrino di riferimento (foto in figura 11). Periodicamente vengono eseguite le misure assolute anche in corrispondenza di questo sito per il controllo della variazione del gradiente del campo magnetico terrestre tra il vecchio e il nuovo punto di riferimento [per maggiori dettagli sull'osservatorio nel vecchio assetto vedi Meloni et al., 1997].



Figura 11: Casetta misure assolute nel vecchio sito

Il passo di campionamento dei dati è variato nell'arco della vita dell'osservatorio. E' passato da una misura ogni 2 minuti per la prima spedizione (sia per le componenti che per l'intensità dal campo), per arrivare a 1 misura ogni 5 s per F e 1 misura al s per H, D, Z di oggi.

Durante la campagna 1988-1989 il magnetometro Geometrix è stato sostituito con uno Scintrex. Nel 1991, nel tentativo di acquisire dati anche durante l'inverno australe, è stata raddoppiata la strumentazione creando due sistemi di acquisizione completi (ciascuno con un magnetometro vettoriale e un magnetometro scalare, dello stesso tipo e con le stesse caratteristiche) indipendenti l'uno dall'altro. In particolare, per garantire la copertura temporale, i due sistemi venivano alimentati uno dalla rete e l'altro da batterie e pannelli solari.

L'espansione della base ha reso però, con il passare degli anni, il sito poco adatto alla registrazione delle componenti del campo geomagnetico. Si è deciso così di portare l'osservatorio

nel nuovo sito (OASI). Le operazioni si sono svolte durante le campagne 1999-2000, 2000-2001, 2001-2002 e 2002-2003. La strumentazione è stata totalmente rinnovata. Il nuovo osservatorio prevede ancora due sistemi di misura ridondanti e paralleli.

L'osservatorio geomagnetico ad OASI

L'osservatorio geomagnetico nella nuova configurazione comprende un laboratorio ospitato nell'edificio principale di OASI e quattro cassette amagnetiche: due in legno (la cassetta SENSORI e la cassetta MISURE ASSOLUTE nella parte più alta dell'area visibili in figura 13) e due container ISO 10 in alluminio trasportati qui dal vecchio sito (denominati LAB1 e LAB2, vedi figure 13 e 14). Per la disposizione planimetrica degli edifici vedi la figura 12.

La *cassetta sensori* ospita i due sistemi di acquisizione ridondanti: **OASIGEOMAG1 e OASIGEOMAG2** formati ciascuno da un magnetometro vettoriale di tipo *flux-gate* per le tre componenti del campo magnetico e da un magnetometro scalare tipo *Overhauser* per la misura dell'intensità del campo totale (vedi paragrafo "caratteristiche dei sistemi di acquisizione"). Le misure e le registrazioni vengono effettuate automaticamente e, mentre il primo dei due sistemi è alimentato dalla rete (220 V), il secondo è collegato ad accumulatori e pannelli solari (12 V) in modo da sopperire ad eventuali mancanze di alimentazione da parte della rete.

I sensori dei *flux-gate* sono orientati magneticamente: uno dei due assi orizzontali magnetici è parallelo alla direzione definita dalla componente H. L'altro asse è perpendicolare a questo. Le componenti misurate da una terna di *flux-gate* orientato in questo modo sono H, D e Z. E' poi necessario ricorrere a delle semplici procedure matematiche per ottenere i valori del campo nel riferimento geografico (X, Y e Z) [Azzara et al., 1991].

La *cassetta misure assolute* ospita il teodolite in assetto declinometrico /inclinometrico (DIM) per le misure assolute che periodicamente vengono eseguite al fine di garantire un'accurata calibrazione degli strumenti in registrazione automatica. Essa è termostata con una stufetta amagnetica; ospita inoltre il sensore e la consolle del magnetometro scalare del sistema OASIGEOMAG2 in modo da avere un riferimento locale sui valori di intensità del campo.

Il container LAB1 viene utilizzato come magazzino e come punto di appoggio per i pannelli solari del sistema OASIGEOMAG2, mentre il container LAB2 ospita gli apparati di acquisizione e gli elaboratori elettronici.

I dati acquisiti da ciascun sistema sono entrambi trasmessi tramite il cavo di rete ad un elaboratore (OASIGEOMAG) presso il laboratorio per il monitoraggio del sistema (stanza 9 di OASI) per il controllo e l'immagazzinamento (vedi figura 12).

Figura 12: Planimetria generale (non in scala)

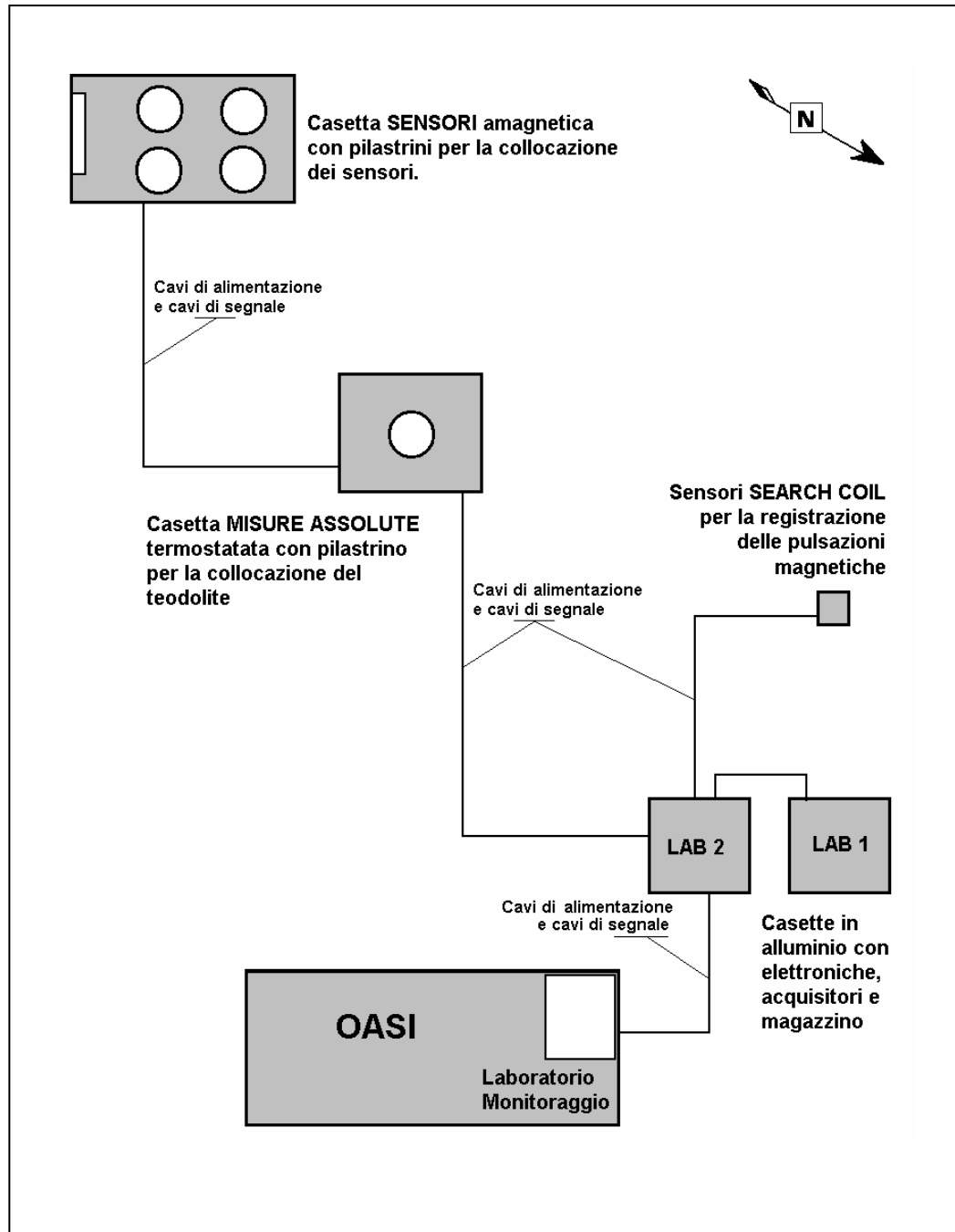
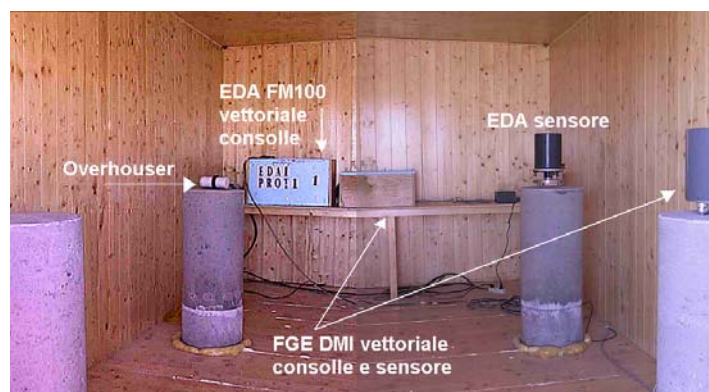


Figura 13*Casetta misure assolute**Interno casetta misure assolute**Casetta sensori**Interno casetta sensori*



Accumulatori per i pannelli solari (LAB 1)



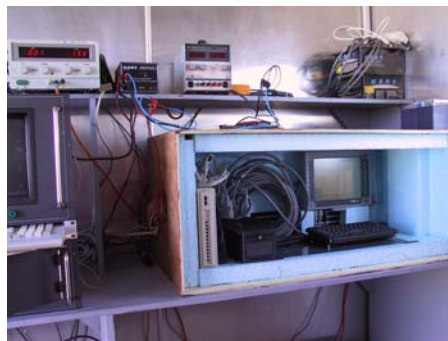
Controllori pannelli solari (LAB 1)



Magazzino (LAB 1)



Sistema di acquisizione OASIGEOMAG 1 (LAB 2)



Sistema di acquisizione OASIGEOMAG 2 (LAB 2)



Acquisizione per micropulsazioni (LAB 2)



Laboratorio per il controllo e l'immagazzinamento dei dati presso OASI

Figura 14

Caratteristiche dei sistemi di acquisizione

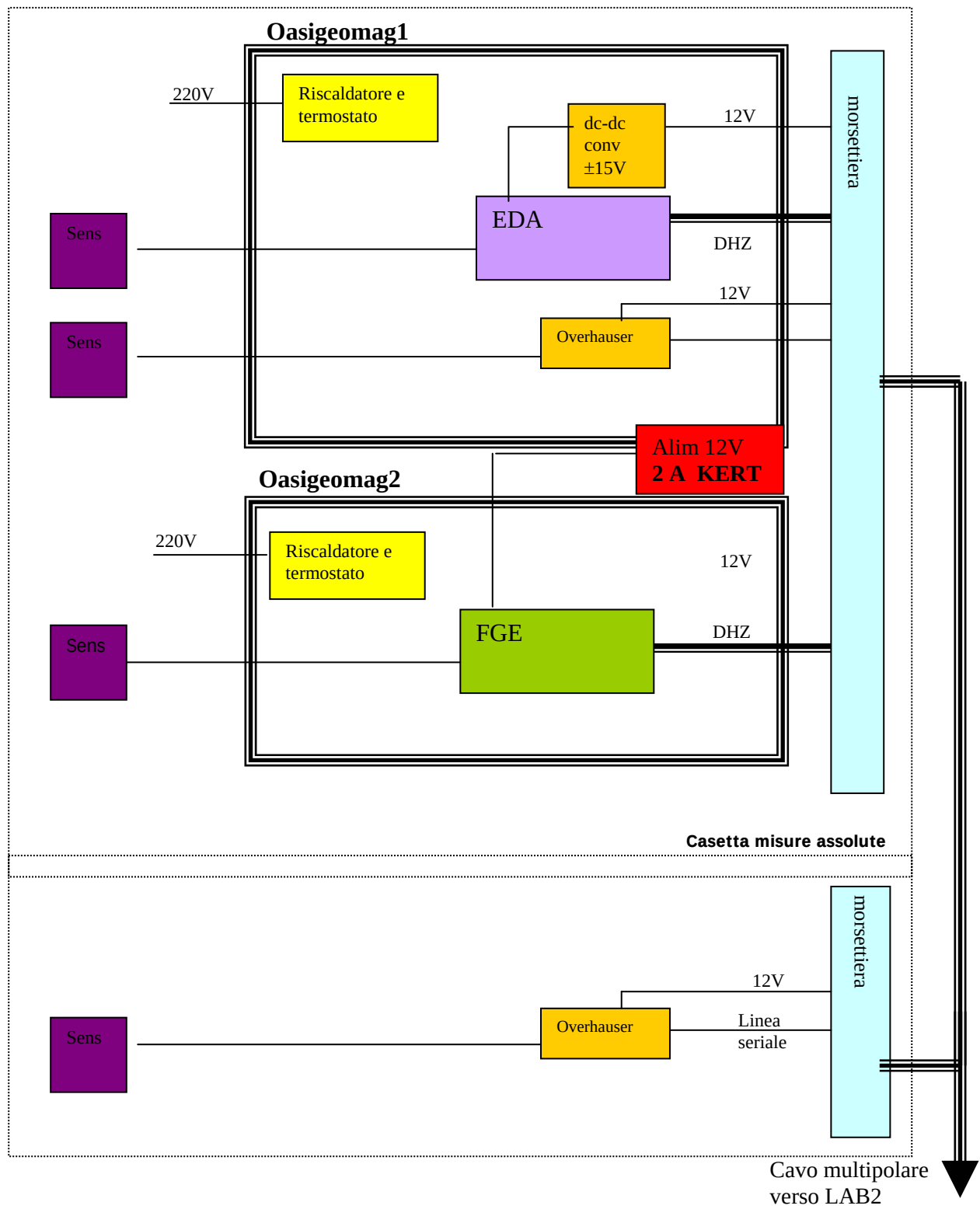
I due sistemi di acquisizione presenti nell'osservatorio geomagnetico della Stazione Mario Zucchelli sono equivalenti per garantire la continuità delle registrazioni e la buona qualità del dato. Le caratteristiche salienti dei due sistemi sono elencate nello specchio seguente:

	
OASIGEOMAG1 Magnetometro vettoriale: fluxgate EDA FM100 Magnetometro scalare: Overhauser Geomag SR90F Componenti acquisite: D, H, Z, F Campionamento: 1s per D,H e Z; 5s per F Acquisitore: 24 bit (INGV) su porta parallela Fattori di conversione: 100 nT/V Clock sistema: ricevitore GPS ASHTECH G8 Alimentazione del sistema: 220 V Computer di acquisizione: Kontron (OASIGEOMAG1 IP 192.107.99.155) Software: Mago v.2.0, GPSORA (INGV)	OASIGEOMAG2 Magnetometro vettoriale: fluxgate FGE DMI Magnetometro scalare: Overhauser Geomag SR90F Componenti acquisite: D, H, Z, F Campionamento: 1s per D,H e Z ; 5s per F Acquisitore: 24 bit (INGV) su porta parallela Fattori di conversione: 200 nT/V, 200K/V Clock sistema: ricevitore GPS ASHTECH G8 Alimentazione del sistema: 12 V con accumulatori e pannelli solari Computer di acquisizione: Kontron Workfield (OASIGEOMAG1 IP 192.107.99.148), in cassa termostata Software: Mago v.2.1, GPSORA (INGV)

Indice

PARTE I: INFORMAZIONI GENERALI	3
L'ANTARTIDE.....	4
LE BASI ITALIANE IN ANTARTIDE	5
IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE	7
GLI OSSERVATORI GEOMAGNETICI	9
L'OSSERVATORIO GEOMAGNETICO PRESSO STAZIONE MARIO ZUCHELLI	10
PARTE II: INFORMAZIONI PER L'UTENTE DELL'OSSERVATORIO...	13
IL VECCHIO OSSERVATORIO	14
L'OSSERVATORIO GEOMAGNETICO AD OASI	15
CARATTERISTICHE DEI SISTEMI DI ACQUISIZIONE	19
L'ACQUISITORE INGV24.....	20
L'ACQUISITORE INGV24.....	21
L'ACQUISITORE INGV24.....	22
PROGRAMMI IN USO PRESSO L'OSSERVATORIO	23
ELABORATORI E ACQUISITORI: SCHEMA RIASSUNTIVO	26
MISURE ASSOLUTE	27
LE PAGINE WEB	31
INFORMAZIONI TECNICHE.....	33
BIBLIOGRAFIA.....	39

Figura 15: Collegamenti cassetta sensori



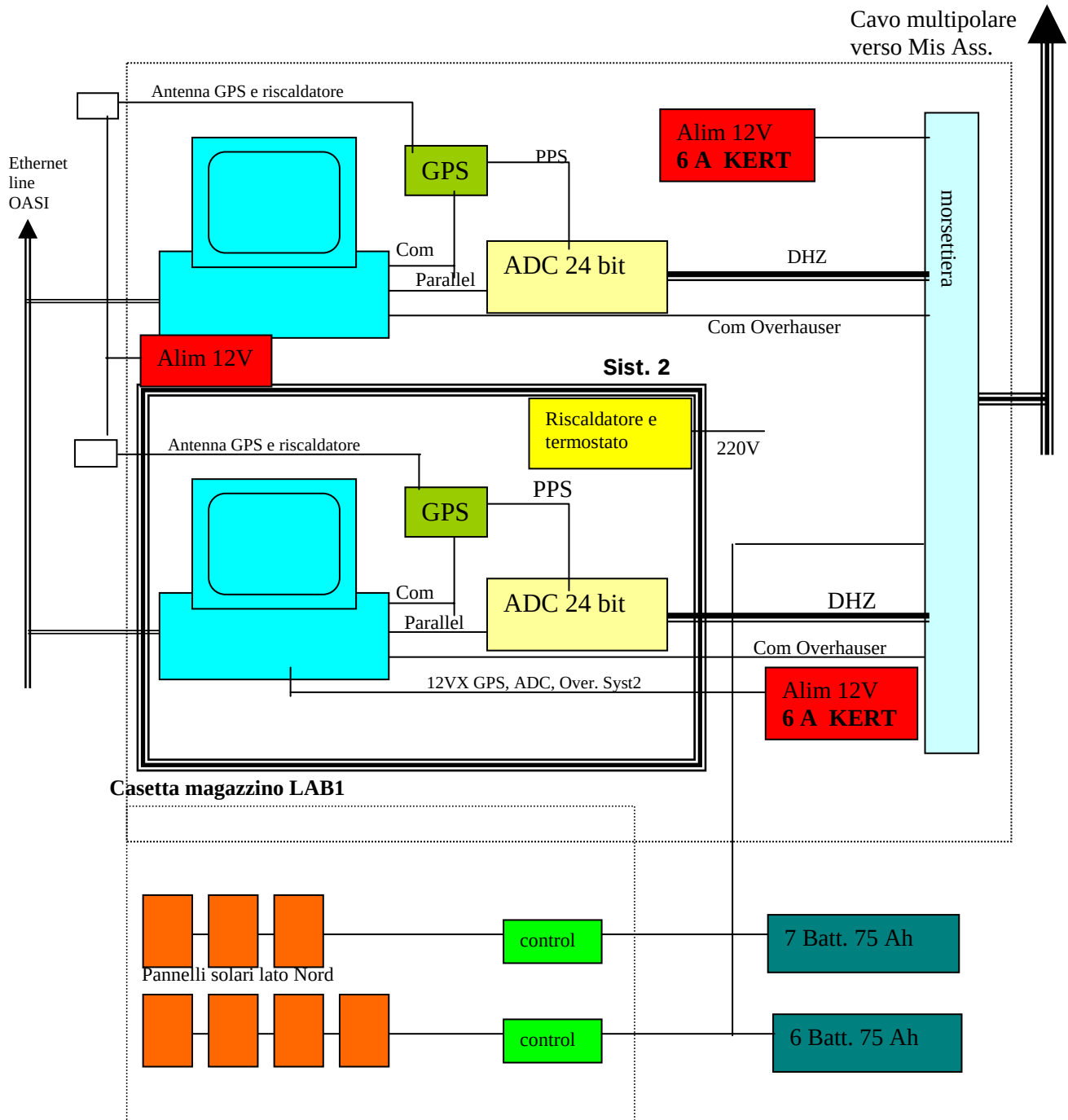


Figura 16: Cassetta misure sistema acquisizione **LAB2**

L'Acquisitore INGV24

L'acquisitore INGV24 è stato interamente progettato e realizzato nei laboratori elettronici dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

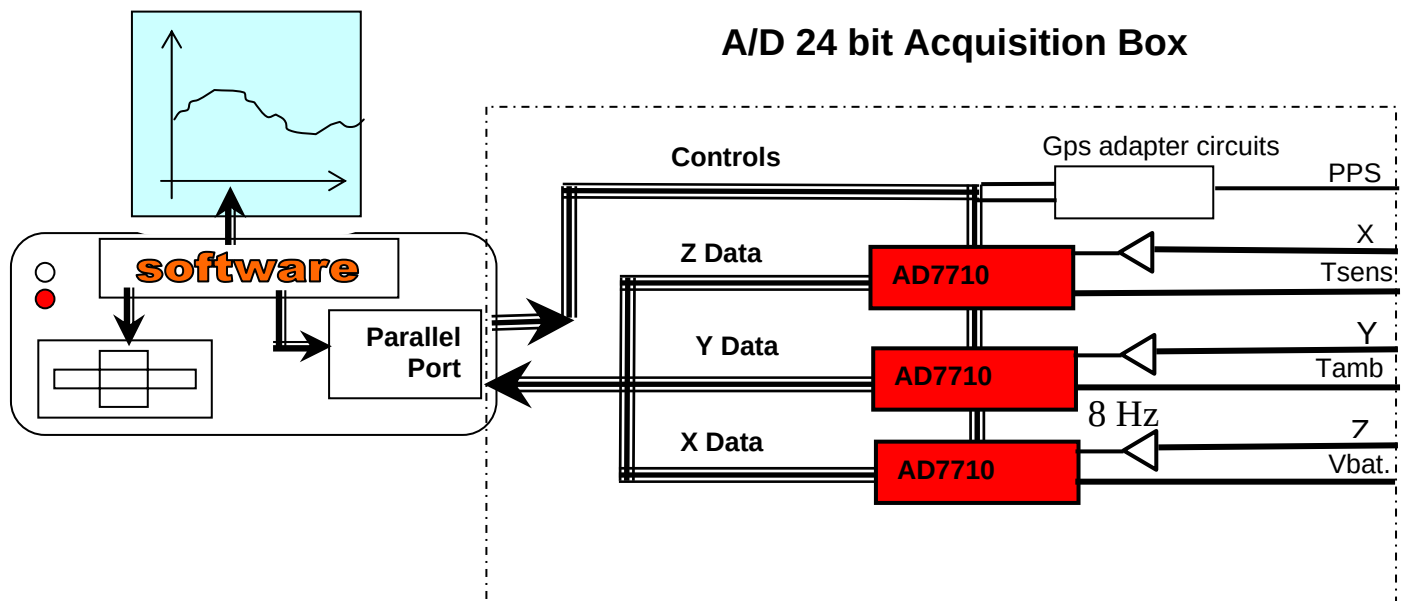
La scheda ADC24 per la conversione digitale delle componenti del campo misurate contiene 3 convertitori analogici/digitali a due canali a 24 bits pilotati dalla porta parallela del computer di acquisizione.

Sul primo dei canali dei tre convertitori vengono acquisite le componenti del campo misurate dal magnetometro vettoriale (1 s) e memorizzate in due file. Sul secondo canale vengono registrate rispettivamente la temperatura del sensore, la temperatura dell'elettronica dello strumento e la tensione delle batterie. Questi valori vengono acquisiti una volta ogni 60 s.

Le componenti del campo vengono filtrate con un filtro passa basso a 8 Hz e vengono attenuate (1/4) da tre circuiti invertitori a basso rumore in modo da avere un input con intervallo $\pm 10V$. La scheda è controllata via software. Il programma di acquisizione è stato sviluppato per pilotare il convertitore adc24 attraverso la parallela del computer di acquisizione e per graficare ed immagazzinare i dati acquisiti.

Il riferimento temporale viene ottenuto utilizzando il segnale PPS (pulse per second) dal GPS ASHTECH G8 in modo da avere un preciso riferimento temporale.

Figura 17



Programmi in uso presso l'osservatorio

MAGO: MAGnetic Observatory acquisition program.

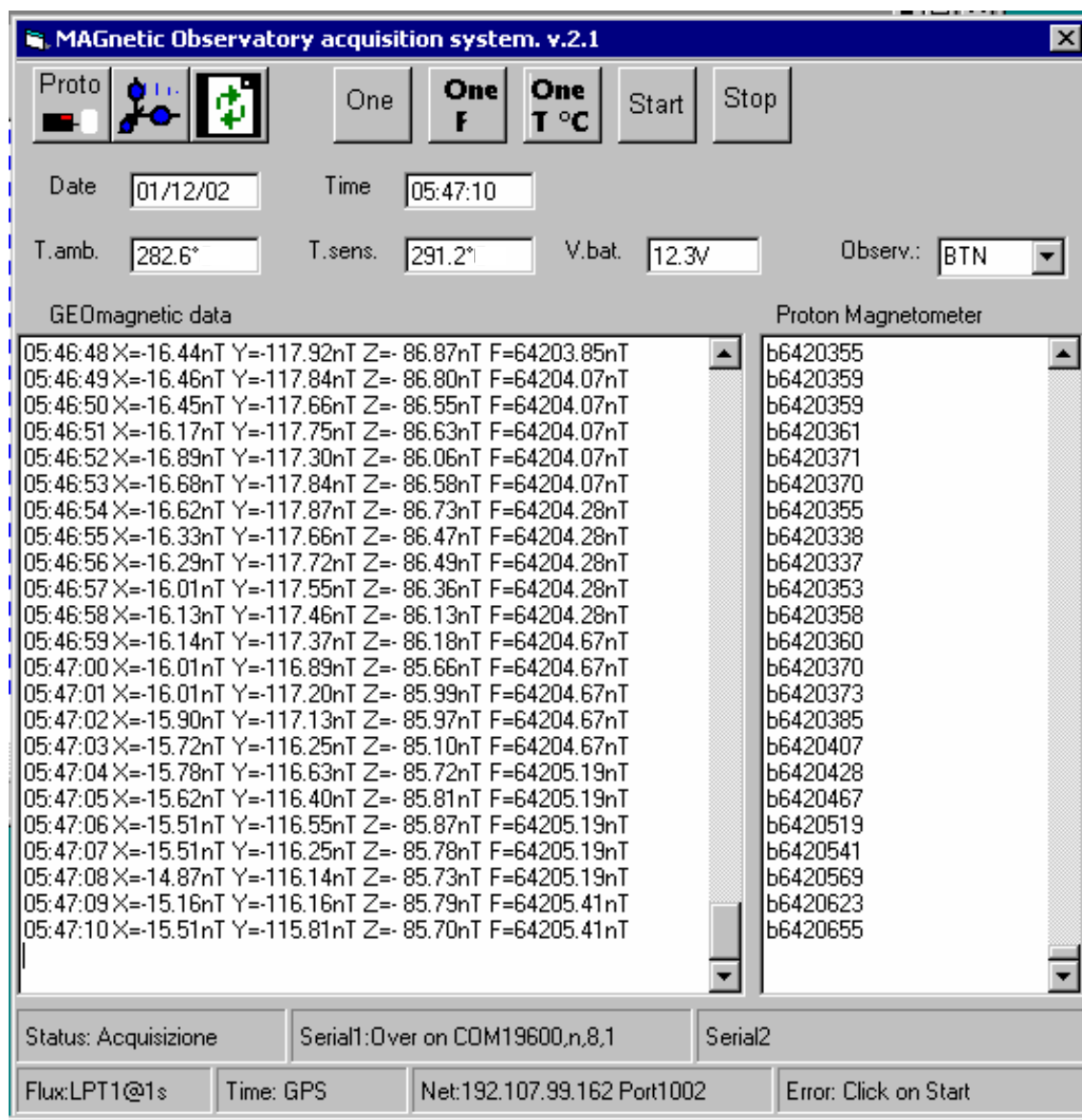


Figura 18

E' il programma di acquisizione scritto in Visual basic utilizzato in entrambi i sistemi di misura oasigeomag1 e oasigeomag2. Il programma prevede l'acquisizione su sei diversi canali: le 3 componenti del campo, la temperatura del sensore, la temperatura dell'elettronica dello strumento e la tensione delle batterie. L'acquisitore previsto è, come accennato, l'INGV24, acquisitore a 24 bit su porta parallela (il programma può eventualmente usare anche l'acquisitore seriale a 16 bit della ADAM) con acquisizione a 1 s, 5s, 10s.

Il programma gestisce anche un magnetometro Overhauser su porta seriale con acquisizione a 5 s nonché, grazie al protocollo TCP IP (o su porta seriale), la trasmissione dei dati acquisiti al programma GRAFTerm residente su un server di rete, per il monitoraggio remoto. Vengono anche memorizzate tutte le impostazioni effettuate rendendoli utilizzabili al rinvio.

I file salvati localmente contengono sia i dati mediati al minuto nel formato INTERMAGNET (in cui le varie colonne riportano, sulla stessa riga, i valori di D, H, Z ed F rispettivamente

nell'esempio sono riportati i canali, X, Y e Z dell'acquisitore) che i file al passo di campionamento del Flux-Gate (dati al secondo). Ciascun file è identificato da un nome del tipo: MMMDDYY.btn con MMM mese, DD giorno, YY anno (SMMMDDYY.btn per i dati al secondo).

Esempio di un file formato INTERMAGNET con dati 1 minuto. nome file: Apr0203.btn

```
BTN apr0203 067 00 DHZF R PAR 04240133 000000 RRRRRRRRRRRRRRRRRR
873 -3849 -572 642958 882 -1767 -459 642958
831 -1833 -483 642958 765 -1899 -497 642958
705 -1960 -521 642958 645 -2009 -540 642958
602 -2052 -542 642958 557 -2115 -544 642958
```

GPSora:

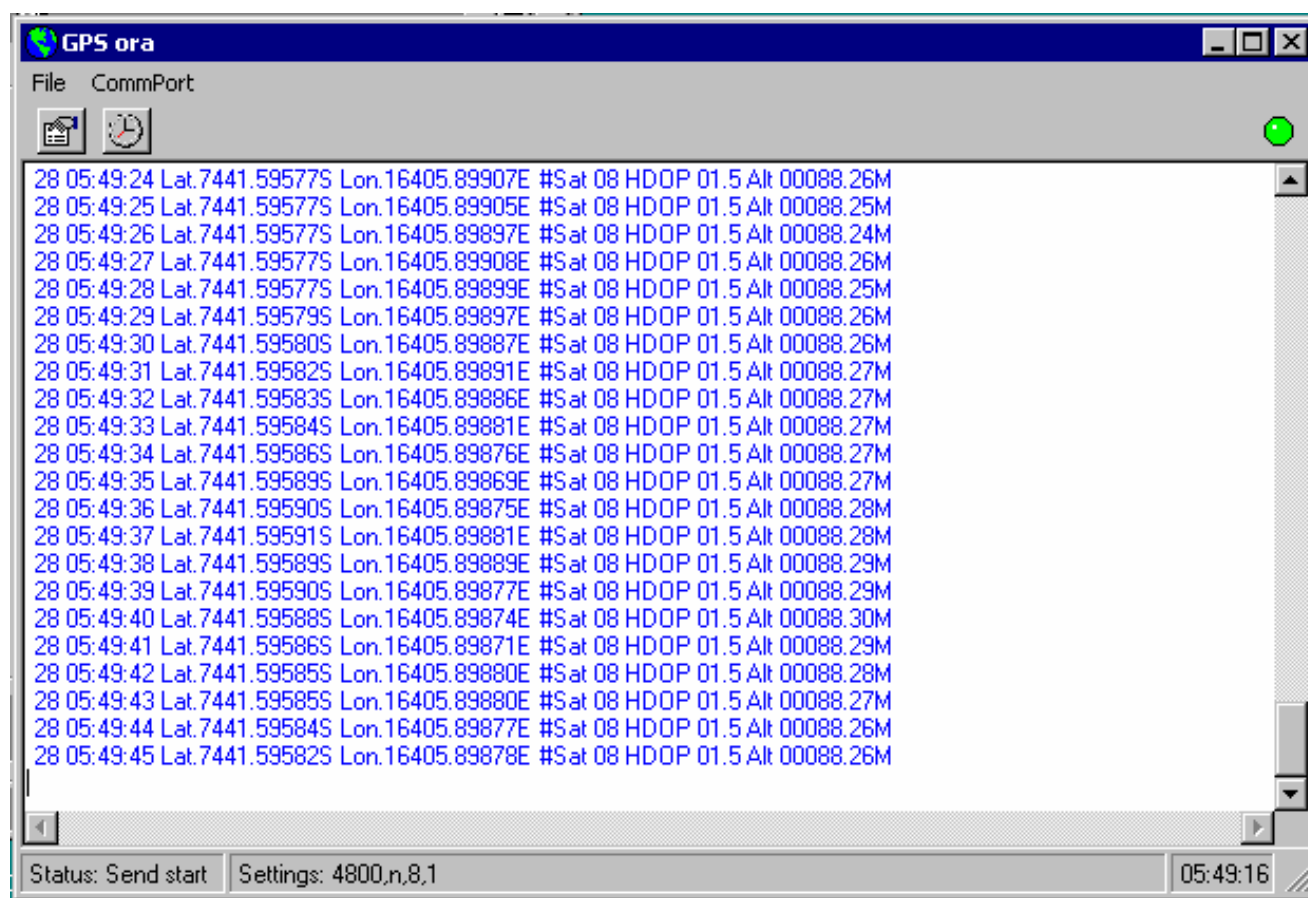


Figura 19

Entrambi i sistemi di misura presenti in base utilizzano come riferimento temporale il tempo fornito da un GPS a singola frequenza (ASHTECH G8) collegato alla porta seriale del computer e all'acquisitore (segnale PPS). Il programma acquisisce i dati del GPS e corregge automaticamente l'ora del PC alle 23:00 di ogni giorno.

Una volta lanciato il programma, nella finestra in formato testo che si apre sul monitor (vedi figura 19), il primo numero è il numero di volte in cui è stato resettato l'orologio del PC dal momento di avvio del programma stesso. I valori che seguono sono rispettivamente l'ora del GPS, latitudine, longitudine, il numero di satelliti agganciati, la qualità dei dati e l'altitudine.

Le opzioni offerte dal menù permettono di cambiare i settaggi della porta seriale e aggiornare istantaneamente l'orologio del PC.

GrafTermX: terminale grafico.

Il programma GrafTermX è un programma per il monitoraggio e il controllo remoto dei dati. E' installato sul computer residente ad OASI (OASIGEOMAG) e grazie ad esso è possibile tenere sotto controllo il funzionamento dell'intero osservatorio. Il programma acquisisce i dati dal programma MAGO attraverso la rete o la porta seriale mostrandoli sia in formato testo che graficandoli. A scelta è possibile scegliere le grandezze da visualizzare tra le componenti del campo H D e Z, l'intensità del campo F, la temperatura del sensore, quella dell'elettronica e la tensione di alimentazione in un intervallo di 6 ore. L'aspetto della finestra aperta dal programma è il seguente:

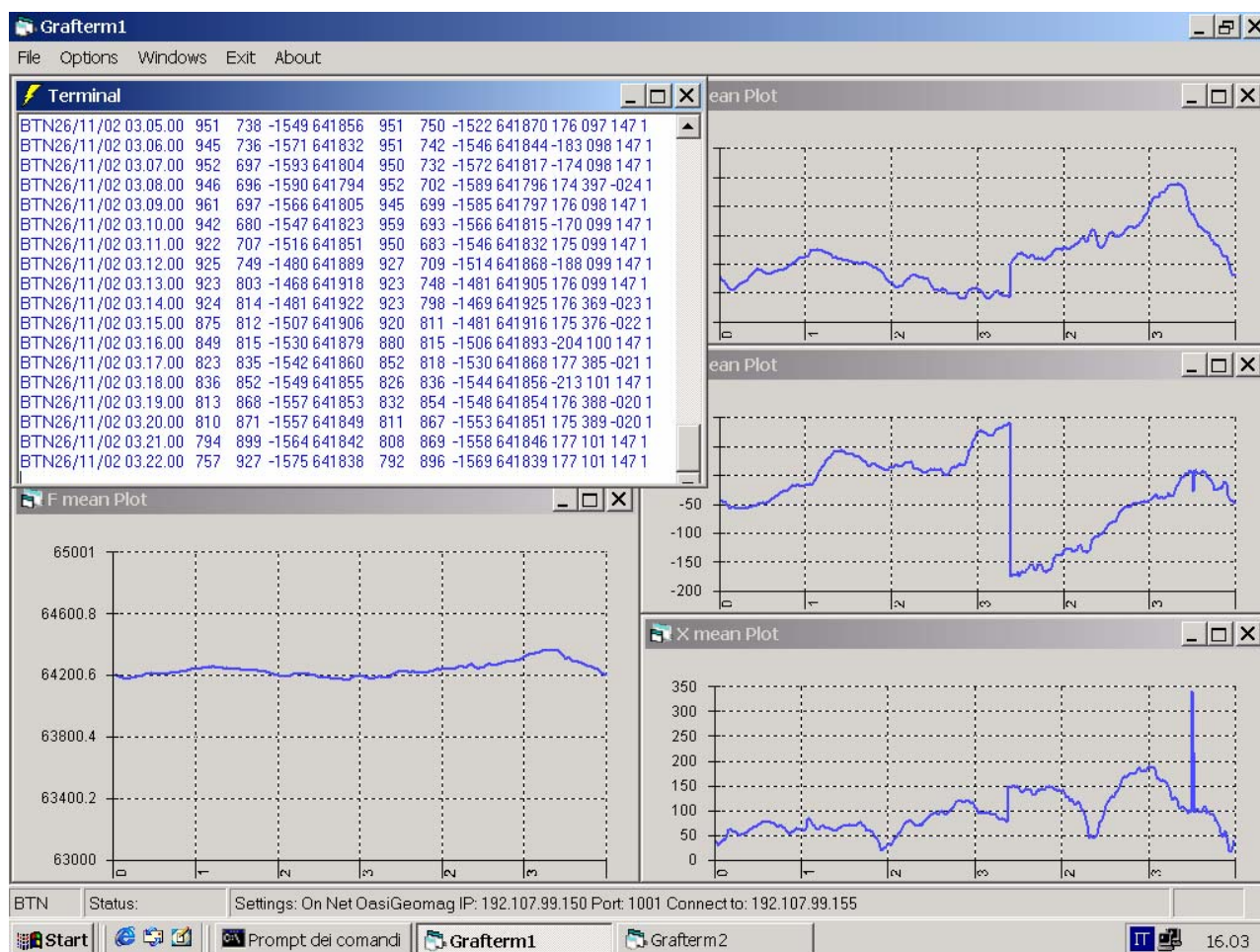


Figura 20

Nella figura 20 il “salto” nelle componenti è dovuto al fatto che il programma non effettua il refresh dello schermo quando inizia un nuovo giorno. Quello che può sembrare un salto in realtà è semplicemente la sovrapposizione dei dati registrati con quelli registrati del giorno precedente. Sull'asse delle ascisse è riportata l'ora (in UT) a cui sono state effettuate le misure.

In formato testo è possibile vedere i dati inviati dal programma di acquisizione: nella prima colonna è riportato il nome della stazione e a seguire, sulla stessa riga, la data, l'ora, le componenti del campo non filtrate (valori istantanei), le componenti del campo mediate al minuto (in formato INTERMAGNET), le temperature, la tensione di alimentazione e la presenza del segnale GPS (1 clock GPS, 0 clock del PC).

Con questo programma è possibile controllare più sistemi contemporaneamente lanciando diverse istanze del programma con nomi diversi (ad es. GRAFTERM1.exe potrebbe essere l'istanza che controlla il sistema 1 e GRAFTERM2.exe quella che visualizza i dati acquisiti dal sistema 2). Tutte le relative impostazioni saranno automaticamente salvate. Tutti i dati vengono salvati in direttori differenti (nome osservatorio e numero istanza es: \\BT1\\YY).

I file memorizzati sulla macchina in remoto sono sia i dati al minuto nel formato INTERMAGNET (MMMDDYY.BTN) che i dati in formato colonne (MMMDDYY.BTD) per

graficarli con i più comuni programmi. Vengono inoltre salvati i file con i dati istantanei al minuto da utilizzare per il calcolo delle basi (MMMDDYY.DAT).

I dati possono essere trasmessi attraverso una connessione di rete protocollo TCPIP o attraverso la porta seriale.

Il programma avverte l'operatore con un beep ogni 10 secondi, se i dati non arrivano dal sistema di acquisizione entro 2 minuti.

Elaboratori e acquisitori: schema riassuntivo

Nello schema seguente viene riportato un elenco di tutti gli elaboratori e acquisitori disponibili in osservatorio con alcune informazioni utili per il rapido accesso al sistema:

Oasigeomag1	Oasigeomag1: computer di acquisizione dati situato in LAB 2 Caratteristiche: Boot automatico, FTP server. Directory dati: BTN1 Programmi: MAGO, GPSORA. User: "oasigeomag1", pass: "oasigeomag1"
Oasigeomag2	Oasigeomag2: computer di acquisizione dati situato in LAB 2 Caratteristiche: Boot automatico, FTP server. Directory dati: BTN2 Programmi: MAGO, GPSORA. User:"oasigeomag2", pass:"oasigeomag2"
Oasigeomag	Oasigeomag: Computer di monitoraggio ospitato nel laboratorio di OASI Caratteristiche: Boot automatico, FTP server, WEB server. Directory dati: C:\dati\javamag\BT1 per il sistema1, BT2 per il sistema2 Directory programmi e file del WEB server: C:\dati\javamag Programmi: GRAFTERM1, GRAFTERM2. User: "oasigeomag", pass: "oasigeomag"
Geomag	Geomag: Computer elaborazione e backup dati ospitato ad OASI. Utente "administrator", pass:"", è possibile definire un proprio account (tipo server della base). Directory dati: D:\dati\YY\OASI1 per il sistema OASIGEOMAG1 (YY=anno) Directory dati: D:\dati\YY\OASI2 per il sistema OASIGEOMAG2 (YY=anno) Directory programmi: D:\dati\Missas\BT1 per mis.ass. sist1 D:\dati\Missas\BT2 per mis.ass. sist2. Directory documentazione: C:\Documents and Settings\All Users\Documenti

Misure assolute

Le misure assolute delle tre componenti del campo magnetico terrestre presso l'osservatorio geomagnetico a Baia di Terra Nova, sono state effettuate con l'impiego di un DIM commerciale (EDA FM100D) e un magnetometro a protoni che è stato sostituito nel 1999 da un magnetometro Overhauser Geomag SR90F.

In fig. 20 sono riportate le linee basi per le 3 componenti del campo magnetico terrestre, dedotte dalle misure assolute e dalle registrazioni variografiche effettuate durante la spedizione 1997/1998; appare evidente che mentre la dispersione delle misure di Z è contenuta nei limiti accettabili di qualche nT, la dispersione delle misure assolute delle componenti orizzontali è 10 volte più grande. Le cause di questi inconvenienti sono essenzialmente 3 (per approfondimento vedi appendice B):

- 1) eccessivo rumore del magnetometro DIM (1.5 nT pp);
- 2) variazioni estremamente rapide del campo magnetico terrestre polare;
- 3) particolare geometria del campo magnetico polare.

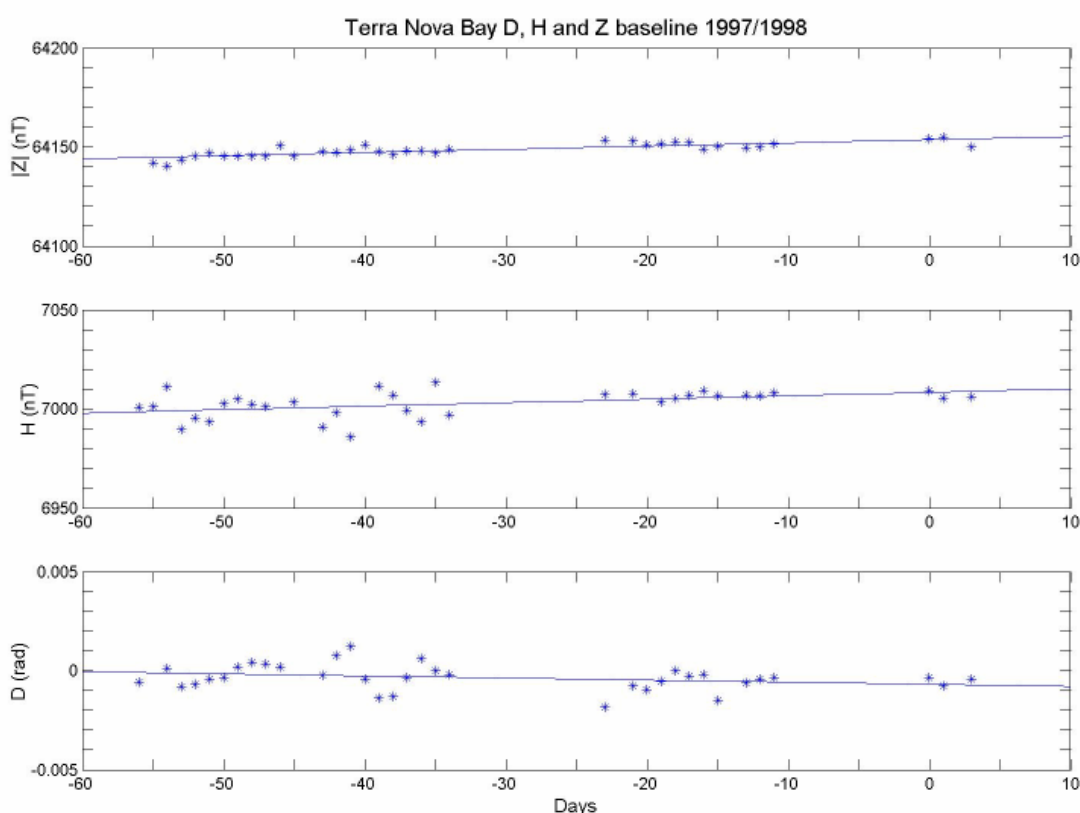


Figura 21: Basi per l'osservatorio presso la Stazione Mario Zucchelli per la campagna 1997/1998

Esecuzione delle misure assolute

Durante la permanenza estiva vengono eseguite manualmente le misure assolute delle componenti del campo geomagnetico. Queste misure sono necessarie per attribuire il livello di zero agli strumenti che misurano con continuità le 3 componenti del campo. Al momento dell'apertura dell'osservatorio è necessario montare il teodolite sul pilastrino con l'apposito bullone di alluminio ed eseguire le seguenti operazioni (che andranno ripetute ogni volta prima di effettuare una misura):

- livellare lo strumento servendosi delle livelle di base. Controllare più volte il livellamento evitando di avvicinare le mani alla livella o di alitare sul bulbo. Allontanarsi dallo strumento, attendere che raggiunga l'equilibrio termico e controllare di nuovo il livellamento. La bolla è molto sensibile ai gradienti termici;

- ruotare il cerchio orizzontale fino a quando si azzeri la scala orizzontale;

- spostare la levetta posta sulla base dello strumento verso l'alto (in modo che ruotando lo strumento la scala risulti fissa sullo 0). Mirare la punta del triangolo rosso posto sul paletto metallico che materializza le mire localizzato intorno la casetta delle misure assolute (vedi figura 17). Riportare la levetta verso il basso in modo che la scala sia nuovamente solidale con lo strumento.

Le misure vanno eseguite non prima delle 17 (ora locale).

Dopo aver effettuato le misure, calcolare le basi con i diversi valori degli strumenti per controllarne il funzionamento.

Azimuth per le misure effettuate in corrispondenza del vecchio osservatorio:

Azimuth mira Cape Washington $82^{\circ}37'30''$

Azimuth mira artificiale $196^{\circ}44'30''$

Azimuth per le misure effettuate in corrispondenza del nuovo osservatorio (vedi figura):

Mira artificiale 1 $339^{\circ}50'56''$ direzione NORD

Mira artificiale 2 $61^{\circ}55'43''$ direzione OASI

Mira artificiale 3 $164^{\circ}26'38''$ direzione Sud

Coordinate del piastrino misure Assolute: $74^{\circ}41'37''$ S, $164^{\circ}05'51''$ E

Dalla campagna 2002-2003 le misure devono essere effettuate regolarmente in corrispondenza del nuovo osservatorio. E' necessario eseguire almeno 3 misure al giorno tutti i giorni. All'apertura e alla chiusura dell'osservatorio verranno effettuate due serie di misure anche in corrispondenza del piastrino del vecchio osservatorio (4 all'apertura e 4 alla chiusura).

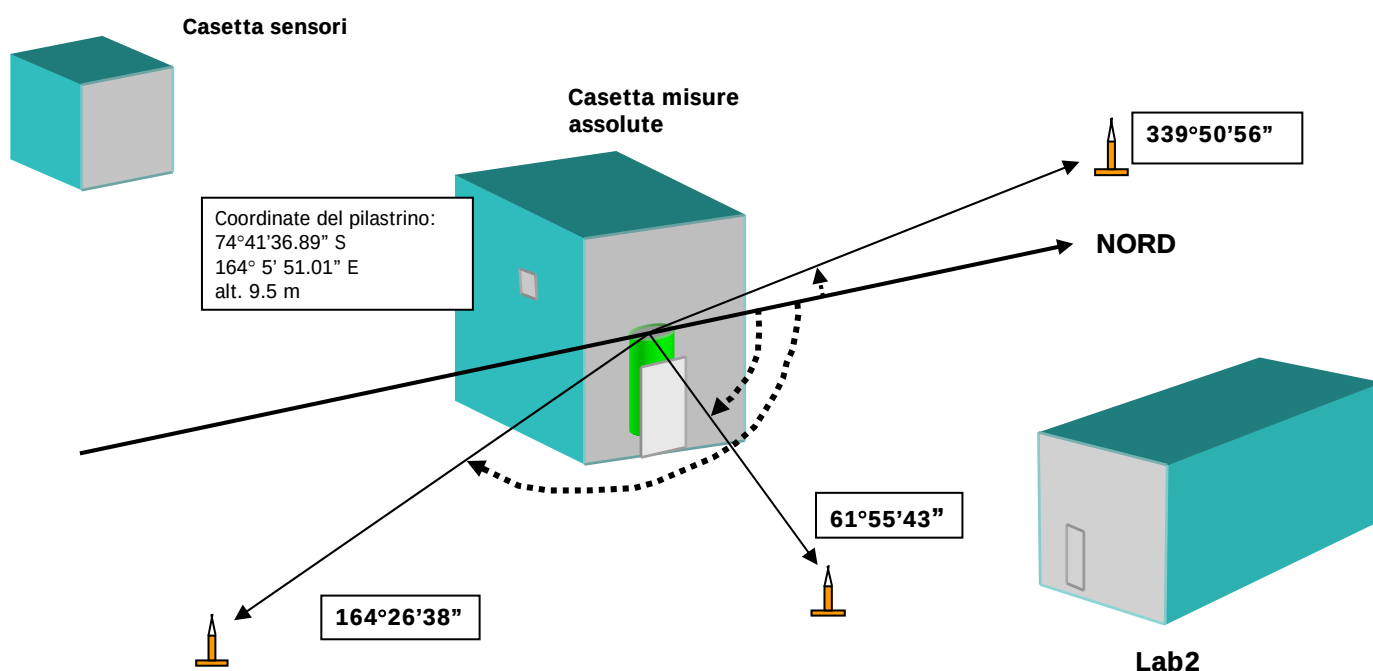


Figura 22

Misura di D

- Fissare il cerchio verticale a 90°
- Ruotare il cerchio orizzontale fino a quando si annulla il valore letto sul display. Per eseguire questa operazione e' consigliabile porre la levetta della sensibilità sul display prima in posizione "ricerca" e poi in posizione "misura". Una volta raggiunto lo zero prendere nota dell'ora ed eseguire la lettura sul cerchio orizzontale.
- Sbloccare il cerchio verticale e ruotare il sensore in basso fissando il cerchio verticale a 270° .

- Ruotare il cerchio orizzontale fino a quando si annulla il valore letto sul display. Una volta raggiunto lo zero prendere nota dell'ora ed eseguire la lettura sul cerchio orizzontale.

- Lasciare il sensore in basso e ruotare il cerchio orizzontale di 180° circa fino a quando non si annulla il valore letto sul display. Prendere nota dell'ora ed effettuare la misura.

- Riportare il sensore in alto. Leggo quindi sul cerchio verticale 90°. Ruotare il cerchio orizzontale fino ad annullare il valore letto, prendere nota dell'ora ed effettuare la lettura sul cerchio orizzontale.

A questo punto si calcola la media delle 4 misure (dopo averle ridotte allo stesso angolo)

Misura di I

- Posizionare il sensore nel meridiano magnetico (ruotando lo strumento fino a quando non leggo sulla scala orizzontale un angolo pari a quello calcolato dalla media delle 4 misure di D a cui viene sottratto il valore 90°. Se per es. la media era 91° 54' mi metto con il cerchio orizzontale a 1° 54').

- Sbloccare il cerchio verticale e ruotare il sensore fino a quando si annulla il valore letto sul display. Prendere nota dell'ora e leggere il cerchio verticale (sensore in alto).

- Sbloccare il cerchio verticale e ruotarlo di circa 180° (sensore in basso) fino a quando si annulla il valore letto sul display. Prendere nota dell'ora e leggere il cerchio verticale.

- Ruotare il cerchio orizzontale di 180° (quindi rimanendo nell'ambito dell'esempio ruoto fino a quando non leggo sulla scala orizzontale il valore di 181° 54') e fissarlo in tale posizione.

- Con il sensore sempre in basso sbloccare il cerchio verticale fino a quando non si annulla il valore letto sul display. Prendere nota dell'ora e leggere il cerchio verticale.

- Sbloccare il cerchio verticale, ruotarlo di circa 180° (sensore in alto) fino a quando non si annulla il valore letto sul display. Prendere nota dell'ora e leggere il cerchio verticale.

Programma per effettuare le misure assolute:

Durante la campagna 2002-2003 è stato implementato su un palmare in dotazione dell'osservatore a BTN, un programma per la registrazione dei valori angolari osservati del campo. In questo modo non è più necessario l'uso delle schede cartacee (il cui uso però è naturalmente ancora consentito e la cui copia si trova in appendice A) rendendo le operazioni più semplici e più rapide. Il palmare durante l'utilizzo si presenta come segue.

E' sufficiente inserire negli spazi i valori delle quattro misure di declinazione per ottenere immediatamente la media e la posizione del meridiano magnetico. Premendo l'icona *File* i dati vengono memorizzati in un file che può essere facilmente scaricato e utilizzato dal programma per il calcolo delle basi (vedi il prossimo paragrafo). Tutte le informazioni per eseguire correttamente le misure vengono fornite dal programma stesso.

PARTE I: Informazioni generali

Calcolo delle Basi:

Una volta misurate le componenti angolari del campo (D, I) è necessario effettuare il calcolo delle basi in modo da accertarsi del corretto funzionamento della strumentazione e della bontà delle misure eseguite. Dopo aver calcolato le basi, un grafico dei valori ottenuti fornisce le indicazioni cercate: le basi devono differire tra loro di pochi nT.

Durante la campagna 2001-2002 è stato messo a punto un sistema automatico di calcolo delle basi che prevede l'uso di un software in Visual Basic che accetta in ingresso un file ascii che contiene i valori angolari misurati del campo (ottenibile utilizzando il programma precedente).

Il programma per il calcolo delle basi si presenta con una finestra del seguente tipo:

Data	time ini	Time fin	D N alto	DN	D S	DS alto	Dev. D	Time ini	time fin	I E Alto	I E	I Walto	I E alto	Dev. I
27/10/2002	22.46.00	22.50.00	048°52'4"	049°04'0"	228°42'0"	228°49'50"	0.15	22.58.00	23.03.00	096°58'00"	276°58'	262°59'50"	082°59'50"	0.15
28/10/2002	4.14.00	4.19.00	048°48'1"	049°12'5"	228°38'5"	228°46'45"	0.25	4.22.00	4.28.00	097°09'20"	277°09'	262°45'40"	082°45'40"	0.25
28/10/2002	4.45.00	4.50.00	048°24'4"	048°20'5"	228°05'2"	228°01'10"	0.19	4.52.00	4.58.00	097°13'20"	277°13'	262°44'30"	082°43'20"	0.19
29/10/2002	23.27.00	23.32.00	047°36'2"	047°12'4"	227°04'4"	227°20'20"	0.23	23.35.00	23.41.00	097°06'40"	277°06'	262°52'00"	082°52'25"	0.23
29/10/2002	23.45.00	23.50.00	047°26'2"	047°36'0"	227°14'3"	227°24'45"	0.15	23.53.00	23.58.00	097°05'50"	277°05'	262°53'30"	082°53'30"	0.15
31/10/2002	6.20.00	6.24.00	047°57'4"	048°07'5"	227°50'2"	227°54'20"	0.12	6.26.00	6.33.00	097°11'25"	277°11'	262°47'40"	082°47'40"	0.12
01/11/2002	23.48.00	23.53.00	048°37'1"	048°45'0"	228°26'4"	228°35'45"	0.13	23.56.00	23.59.00	096°59'10"	276°59'	262°59'30"	082°59'30"	0.13
02/11/2002	3.29.00	3.33.00	048°20'1"	048°21'1"	228°06'2"	228°06'20"	0.14	3.35.00	3.40.00	097°09'00"	277°09'	262°49'30"	082°49'30"	0.14
02/11/2002	3.55.00	3.59.00	048°22'3"	048°20'4"	228°15'3"	228°18'10"	0.05	4.01.00	4.06.00	097°07'10"	277°07'	262°51'40"	082°51'40"	0.05
03/11/2002	5.30.00	5.34.00	048°27'4"	048°30'5"	228°12'4"	228°19'00"	0.14	5.36.00	5.41.00	097°17'50"	277°18'	262°41'10"	082°41'30"	0.14
03/11/2002	5.47.00	5.51.00	048°18'2"	048°19'2"	228°09'4"	228°11'00"	0.08	5.54.00	6.00.00	097°16'35"	277°16'	262°41'50"	082°41'50"	0.08
04/11/2002	5.06.00	5.11.00	048°21'4"	048°25'0"	228°20'5"	228°17'00"	0.05	5.13.00	5.18.00	097°10'15"	277°10'	262°49'10"	082°49'10"	0.05
04/11/2002	5.24.00	5.29.00	048°22'1"	048°22'2"	228°15'2"	228°16'20"	0.06	5.31.00	5.36.00	097°08'40"	277°08'	262°50'10"	082°49'50"	0.06
05/11/2002	5.17.00	5.22.00	048°50'0"	048°46'0"	228°31'1"	228°35'50"	0.15	5.24.00	5.28.00	097°11'15"	277°11'	262°47'20"	082°47'50"	0.15
05/11/2002	5.36.00	5.40.00	048°38'4"	048°39'0"	228°33'5"	228°33'45"	0.05	5.42.00	5.47.00	097°11'30"	277°12'	262°47'20"	082°47'30"	0.05
06/11/2002	5.10.00	5.15.00	048°45'4"	048°46'2"	228°42'0"	228°38'00"	0.06	5.17.00	5.21.00	097°08'25"	277°08'	262°50'50"	082°50'50"	0.06
06/11/2002	5.29.00	5.34.00	048°38'5"	048°37'4"	228°36'0"	228°31'40"	0.05	5.36.00	5.42.00	097°09'30"	277°10'	262°48'20"	082°48'25"	0.05
07/11/2002	5.20.00	5.24.00	048°43'4"	048°43'2"	228°34'4"	228°37'45"	0.07	5.26.00	5.31.00	097°09'10"	277°09'	262°49'50"	082°49'20"	0.07
07/11/2002	5.39.00	5.45.00	048°39'0"	048°36'2"	228°33'3"	228°26'50"	0.09	5.47.00	5.52.00	097°08'30"	277°09'	262°50'10"	082°50'10"	0.09
08/11/2002	5.09.00	5.13.00	048°18'2"	048°16'2"	228°11'5"	228°11'30"	0.06	5.14.00	5.19.00	097°09'05"	277°08'	262°50'20"	082°50'20"	0.06
08/11/2002	5.24.00	5.28.00	048°16'4"	048°17'4"	228°07'4"	228°06'50"	0.1	5.29.00	5.34.00	097°08'50"	277°08'	262°50'10"	082°50'15"	0.1
09/11/2002	5.03.00	5.06.00	048°12'5"	048°10'2"	228°07'4"	228°03'40"	0.07	5.08.00	5.13.00	097°07'20"	277°07'	262°51'30"	082°51'35"	0.07
09/11/2002	5.18.00	5.22.00	048°12'4"	048°08'3"	228°05'4"	228°02'20"	0.07	5.24.00	5.27.00	097°07'20"	277°07'	262°52'10"	082°52'10"	0.07
12/11/2002	5.21.00	5.26.00	047°59'2"	047°48'4"	227°46'3"	227°43'30"	0.11	5.28.00	5.33.00	097°04'10"	277°04'	262°54'40"	082°54'20"	0.11
12/11/2002	5.38.00	5.43.00	047°26'3"	047°21'5"	227°19'5"	227°20'10"	0.05	5.45.00	5.50.00	097°08'40"	277°09'	262°49'30"	082°49'10"	0.05
13/11/2002	5.25.00	5.29.00	047°22'2"	047°19'3"	227°17'0"	227°17'10"	0.04	5.31.00	5.36.00	097°15'15"	277°15'	262°44'20"	082°44'20"	0.04
13/11/2002	5.39.00	5.44.00	047°22'2"	047°18'0"	227°07'1"	226°57'10"	0.19	5.45.00	5.51.00	097°12'15"	277°11'	262°49'30"	082°50'40"	0.19
15/11/2002	4.44.00	4.49.00	047°38'2"	047°37'3"	227°34'2"	227°25'10"	0.1	4.51.00	4.55.00	097°06'10"	277°06'	262°52'40"	082°52'40"	0.1
15/11/2002	5.00.00	5.03.00	047°31'0"	047°35'4"	227°32'0"	227°34'20"	0.04	5.05.00	5.10.00	097°05'50"	277°05'	262°53'40"	082°54'00"	0.04
16/11/2002	5.29.00	5.32.00	047°50'0"	047°47'5"	227°43'3"	227°41'00"	0.07	5.34.00	5.38.00	097°08'10"	277°08'	262°50'50"	082°50'50"	0.07
16/11/2002	5.46.00	5.50.00	047°42'4"	047°41'3"	227°43'2"	227°39'20"	0.03	5.52.00	5.56.00	097°08'00"	277°08'	262°51'20"	082°51'20"	0.03
17/11/2002	3.42.00	3.47.00	047°29'4"	047°29'0"	227°21'2"	227°27'20"	0.06	3.49.00	3.54.00	097°13'20"	277°13'	262°45'40"	082°45'45"	0.06
17/11/2002	3.59.00	4.04.00	047°06'1"	047°05'5"	227°04'0"	227°06'40"	0.02	4.05.00	4.10.00	097°10'20"	277°11'	262°48'30"	082°48'10"	0.02
18/11/2002	4.30.00	4.34.00	048°02'0"	048°05'0"	228°00'0"	228°02'30"	0.03	4.36.00	4.40.00	097°13'20"	277°13'	262°44'30"	082°46'00"	0.03
18/11/2002	4.45.00	4.49.00	047°50'2"	047°52'0"	227°42'1"	227°45'10"	0.08	4.51.00	4.56.00	097°06'50"	277°06'	262°46'10"	082°46'40"	0.08

Il programma accetta in ingresso un file con estensione txt di misure assolute avente il formato:

```
27/10/02 20:00 20:09 048°51'20" 048°32'00" 228°33'10" 228°20'30" 138°34'14" 20:10 20:22 096°51'00" 276°52'10" 263°02'20" 083°03'00" 083°05'33"
27/10/02 22:46 22:50 048°52'40" 049°04'00" 228°42'00" 228°49'50" 138°37'08" 22:58 23:03 096°58'00" 276°58'20" 262°59'50" 082°59'50" 083°00'50"
28/10/02 04:14 04:19 048°48'10" 049°12'55" 228°38'53" 228°46'45" 138°51'41" 04:22 04:28 097°09'20" 277°09'20" 262°45'40" 082°45'40" 082°48'10"
28/10/02 04:45 04:50 048°24'40" 048°20'50" 228°05'20" 228°01'10" 138°13'00" 04:52 04:58 097°13'20" 277°13'20" 262°44'30" 082°43'20" 082°45'17"
29/10/02 23:27 23:32 047°36'20" 047°12'40" 227°04'40" 227°20'20" 137°18'30" 23:35 23:41 097°06'40" 277°06'40" 262°52'00" 082°52'25" 082°52'46"
29/10/02 23:45 23:50 047°26'25" 047°36'00" 227°14'30" 227°24'45" 137°25'25" 23:53 23:58 097°05'50" 277°05'30" 262°53'30" 082°53'30" 082°53'54"
31/10/02 06:20 06:24 047°57'40" 048°07'50" 227°50'20" 227°54'20" 137°57'32" 06:26 06:33 097°11'25" 277°11'25" 262°47'40" 082°47'40" 082°48'07"
01/11/02 23:48 23:53 048°37'10" 048°45'00" 228°26'40" 228°35'45" 138°36'08" 23:56 23:59 096°59'10" 276°59'10" 262°59'30" 082°59'30" 083°00'09"
02/11/02 03:29 03:33 048°20'10" 048°21'10" 228°06'20" 228°06'20" 138°13'29" 03:35 03:40 097°09'00" 277°09'00" 262°49'30" 082°49'30" 082°50'07"
02/11/02 03:55 03:59 048°22'30" 048°20'40" 228°15'30" 228°18'10" 138°19'12" 04:01 04:06 097°07'10" 277°07'10" 262°51'40" 082°51'40" 082°52'15"
03/11/02 05:30 05:34 048°27'40" 048°30'50" 228°12'40" 228°19'00" 138°22'32" 05:36 05:41 097°17'50" 277°18'00" 262°41'10" 082°41'30" 082°41'42"
```

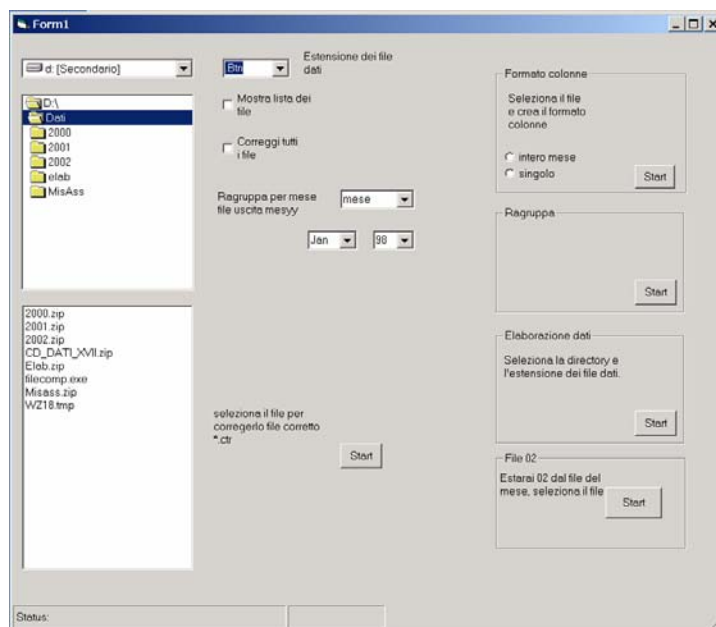
Dal menu “*Elabora*” è poi possibile creare un file basi.dat in cui sono riportate varie informazioni e le ultime colonne rappresentano le basi del sistema analizzato.

I file dati devono essere posti nella stessa directory e i formati accettati sono MMMDDYY.DAT (valori istantanei) o MMMDDYY.BTD formato colonne dei file INTERMAGNET ambedue creati dal

programma di monitoraggio GRAFTERM (che deve quindi essere in acquisizione durante le misure assolute).

Altri programmi di utilità: Filecomp

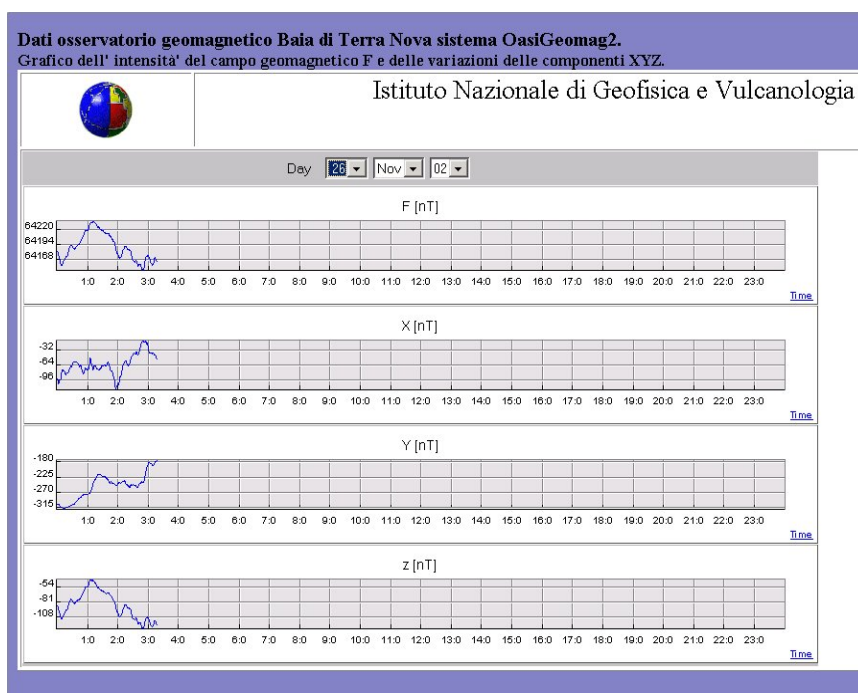
Questo programma, scritto in VisualBasic, consente di visualizzare l'elenco dei file presenti sul disco, di raggrupparli a seconda del tipo (e quindi dell'estensione), di creare file mensili, di trascrivere file da formato INTERMAGNET a formato colonna. Il programma infine consente anche di estrarre dei file corrispondenti a determinati giorni di interesse.



Le pagine WEB

Sulla macchina OASIGEOMAG (192.107.99.150) è in funzione un WEB server.

Da qualunque computer della base, utilizzando un qualsiasi browser WEB, è possibile visualizzare le pagine con i grafici dei due sistemi di acquisizione. E' così possibile visualizzare in tempo reale l'andamento del campo magnetico registrato.



Durante la campagna 2002-2003 l'osservatorio è stato collegato alla sede di Roma utilizzando un collegamento satellitare Inmarsat. In questo modo è possibile visualizzare i dati registrati con un ritardo di 24 ore. Il sito per la visualizzazione dei dati è:

www.ingv.it/geomag/btn.htm. In questo modo è possibile monitorare con continuità, durante tutto l'anno, il funzionamento della strumentazione. Durante la campagna 2003-2004 sono stati installati dei dispositivi che consentono alcune semplici operazioni (reset, accensione e spegnimento) in remoto sia sui computer che sugli strumenti dell'osservatorio geomagnetico in modo da poter intervenire in caso di guasti nei periodi invernali.

Operazioni pratiche da effettuare in base:

Le prime operazioni da effettuare all'apertura dell'osservatorio sono:

- controllo dei monitor dei computer di acquisizione. Se i processi non sono più attivi è necessario riavviare l'acquisizione resettando i computer. Se invece i processi sono ancora attivi, o dopo le operazioni di reset, si procede al salvataggio dei dati invernali e alla pulizia dell'hard-disk dei computer.

- Si comincia ad effettuare le misure assolute (3 o più' al giorno). Si deve controllare il corretto funzionamento della strumentazione mediante i valori delle basi ottenute.

- Si devono effettuare le operazioni di manutenzione delle batterie che alimentano il secondo dei sistemi di acquisizione (connessioni e acqua).

Durante la campagna è necessario:

- effettuare con regolarità le misure assolute e calcolare periodicamente le basi
- controllare sui monitor l'andamento delle componenti acquisite
- effettuare periodicamente il back-up dei dati

Alla fine della campagna è necessario:

- scaricare i dati
- controllare, con il passaggio dell'alimentazione da quella estiva a quella invernale, che tutti i sistemi siano correttamente alimentati
- riporre nell'apposita valigetta il DIM (che va lasciata poi ad OASI)
- sigillare con il nastro tutte le finestre e le porte dei containers

Informazioni tecniche

Cavo linee dati

Tratta cassetta sensori – LAB2

• Rosso	Alimentazione +12V Overhauser sist1 (bianco –12V)
• Nero	Alimentazione +12V Eda sist1 (bianco –12V)
• Marrone	X EDA sist1
• Rosa	Y EDA sist1
• Giallo	Z EDA sist1
• Verde	temp. Sensor
• Grigio	temp. Elettr. (cassetta LAB2 sistema acquisizione)
• Blu	RS232 Overhauser sist1 (bianco masa)
• Rosso marrone	RS232 Overhauser sist1
• ?	X FGE sist2
• ?	Y FGE sist2
• ?	Z FGE sist2
• ?	RS232 Overhauser sist2 (bianco masa)
• ?	RS232 Overhauser sist2
•	

tratta LAB2 OASI

• Marrone	RS232 linea dati (non usata dal 2002)
• Rosso	RS232 linea dati (non usata dal 2002)

Appendice A



Oss. Stazione Mario Zucchelli

Lat. - 74° 41' 42'' Lon. 164° 07' 25''

Strumento.....Osservatore.....

DECLINAZIONE						
						ora locale (tempo1)
bobina	Cerchio N	Cerchio S	Media	Mira	inizio	fine
alto						
basso						
media					Med t1	
dD(nT)=		N magn.		A 106°34.5'		
dD(°)=		N geogr.		N vero		
Base D=		corr.(ΔD')			G.M.T.	
		Declinaz.			L.M.T.	

INCLINAZIONE					
					ora locale (tempo2)
bobina	Cerchio E	Cerchio W	Media	inizio	fine
alto					
basso					
media					
Inclinazione					

CAMPO TOTALE F Magnetometro a protoni						
str. n.				tempo (2)	componenti	
letture					H	
dH=					Z	
					F	
dZ=				Base H=dH-H*=-		
				Base Z=dZ-Z*=-		
media						

Appendice B

Gli errori sulla misura degli angoli D e I

La misura dell'inclinazione e della declinazione magnetica viene fatta, normalmente, utilizzando un sensore flux-gate lineare a doppio nucleo montato sul cannocchiale di un teodolite. Il flux-gate funge da rivelatore di zero, segnala cioè l'avvenuto azzeramento del campo magnetico misurato nella direzione ortogonale alla componente H nella misura di D e l'azzeramento del campo misurato nella direzione ortogonale a F nella misura di I. Per azzeramento s'intende l'operazione di posizionamento dell'asse del sensore nella direzione perpendicolare alla componente H nel piano orizzontale e al campo totale F. Per compensare gli errori di allineamento del sensore rispetto all'asse del cannocchiale (nei 2 piani ortogonali passanti per questo asse) e soprattutto l'errore di offset del magnetometro dovuto in parte all'effetto "memoria" del sensore e in parte all'elettronica di controllo, vengono effettuate 4 misure per la D e 4 per la I. Il magnetometro DIM, impiegato in Antartide nelle spedizioni passate, veniva fornito con un rumore di circa 1.5 nT pp; questo rumore si ripercuote sulla misura di D e I come segue:

$$\Delta D = \arcsen(\Delta n/H) = 41''$$

$$\Delta I = \arcsen(\Delta n/F) = 4.7''$$

In cui $\Delta n = 1.5 \text{ nT}$, $F = 65000 \text{ nT}$ e $H = 7500 \text{ nT}$.

Un errore statistico così grande nella misura della declinazione è incompatibile con la precisione richiesta nella determinazione di questa grandezza; pertanto è necessario impiegare un magnetometro a basso rumore affinché l'indeterminazione nella misura della declinazione sia dello stesso ordine di grandezza dell'errore intrinseco del teodolite: 6".

Questo valore rappresenta, in condizioni normali, la risoluzione della parte ottico-meccanica dello strumento. L'errore sopra calcolato si riferisce a ciascuna delle 4 misure per la determinazione degli elementi D e I. Una precisione migliore di 6" comporta che il livello di rumore del magnetometro si mantenga al di sotto di 0.2 nT pp. L'estrema variabilità temporale del campo geomagnetico misurato nelle zone polari è tale da provocare variazioni di declinazione e inclinazione, durante l'esecuzione delle misure (4 - 8 minuti) di uno dei 2 angoli, che possono raggiungere anche 10'. Un errore quadratico medio di 1' sul valore medio delle 4 letture nella misura della inclinazione magnetica I comporta incertezze, nelle componenti H e Z, ΔH e ΔZ date da:

$$|\Delta Z| = \Delta I F \cos I = 2.1 \text{ nT}$$

$$|\Delta H| = \Delta I F \sin I = 19.1 \text{ nT}$$

$$(I = 84^\circ, F = 65000, \Delta I = 1')$$

C'è inoltre da considerare che presso l'osservatorio di Stazione Mario Zucchelli le misure assolute vengono effettuate nelle ore pomeridiane (locali) in cui le variazioni di inclinazione sono, generalmente, le più basse della giornata ma si mantengono sempre al di sopra di 1'.

La misura delle componenti H e Z

Nella misura della declinazione vengono effettuate 4 misure DL1, DL2, DL3 e DL4. A ciascuna di queste vengono, in realtà, associati 4 valori del campo magnetico residuo DR1(t1), DR2(t2), DR3(t3) e DR4(t4), ora misurabili con un magnetometro digitale; le letture corrette DL1', DL2', DL3' e DL4' si ottengono nel modo seguente:

$$DLi' = DLi + \arcsen\{DRi(ti)/Hi\}$$

$$D = AZIMUTH \text{ MIRA} - \frac{1}{4} \sum DLi'$$

Analogamente per la misura dell'inclinazione magnetica I:

$$ILi' = ILi + \arcsen\{IRi(ti)/Fi\}$$

$$I = \frac{1}{4} \sum ILi'$$

Nella usuale procedura di determinazione delle componenti dalle misure assolute si pone DR_i , $IR_i = 0$.

I valori della componente orizzontale H ($H_1(t_1)$, $H_2(t_2)$, $H_3(t_3)$ e $H_4(t_4)$) in pratica non sono disponibili, infatti la componente H viene determinata successivamente, quando viene effettuata la misura dell'inclinazione I (t_5 - t_8); tali valori devono essere, pertanto, sostituiti con un unico valore dato, approssimativamente, dalla media temporale di H nell'intervallo di tempo t_5 - t_8 . L'errore dovuto a questa approssimazione è però trascurabile, infatti:

$$\Delta DL^2 = DR \Delta H^2 \{1 / H * [1 - (DR/H)]^{1/2}\} = 0.018 \text{ nT}$$

($H=7500 \text{ nT}$, $\Delta H=1000 \text{ nT}$ e $DR=1000 \text{ nT}$).

Un'altra causa di errore, legata alla notevole variabilità del campo magnetico in Antartide, potrebbe essere dovuta al fatto che la misura dell'inclinazione magnetica I viene eseguita utilizzando il valore della declinazione D misurata precedentemente (t_1 - t_4). Nell'intervallo di tempo che separa difatti la misura di I e quella di D (8-14 minuti), quest'ultima può subire variazioni anche di $30'$. Tuttavia l'errore sulla misura delle componenti H e Z è trascurabile infatti:

$$\Delta H^2 = H_m^2 - \{H_m / (1 + \sin d)\}^{1/2} = 0.28 \text{ nT}$$

$$\Delta Z^2 = Z_m^2 - \{Z_m^2 - [(H_m \sin d) / (1 + \sin d)]\}^{1/2} = 0.033 \text{ nT}$$

($Z_m=64000 \text{ nT}$, $H_m=7500 \text{ nT}$, $d=30'$)

H_m e Z_m sono i valori misurati dallo strumento, d è la variazione di declinazione tra la misura di D e la misura di I , cioè l'errore di posizionamento del sensore quando viene effettuata la misura dell'inclinazione magnetica I .

Questo metodo permette di eliminare quasi del tutto gli errori dovuti alla variabilità del campo, rimane però l'eventuale errore prodotto da un non accurato livellamento del teodolite. L'errore di livellamento viene esasperato proprio dal fatto che la componente Z è molto più grande delle componenti orizzontali. Se a è l'errore di livellamento, cioè l'angolo formato dalla verticale apparente e l'asse verticale del teodolite, mentre b è l'angolo formato dalla componente Z proiettata sul piano ortogonale alla verticale del teodolite e l'asse X , gli errori nelle misure delle componenti H , Z e D sono:

$$\Delta H = Z \sin a \cos b = 19 \text{ nT} \quad (Z=64000 \text{ nT}, a=1', b=0^\circ)$$

$$\Delta Z = Z (1 - \cos a) = 0.003 \text{ nT} \quad (Z=64000 \text{ nT}, a=1')$$

$$\Delta D = \arctan\{(Z \sin a)/H\} = 8.42' \quad (Z=64000 \text{ nT}, a=1')$$

In conclusione i fattori più importanti che concorrono agli errori sulla misura di D e I sono:

1. dislivellamento del teodolite;
2. variabilità temporale del campo geomagnetico;
3. configurazione del campo polare;
4. non perfetta sincronizzazione del tempo.

Il metodo illustrato consente di eliminare quasi del tutto l'errore dovuto al punto 2, l'impiego di un magnetometro a basso rumore minimizza l'errore 3. L'impiego di un orologio atomico oppure un quarzo di elevata stabilità per la sincronizzazione del tempo nei sistemi di acquisizione dei dati e delle misure assolute permette di eliminare il fattore 4. Il fattore 1 è determinato essenzialmente dal fatto che la livella montata sul teodolite è estremamente sensibile ai gradienti termici; è sufficiente avvicinare le mani allo strumento per alterare le indicazioni della livella.

Bibliografia

Azzara, R. M., Bozzo, E., Caneva, G., Meloni, A., Palangio, P., Romeo, G., (1991). *Geomagnetic measurements at Terra Nova Bay (Antartica) Italian Magnetic observatory during austral summers 1986/87, 1987/88, 1988/89*, Memorie della società geologica italiana, 46, 585.

Cafarella, L., Meloni, A. e Palangio, P. (1998). *Solar cycle 22 control on daily geomagnetic variation at Terra Nova Bay (Antarctica)*, Annali di Geofisica, 41, 805.

Consolini, G., Cafarella, L., De Michelis, P., Candidi, M. e Meloni, A., (1997). *Non-gaussian Probability distribution of short time scale magnetic field fluctuations at Terra Nova Bay (Antarctica)*, Conference Proceedings, 58, Cosmic Physics in the year 2000, EDS. Aiello, Iucci, Sironi and Villante, 127.

De Santis A., Torta S. M., Gaya-Piquet L.R , (2002). The first Antarctic geomagnetic reference model (ARM), GRL, vol. 29, 18.

Hargreaves, J. K., (1992). *The solar-terrestrial environment*, Cambridge Atmospheric and Space Science, serie 5, edito da Houghton J.T., Rycroft M.J., e Dessler A.J., Cambridge University Press, 420.

Langel, R. A., (1987). *Main Field*, in Geomagnetism, edited by J. A. Jacobs, Academic Press, San Diego, Calif., 249.

Langel, R. A., (1992). *IGRF, 1991 Revision*, Eos Trans. AGU, **73**, 182.

Lanzerotti, L. J., Meclennan, C. G., Medford, L. V., (1994). *Inferred quasi-steady ionospheric neutral winds and electric currents at 79° south latitude in austral summer conditions*, Geophys. Res. Lett., 21, 217.

Lepidi, S., Francia, P. e Cafarella, L. (2001). *Low frequency geomagnetic field fluctuations at high latitude: frequency dependence of the polarization pattern*, Annali di Geofisica, 44, 571.

McPherron, R.L., (1979). *Magnetospheric substorm*, Rev. Geophys. Space Phys., 17, 657.

Meloni, A., Palangio, P., Cafarella, L., Zirizzotti, A., Bozzo E. e Caneva G., (1997). *Terra Nova Bay Geomagnetic Observatory, Terra Antartica, The Antarctic Region: Geological evolution and processes*, 1053.

Ratcliffe, J. A., (1972). *An introduction to the ionosphere and magnetosphere*, com. Uni. Press, Cambridge, 256.

Villante, U., De Lauretis, M., Francia, P., Lepidi, S., Pietropaolo, E., Cafarella, L., Lazarus, A.J., Lepping R.P., e Mariani, F. (1997). *The Earth's passage of a magnetic cloud on January 10-11, 1997; a preliminary analysis of geomagnetic field fluctuations at a low latitude and an Antarctic station*. Conference Proceedings Vol 58, Cosmic Physics in the year 2000, EDS. Aiello, Iucci, Sironi and Villante, 147.

Villante, U., Francia, P., Lepidi, S., De Lauretis, M., Pitropaolo, E., Cafarella, L., Meloni, A., Lazarus, L.A., Lepping R.P., e Mariani, F. (1998). *Geomagnetic fields variations at low and high latitude during the January 10-11, 1997 magnetic cloud*. Geoph. Res. Lett., 25,14, 2593.

L'Antartide

L'Antartide è il continente compreso quasi interamente all'interno del Circolo Polare Antartico. L'Antartide ha un'estensione di 13 milioni di km², un'area una volta e mezzo quella dell'Europa. E' il più grande serbatoio di acqua dolce del globo, 30 milioni di km³ di ghiaccio. Se la totalità dei ghiacci fondesse, il livello del mare salirebbe di oltre 65 m.

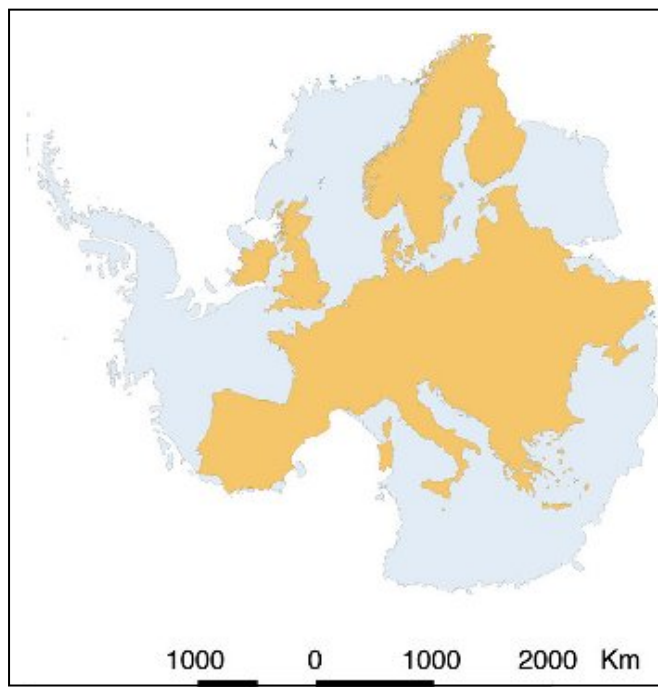


Figura 1: Confronto tra le dimensioni di Europa e Antartide (dal sito web del "Museo Nazionale dell'Antartide Felice Ippolito")

Il continente antartico fu scoperto nel 1773 dal capitano Cook. Le esplorazioni sistematiche iniziarono poco più tardi, nel 1819, ad opera dell'americano Palmer. Nel 1823 l'inglese Weddell arrivò fino al golfo oggi noto con il suo nome. Ross (ancora un inglese) nel 1843 raggiunse lo stretto di Mc Murdo e la Terra Vittoria, arrivando fino al 78° 9' S mentre Scott riuscì a raggiungere la latitudine 82° 17' S. Infine il 14 dicembre del 1911 il norvegese Amundsen riuscì a conquistare il polo.

L'intero continente è coperto da una calotta di ghiaccio di spessore superiore in alcuni punti ai 3.000 metri. Le coste sono piatte e regolari, ma in certi punti frastagliatissime. Due grandi insenature formano i così definiti mare di Weddell e mare di Ross. Il clima è estremamente rigido e raggiunge temperature di -60° C durante l'inverno. Nel 1960 si è raggiunta la temperatura record di -88° C; raramente d'estate supera gli 0 gradi. La vegetazione è rappresentata solo da licheni e muschi, mentre la fauna comprende numerose specie di pesci, animali, uccelli marini, cetacei, foche e pinguini.

Dopo l'era avventurosa delle conquiste polari, l'interesse internazionale verso l'Antartide nell'ultimo dopoguerra è stato prevalentemente scientifico. L'Italia è in Antartide dalla seconda metà degli anni ottanta con un impegnativo programma scientifico. Le ricerche italiane si articolano nell'ambito del PNRA (Programma Nazionale di Ricerca in Antartide), il programma nazionale a cui partecipa tutto il sistema di ricerca italiano.

A seguito del grande successo scientifico-organizzativo dell'IGY (International Geophysical Year, 1957/58) nel 1961, le 12 nazioni allora leader nell'esperienza antartica, firmano un trattato per la gestione politica dell'Antartide (Trattato Antartico) tuttora vigente con lo scopo primario di incoraggiare la cooperazione internazionale al fine di ottenere maggiori informazioni sul continente. A questo particolare sistema di governo multinazionale di una parte così significativa del nostro pianeta, l'Italia aderisce nel 1980, diventando però parte consultiva solo nel 1988 a seguito dell'inizio di una sua attività di ricerca scientifica. Al trattato antartico aderiscono oggi 44 nazioni; tra queste solo 27 (tra cui appunto l'Italia) sono parti consultive con diritto di voto.

Se il Trattato Antartico costituisce la cornice di riferimento politico per le nazioni che operano in Antartide, lo SCAR (Scientific Committee on Antarctic Research) costituisce il principale forum internazionale per la cooperazione scientifica. Lo SCAR ha il compito di promuovere, coordinare e incentivare attività scientifiche in Antartide e fornire consulenza scientifica alle riunioni del Trattato. Come membro effettivo dello SCAR l'Italia viene ammessa nel 1988.

Dati fisici dell'Antartide

Superficie reale (includere isole e ice shelves)	14,107 milioni di km ² (Europa: 10,4 km ²)
Superficie invernale	27 milioni di km ²
Elevazione media	2160 m
Spessore medio delle calotte glaciali	2400 m
Temperatura media annua	-50 ° C
Temperatura minima raggiunta	-89.6° C (Vostok)

Le basi Italiane in Antartide

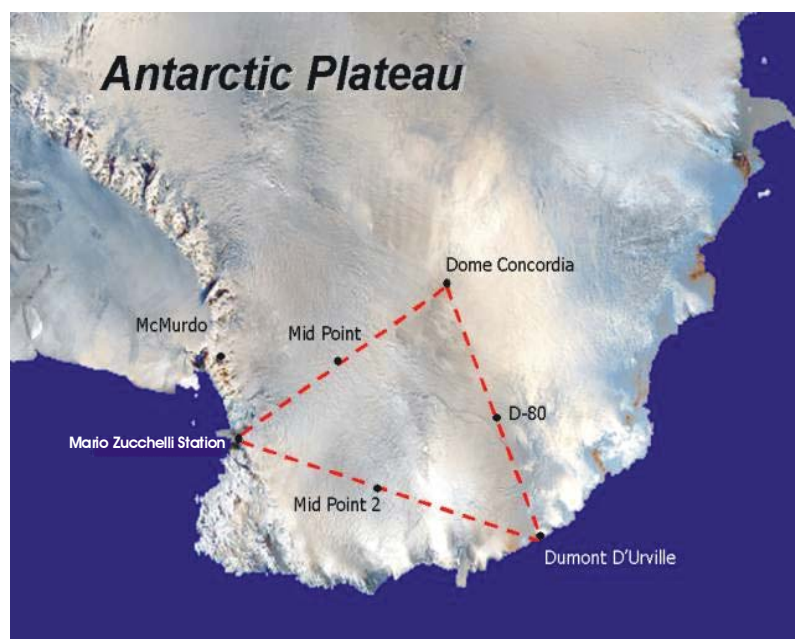


Figura 2: Posizione delle Basi Italiane in Antartide

Il sito prescelto per l'installazione della Base permanente italiana in Antartide, denominata Stazione Mario Zucchelli, si trova lungo la costa delle Northern Foothills a sud del Gerlache Inlet, nella Baia Terra Nova (Terra Vittoria del Nord) tra le lingue di ghiaccio di Campbell e Drygalski. Il nome originale della base è Baia Terra Nova, cambiato recentemente in Stazione Mario Zucchelli dopo la morte di quest'ultimo, avvenuta nell'ottobre 2003. Nel seguito del testo, talvolta, l'osservatorio geomagnetico viene identificato con la sigla BTN, derivante dalla vecchia denominazione della base, ma tutt'ora in uso come codice identificativo dell'osservatorio.

La base è costruita su una piccola penisola; l'area su cui sorgono gli edifici e gli impianti dispone di accessi al mare relativamente agevoli. Piccole insenature vengono utilizzate per lo scarico o carico dei materiali a secondo della stagione. All'inizio dell'estate, quando il mare è interamente ricoperto dai ghiacci, i materiali vengono scaricati dalla nave e portati in Base mediante convogli di

slitte. Alla fine dell'estate, quando il ghiaccio lascia il posto all'acqua, si utilizza un piccolo molo per i collegamenti tra terra e nave.

La stazione è attrezzata per fornire alloggio durante le spedizioni estive (circa 70 persone), supporto logistico per i ricercatori che operano in campi remoti e in transito verso Dome C e attività di laboratorio (chimica, biologia, geologia, elettronica e calcolo, acquario).

Sommando gli spazi dell'edificio principale e delle numerose unità satelliti si ottengono circa 7000 mq di superficie coperta.

I servizi includono la sala radio, l'infermeria, il pronto soccorso, i locali mensa e i locali per il tempo libero, magazzini, officine, serbatoi di kerosene. Esiste una sala controllo per il coordinamento di tutte le operazioni, sia locali che remote. Gli impianti tecnici includono una centrale elettrica, il potabilizzatore, l'inceneritore, il depuratore delle acque reflue e, per le esigenze dei laboratori, 2 liquefattori di gas (azoto ed elio).

La centrale elettrica dispone di 4 generatori diesel (2 da 140 kW e 2 da 300 kW) e di un gruppo di continuità. L'acqua dolce è ottenuta dissalando l'acqua del mare.

Presso la base sono disponibili una cinquantina di macchine operatrici, di servizio e antincendio, altrettanti mezzi e veicoli per operazioni su ghiaccio e su neve, un battello oceanografico di 15 m e 6 gommoni di varie lunghezze [vedi *Italia in Antartide, Programma Nazionale di Ricerche in Antartide*, (2000) a cura di R. Cervellati e B. Marsico, ENEA, Progetto Antartide].



Figura 3: La Base Italiana Stazione Mario Zucchelli

La base italo - francese Dome Concordia (Dome C) (vedi figura 4) è localizzata sul plateau antartico a 3200 m (163.23 E, 75.06 S, circa 1000 km dalla Stazione Mario Zucchelli e 1200 km dalla base francese Doumont D'Urville) e ospita durante il periodo estivo circa 40 tra ricercatori e tecnici. Dalla campagna 1999-2000 si è iniziata a costruire la base invernale, che ospiterà tecnici e ricercatori anche durante l'inverno australe. Si prevede che la nuova base entrerà in funzione durante la campagna 2005-2006.

In questa base si registrano temperature invernali che possono raggiungere -84°C e temperature estive intorno ai -30°C . La temperatura superficiale dei primi strati di ghiaccio è intorno ai -50°C e le precipitazioni nevose sono estremamente ridotte a 2- 8 cm all'anno. La temperatura del ghiaccio alla profondità del letto roccioso (bedrock) è generalmente vicina al suo punto di fusione. Il sito si presta al carotaggio per gli studi del paleoclima poiché le stratificazioni del ghiaccio conservano preziose informazioni intrappolate nel ghiaccio stesso, risalenti a periodi passati di 300-500 mila anni.

Sia presso la Stazione Mario Zucchelli che a Dome C è previsto il monitoraggio delle variazioni del campo magnetico terrestre. Come vedremo in seguito, l'osservatorio della Stazione Mario Zucchelli è in funzione già da vari anni, mentre a Dome C è in fase di realizzazione. In questo manuale si vogliono fornire i mezzi necessari alla gestione dell'osservatorio geomagnetico presso la Stazione Mario Zucchelli.



Figura 4: La base Italiana a Dome C

Il campo magnetico terrestre

Il modo più immediato di percepire la presenza di un campo magnetico intorno a noi è quello di disporre di una bussola. Possiamo con facilità verificare che un ago magnetico, libero di ruotare su un piano orizzontale attorno al proprio baricentro, si orienterà sempre verso il nord geografico rispetto al punto di osservazione. Questa proprietà, nota fin dall'antichità, è stata sfruttata per agevolare l'orientamento dell'uomo soprattutto in mare. Le primitive bussole, infatti, erano realizzate da una bacchetta di legno recante ad una estremità un pezzo di magnetite (la comune calamita), galleggiante in un recipiente d'acqua e libera di puntare verso i poli geografici.

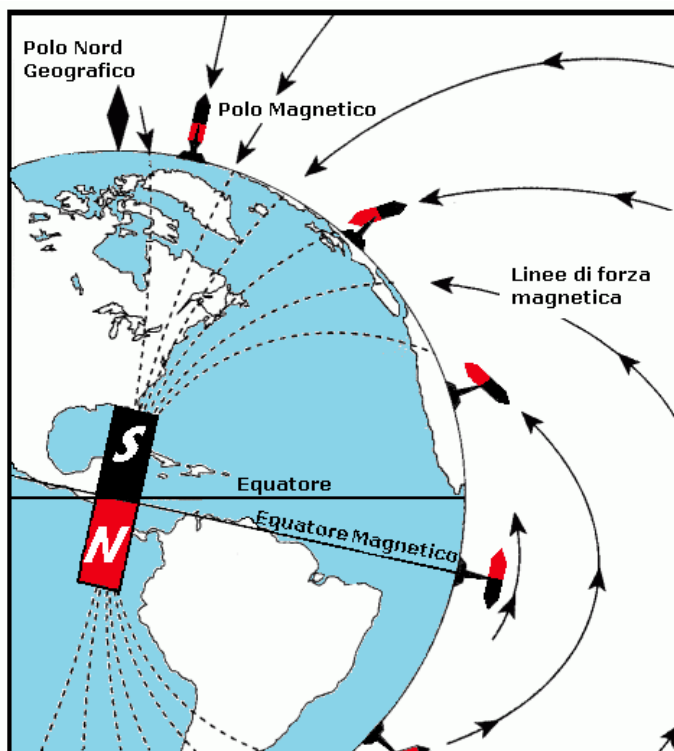


Figura 5: La geometria del campo magnetico terrestre è, in questa approssimazione, dipolare. Le linee del campo sono, per convenzione, uscenti dal polo sud geografico ed entranti al polo nord geografico. Ciò fa sì che un ago verticale, a varie latitudini, mostri varie inclinazioni, passando dalla completa verticalità ai poli, alla piena orizzontalità all'equatore. Si noti come l'asse di rotazione della Terra e l'asse del dipolo magnetico non coincidano. La differenza angolare nel piano orizzontale tra la direzione del nord geografico e quella del nord magnetico è nota come *declinazione magnetica*.

Il nostro pianeta è, pertanto, sede di un campo magnetico vettoriale, la cui componente orizzontale con buona approssimazione è diretta verso il nord geografico mentre quella verticale verso l'interno della Terra nell'emisfero nord e verso l'esterno nell'emisfero sud.

La violazione da una geometria simmetrica precisamente assiale (dipolare), l'esistenza di ulteriori deviazioni riscontrate anche a medie latitudini, nonché la lenta migrazione dei poli magnetici sono considerate testimonianze dirette che il dipolo magnetico rappresenta solo un modello di prima approssimazione di un campo vettoriale tridimensionale complesso tutt'altro che costante nel tempo e

i cui meccanismi non sono stati ancora ben identificati. Le evoluzioni temporali delle componenti del campo magnetico terrestre (CMT), misurate continuamente presso gli osservatori geomagnetici, mostrano variazioni in un'ampia gamma di periodi, da qualche frazione di secondo a qualche secolo. Dagli studi in *paleomagnetismo* vi sono, inoltre, inconfutabili prove di variazioni del campo magnetico terrestre che si verificano con periodicità ancora più lente di quelle secolari e che coinvolgono tutto il pianeta: le inversioni di 180° del vettore del campo di dipolo magnetico.

La presenza di un campo magnetico planetario non è una esclusiva caratteristica del nostro pianeta: il Sole e quasi tutti i corpi maggiori (pianeti e satelliti) del sistema solare hanno un proprio campo magnetico che crea una specifica cavità nello spazio interplanetario, la *magnetosfera* (vedi figura 6). Essa predomina sul debole *campo magnetico interplanetario* (di circa 5 nT), intrappolato e trascinato nella lunga corsa che il *vento solare* (un plasma stellare freddo contenente elettroni e protoni di elevata energia di qualche keV), compie dalla nostra stella fino a raggiungere e superare i confini del sistema solare; in tal modo viene evitato l'ingresso delle particelle elementari di alta energia del vento solare all'interno della magnetosfera.



Figura 6: Schema di magnetosfera terrestre (tratto da "The Liftoff Academy" - Cortesia NASA/JPL)

La magnetosfera terrestre forma una cavità attorno al nostro pianeta la cui forma ricorda quella di una cometa: dal lato opposto al Sole la cavità si allunga per oltre 100 raggi terrestri (1 raggio terrestre = 6371 km) mentre la parte rivolta al Sole è compressa dal vento solare (con velocità supersonica di 300-600 km/s) fino ad una distanza di circa 10 raggi terrestri. La magnetosfera devia quasi del tutto il flusso delle particelle del vento solare, mentre alcune particelle in condizioni particolari riescono a penetrare nella magnetosfera esclusivamente in aree polari e nei punti di riconnessione delle linee magnetiche (per lo più nella coda magnetosferica). Le particelle più energetiche arrivano nell'alta atmosfera dando luogo a suggestivi fenomeni di elettroluminescenza, le *aurorae polari*. Le zone polari sono caratterizzate quindi da una varietà di eventi che rispecchia la complessa interazione tra il plasma interplanetario e quello magnetosferico e, procedendo verso la superficie terrestre, tra il plasma magnetosferico e quello ionosferico (parte dell'alta atmosfera in cui le particelle sono presenti nel loro stato ionico assieme agli elettroni liberi), come il verificarsi di *tempeste*, *sottotempeste* e *pulsazioni magnetiche* [McPherron, 1979; Lanzerotti et al., 1994; Hargreaves, 1992]. I geomagnetisti hanno quindi un interesse particolare a tali regioni poiché qui il campo magnetico è molto intenso e assume configurazioni topologiche tali da innescare fenomeni ancora poco noti (e per questo particolarmente attraenti) che pur avendo fisicamente sede solo a quelle latitudini hanno ricadute su tutto il pianeta. Le linee di forza del campo magnetico, chiuse a medie e basse latitudini, nelle aree polari possono infatti (in condizioni particolari) essere in connessione diretta con il campo magnetico interplanetario (IMF), aprendo una finestra verso lo spazio esterno attraverso la magnetosfera..

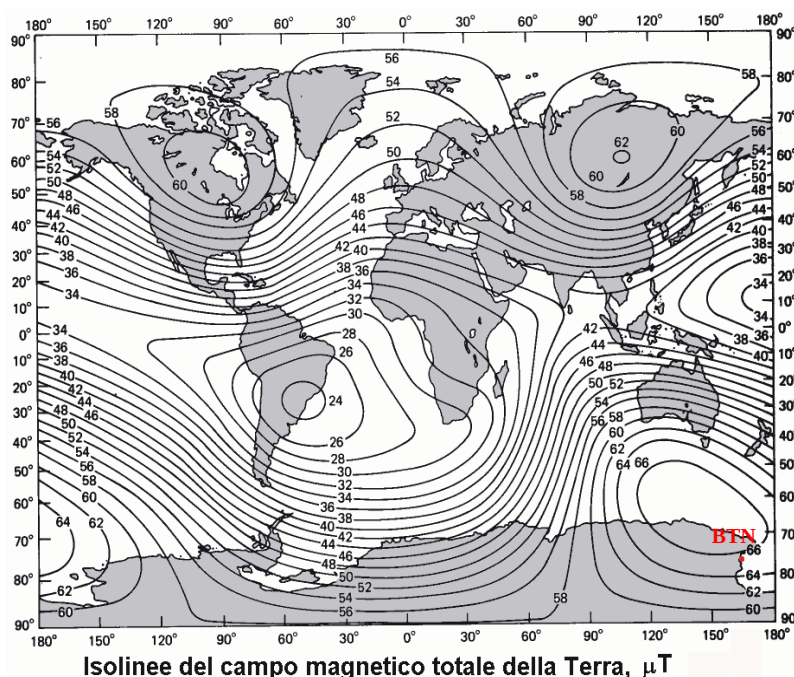


Figura 7

Gli osservatori geomagnetici

Oggi sono sempre più numerosi i siti permanenti di misura del campo magnetico terrestre, sia per il crescente interesse in questo settore scientifico che apporta importanti e autonomi contributi alle altre discipline della geofisica, che per la maggiore disponibilità di strumentazione, tecnologicamente migliorata e miniaturizzata a costi ridotti.

Le misure vengono effettuate principalmente in terra ferma, ma i dati raccolti in mare su apposite navi oceanografiche, quelli aeromagnetici su velivoli predisposti e quelli raccolti nello spazio con satelliti dedicati hanno contribuito enormemente alla definizione di modelli del campo magnetico terrestre sempre più affidabili, permettendo una comprensione maggiore dei fenomeni studiati. Nell'ultimo secolo la morfologia del campo magnetico terrestre, le sue variazioni spaziali e temporali sono così dettagliate e precise da costituire un irrinunciabile vincolo fisico per qualsiasi teoria globale concernente la Terra e la sua dinamica.

La distribuzione degli osservatori nel mondo privilegia ancora l'emisfero nord, per la prevalente presenza di paesi industrializzati (figura 8). Le circoscritte registrazioni magnetiche, talvolta addirittura sovrabbondanti per alcune regioni dell'emisfero boreale con elevato numero di osservatori, seppur utili non eliminano l'incalcolabile mancanza di dati in vastissime aree dell'emisfero sud. La presenza di osservatori geomagnetici in Antartide, deve essere considerata, in questo scenario, un mirabile impegno, sul piano logistico oltre che scientifico, intrapreso da alcuni paesi negli ultimi decenni (USA, Nuova Zelanda, Spagna, Francia, Argentina, Russia e Italia).

Per la conoscenza dell'evoluzione temporale dei fenomeni terrestri (e antartici in particolare) i dati forniti dagli osservatori geofisici permanenti sono quindi di fondamentale importanza. Non sarebbe pensabile costruire modelli del cambiamento globale senza poter fare affidamento su serie storiche di parametri fisici, chimici e in generale ambientali, che vengono raccolti da osservatori come quelli meteorologici, climatologici, magnetici, ionosferici, sismici, geodetici, mareografici. Queste serie costituiscono un prezioso bagaglio di informazioni e il programma antartico italiano da anni sostiene e finanzia varie attività tecnico-scientifiche per la realizzazione, aggiornamento e manutenzione degli Osservatori.

