

Rapporti tecnici

INGV

**Nuovo sistema di alimentazione
a corrente continua presso l'Osservatorio
geomagnetico di Castello Tesino**

273



Editorial Board

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (INGV - RM1)
Luigi Cucci (INGV - RM1)
Nicola Pagliuca (INGV - RM1)
Umberto Sciacca (INGV - RM1)
Alessandro Settimi (INGV - RM2)
Aldo Winkler (INGV - RM2)
Salvatore Stramondo (INGV - CNT)
Gaetano Zonno (INGV - MI)
Viviana Castelli (INGV - BO)
Marcello Vichi (INGV - BO)
Sara Barsotti (INGV - PI)
Mario Castellano (INGV - NA)
Mauro Di Vito (INGV - NA)
Raffaele Azzaro (INGV - CT)
Rosa Anna Corsaro (INGV - CT)
Mario Mattia (INGV - CT)
Marcello Liotta (Seconda Università di Napoli, INGV - PA)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano
Tel. +39 06 51860068
Fax +39 06 36915617
Rossella Celi
Tel. +39 095 7165851
redazionecen@ingv.it



Rapporti tecnici INGV

NUOVO SISTEMA DI ALIMENTAZIONE A CORRENTE CONTINUA PRESSO L'OSSERVATORIO GEOMAGNETICO DI CASTELLO TESINO

Giovanni Benedetti, Paola De Michelis, Paolo Palangio e Massimiliano Fois

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

273

Indice

Introduzione	7
1. Dislocazione spaziale dell'Osservatorio	7
2. Strumentazione	9
3. Alimentazione strumentazione	9
4. Sistema di alimentazione e acquisizione	10
5. Alloggiamento strumentazione	16
6. Autonomia	16
7. Elaborazione dati	16
7.1 Metodo di analisi: Decomposizione in Modi Empirici	16
7.2 Analisi dei segnali	18
8. Sommario e conclusioni	21
Bibliografia	21

Introduzione

L'Osservatorio magnetico di Castello Tesino fu fondato nel 1964 dal dott. Franco Molina qualche anno dopo la costruzione dell'Osservatorio magnetico di L'Aquila sull'onda dell'Anno Geofisico Internazionale (1958). In funzione quasi con continuità dal 1964 ad oggi, l'Osservatorio di Castello Tesino è sempre stato considerato l'Osservatorio geomagnetico fondamentale per il Nord Italia. È stato utilizzato nel corso degli anni per seguire le variazioni del campo geomagnetico nell'Italia Settentrionale e per ridurre alla stessa epoca le misure della rete magnetica italiana. Inoltre, essendo un Osservatorio non presidiato, è stato oggetto di sperimentazioni e collaudo di apparati automatici ideati e realizzati nell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Nel corso dell'ultimo decennio l'Osservatorio geomagnetico di Castello Tesino ha visto alternarsi diversi strumenti di misura del campo magnetico, diversi sistemi di acquisizione dei dati e di trasmissione presso la sede romana dell'Istituto nonché lo spostamento del sito stesso di misura. Tutto ciò al fine di migliorare la qualità dei dati magnetici raccolti e di risolvere i problemi di volta in volta riscontrati. Considerando solo quanto fatto negli ultimi anni è necessario ricordare una prima sostituzione della strumentazione relativa alle misure vettoriali del campo geomagnetico che risale al 1998 quando l'iniziale sistema automatico digitale, progettato e messo a punto da ricercatori dell'ING [Meloni et al., 1984] ed installato nel 1986, è stato sostituito da un magnetometro vettoriale con un sensore tipo fluxgate anch'esso progettato e realizzato dal personale dell'ING presso la sede di L'Aquila. Questo strumento presentando tuttavia problemi di deriva è stato poi, nel settembre 2005, affiancato da un magnetometro vettoriale (Lemi-008) di fattura ucraina e successivamente sostituito definitivamente nel marzo 2006 da un nuovo magnetometro vettoriale LEMI-017, sempre di fattura ucraina, che è attualmente ancora in uso. Infine, dopo la realizzazione nel 2004 di un campeggio in prossimità della sede dell'Osservatorio è stato necessario provvedere allo spostamento della strumentazione di misura in un sito più idoneo. In questa occasione si è deciso di modificare il tipo di alimentazione degli strumenti passando da una tensione a 220V in forma alternata ad una a 12V in modalità continua. Tutto ciò per migliorare la qualità dei dati acquisiti.

Scopo di questa breve nota è di descrivere gli ultimi cambiamenti apportati nell'Osservatorio geomagnetico di Castello Tesino e di mostrare in che misura tali cambiamenti abbiano consentito di migliorare l'accuratezza con la quale si effettuano attualmente le misure di campo magnetico.

1. Dislocazione spaziale dell'Osservatorio

L'Osservatorio geomagnetico di Castello Tesino è situato nei pressi dell'omonimo paese in località Celado, a circa 55 km ad est della città di Trento (figura 1). Le coordinate dell'Osservatorio sono le seguenti:

Latitudine geografica	46° 03' N
Longitudine geografica	11° 39' E
Latitudine geomagnetica corretta	40° 47' N
Longitudine geomagnetica corretta	86° 23' E
Altitudine s.l.m.	1175 m
Mezzanotte magnetica locale	22:31

Le coordinate geomagnetiche corrette ed il tempo in UT della mezzanotte magnetica locale sono stati calcolati per l'epoca 2009.0 utilizzando la routine disponibile al sito: <http://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb> ed assumendo il polo geomagnetico corretto nord a 82°20' N e 276° 38' E.

Prima del 2008 l'Osservatorio geomagnetico di Castello Tesino era costituito da tre distinti fabbricati amagnetici in muratura. Uno dedicato alle misure assolute (edificio 2 in figura 2), uno alle registrazioni variometriche (edificio 3 in figura 2) e uno ai laboratori e servizi (edificio 1 in figura 2). Dal 2009 è parte integrante dell'Osservatorio un nuovo edificio in legno dedicato anch'esso alle registrazioni variometriche (edificio 4 in figura 2). La realizzazione di questo nuovo edificio in legno si è resa necessaria dopo la realizzazione nel 2004 di un campeggio in prossimità della sede dell'Osservatorio il quale ha causato un aumento del rumore magnetico di fondo presente nei segnali registrati. È stato pertanto necessario provvedere allo spostamento di parte della strumentazione di misura in un sito più idoneo. Questo nuovo edificio è stato realizzato non molto distante dal vecchio sito di misura ma ad una distanza sufficiente a garantire una migliore qualità dei dati raccolti (edificio 4 in figura 2). Conclusi i lavori alla fine del 2008, è iniziato un periodo, che è terminato nell'aprile del 2012, nel quale le misure variometriche sono state

effettuate simultaneamente nei due siti in modo tale da garantire, nel momento in cui il vecchio Osservatorio fosse stato definitivamente dismesso, una continuità nella serie temporale di dati magnetici.



Figura 1. Posizione geografica dell'Osservatorio geomagnetico di Castello Tesino.

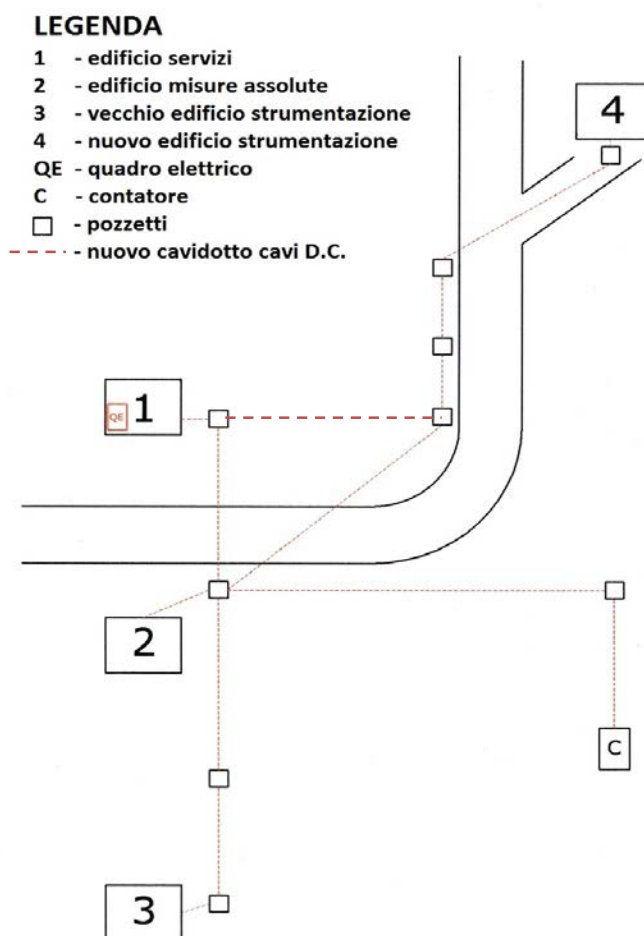


Figura 2. Dislocazione spaziale degli edifici amagnetici costituenti l'Osservatorio geomagnetico di Castello Tesino.

2. Strumentazione

Attualmente la registrazione digitale continua delle variazioni delle componenti cartesiane X, Y e Z del campo geomagnetico avviene grazie a due sistemi di misura indipendenti, costituiti ciascuno da un magnetometro vettoriale fluxgate (LEMI-017 di fabbricazione ucraina) e da un magnetometro scalare Overhauser (GEM-GSM90) (figura 3). Per garantire l'esatta temporizzazione dei dati, ciascun sistema è dotato di GPS che fornisce il tempo universale (UTC). Tutti gli strumenti, temporalmente sincronizzati, sono collegati ad un PC che gestisce l'acquisizione automatica e che, attraverso la rete presente in Osservatorio, può in qualsiasi momento essere interrogato da remoto permettendo l'acquisizione dei dati presso la sede romana dell'Istituto.

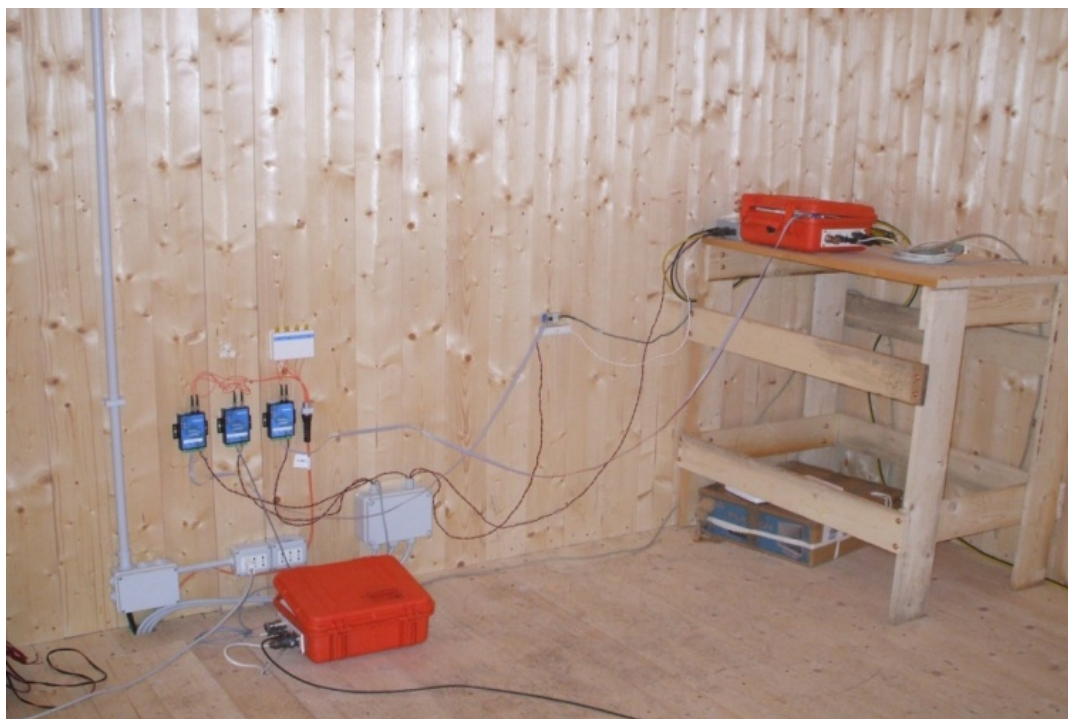


Figura 3. Immagine relativa all'elettronica dei magnetometri nell'edificio in legno.

3. Alimentazione strumentazione

Prima dell'aprile 2012 tutti gli strumenti di misura (magnetometri vettoriali e scalari) erano alimentati da una tensione a 220V in modalità alternata. Successivamente si è deciso di modificare questo tipo di alimentazione, in quanto si è notato che i magnetometri, in particolare i magnetometri Overhauser, sono soggetti a disturbi (attraverso l'elettronica di acquisizione dello strumento) qualora alimentati con la tensione di rete (220V in modalità alternata). Si è notato che l'unico modo per eliminare questo tipo di disturbo è quello di trasformare tale tensione a 12V in modalità continua attraverso un adeguato apparato di trasformazione posto ad una distanza superiore a 50 m dallo strumento di acquisizione. Per questo motivo si è intervenuti modificando radicalmente l'impianto di alimentazione dell'Osservatorio seguendo alcune tecniche illustrate di seguito.

In linea teorica la corrente alternata non produce campi magnetici dato che ogni semionda annulla l'eventuale campo magnetico generato dalla semionda precedente. Questo si verifica in teoria per un sistema in cui la corrente che scorre su una fase è esattamente uguale a quella che scorre sul neutro. In realtà in molti casi la corrente di rete fornita dall'ENEL presenta una leggera differenza nelle correnti di neutro e fase, cosa che, sebbene trascurabile nelle normali applicazioni, risulta dannosa per i sistemi di misura del campo geomagnetico generando di fatto un disturbo.

Questo disturbo può essere eliminato utilizzando un'alimentazione in continua dei magnetometri mediante un'opportuna geometria dei cavi conduttori così da annullare i campi magnetici statici. A tal scopo

il cavo coassiale, per via della sua geometria, risulta essere il più adeguato. Infatti, data la sua perfetta simmetria assiale tra il conduttore centrale e la maglia schermante esterna si riesce ad eliminare totalmente il fenomeno dei campi magnetici statici generati allo scorrere della corrente continua, campi che altrimenti interferirebbero con il corretto funzionamento della strumentazione.

Si è osservato però, che durante l'inverno le condutture sotterranee in cui passano i cavi si riempiono d'acqua, ed i cavi coassiali dopo alcuni anni tendono a perdere lievemente le proprietà isolanti. Ciò avviene in maniera asimmetrica nei due conduttori e la maglia schermante è quella più esposta; questo produce una leggera asimmetria nelle correnti che scorrono nel cavo che con il passare degli anni aumenta. Il deterioramento è estremamente piccolo, ma produce conseguenze sensibili nelle applicazioni geomagnetiche. Nell'Osservatorio di Duronia, dopo soli 4 anni, la perdita di corrente del cavo coassiale è stata stimata essere dell'ordine di qualche pA/mm. Questa perdita integrata su tutta la lunghezza del cavo risulta pari ad una corrente dispersa dell'ordine delle decine di μA . Un'asimmetria di 0.1 mA produce un campo magnetico di 0.1 mA/m ad un metro di distanza dal conduttore che equivale a 0.12 nT, un valore molto prossimo all'accuratezza con cui si svolgono le misure di campo magnetico terrestre.

Una soluzione alternativa è rappresentata dal cavo bipolare twistato (figura 4), attraverso il quale si riesce comunque ad annullare il campo magnetico statico (grazie alla vicinanza tra i due conduttori) ma che, a differenza del cavo coassiale, nel corso degli anni presenta un deterioramento simmetrico sui conduttori e, quindi, una riduzione dell'effetto sopra descritto. Questa è la soluzione adottata nel nuovo sistema di alimentazione di Castello Tesino.



Figura 4. Cavo coassiale e cavo twistato.

4. Sistema di alimentazione ed acquisizione

All'interno dell'edificio 1 (figura 2) si trovano i sistemi di alimentazione ed acquisizione (figura 5) dove la rete elettrica di tutto l'Osservatorio viene opportunamente raddrizzata e distribuita.



Figura 5. Il sistema di alimentazione e acquisizione.

I sistemi di acquisizione ed alimentazione sono due ed indicati rispettivamente con il nome sistema CT4 e sistema CT5. Si tratta di due sistemi perfettamente uguali la cui struttura è schematizzata in figura 6. L'acquisizione dati avviene tramite dei fitPC alimentati a 12V ed ogni sistema ha un "battery box" di supporto per garantire la continuità del dato anche in assenza di rete elettrica. La rete LAN è distribuita da uno switch a tutti gli apparati. Vi è poi un PC di monitoraggio con il quale si può accedere ai due sistemi ed un Rebooter per garantire il reset remoto di ogni apparato. La trasmissione dati è effettuata tramite fibra ottica attraverso dei convertitori RS232/FO; tutte le linee dati convergono nell'edificio 1. Da qui partono i cavi di alimentazione D.C. per i quattro strumenti magnetici posti a distanza negli edifici 2 e 4 (un cavo per ogni strumento).

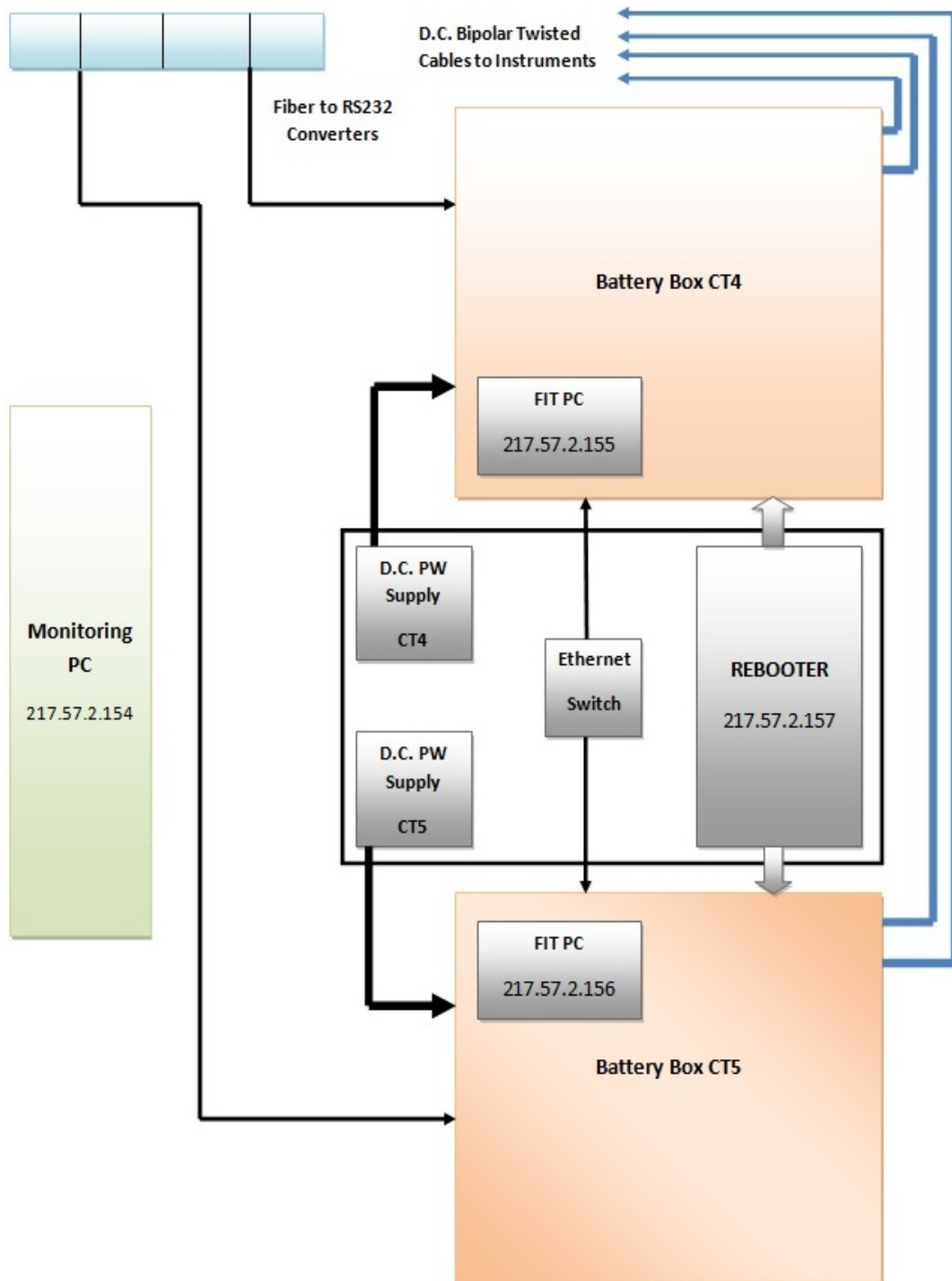


Figura 6. Schema del sistema di alimentazione e acquisizione – edificio 1.

L'energia è fornita ai due sistemi di acquisizione grazie a due alimentatori lineari (figura 7) i quali, diversamente di quanto avviene ad esempio con la tecnologia switching, non introducono rumore. Piccole modifiche sono state apportate ad entrambi gli alimentatori per renderli più funzionali. Grazie all'aumento dello "shunt resistor" è stata limitata la corrente a circa 23A per evitare l'eccessivo riscaldamento, sono stati poi eliminati dal pannello frontale alcuni plug inutilizzati e sostituita la regolazione di tensione con un trimmer interno.

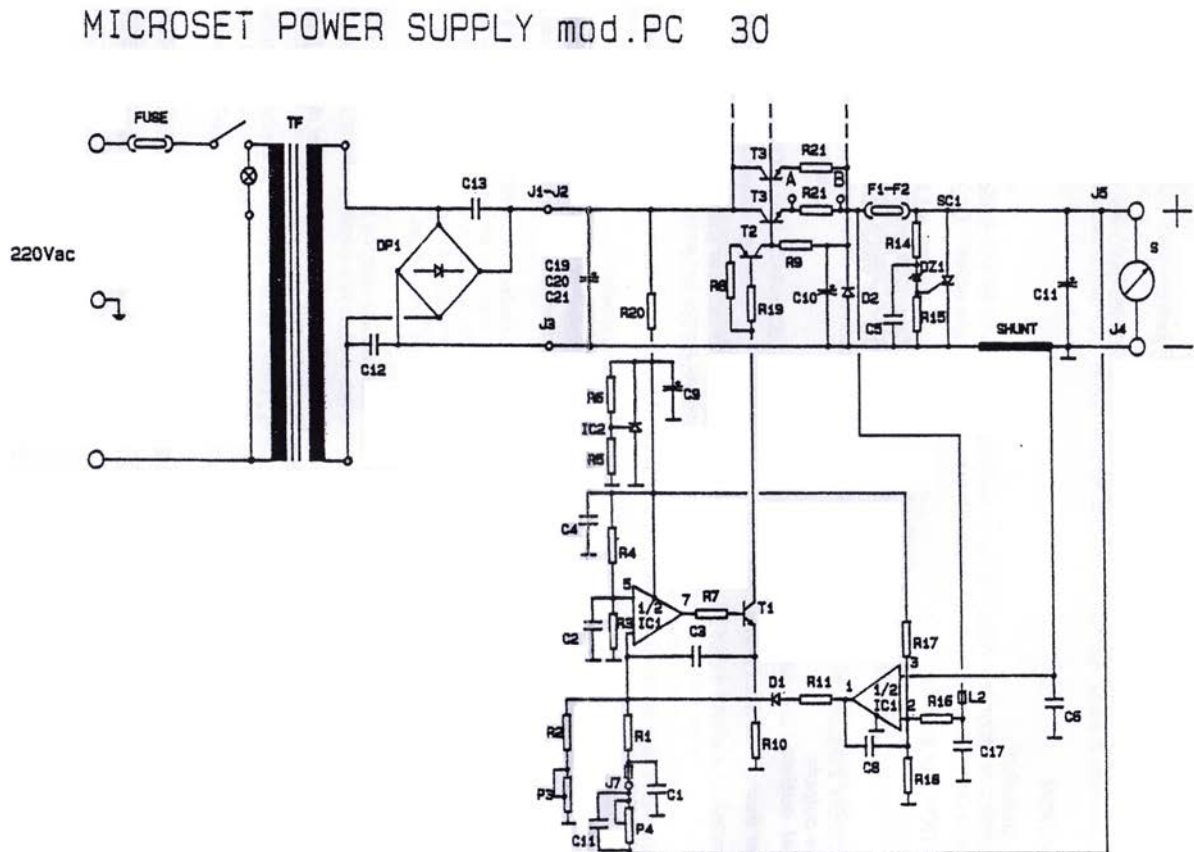


Figura 7. Schema elettrico alimentatore.

Questi alimentatori forniscono tensione diretta alla strumentazione tramite i cavi D.C. ricaricando allo stesso tempo le batterie (figura 9). Gli alimentatori sono collegati a loro volta ad un gruppo UPS (già presente in Osservatorio), che in assenza di rete, fornisce qualche ora di autonomia supplementare prima che le batterie entrino in funzione.

I fitPC sono alloggiati all'interno delle battery box dove convergono anche i cavi seriali e cavi di rete e sono alimentati tramite un regolatore di tensione low dropout regulator (figura 9 e figura 10).

Ogni singolo sistema prevede pertanto un battery box costituito da 6 batterie da 120Ah ciascuna. Le batterie vengono ricaricate in parallelo dall'alimentatore, ma a coppie di due alimentano ogni singolo apparato. Dunque la prima coppia (B1, B2) è dedicata al fitPC, la seconda coppia (B3, B4) al magnetometro scalare e la terza (B5, B6) al magnetometro vettoriale (figura 8 e figura 10).

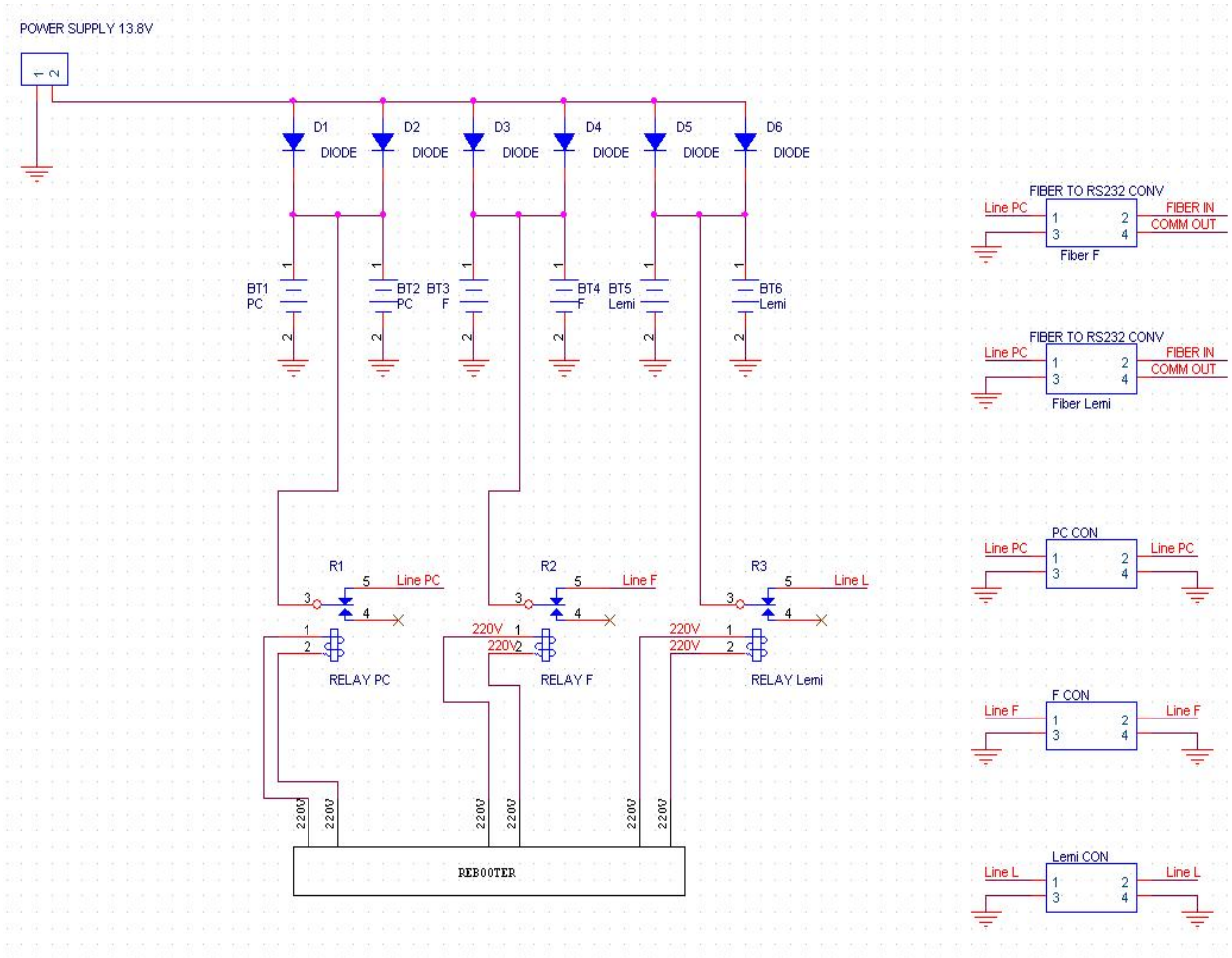


Figura 8. Schema elettrico Battery box.

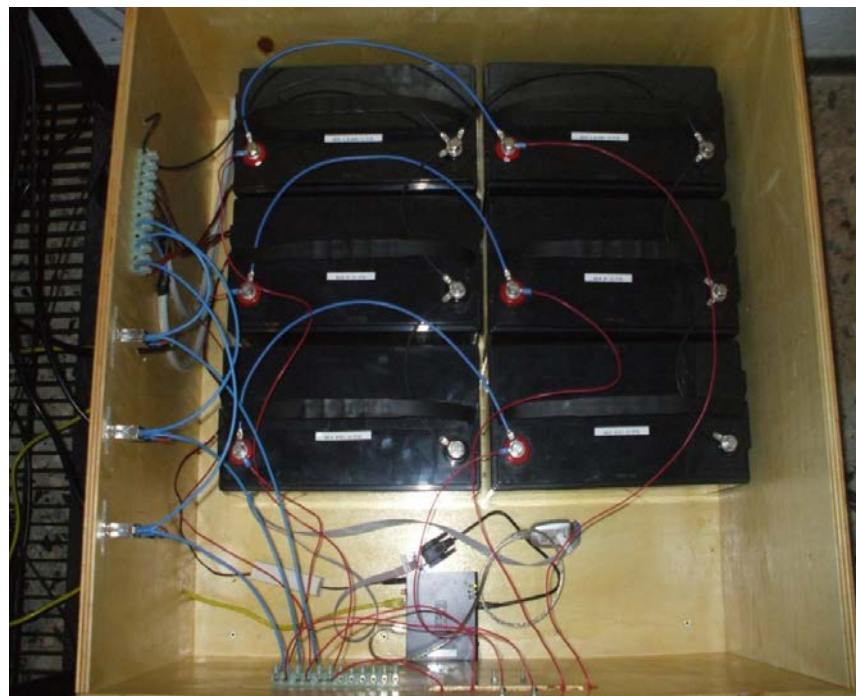


Figura 9. Battery box.

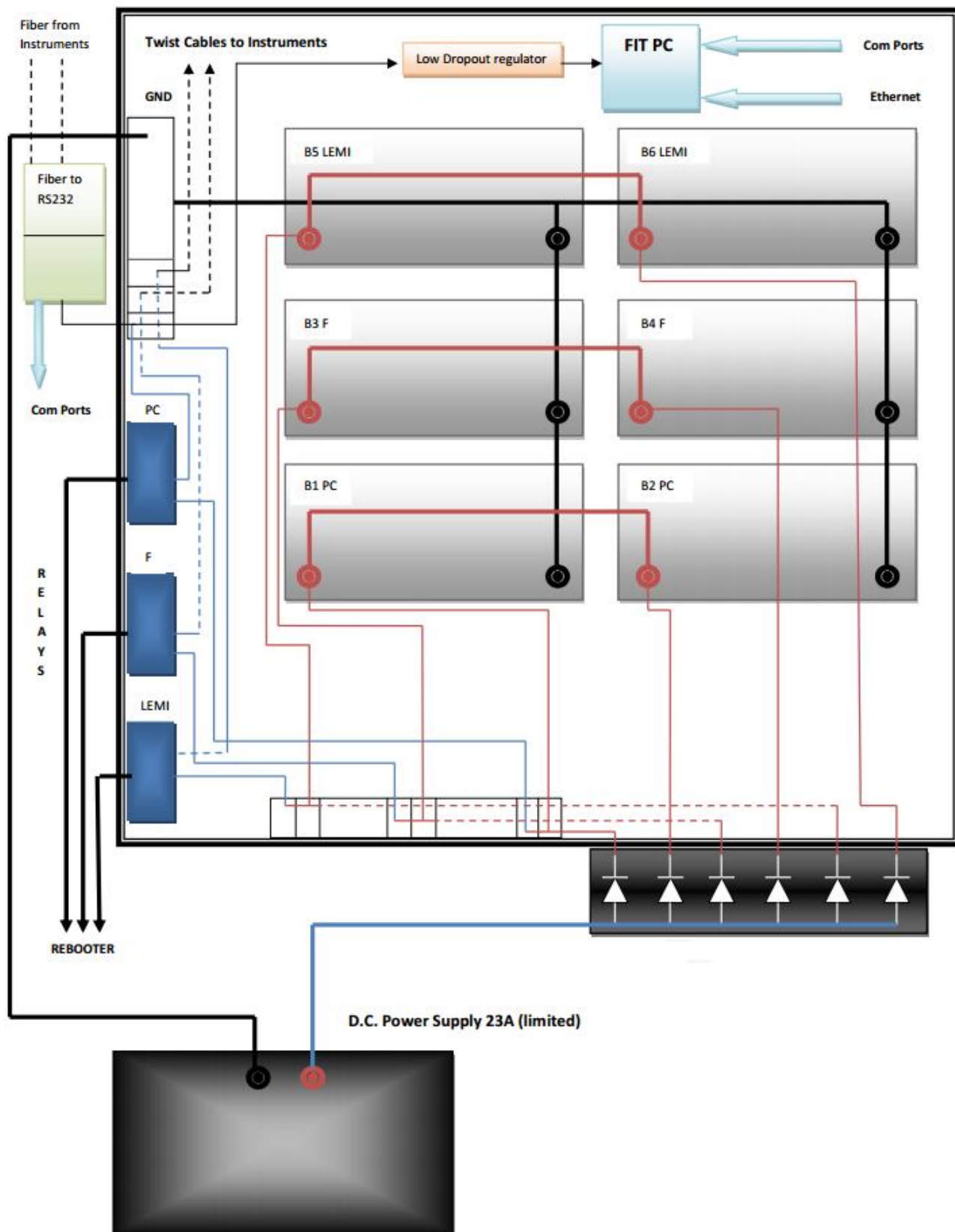


Figura 10. Schema illustrativo Battery box.

Le batterie alimentano anche i convertitori RS232/FO. Per guadagnare in caduta di tensione sul cavo, i convertitori nell'edificio 1 sono stati collegati alle batterie dei fitPC, mentre i convertitori presenti vicino gli strumenti sono stati collegati direttamente alla linea di alimentazione (la prima coppia di batterie alimenta il fitPC con due convertitori, mentre le altre due coppie alimentano ciascuna un magnetometro ed un

convertitore). Il cablaggio è stato effettuato in modo da rendere ogni singola batteria ispezionabile (scollegandola per una misura “a vuoto”) senza compromettere la tensione di alimentazione sullo strumento.

Dei relays (uno per ogni strumento), pilotati dal Rebooter,effettuano i reset su ogni singolo apparato (questa tecnica è stata adottata per sfruttare il Rebooter a 220V presente in Osservatorio).

I diodi di potenza in ingresso separano l'alimentatore dalle batterie. Lo schema originario prevedeva dei diodi schottky in output, che permettono di separare in maniera completa tutte le batterie evitando un'eventuale scarica tra l'una e l'altra. Per guadagnare in termini di caduta di tensione sulla lunghezza del cavo, sono stati eliminati (figura 8 e figura 10).

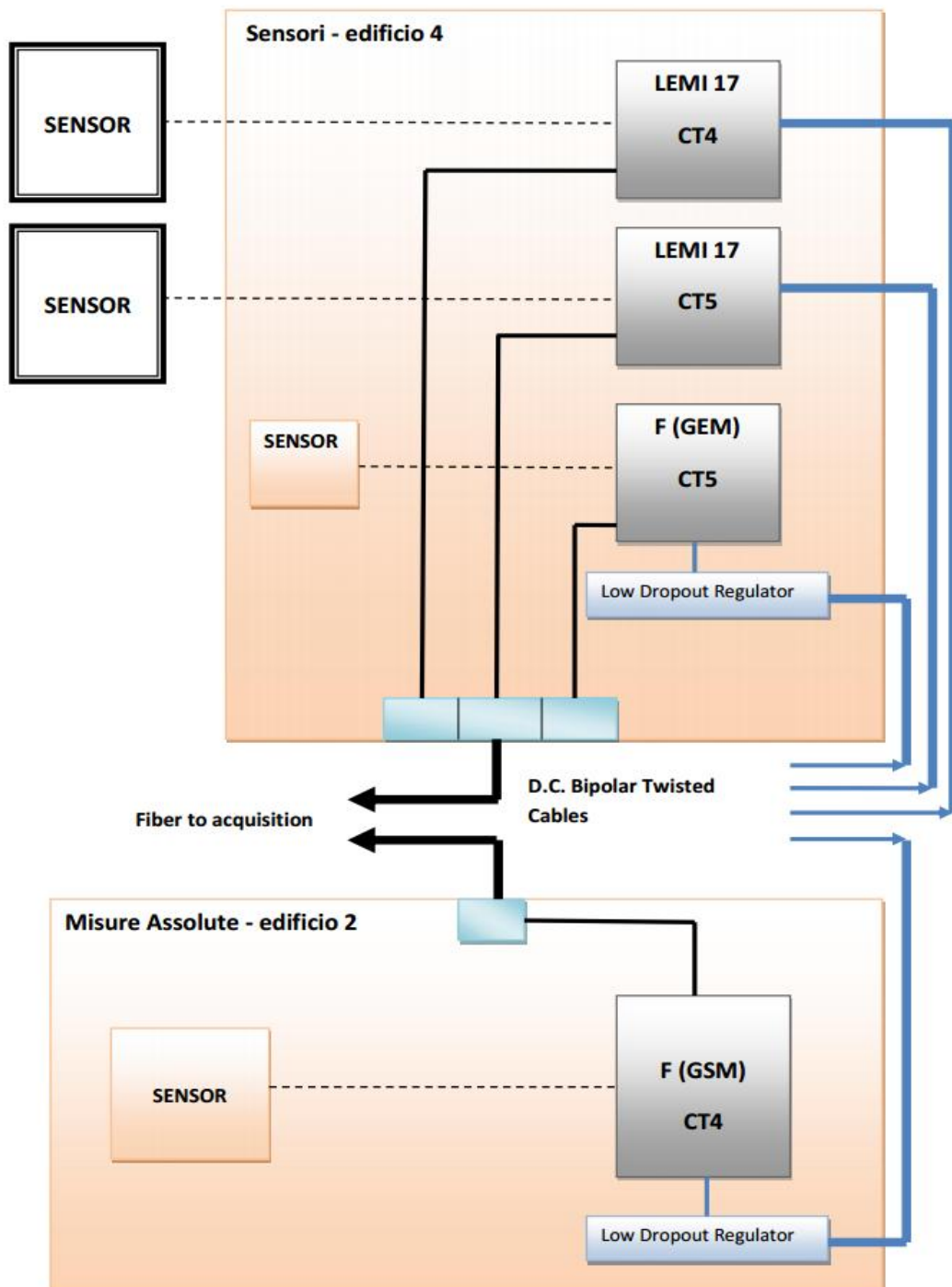


Figura 11. Strumentazione presso edificio 2 ed edificio 4.

5. Alloggiamento strumentazione

La strumentazione di misura del sistema CT4 è costituita da un magnetometro scalare Overhauser GSM-90 posto nell'edificio 2 (standard previsto da molti osservatori geomagnetici) a circa 50 m di distanza dai sistemi di alimentazione ed un magnetometro vettoriale LEMI-017 nell'edificio 4 a circa 160 m. Il sistema CT5 ha invece il magnetometro scalare e quello vettoriale entrambi collocati nell'edificio 4 (figura 11).

Per attenuare quanto più possibile il problema della deriva termica, i magnetometri vettoriali hanno il sensore alloggiato in pozzetti esterni coibentati e rivestiti in rame, mentre gli scalari non necessitando di questa accortezza, hanno il sensore all'interno degli edifici. Questi ultimi sono caratterizzati da un range di tensione d'ingresso non superiore ai 12V e dunque sono alimentati tramite un low dropout regulator. Ogni strumento ha la sua linea dati collegata ad un convertitore RS232/FO che invia il dato nell'edificio 1 dove avviene l'acquisizione.

6. Autonomia

Ogni linea di alimentazione ha una coppia di batterie tampone da 120Ah l'una. Il calcolo dell'autonomia totale, effettuato sulla linea con maggiore assorbimento che coincide con quella che alimenta l'apparato di acquisizione (che assorbe circa 700mA), è di circa 14 giorni. Tuttavia nel momento in cui le batterie siano costrette a fornire più del 50% della loro carica queste si deterioreranno velocemente riducendo l'autonomia a circa una settimana senza che gli accumulatori riportino danni. Considerando che gli alimentatori sono collegati a loro volta a un gruppo UPS, l'autonomia generale può aumentare di un giorno. C'è comunque da dire che i magnetometri vettoriali LEMI 017 sono in grado di registrare i dati in locale su memoria flash, sono strumenti che assorbono poco e sulla loro linea hanno un solo convertitore collegato. Pertanto in assenza di rete possono funzionare per circa un mese.

7. Elaborazione dati

Per verificare la validità delle variazioni apportate nell'Osservatorio nel corso degli ultimi anni si è scelto di caratterizzare il rumore magnetico presente nei segnali registrati in diverse situazioni. In particolare, nei segnali registrati presso l'edificio 3, presso l'edificio 4 ed ancora presso l'edificio 4 ma con la strumentazione alimentata da una tensione a 12V in continuo.

Per caratterizzare il rumore magnetico si è optato per un metodo di analisi non convenzionale. La caratterizzazione del rumore magnetico di un dato sito di misura è infatti normalmente ottenuta utilizzando o misure differenziali oppure la classica analisi spettrale dei segnali. Entrambi questi metodi presentano delle limitazioni quando applicati ai dati geomagnetici registrati presso gli osservatori [Palangio et al., 2013] e per questo motivo si è deciso di utilizzare come metodo di separazione del rumore e del segnale dai segnali misurati un metodo relativamente nuovo che si basa sulla rappresentazione dei segnali mediante la sovrapposizione di semplici modi intrinseci di oscillazione caratterizzati da valori di frequenza significativamente diversi. Questo metodo è noto con il nome di "Empirical Mode Decomposition" (EMD) e, correttamente applicato, offre la possibilità di individuare la parte di rumore che caratterizza il segnale misurato.

7.1 Metodo di analisi: Decomposizione in Modi Empirici

Il metodo della decomposizione in modi empirici (EMD) è una metodologia fondamentale per analizzare sequenze temporali frutto di processi non stazionari e non lineari [Huang et al. 1996, 1998, 1999]. In contrasto con la maggior parte dei metodi tradizionali, questo nuovo metodo è intuitivo, diretto ed adattivo con una base di rappresentazione dei dati definita a posteriori. Questo genere di decomposizione lavora direttamente nel dominio del tempo ed in questo si differenzia sicuramente da altri metodi più noti che lavorano invece nel dominio proprio delle frequenze.

L'assunzione implicita di questo tipo di decomposizione è che, data una sequenza temporale, questa possa, in ogni istante di tempo, essere pensata come la sovrapposizione di semplici modi intrinseci di oscillazione caratterizzati da valori di frequenza significativamente diversi. Ciascuno di questi modi intrinseci di oscillazione (IMF), o più genericamente, ciascuna di queste componenti, deve soddisfare due condizioni fondamentali:

1. nell'intera sequenza temporale dei dati analizzata, il numero di estremi deve essere uguale al numero di attraversamenti della linea di zero o al più differire di uno, ciò implica che tutti i massimi siano positivi ed i minimi negativi;
2. in ogni istante di tempo, il valor medio tra l'involuppo ottenuto considerando i massimi locali e quello ottenuto prendendo in considerazione i minimi locali deve essere zero.

La prima condizione ci assicura che nel segnale non vi siano componenti sovrapposte, o, in altre parole, che il segnale sia una "monocomponente"; la seconda condizione invece ci garantisce che la frequenza istantanea della IMF non abbia fluttuazioni dovute ad un profilo d'onda asimmetrico. È evidente che questa seconda condizione, nella pratica, sarà una semplice approssimazione dal momento che la media non sarà esattamente zero, ma si avvicinerà molto a tale valore. Ciascuna IMF rappresenta quindi un semplice modo oscillatorio che tuttavia, rispetto ad una classica funzione armonica, ha un'ampiezza ed una frequenza variabili nel tempo. Si tratta quindi, a tutti gli effetti, di un segnale non stazionario. Naturalmente, la maggior parte dei segnali non sono IMF; in ogni punto, può essere presente più di una modalità di oscillazione.

Descriviamo dunque in dettaglio il metodo per scomporre un qualsiasi segnale in una somma di IMF. Consideriamo la serie temporale arbitraria $X(t)$ che supponiamo possedere almeno un punto di massimo ed uno di minimo. Identifichiamo dapprima tutti i massimi locali e successivamente interpoliamoli utilizzando una "cubic spline". In questo modo è possibile ottenere l'involuppo superiore della serie analizzata. Ripetendo la stessa procedura per tutti i minimi locali, si ottiene invece una funzione che rappresenta l'involuppo inferiore della serie di partenza $X(t)$. I due involuppi così ottenuti dovranno contenere tutti i punti della serie $X(t)$. Indichiamo con m_1 la media tra l'involuppo superiore e quello inferiore. La differenza tra il segnale di partenza ($X(t)$) e la media tra gli involuppi (m_1) rappresenta la prima componente h_1 , cioè:

$$h_1 = X(t) - m_1$$

Idealmente la funzione h_1 dovrebbe essere una IMF. Per come è stata costruita la funzione h_1 dovrebbe essere, infatti, simmetrica rispetto alla linea di zero e avere tutti i massimi positivi ed i minimi negativi. In pratica però, vi potranno ancora essere massimi negativi e minimi positivi. Questo perché l'involuppo medio m_1 può essere differente dalla reale media locale per i dati non lineari e quindi questa procedura potrebbe aver prodotto dei nuovi estremi e spostato o amplificato quelli già esistenti. Infine, potrebbero sussistere seri problemi agli estremi della serie analizzata come conseguenza dell'interpolazione effettuata sugli estremi locali con una funzione di tipo "cubic spline". I problemi che si generano ai bordi della serie possono riflettersi, nei passaggi successivi, su tutta la sequenza temporale se non corretti. In pratica, quindi, non trattandosi di un metodo matematicamente rigoroso questo processo dovrà essere reiterato più volte per ottenere una vera IMF. Per questo motivo si introduce il cosiddetto processo di "sifting" che ha due scopi fondamentali: rendere il profilo della funzione determinata il più simmetrico possibile rispetto alla linea di zero ed eliminare eventuali componenti sovrapposte. Il processo di sifting altro non è se non la reiterazione della procedura precedente utilizzando però come dato di partenza la funzione h_1 , quindi:

$$h_{11} = h_1 - m_{11}$$

Il processo andrà ripetuto un numero di volte sufficiente a risolvere i problemi precedentemente elencati ottenendo così una funzione che rispetti tutte le condizioni di una IMF. Tuttavia si dovrà fare attenzione a non ripeterlo più del necessario per evitare di finire col determinare una IMF che abbia un'ampiezza quasi costante eliminando quindi anche le fluttuazioni in ampiezza fisicamente significative. Per preservare la naturale variazione in ampiezza delle oscillazioni è dunque fondamentale determinare un criterio di arresto del processo. Una volta stabilito questo criterio, il processo di sifting sarà ripetuto un numero di volte n fino a determinare la reale prima componente IMF (c_1) della serie temporale $X(t)$, la quale sarà dunque:

$$c_1 = h_{1n}$$

A questo punto c_1 potrà essere separata dal resto dei dati come segue:

$$r_1 = X(t) - c_1$$

Poiché il residuo r_l , in generale, conterrà ancora oscillazioni di periodo più lungo, questo sarà trattato come una nuova serie temporale e sottoposto allo stesso procedimento illustrato sopra. In questo modo, otterremo:

$$r_2 = r_1 - c_1$$

....

$$r_k = r_{k-1} - c_k$$

Il processo di decomposizione del segnale in IMF avrà termine nel momento in cui l'ultimo residuo conterrà meno di due massimi e due minimi necessari per la determinazione degli involucri superiori ed inferiori. In questa situazione, infatti, più nessuna IMF potrà essere estratta dal residuo ed il segnale, totalmente scomposto, sarà scrivibile nella seguente forma:

$$X(t) = \sum_{j=1}^k c_j + r_k = \sum_{j=1}^k IMF_j + res$$

7.2 Analisi dei segnali

Consideriamo i valori al secondo della variazione del campo geomagnetico lungo la componente cartesiana X relativa ad un giorno geomagneticamente quieto (20 giugno 2012). I dati sono registrati dal magnetometro vettoriale LEMI 017 installato nell'edificio 4 (sistema CT5) ed alimentato con una tensione pari a 12V in forma continua. Applichiamo a questa sequenza temporale la decomposizione in modi empirici. I risultati delle decomposizioni sono mostrati in figura 12: nel grafico in alto sono riportati i valori al secondo della componente X del campo geomagnetico (sistema CT5 alimentato a 12V), nei grafici sottostanti le IMF risultato della decomposizione e nell'ultimo grafico il residuo. Le IMF sono ordinate in funzione del valore decrescente della frequenza media associata a ciascuna IMF.

Applichiamo la stessa metodologia ai valori al secondo della variazione del campo geomagnetico lungo la componente X relativi al 23 marzo 2012 (giorno magneticamente quieto). I dati sono registrati dai due distinti magnetometri vettoriali denominati sistema CT4 e CT5, collocati rispettivamente nell'edificio 3 e 4 ed entrambi alimentati con una tensione paria 220 V in forma alternata. Riportiamo in figura 13 il confronto tra le prime tre monocomponenti (IMF) ottenute nei tre casi esaminati. La traccia blu descrive la decomposizione associata al segnale registrato dal sistema CT4, la rossa è associata al segnale registrato dal sistema CT5 alimentato con tensione a 220V in alternata ed infine la traccia verde si riferisce ai dati registrati dal sistema CT5 con tensione a 12V in forma continua. Il confronto mostra chiaramente un'ampiezza delle monocomponenti associate al segnale registrato dal sistema CT5, alimentato con tensione a 12V in forma continua, inferiore rispetto alle altre configurazioni.

Per comprendere quante delle monocomponenti individuate per ciascun segnale rappresentino effettivamente il rumore contenuto nel segnale misurato, si è valutata, per ciascuna monocomponente, la radice della media del quadrato dell'ampiezza (A_{rms}) ad essa associata. La figura 14 mostra l'andamento ottenuto in funzione del numero del modo della monocomponente nei tre casi analizzati. In tutti e tre i casi, a meno del valore associato alla prima monocomponente, è possibile scorgere l'esistenza di due distinti regimi caratterizzati da pendenze differenti, i quali chiaramente identificano il rumore ed il segnale nei segnali misurati. L'andamento ottenuto permette di identificare così, nei primi 7 modi, il rumore magnetico presente all'interno del segnale misurato e, allo stesso tempo, permette di evidenziare come, a parità di sito di misura, la variazione del tipo di alimentazione abbia effettivamente diminuito il rumore presente nei segnali registrati. I primi due modi del segnale registrato dal sistema CT5 alimentato a 12 V in continua (traccia verde in figura 14) presentano infatti valori di varianza inferiori a quelli ottenuti analizzando il segnale registrato dallo stesso sistema CT5 ma alimentato a 220 V in modalità alternata (traccia rossa in figura 14).

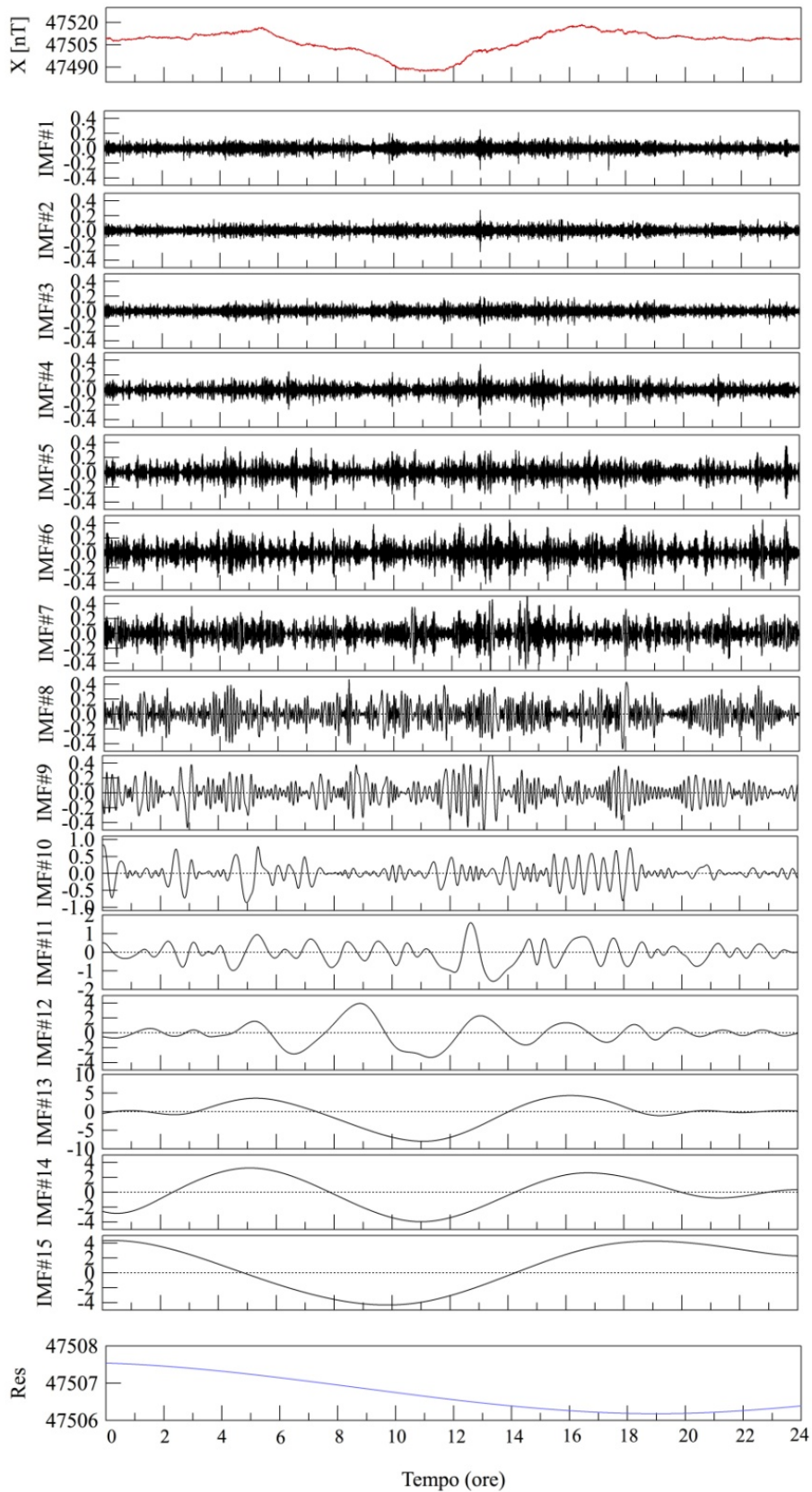


Figura 12. Decomposizione in modi empirici della componente X del campo geomagnetico registrato presso l'Osservatorio geomagnetico di Castello Tesino (CT5 con tensione a 12V) il giorno 20 giugno 2012.

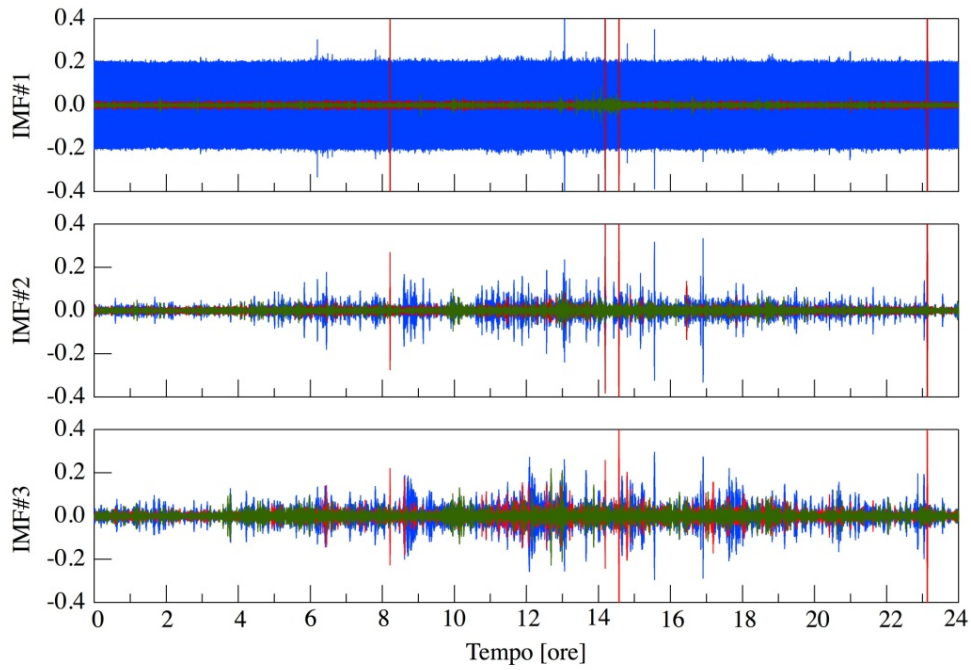


Figura 13. Confronto tra le prime tre monocomponenti (IMF) ottenute nei tre casi analizzati. La traccia blu descrive la decomposizione associata al sistema CT4, la rossa al sistema CT5 entrambe alimentate con tensione a 220V in alternata e la verde al sistema CT5 alimentata con tensione a 12 V in forma continua.

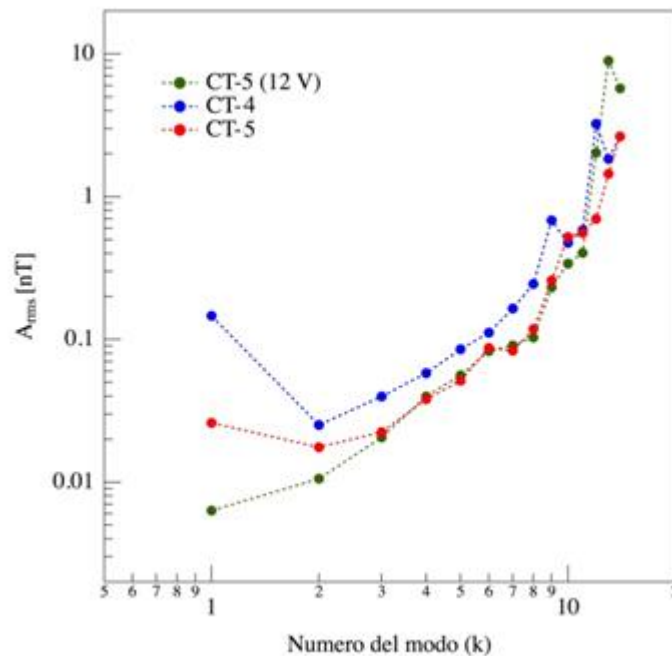


Figura 14. Radice della media del quadrato dell'ampiezza (A_{rms}) associata a ciascuna delle monocomponenti ottenute dalla decomposizione dei segnali registrati nelle diverse configurazioni (blu CT4 e rosso CT5 entrambe alimentate con tensione a 220V in alternata, verde CT5 alimentata con tensione a 12V in forma continua).

È quindi possibile a questo punto ricostruire il segnale associato al rumore semplicemente sommando le prime 7 IMF ottenute nella decomposizione di ciascun segnale. La Figura 15 riporta il confronto dell'ampiezza del rumore registrato nelle diverse configurazioni analizzate. È evidente che l'aver spostato il sito di acquisizione del sensore (dall'edificio 3 all'edificio 4) e successivamente aver deciso di modificare la tipologia di tensione utilizzata per l'alimentazione degli strumenti ha portato ad una diminuzione dell'ampiezza del rumore magnetico nel segnale misurato. Analoga analisi è stata effettuata nel caso delle altre componenti cartesiane del campo geomagnetico Y, Z e dell'intensità totale F ottenendo risultati del tutto confrontabili.

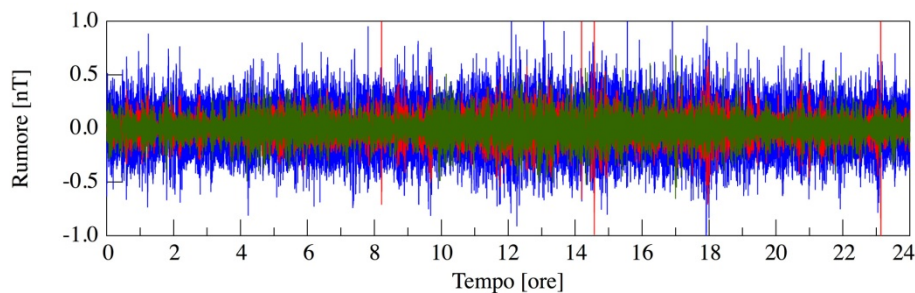


Figura 15. Confronto dell'ampiezza del rumore registrato nelle diverse configurazioni analizzate (blu CT4 e rosso CT5 entrambe alimentate con tensione a 220V in alternata, verde CT5 alimentata con tensione a 12V in forma continua).

8. Sommario e conclusioni

In questa breve nota sono stati illustrati gli ultimi cambiamenti apportati nell'Osservatorio geomagnetico di Castello Tesino che hanno visto lo spostamento della strumentazione di misura in un sito più idoneo e la modifica del tipo di alimentazione dei sistemi di misura da una tensione a 220V in forma alternata ad una a 12V in modalità continua. Tutto ciò al solo scopo di migliorare la qualità dei dati acquisiti. Per verificare la validità delle variazioni apportate nell'Osservatorio nel corso degli ultimi anni si è scelto di caratterizzare il rumore magnetico presente nei segnali registrati in diverse situazioni. In particolare, nei segnali registrati presso l'edificio 3, presso l'edificio 4 ed ancora presso l'edificio 4 ma con la strumentazione alimentata da una tensione a 12V in continuo. Come metodo di separazione del rumore e del segnale dai segnali misurati si è optato per un metodo relativamente nuovo che si basa sulla rappresentazione dei segnali mediante la sovrapposizione di semplici modi intrinseci di oscillazione caratterizzati da valori di frequenza significativamente diversi. Questo metodo, noto con il nome di "Empirical Mode Decomposition" (EMD), ci ha permesso di caratterizzare il rumore presente nei segnali analizzati e di dimostrare quanto la qualità del segnale sia migliorata grazie a questi ultimi interventi.

In futuro ci si propone di apportare delle ulteriori piccole modifiche come ad esempio l'introduzione di una memoria locale nei magnetometri Overhauser che ci garantisca una ridondanza del dato così da evitare problemi nel momento in cui si dovessero fermare i sistemi di acquisizione. Sarà inoltre importante provvedere alla protezione delle linee di alimentazione dei circuiti per garantire la salvaguardia degli strumenti da eventi fortuiti quali ad esempio quelli legati alla caduta di fulmini.

Bibliografia

- Huang N.E., Long S.R., & Shen Z., *The mechanism for frequencydownshift in nonlinearwaveevolution*, Adv. Appl. Mech., 32, 59, 1996.
- Huang N.E., Shen Z., Long S.R., Wu M.C., Shih H.H., Zheng Q., Yen N.-C., Tung C.C., &Liu H.H., *The empirical mode decomposition and the Hilbertspectrum for nonlinear and nonstationary time seriesanalysis*, Proc. R. Soc. London, Ser. A, 454, 903, 1998.

- Huang N.E., Shen Z., & Long S.R., *A new view of nonlinear water waves - The Hilbert spectrum*, *Annu. Rev. FluidMech.*, 31, 417, doi:10.1146/annurev.fluid.31.1.417., 1999.
- Meloni A., Molina F., Palangio P., Taccetti Q., De Santis A., *Automatic digital recording of geomagnetic elements by means of a proton precession magnetometer*, *Geophysical Surveys*, 6, 339, 1984.
- Palangio P., Carmisciano C., & Di Lorenzo C., *Caratterizzazione del rumore magnetico di fondo nel nuovo Osservatorio di Varese Ligure*, *Quaderni di Geofisica*, ISSN 1590-2595, 109, 2013.

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia