

# Rapporti tecnici

# INGV

**Linear Solar Panel Regulator –  
Regolatore di carica lineare per  
pannelli solari negli osservatori  
geomagnetici**

# 340



## **Direttore Responsabile**

Stefano GRESTA

## **Editorial Board**

Luigi CUCCI - Editor in Chief (INGV-RM1)

Raffaele AZZARO (INGV-CT)

Mario CASTELLANO (INGV-NA)

Viviana CASTELLI (INGV-BO)

Rosa Anna CORSARO (INGV-CT)

Mauro DI VITO (INGV-NA)

Marcello LIOTTA (INGV-PA)

Mario MATTIA (INGV-CT)

Milena MORETTI (INGV-CNT)

Nicola PAGLIUCA (INGV-RM1)

Umberto SCIACCA (INGV-RM2)

Alessandro SETTIMI (INGV-RM2)

Salvatore STRAMONDO (INGV-CNT)

Andrea TERTULLIANI (INGV-RM1)

Aldo WINKLER (INGV-RM2)

## **Segreteria di Redazione**

Francesca Di Stefano - Referente

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860068

redazionecen@ingv.it

in collaborazione con:

Barbara Angioni (RM1)



# Rapporti tecnici INGV

## LINEAR SOLAR PANEL REGULATOR - REGOLATORE DI CARICA LINEARE PER PANNELLI SOLARI NEGLI OSSERVATORI GEOMAGNETICI

Giovanni Benedetti, Achille Zirizzotti

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

# 340



## Indice

	Introduzione	7
1.	Descrizione generale	7
2.	PWM e componenti lineari	8
3.	Schema elettrico e layout	8
4.	Confronto dei dati	11
5.	Conclusioni	12
	Bibliografia	13



## Introduzione

In molti sistemi di monitoraggio, come gli osservatori remoti e stazioni di misura di parametri geofisici, si utilizzano batterie, gruppi di continuità (UPS) e pannelli solari, sia per fornire una adeguata alimentazione che per garantire una continuità di funzionamento della strumentazione. In particolare nei siti remoti là dove non è disponibile la rete elettrica, l'utilizzo dei sistemi fotovoltaici è fondamentale. Inoltre negli osservatori geomagnetici vengono utilizzati strumenti automatici di registrazione come magnetometri scalari e vettoriali. Questo tipo di strumentazione è molto sensibile al rumore elettromagnetico e al rumore in generale, come quello che può viaggiare nei circuiti di alimentazione. È importante quindi prestare attenzione ai tipi di apparati che si utilizzano sia negli impianti a 220V che negli impianti fotovoltaici. A questo proposito è stato realizzato un regolatore lineare di carica per pannelli solari (figura 1), impiegato nell'osservatorio geomagnetico di Lampedusa.



**Figura 1.** Il regolatore di carica per pannelli solari.

### 1. Descrizione generale

Il regolatore lineare per pannelli solari è stato realizzato in seguito ai disturbi registrati dagli strumenti magnetici presso l'osservatorio geomagnetico di Lampedusa. Nell'impianto fotovoltaico dell'osservatorio erano stati inseriti dei regolatori di carica per batterie PWM (*Pulse Width Modulation*) di ultima generazione. Questi regolatori inviano alla batteria una serie di impulsi la cui larghezza e ampiezza variabile dipendono dallo stato di carica della batteria. In questo modo si riesce a sfruttare al meglio l'energia dei pannelli e garantire una vita più lunga alle batterie, ma allo stesso tempo introducono rumore nei dati magnetici soprattutto nelle ore di massima insolazione. Anche dopo aver realizzato un buon impianto di terra e

introdotto capacità di filtraggio sull'alimentazione dei magnetometri, gli *spikes*, generati dalla PWM, erano sì ridotti ma continuavano ad essere presenti sui dati dell'osservatorio. Si è scelto quindi di utilizzare apparati puramente lineari per ottenere un dato privo da qualsiasi disturbo. La tecnologia lineare è stata adottata nell'osservatorio di Lampedusa da Novembre 2009 e dettagliata nel rapporto tecnico INGV [Fois et al., 2011]. La prima versione del regolatore di carica prevedeva però una protezione a fusibile in caso di corto circuiti e sovracorrenti, che non permetteva il ripristino della normale alimentazione e poteva interrompere il funzionamento dell'osservatorio. È stata realizzata quindi una nuova versione del regolatore per pannelli solari che utilizza delle limitazioni in corrente a transistor.

## 2. PWM e componenti lineari

La PWM è utilizzata per protocolli di comunicazione in cui l'informazione è codificata sotto forma di durata nel tempo di ciascun impulso, ma è anche un tipo di modulazione digitale che permette di ottenere una tensione media variabile dipendente dal *duty cycle* dell'onda quadra, cioè dal rapporto di durata tra l'impulso positivo e quello negativo [Horowitz & Hill, 1989]. Nella regolazione della potenza elettrica con la PWM un *duty cycle* pari allo 0% (impulsi negativi) rappresenta un potenza trasferita nulla, mentre con un *duty cycle* pari al 100% (impulsi positivi) la potenza trasferita è massima. Negli alimentatori elettronici, la modulazione può essere regolata in funzione della tensione in uscita, in modo da introdurre una retroazione che stabilizza la tensione al variare della tensione di ingresso. Il vantaggio di questa tecnica è di ridurre drasticamente la potenza dissipata dal circuito limitatore rispetto all'impiego di transistor controllati analogicamente. In un circuito PWM il transistor in un istante conduce completamente, riducendo al minimo la caduta ai suoi capi, oppure non conduce, annullando la corrente, ed in entrambi i casi la potenza dissipata è minima.

Nel caso dei circuiti lineari la regolazione è continua e sui dispositivi a semiconduttore la potenza dissipata è determinata dalla corrente che lo attraversa per la differenza di potenziale presente ai suoi capi ( $P=V*I$ ). Questo fa sì che una parte della potenza che deve essere trasferita venga persa in calore per via dell'effetto *Joule* sul dispositivo. Nelle applicazioni geomagnetiche però è preferibile perdere una parte della potenza generata dai pannelli solari in calore (dissipato dai dispositivi a semiconduttore), per avere una regolazione delle batterie priva di rumore.

## 3. Schema elettrico e layout

Nello schema elettrico in figura 2, si vede la nuova versione del regolatore di carica. Sono stati mantenuti i componenti essenziali relativi alla regolazione della tensione, che viene effettuata tramite LM317 (<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf>) e filtrata in ingresso e uscita dalle capacità C1 e C2. La tensione costante inviata alle batterie può essere aggiustata tramite il trimmer resistivo R7 e impostata a 13.8V che è la tensione tipica per la ricarica delle batterie al piombo a 12V. L'LM317 è un ottimo regolatore di tensione che lavora mantenendo costante a 1.25V la tensione presente tra i suoi pin 1 e 2. In questo modo con un partitore resistivo è possibile stabilizzare una qualunque tensione limitando però la differenza tra uscita e ingresso a 40V. Il dispositivo ha protezioni sul carico contro i corto circuiti e protezioni termiche nel caso di eccessivo riscaldamento ma una massima corrente di 1.5A. Per questo motivo, sopra il regolatore di tensione si sono aggiunti dei rami di potenza formati ciascuno da una resistenza di potenza e di precisione da 0.15 ohm, da un transistor BD140 di protezione, un transistor di potenza TIP36 e un diodo 1N4007 per la separazione di ogni ramo. In questo modo possiamo regolare la tensione dei pannelli a 13.8V con una corrente massima di circa 6A per ogni ramo. Sul singolo ramo, non appena la corrente di alimentazione cresce, aumenta la caduta di tensione ai capi della resistenza di precisione mandando in conduzione il transistor BD140, questo sottraendo corrente di base al transistor di potenza TIP36 lo manda in interdizione interrompendo la corrente in uscita. Diminuendo il valore della resistenza di precisione si aumenta la massima corrente di ogni singolo ramo. Da notare che lo stesso lavoro viene svolto dalla resistenza R5 che mette in funzione i rami solamente quando la corrente che l'attraversa supera 8 mA.

In figura 3 si vede il *layout* del regolatore di carica. Tutti gli elementi di potenza dei vari rami sono stati posizionati sulla parte inferiore della scheda per poter essere avvitati insieme ad un unico largo

dissipatore. Ogni componente è isolato dall'altro mediante un foglio isolante termo-conduttivo con passanti in PVC per le viti. La parte cruciale del circuito di potenza non è nella complessità elettronica ma nel cercare di raffreddare al meglio tutti i componenti che dissipano calore così da evitarne la rottura e garantirne il funzionamento lineare. A tale proposito anche le piste sulle quali scorre più corrente sono state disegnate con dimensione adeguata. Lo schema elettrico e il *layout* sono stati disegnati e simulati con *Orcad 9* (<http://www.ocad.com/en/downloads>) mentre il PCB è stato realizzato mediante la fresa meccanica per circuiti stampati *Colimbus* nel laboratorio elettronico di geomagnetismo.

La scheda è stata montata su un unico dissipatore che è a sua volta avvitato su un case di protezione in alluminio visibile nell'introduzione. Per garantire maggiore dissipazione di calore è stata applicata della pasta termo-conduttiva tra il dissipatore ed il case. Delle boccole rosso/nero sono collegate all'*input* per i pannelli solari e all'*output* per le batterie. Con questa configurazione si ottiene una corrente massima di circa 24A.

Chiaramente per il montaggio sono stati utilizzate parti meccaniche in alluminio e ottone per rendere il regolatore amagnetico e quindi utilizzabile negli osservatori geomagnetici.

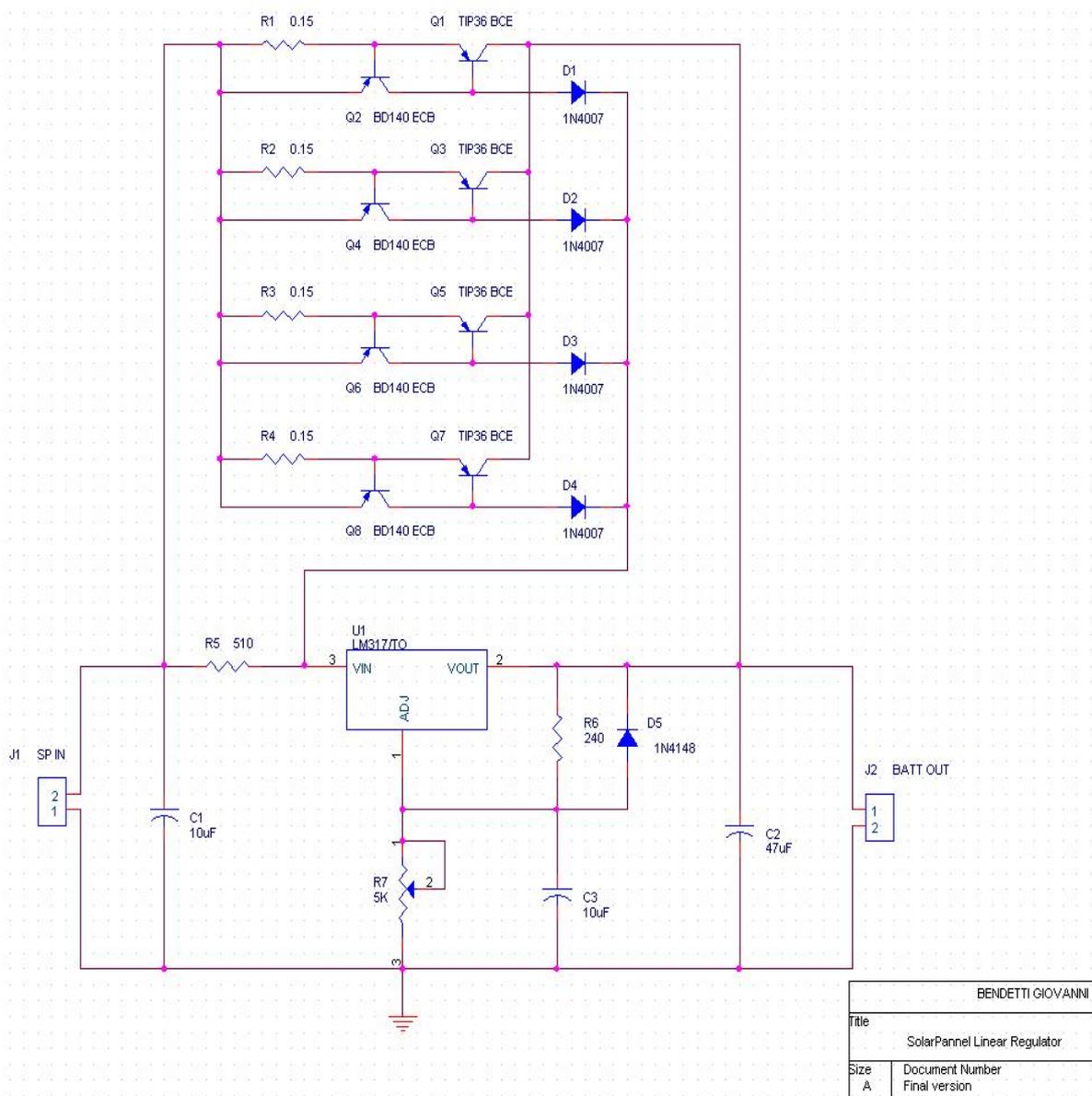
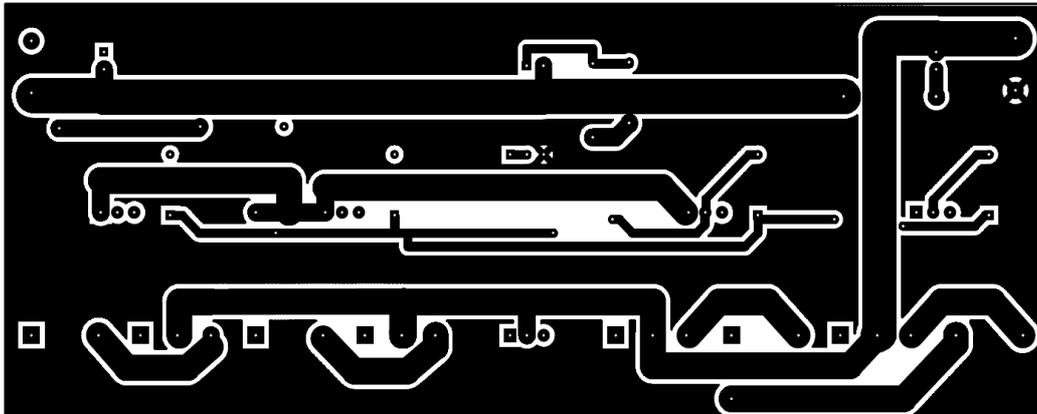
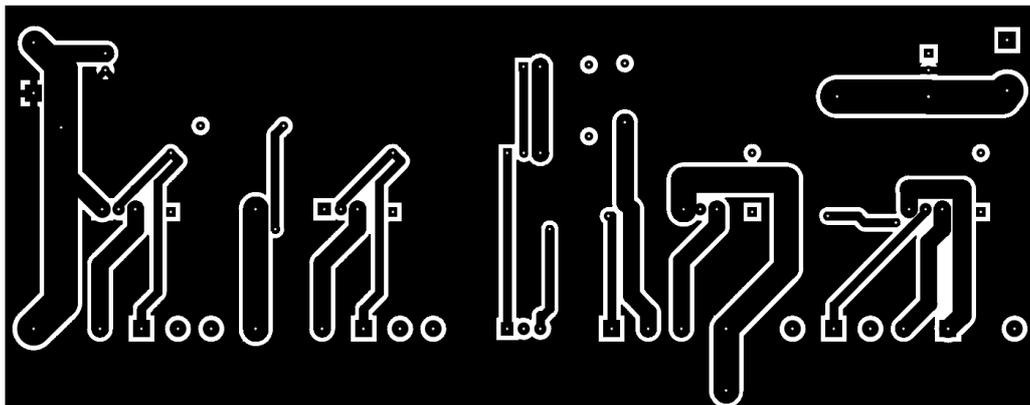


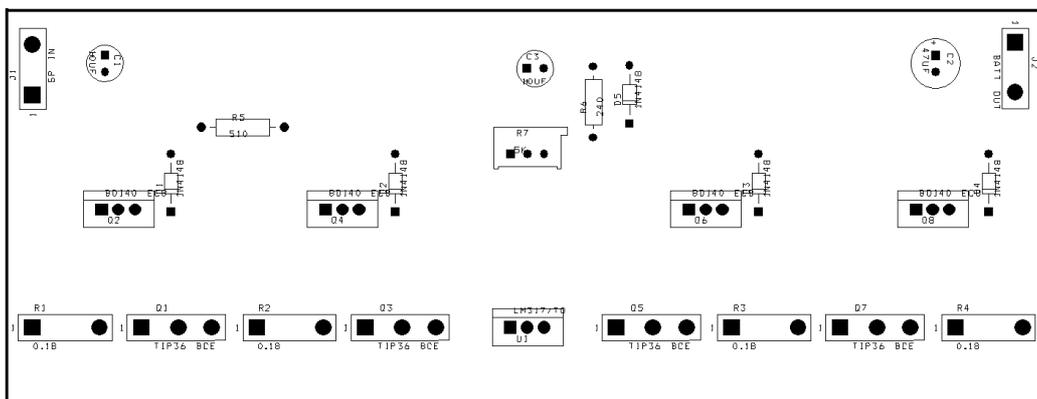
Figura 2. Schema elettrico.



*Top*



*Bottom*



*Assembly top*

**Figura 3.** Layout della scheda elettronica.

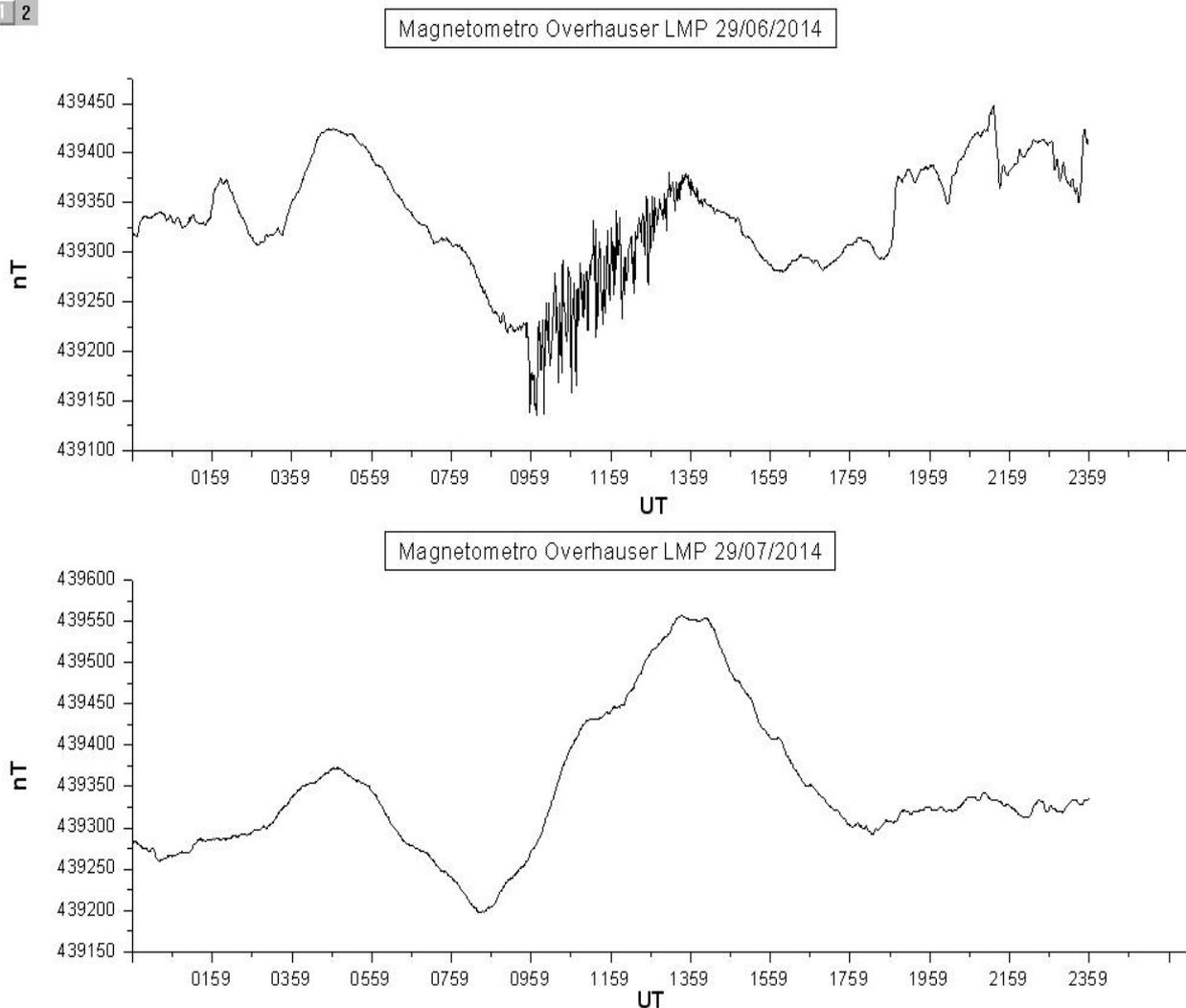
#### 4. Confronto dei dati

A Giugno 2014 in occasione di interventi significativi nell'osservatorio di Lampedusa, come il potenziamento dell'impianto fotovoltaico con l'aggiunta di batterie tampone e pannelli solari, si è provato a ripristinare i regolatori PWM industriali che gestiscono con maggiore efficienza e al meglio la potenza generata. Abbiamo comunque provato a ridurre il loro rumore con un buon impianto di terra ed è stata anche filtrata l'alimentazione dei magnetometri *Overhauser*, strumenti maggiormente soggetti ai disturbi.

Confrontando successivamente i dati (ad esempio in figura 5 sono mostrati i dati del 29 giugno 2014) con quelli di figura 4 relativi al 2009 [Fois et al., 2011], in cui l'impianto di terra non era presente, si vede che gli *spikes* nelle ore diurne sono meno significativi, ma sempre presenti. L'unica soluzione per eliminare i disturbi è quindi non utilizzare i regolatori PWM e tornare definitivamente alla soluzione dei regolatori di carica lineari. In figura 5 si vede il confronto dei dati della componente F del 29 Giugno 2014 con quelli del mese successivo, in cui sono stati eliminati i regolatori PWM. Il dato del 29 Luglio è chiaramente pulito.



**Figura 4.** Dati dell'osservatorio geomagnetico di Lampedusa del 3 Gennaio 2009 in cui l'impianto di terra non era presente.



**Figura 5.** Confronto dati del magnetometro Overhauser di Lampedusa.

## 5. Conclusioni

La scelta dei regolatori di carica lineari si è rivelata ancora la più corretta. Nel 2015 è stata realizzata la versione finale del regolatore per pannelli solari descritta in questo rapporto tecnico, che utilizzando elementi di precisione ed una giusta dissipazione di calore, garantisce correnti elevate per una ricarica veloce delle batterie ed un'adeguata protezione sugli apparati alimentati.

Questo regolatore di carica per pannelli fotovoltaici è attualmente utilizzato nell'osservatorio di Lampedusa, ma rappresenta una soluzione efficace per tutte le stazioni di monitoraggio magnetico che utilizzino pannelli solari. Sono infatti utilizzati anche nelle stazioni FIRB Abruzzo per ricaricare le batterie che alimentano i magnetometri *search coil* per lo studio delle micro pulsazioni del campo magnetico terrestre, strumenti molto sensibili che risentono dei disturbi generati dalla PWM.

## **Bibliografia**

Horowitz & Hill, (1989). *The Art of Electronics*, Cambridge University Press, 1989, pp. 1125, ISBN 978-0-521-37095-0.

Fois M., Biasini F. e Benedetti G., (2011). *Un nuovo sistema di alimentazione per l'osservatorio geomagnetico di Lampedusa*, Rapporti Tecnici INGV, n. 204, pp. 24.

# Quaderni di Geofisica

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/quaderni-di-geofisica/>

I Quaderni di Geofisica coprono tutti i campi disciplinari sviluppati all'interno dell'INGV, dando particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari, che per tipologia e dettaglio necessitano di una rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. La pubblicazione on-line fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

# Rapporti tecnici INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/rapporti-tecnici-ingv/>

I Rapporti Tecnici INGV pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico e di rilevante interesse tecnico-scientifico per gli ambiti disciplinari propri dell'INGV. La collana Rapporti Tecnici INGV pubblica esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

# Miscellanea INGV

ISSN 2039-6651

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/miscellanea-ingv/>

La collana Miscellanea INGV nasce con l'intento di favorire la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV (sismologia, vulcanologia, geologia, geomagnetismo, geochimica, aeronomia e innovazione tecnologica). In particolare, la collana Miscellanea INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli ecc..

**Coordinamento editoriale e impaginazione**

Centro Editoriale Nazionale | INGV

**Progetto grafico e redazionale**

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2016 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**