

# Rapporti tecnici

# INGV

**Un prototipo industrializzabile di  
nuova stazione clinometrica**

# 119



## **Direttore**

Enzo Boschi

## **Editorial Board**

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Anna Grazia Chiodetti (AC)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Lucia Margheriti (CNT)

Simona Masina (BO)

Nicola Pagliuca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - coordinatore (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

## **Segreteria di Redazione**

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

[redazionecen@ingv.it](mailto:redazionecen@ingv.it)



# Rapporti tecnici INGV

## UN PROTOTIPO INDUSTRIALIZZABILE DI NUOVA STAZIONE CLINOMETRICA

Angelo Ferro e Giuseppe Laudani

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania)

# 119



## Indice

Introduzione	5
1. La rete clinometrica per il monitoraggio in tempo quasi - reale dei vulcani attivi siciliani	5
2. Caratteristiche tecniche di una stazione clinometrica tradizionale	9
2.1 La parte di trasmissione in Radio-frequenza	10
2.2 Riconoscitore di nota DTMF	10
2.3 Minimodem	10
2.4 Dimensioni e peso	10
2.5 Consumo elettrico	10
2.6 regolatore di carica	10
2.7 Casistica dei guasti più frequenti	11
2.8 Il cablaggio delle stazioni	11
3. Caratteristiche tecniche della nuova stazione clinometrica	11
3.1 Filosofia di progettazione	12
3.2 Consumo elettrico	13
3.3 I dati acquisiti	13
3.4 Il datalogger cr 1000 come apparato di acquisizione	14
3.5 dc/dc converter	14
3.6 La radio utilizzata	17
3.7 Il Radio – modem	18
3.8 regolatore di carica	18
3.9 Peso e dimensioni	18
4. Facile verifica in campo del funzionamento dei principali componenti installati	19
5. Analisi dei costi e benefici e problematiche riscontrate	19
6. Schemi elettrici e prodotto finito	21
Bibliografia	30



## Introduzione

In questo rapporto tecnico vengono descritte le caratteristiche tecniche delle stazioni clinometriche gestite dall'Unità funzionale Deformazioni, Geodesia e Geofisica della sezione Ingv di Catania, progettate alla fine degli anni 80 ed attualmente installate sull'Etna e alle isole Eolie ed i motivi tecnici che hanno portato alla realizzazione di un nuovo tipo di prototipo in sostituzione delle vecchie stazioni.

### 1. La rete clinometrica per il monitoraggio in tempo quasi-reale dei vulcani attivi siciliani

Le stazioni gestite dall'UDFGG della sezione INGV di Catania sono equipaggiate con acquisitori analogico/digitali a 12 bit che acquisiscono i dati provenienti da clinometri posizionati a profondità comprese tra 3 e 10 metri rispetto al piano di campagna e ricetrasmittitori per il trasferimento dei dati in modalità remota: grazie alla collocazione in punti nevralgici nel territorio etneo ed eoliano si ottiene il monitoraggio in tempo quasi-reale dello stato di deformazione del suolo dei principali vulcani attivi siciliani.

- Dati acquisiti

Le stazioni acquisiscono in una memoria locale dieci o più parametri fisici e ogni 12/24 ore un PC MASTER ubicato presso la sede INGV di Catania effettua una chiamata ed il successivo *download* dei dati memorizzati sfruttando un canale radio riservato in banda UHF; grazie ad una tecnica per il trattamento dei dati trasmessi e ricevuti nota come "controllo ridondante dei pacchetti" in caso di disturbi sul canale radio le informazioni ricevute in maniera scorretta non vengono perse ma rinviate alle chiamate successive.

La dicitura "quasi - reale" è motivata dal fatto che le stazioni hanno un periodo di acquisizione di 30 minuti ed il trasferimento dati verso la sede INGV avviene ogni 12/24 ore.

- Modalità di interrogazione.

La modalità di interrogazione avviene su un'unica frequenza radio interrogando ogni stazione della rete mediante l'invio e ricezione di brevi pacchetti (massimo di 238 bytes con velocità di 3000 baud) verificando costantemente la corretta ricezione utilizzando una tecnica simile al protocollo AX25 utilizzato in ambito radioamatoriale.

Ogni stazione della rete può essere configurata come digipeater con indirizzo univoco permettendo il transito di pacchetti verso la destinazione finale in un percorso che può essere scelto dal PC chiamante, ad esempio in riferimento alla fig. 1 dove la stazione base non è in visibilità diretta con la stazione 2, si utilizzeranno la stazione 1 e 3 come digipeater.



Figura 1. Mappa etnea.

La fig. 2 mostra il tempo impiegato per trasferire 15 righe di informazioni contenenti ciascuna 14 dati numerici dalla stazione remota verso la base.

In sintesi si simula una sola stazione di campagna che memorizza 14 dati al minuto richiamata dalla stazione base ogni quarto d'ora.

Ogni riga di informazione contiene i seguenti dati:

Identificativo stazione, anno, giorno giuliano, orario, n1....n14

Dove:

- *Identificativo stazione*: è univoco per ogni stazione della rete.
- *Anno*: formato da quattro cifre.
- *giorno giuliano*: rappresenta il giorno giuliano formato da tre cifre
- *orario*: rappresenta l'ora in cui la misura è stata eseguita in formato: hhmm
- *n1....n14* rappresentano i dati da scaricare in formato 2 bytes (16bit): malgrado la conversione da analogico a digitale avvenga a 12bit il datalogger utilizza 16 o 32 bit per il calcolo e la memorizzazione rispettivamente in bassa ed alta risoluzione.

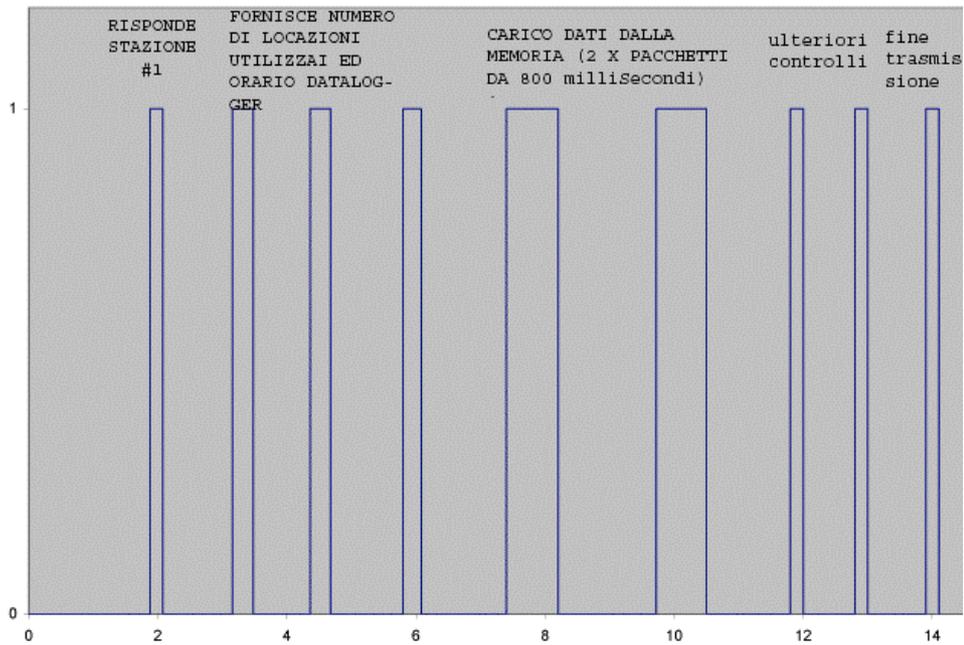
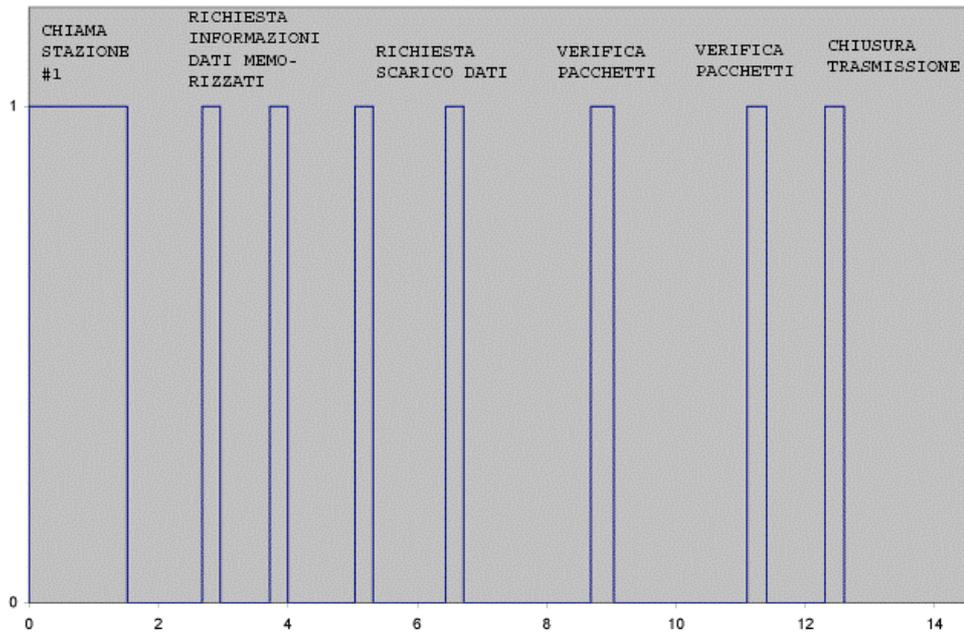
La verifica è stata effettuata in laboratorio con le radio poste a circa 5 metri di distanza e con potenza d'uscita a 100mW (per prevenire inneschi indesiderati) collegando alle antenne due carichi fittizi: successivamente si è visualizzato su oscilloscopio digitale a due canali l'andamento del segnale di PPT (acronimo di "push to talk") che si porta a livello logico alto durante la trasmissione.

La comunicazione ha inizio quando il PC chiamante (fig 2 - 1<sup>a</sup> finestra) interroga la stazione #1 (fig 2 - 2<sup>a</sup> finestra): questa dalla modalità in ascolto passa alla trasmissione per indicarne la sopravvivenza, successivamente i sistemi si sincronizzano e infine avviene il trasferimento dei dati dal datalogger verso la base. Tutta la sequenza di trasmissione/ricezione avviene in circa 14 secondi.

- Se durante il trasferimento si simula un disturbo radio di durata inferiore al secondo, si ha un incremento del tempo di trasferimento dati che può superare il minuto.
- Interponendo un solo digipeater il sistema necessita di un tempo doppio (circa 30 secondi) per trasferire la stessa quantità di informazioni.

Le prove eseguite sono da considerarsi "nella migliore delle ipotesi": in realtà con un numero considerevole di stazioni e collegamenti radio di 80Km che arrivano anche a 150Km interponendo due/tre digipeater il sistema non è configurabile per finalità in real-time: disturbi radio anche di breve entità pregiudicherebbero l'efficienza della rete stessa.

Tempi di campionamento più veloci implicherebbero un'intera riprogettazione della rete con utilizzo di più canali radio: in realtà nell'ultimo biennio, sono state sviluppate stazioni sperimentali - installate presso il sito di Casebada sull'Etna [Angelo Ferro, 2009] ed a Stromboli presso il COA [Campisi et al, 2008] - che trasmettono dati campionati al minuto in tempo reale utilizzando il protocollo TCP-IP via cavo e wireless.



**Figura 2.** Temporizzazioni trasmissione/ricezione.

1<sup>a</sup> finestra: stazione chiamante base

2<sup>a</sup> finestra: stazione remota in campagna.

Ascisse: tempo in secondi

Ordinate: 0 = assenza di trasmissione = ricezione attiva;

1 = trasmissione attiva.

- Nascita della rete.

I primi prototipi di stazione clinometrica vennero realizzati nella seconda metà degli anni 80 presso il laboratorio di clinometria dell'*Istituto Internazionale di Vulcanologia* del C.N.R. di Catania ; nel corso degli anni sono state continuamente migliorate per accrescerne l' affidabilità. Cuore del sistema di acquisizione e memorizzazione era un datalogger CR10X della Campbell: la ditta costruttrice forniva anche un pacchetto "chiavi in mano" per la trasmissione dei dati in banda VHF/UHF. Purtroppo, a causa dei numerosi utenti (abusivi e non) che affollavano all'epoca i canali radio nell'area etnea, era difficile instaurare collegamenti stabili: venne così sviluppato presso il laboratorio di clinometria un sistema alternativo, molto più robusto ed affidabile rispetto a quello offerto dalla Campbell. Basato su un ricetrasmettitore di provenienza militare (PRODEL) il nuovo sistema era capace di garantire il download dei dati anche in presenza di forti disturbi. Per i siti eoliani invece, dove l'etere era meno inquinato da disturbi radio ed i collegamenti avvenivano a distanza ridotta, si scelse il pacchetto hardware offerto dalla Campbell.

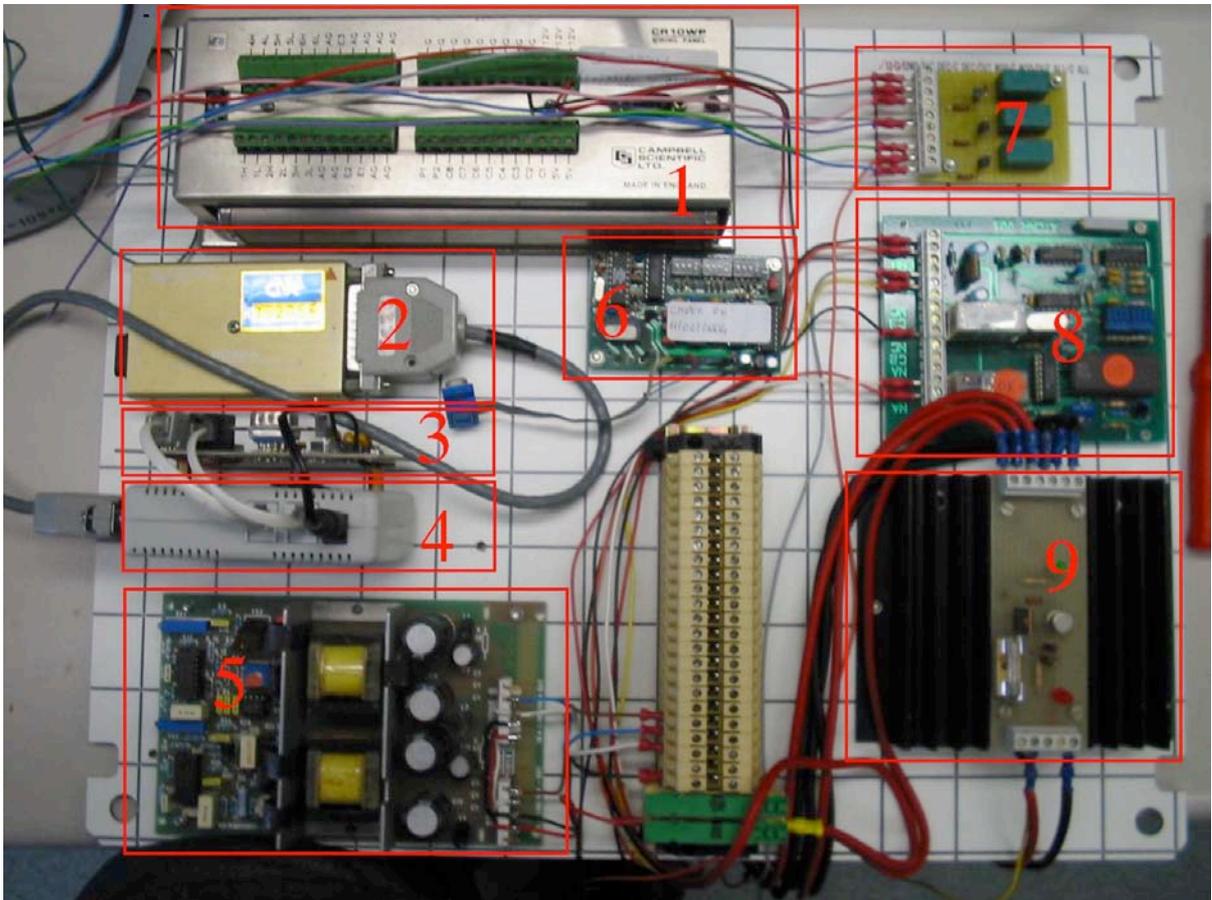
- Problematiche riscontrate negli ultimi anni.

Negli ultimi anni, si sono verificati due fatti importanti che hanno portato alla scelta di abbandonare il vecchio sistema di trasmissione dati etneo - ormai fuorilegge - e di scegliere come alternativa il pacchetto offerto dalla Campbell - già collaudato per la rete clinometrica delle isole Eolie.

- L'entrata in vigore di normative legislative più severe che ha reso la radio PRODEL fuorilegge.
- Una progressiva diminuzione dei trasmettitori operanti in banda VHF e UHF grazie allo sviluppo di nuove tecnologie per la veicolazione di dati e voce (come la telefonia cellulare o i sistemi wireless 801.11).

## 2. Caratteristiche tecniche di una stazione clinometrica tradizionale

Nella figura sottostante sono visualizzati i blocchi principali di cui è composta una stazione clinometrica tradizionale: per rendere più chiaro la descrizione si faccia riferimento anche alla figura 23.



**Figura 3.** Stazione clinometrica tradizionale.

Riquadro 1: datalogger CR10X per l'acquisizione e memorizzazione dei dati

Riquadro 2: convertitore di segnali RS232 – datalogger.

Riquadro 3: circuito generatore di squillo

Riquadro 4: minimodem

Riquadro 5: dc/dc converter per alimentazione del clinometro.

Riquadro 6: riconoscitore nota DTMF

Riquadro 7: relè per pilotaggio alte correnti.

Riquadro 8: scheda di allarme

Riquadro 9: regolatore di carica pilotato dal datalogger

## 2.1 La parte di trasmissione in Radio-frequenza

Per la parte di rice-trasmissione era usato un ricetrasmittitore PRODEL tipo F4/33 da 10 W d'uscita configurato in modalità full duplex in modo da permettere l'accoppiamento con un modem telefonico analogico: Il sistema era robusto ed affidabile ed anche in presenza di disturbi nel canale radio il download dei dati andava a buon fine. La necessità di utilizzare una sola antenna costringeva all'uso di un duplexer con perdite di inserimento di alcuni dB; inoltre, a causa della larghezza di banda audio esigua, la trasmissione dati non poteva superare i 1200 baud e, a causa della scarsa sensibilità d'ingresso (SINAD: 1 microVolt a 20db), era necessario utilizzare elevate potenze d'uscita per potere instaurare collegamenti stabili.

	PRODEL F4/33
PESO	13Kg
DIMENSIONI	274 x 352 x 143mm
Stabilità degli oscillatori	+10ppm ( -20 + 60 gradi centigradi)
Numero di canali	6 controllati a quarzo
Canalizzazione	25 KHz (16 F3)
Sensibilità Sinad:	1 microVolt a 20db.
Assorbimento con tensione di alimentazione= 12Vcc :	Ricevitore: 110mA – Trasmettitore: 1.7A
Potenza di uscita:	10W

Figura 4. Caratteristiche trasmettitore PRODEL.

## 2.2 Riconoscitore di nota DTMF

All'inizio di ogni chiamata la stazione master inviava una stringa seriale di quattro cifre in tonalità DTMF ed in caso di compatibilità con quella impostata localmente veniva attivato un bit di controllo verso il circuito generatore di squillo che a sua volta attivava il minimodem a rispondere alla chiamata.

## 2.3 Minimodem

Per la parte di **Modulazione/Demodulazione** era utilizzato un modem Internet Blaster 33.6 con interfaccia seriale RS232 configurato per trasmettere dati a 1200 baud e caratterizzato da un basso assorbimento di corrente. L'interfacciamento con le radio Prodel avveniva interponendo un circuito generatore di squillo che simulava il ring di chiamata come in una normale linea telefonica (48 Hz sinusoidali a 40 Vpp) quando veniva attivato il bit di controllo proveniente dal circuito riconoscitore di nota DTMF.

## 2.4 Dimensioni e peso

Le stazioni risiedevano in un contenitore stagno IP65 con dimensioni di 40 x 50 x 20 cm a cui andava aggiunta la radio prodel di dimensioni 27 x 35 x 14 cm: il tutto aveva una dimensione volumetrica di 0.05 metri cubi ed un peso totale di 15Kg.

## 2.5 Consumo elettrico

Grazie ad un sistema di pannelli fotovoltaici collegati ad una batteria di accumulo la stazione era in grado di potere funzionare anche in assenza di illuminazione diurna per 4/5 giorni. Il consumo elettrico in stand-by di circa 200mA si portava a circa 2.3A durante il periodi di trasmissione dei dati. I principali componenti che contribuivano all'assorbimento erano la radio Prodel, il minimodem ed il dc/dc SECAP.

## 2.6 regolatore di carica

Il regolatore di carica era pilotato da un programma di gestione che girava all'interno del datalogger.

Quando la tensione della batteria scendeva sotto una soglia preimpostata veniva sconnesso il carico ad eccezione del datalogger (settato il modalità basso consumo) che sovrintendeva al pilotaggio del regolatore stesso.

Poteva capitare che, in periodi prolungati di assenza di insolazione, le batterie scendessero sotto una soglia critica spegnendo il datalogger e lasciando il regolatore di carica in assenza di controllo.

## 2.7 Casistica dei guasti più frequenti

Nel corso del ventennio di funzionamento è stata adottata una politica di continuo miglioramento delle stazioni per renderle affidabili e per ridurre la possibilità di guasti principalmente causati dalle radio, minimodem e batterie. La casistica dei guasti più frequenti era relativa a:

- **La parte di trasmissione in RF**

L'invecchiamento dell'elettronica interna della radio Prodel richiedeva frequenti tarature sia alle stazioni remote che nella stazione master ubicata presso la sede INGV di Catania.

- **Minimodem**

Fulminazioni dovute ad eventi atmosferici avvenuti nelle vicinanze delle stazioni

- **Batterie**

A causa del consumo elettrico elevato delle stazioni, per periodi maggiori di una settimana di condizioni di scarsa luminosità ambientale, si poteva avere la totale scarica delle batterie con conseguente danneggiamento.

## 2.8 Il cablaggio delle stazioni

L'assemblaggio delle stazioni avveniva interamente presso il laboratorio di clinometria di Catania: la realizzazione era eseguita da personale specializzato ed ogni prototipo esigeva parecchie ore di lavorazione a causa della tipologia manuale di assemblaggio.

## 3. Caratteristiche tecniche della nuova stazione clinometrica

Lo schema a blocchi della nuova stazione è visibile in figura 24.

Il nuovo prototipo è stato interamente pensato, progettato e realizzato presso il laboratorio "deformazioni del suolo" presso la sede INGV di Nicolosi: dopo la messa a punto del prototipo, ci si è avvalsi per la realizzazione dei circuiti stampati ed il cablaggio dell'intera stazione, della collaborazione di alcune ditte locali.

I prototipi realizzati in laboratorio e tutt'ora funzionanti sono stati installati nei seguenti siti:

Nome stazione	Località	Data installazione	Clinometro	Tipo di clinometro
Monte Maletto	Etna	Febbraio 2007	AGI – 722	Analogica
Punta La Bronza	Stromboli–Isole Eolie	Luglio 2007	AGI – 722	Analogica
Case bada	Etna	Aprile 2008	AGI - LILY	Digitale RS232
Cuad	Catania	Marzo 2009	AGI722+520+LILY	Analogico e digitale
Casa del Vescovo	Etna	Ottobre 2009	AGI – 722	Analogia
Timpone del fuoco	Stromboli–Isole Eolie	Da installare a Novembre 2009	AGI - LILY	Digitale RS232

**Figura 5.** Siti di installazione con i nuovi prototipi e tipi di clinometri utilizzati.

Nella restante rete Etna, in attesa della costruzione in serie di altre stazioni da parte di ditte specializzate, sono state sostituite le radio ed i modem.

Tenendo conto delle problematiche acquisite negli anni precedenti la nuova stazione è stata progettata tenendo conto di alcune requisiti fondamentali:

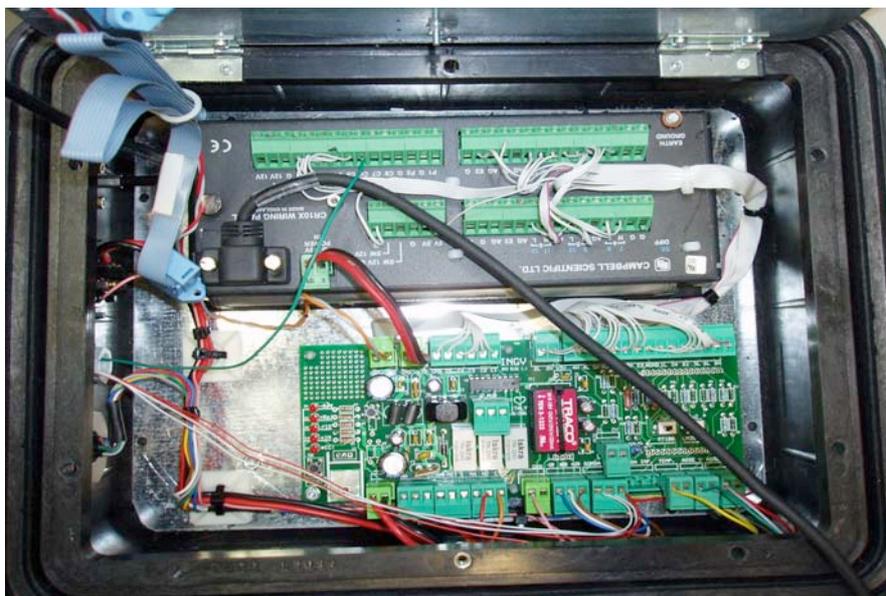
- Standardizzare la stazione per una facile ed immediata riproducibilità da far eseguire a terzi.
- Utilizzare radio omologate dal ministero.
- Ridurre le dimensioni e peso.
- Ridurre gli assorbimenti di corrente.
- Inserire una pulsante di test per la verifica immediata delle diverse tensioni di alimentazione anche senza l'ausilio di un multimetro digitale.
- Inserire un regolatore di carica esterno alla stazione.

### 3.1 Filosofia di progettazione

È stata realizzata una scheda principale contenente tutto il necessario per interfacciare il datalogger con il mondo esterno, riducendo al minimo i cablaggi manuali e minimizzando gli errori in fase di costruzione e/o riparazione; sono stati inseriti fusibili allo stato solido auto-ripristinanti e nuclei in ferrite per bloccare le componenti parassite di radiofrequenza presenti all'interno della stazione.

Uno schermo metallico è stato interposto tra l'apparato di acquisizione e la parte di trasmissione dati in modo da impedire interferenze.

Al fine di ridurre i costi di produzione ed i tempi di realizzazione, il prototipo è stato progettato per una facile riproduzione da parte di ditte specializzate.

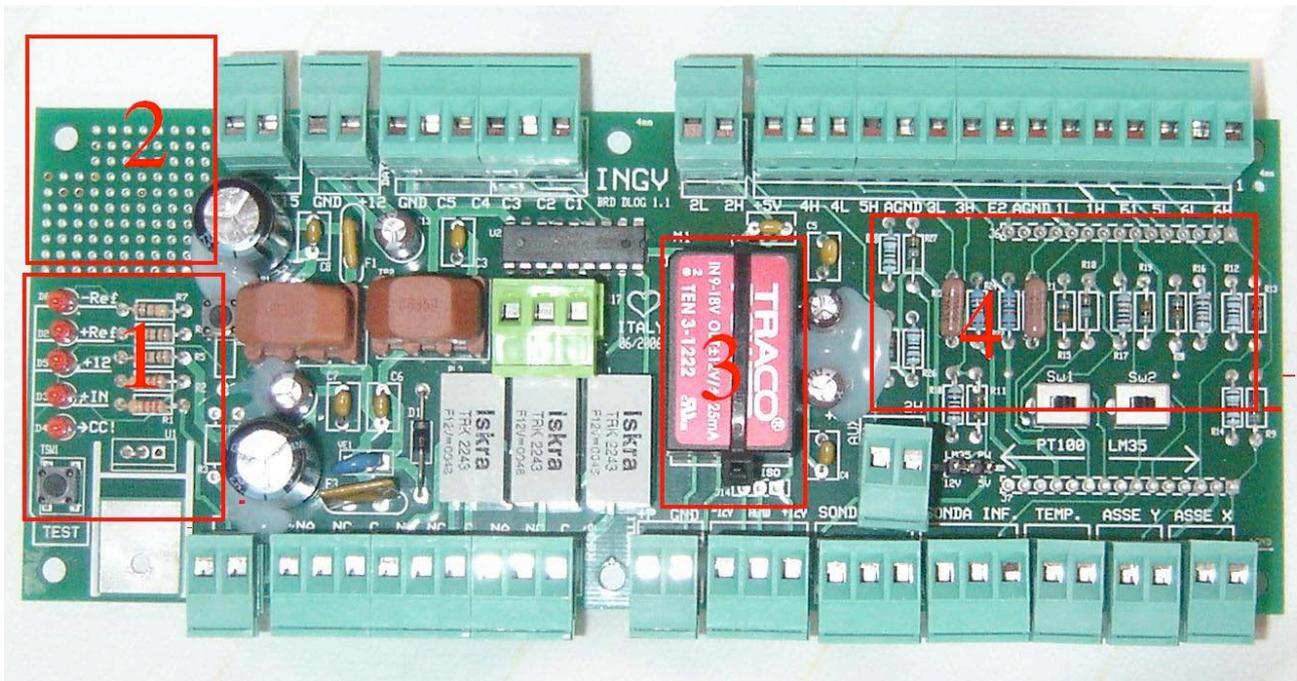


**Figura 6.** foto del primo prototipo sviluppato presso il laboratorio di clinometria dell'INGV di Nicolosi.

- **La scheda di trattamento dei segnali di alimentazione e condizionamento segnali analogici**

La stazione è composta da una scheda realizzata su circuito stampato che effettua i seguenti trattamenti sui segnali elettrici:

- Una sezione adibita al trattamento e filtraggio delle componenti in alta frequenza del segnale di alimentazione proveniente dalle batteria tampone: accorgimento reso necessario per eliminare il rumore di commutazione del regolatore di carica switching che influenza negativamente il datalogger.
- La tensione filtrata è stabilizzata da un regolatore lineare ed applicata al dc/dc converter che la trasforma in una duale a +/- 12 volt utilizzata per alimentare solamente il clinometro.
- Una sezione di trattamento e condizionamento dei segnali analogici da acquisire tramite il datalogger per adeguarli alla tensione massima d'ingresso di 5 Volt.
- Una sezione dedicata all'azionamento on/off di circuiti esterni con l'ausilio di relè comandati dal datalogger.
- Una sezione dedicata alla diagnostica della scheda stessa (controllo del corretto funzionamento dei principali componenti a bordo della scheda) mediante l'accensione di led da comando utente.



**Figura 7.** scheda di trattamento segnali di alimentazione e condizionamento.

Riquadro 1: diagnostica scheda – tasto test e led di segnalazione.

Riquadro 2: fori per eventuale inserimento di componenti elettronici supplementari.

Riquadro 3: dc/dc converter TRACO per l'alimentazione del clinometro.

Riquadro 4: resistenze per il condizionamento dei segnali elettrici provenienti dai trasduttori da inviare al datalogger

### 3.2 Consumo elettrico

- In ricezione - standby

Con relays diseccitati, dc/dc converter non collegato a nessun carico e radio in ricezione il consumo elettrico è di circa 80mA

- In trasmissione

Con relays diseccitati, dc/dc converter non collegato a nessun carico si ha un incremento di assorbimento variabile in funzione della potenza di trasmissione secondo la seguente tabella:

Assorbimento totale della stazione	Potenza trasmettitore
300 milliAmpere	0.2 watt
420 milliAmpere	0.5 Watt
550 milliAmpere	1 Watt
700 milliAmpere	2.5 Watt
1100 milliAmpere	5 Watt
1760 milliAmpere	10 Watt

**Figura 8.** Tabella assorbimento stazione in funzione della potenza del trasmettitore.

### 3.3 I dati acquisiti

Il sistema di acquisizione dati è stato progettato per acquisire fino a 12 grandezze fisiche. Nel caso specifico, vengono acquisite le seguenti informazioni:

- Asse x del sensore clinometrico.
- Asse y del sensore clinometrico.
- Temperatura del sensore clinometrico.
- Temperatura superiore del foro clinometrico.

- Temperatura inferiore del foro clinometrico.
- Tensione della batteria.
- Tensione del dc/dc converter.
- Tensione dei pannelli fotovoltaici.
- Temperatura ambientale.
- Pressione atmosferica.

### 3.4 Il datalogger cr 1000 come apparato di acquisizione

I dati analogici sono acquisiti mediante un datalogger CR1000 della Campbell con caratteristiche simili al datalogger CR10X utilizzato nelle stazioni di prima generazione: 16 canali analogici con risoluzione di 13 bit e 8 canali di input-output digitali e programmazione semplificata grazie all'ambiente di sviluppo simile al basic (CRBASIC).

Grazie alle porte RS232 configurabili tra 300 e 115200 baud il datalogger è interfacciabile anche con i clinometri di nuova generazione autolivellanti LILY della *Applied Geomechanics (AGI)*.

Sia il programma utente scritto in CRBASIC che i dati acquisiti non vengono persi in caso mancanza di alimentazione grazie alla batteria al litio interna al CR1000 capace di ritenere i dati anche per parecchi mesi/anni. Altresì al ritorno dell'alimentazione il datalogger riesegue il programma principale e l'orologio interno (RTC acronimo di "real time clock") risulta sincronizzato.

### 3.5 Dc/dc converter

Il dc/dc converter è senza dubbio il componente più critico dell'intera stazione poiché alimentando l'elettronica del clinometro deve possedere delle eccellenti caratteristiche di indipendenza dalla tensione di ingresso : verifiche sperimentali sui clinometri digitali LILY hanno evidenziato una dipendenza dell'uscita Y dalla tensione di alimentazione. Le verifiche sono state eseguite presso il sito di Casebada in un foro clinometrico realizzato dall'ISMES agli inizi degli anni 90 e successivamente abbandonato, posizionando il sensore a 10mt di profondità rispetto al piano di campagna.

In riferimento alla fig. 10 dove sono rappresentati alcuni parametri acquisiti durante il periodo di prova:

1<sup>a</sup> finestra: valore in Volt della tensione d'ingresso di alimentazione = Valim.

2<sup>a</sup> finestra: TILT\_X – valori in in microRadianti.

3<sup>a</sup> finestra: TILT\_Y – valori in in microRadianti.

4<sup>a</sup> finestra: temperatura del clinometro – in gradi centigradi.

Si notava una forte dipendenza tra le variazioni di tensione di alimentazione (1 finestra) e di temperatura del clinometro (4 finestra) che portavano a delle oscillazioni fittizie sull'asse y del clinometro (3 finestra). L'ordine di grandezza delle variazioni era:

$$dValim/dtemp= 1.5V/.14gradi \rightarrow dTemp/dTilt\_Y= 0.14 \text{ gradi}/4.7\text{microRadianti.}$$

L'anomalia era sempre presente sull'asse Y anche riposizionando il clinometro a diversi angoli di azimuth rispetto al nord (+90 gradi) ed era imputabile al regolatore di tensione interno al clinometro che introduceva un inaspettato ed indesiderato effetto Joule che si ripercuoteva sull'elettronica e bolla clinometrica dell'asse y.

Contatti successivi con la ditta costruttrice confermarono le nostre ipotesi.

Dopo estenuanti ricerche di mercato la scelta è caduta sul modello TRACO in grado di erogare una tensione costante in un ampio intervallo di tensioni d'ingresso con un efficienza del 80% ed una stabilità in tensione < 0.5%..

Nella tabella sottostante sono mostrate le caratteristiche elettriche del vecchio e nuovo regolatore:

MODEL	V in	V out	Vadj	I max (A)	Output stability vs.input	Output stability vs.load	Efficiency
SECAP	10.5 ÷ 28	+12 / -12	±5%	1 / 1	< 1%	< 1%	70% typ.
TRACO	9 ÷ 18	+12 / -12	±5%	+/-125Ma	< 0.5%	< 0.5%	80% typ.

**Figura 9.** Confronto delle caratteristiche tra vecchio e nuovo dc/dc converter.

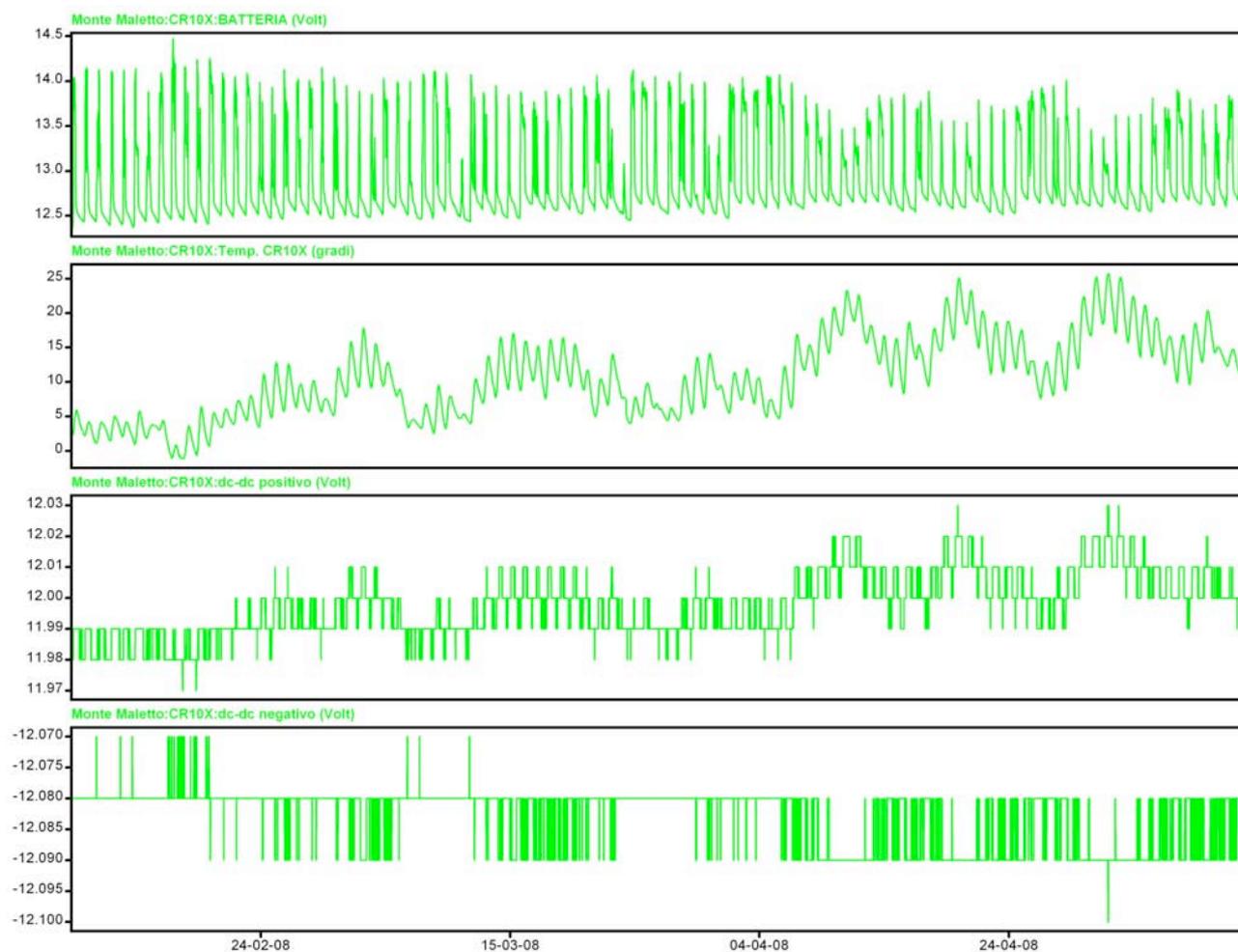
- **Andamento del dc/dc converter al variare della sua tensione di alimentazione**

Nel grafico sottostante è visualizzato l'andamento del dc/dc converter (finestre 3 e 4) al variare della tensione di alimentazione (finestra 1) per la stazione di Monte Maletto per un periodo di 5 mesi circa.

La finestra 1 è relativa alla tensione della batteria che segue i cicli di carica e scarica causati rispettivamente dalla presenza di luminosità sui pannelli fotovoltaici (tensione maggiore di 13.0V) e assenza di insolazione (tensione minore di 12.5V).

La finestra 2 mostra la temperatura di funzionamento del dalalogger che è pressoché simile a quella del dc/dc converter: malgrado la tensione della batteria (vedi finestra 1) oscilla tra valori compresi tra 14.5V e 12.4V, l'uscita duale del dc-dc converter ha una ripple massimo di 6mV nell'intorno dei +/-12V (finestra 4 e 5).

Tutto il sistema risulta affidabile anche sotto il profilo della temperatura di lavoro, visto che durante il periodo di osservazione la temperatura dell'apparato di acquisizione (finestra 1) ha avuto una oscillazione compresa tra i 0 gradi ed i 25 gradi.



**Figura 10.** verifica del funzionamento del dc-dc conveter della Stazione di Monte Maletto nel Periodo gennaio – maggio 2008.

1<sup>a</sup> finestra: valore in Volt della tensione d'ingresso di alimentazione = tensione della batteria.

2<sup>a</sup> finestra: temperatura del datalogger

3<sup>a</sup> finestra: valore in Volt di uscita della sezione positiva del dc/dc converter

4<sup>a</sup> finestra: valore in Volt di uscita della sezione negativa del dc/dc converter.

### 3.6 La radio utilizzata

La radio utilizzata omologata in base alle norme ETS300-113 ha una canalizzazione di 12.5KHz e la stabilità dell'oscillatore è  $\pm 2.5$ ppm anche in caso di variazioni di temperatura ambientale (nelle precedenti radio Prodel la variazione in frequenza era di 10 ppm tra  $-20 + 60$  gradi centigradi).

Rispetto alla precedente stazione ed a parità di informazioni da trasmettere e di distanza tra trasmettitore e ricevitore, l'assorbimento totale del nuovo prototipo è notevolmente ridotto grazie alla migliore sensibilità d'ingresso (sinad: 0.3 microVolt riferito a 18dB ) che permette di instaurare collegamenti radio con minori potenze di trasmissione.

Tramite una porta RS232 di interfaccia dati collegabile ad un pc è possibile modificare i principali parametri della radio (Potenza di trasmissione, frequenza di TX/RX, squelch) mediante l'utilizzo di semplice software di programmazione fornito dalla casa costruttrice.

ALAN DM110	
<b>PESO</b>	300g
<b>DIMENSIONI</b>	136 x 68 x 23mm
<b>Stabilità degli oscillatori</b>	$\pm 2.5$ ppm – stabile anche in caso di variazioni di temperatura
<b>Numero di canali</b>	8 controllati da PLL
<b>Canalizzazione</b>	12.5 KHz
<b>Sensibilità Sinad</b>	0.3microVolt su 18db
<b>Assorbimento con tensione di alimentazione= 12V :</b>	ricevitore: 80mA Trasmettitore: 2A
<b>Potenza di uscita:</b>	0.2w, 0.5w, 1w, 2.5w, 5w, 10w

Figura 11. Caratteristiche ricetrasmittitore ALAN DM110.

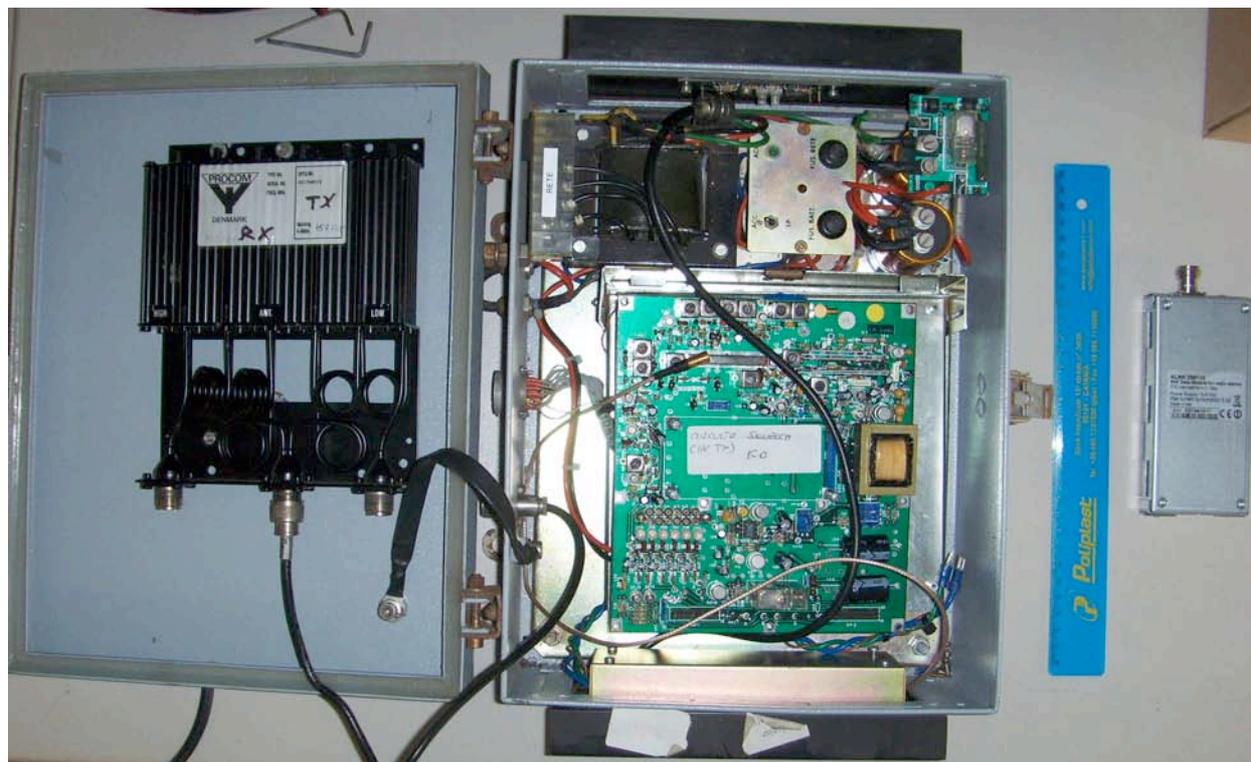


Figura 12. Confronto dimensionale tra la radio PRODEL (a sinistra) ed il modulo CTE (a destra).

### 3.7 Il Radio-modem

Il radio-modem utilizzato è il modello RF95 capace di operare a 3000 baud con memoria buffer di 238 bytes, due porte di I/O collegate rispettivamente al datalogger ed alla radio ed una serie di micro-interruttori per la scelta dell'indirizzo fisico univoco per ogni stazione della rete.

L'RF95 ha anche la facoltà di funzionare anche come "digipeater": caratteristica che è ampiamente utilizzata nella rete clinometrica Etna ed Eoliana e che consente l'interrogazione delle stazioni anche nei versanti coperti da visibilità radio dal parte del trasmettitore MASTER.



Figura 13. Radio-modem RF95.

### 3.8 Regolatore di carica

Il nuovo regolatore di carica è stato posizionato nelle immediate vicinanze della batterie da ricaricare e all'esterno del box stazione: esso è gestito autonomamente da un proprio microcontrollore e permette la carica delle batterie in modalità PWM (modulazione della larghezza dell'impulso).

Comunque poiché in passato, con alcuni modelli di clinometri analogici, la modulazione di ricarica si ripercuoteva sull'alimentazione abbiamo preferito modificarlo in modalita on/off tramite una semplice modifica hardware. Il modello è denominato Prostart Morningstar e permette lo sgancio del carico quando la tensione della batteria è inferiore ai 11.4V.



Figura 14. Regolatore di carica Prostar.

### 3.9 Peso e dimensioni

La nuova stazione è assemblata in un contenitore stagno conforme alla normativa IP67 marchiato "Peli" – **modello 1400 case** con dimensioni totali di 33.9 x 29.5 x 15.2 centimetri, volume di 0.014 metri cubi e peso di circa 3Kg.

La normativa IP67 specifica che la valigia può essere immersa sott'acqua ad 1 metro di profondità per 30 minuti senza che si verifichino infiltrazioni d'acqua.

Il confronto visivo tra le prima e seconda generazione di stazione (rispettivamente figure 3 e 6 in scala) mostra che un contributo alle dimensioni ridotte di 1/4 ed al peso ridotto di 1/5 è dovuto all'apparato radio ed al dc/dc converter ridotti. Rispetto alla precedente generazione di stazione clinometrica risultano adesso facilitati l'intervento e/o la manutenzione di stazioni installate in siti remoti difficilmente accessibili.

#### **4. Facile verifica in campo del funzionamento dei principali componenti installati**

Sul nuovo prototipo sono presenti tre led di diagnostica per una verifica dei livelli logici nelle varie parti della scheda ed un quarto led di segnalazione di presenza di corto circuiti con i quali è possibile effettuare una verifica immediata della funzionalità della scheda.

#### **5. Analisi dei costi e benefici e problematiche riscontrate**

- **costi**

Una stazione clinometrica completa e realizzata "chiavi in mano" ha un costo di produzione inferiore ai 5000 euro + IVA chiavi in mano.

Il costo, comprende le seguenti spese:

- Nr 1 Valigia "Peli" 1400 case.
- Nr 1 Modulo Radio RTX CTE VHF mod-DM110
- Nr 1 Dalalogger CSL modello CR1000
- Nr 1 Radiomodem CSL Modello RF95
- Realizzazione dei circuiti stampati a fori metallizzati.
- Acquisto di tutti i componenti elettronici.
- Assemblaggio dei componenti su PCB (scheda completa di fig 7)
- Assemblaggio totale dei collegamenti.
- Calibrazione della stazione con segnali noti.

- **benefici**

Il cablaggio semi-automatizzato del circuito stampato tipico dei processi industriali permette una riduzione dei tempi di assemblaggio e un minore costo di realizzazione. Grazie inoltre al ridotto numero di connessioni "filari" la costruzione della stazione è immediata ed a prova di errore con un considerevole abbattimento dei costi di produzione.

- **problematiche riscontrate**

Anche se si è bel lontani dal ventennio ininterrotto di funzionamento delle precedenti stazioni, nei due anni di prova su campo delle nuove stazioni non si è riscontrato nessun malfunzionamento delle radio o dell'elettronica di acquisizione, l'unico problema è stato riscontrato alla stazione di MLT che a cavallo dell'anno 2007/2008 ha smesso di funzionare a causa di una nevicata eccezionale che ha oscurato i pannelli e fatto scaricare le batterie di back-up.

- Sul regolatore lineare LM317 "cadono" circa 1.5V, tensione che in talune circostanze pregiudica il buon funzionamento della scheda, ad esempio, quando la tensione della batteria si trova a valori prossimi allo sgancio da parte del regolatore di carica (circa 11.4V) l'uscita del regolatore si trova a 9 - 10Vcc.

A tal proposito è previsto lo sviluppo di un nuovo schema elettrico con la correzione di alcune sviste e la sostituzione dell'LM317 con un regolatore di tensione switching low-drop caratterizzato da una minore caduta di tensione ai suoi capi.

- Il nuovo sistema di trasmissione è più sensibile ai disturbi radio a causa della minore larghezza di banda disponibile in trasmissione (12.5KHz contro i 25KHz) limitata da vincoli di legge, ed al differente tipo di modulazione dei dati digitali trasmessi con il risultato che in caso di forti disturbi

radio i trasferimenti dati non vanno a buon fine: trattasi comunque di un problema secondario poiché –allo stato attuale – proprio per le caratteristiche intrinseche dei sensori clinometrici di tipo analogico di cui è composta quasi tutta la rete non sono necessarie finalità in real-time e il trasferimento dati è comunque garantito con un ritardo di uno o due giorni. Nell’ottica di un rinnovamento della rete, con l’utilizzo dei nuovi clinometri autolivellanti LILY posizionati a profondità maggiori di 10 metri rispetto al piano di campagna, un maggior numero di canali radio autorizzati dagli organi competenti ed utilizzo di tecnologie wireless TCP-IP/802.11b si potrebbe garantire il real-time.

I dati acquisiti dalle nuove stazioni, sono stati citati nei seguenti rapporti interni editi dalla U.F.D.G.G.:

- Sito di Case Bada (CBD)

Rapporto interno Prot. int. n° UFDG/RA 2008/07

Rapporto interno Prot. int n° UFDG/RA 2008/08

Rapporto interno Prot. int. n° UFDG(RA) 2009/05

- Sito di Monte Maletto (MLT chiamato anche MMT)

Prot. int. n° UFDG(RA) 2007/02

Prot. int. n° UFDG(RA) 2007/07

Prot. int. n° UFDG(RA) 2008/03

## 6. Schemi elettrici e prodotto finito

Per rendere più chiara l'interpretazione dello schema elettrico di fig 16, si faccia riferimento allo schema a blocchi di fig 15.

- **Trattamento segnale di alimentazione**

La tensione proveniente della batteria (ingresso batteria) è applicata al blocco “protezione d'ingresso” dove all'interno è presente un circuito contro le inversioni di polarità e di sovratensione ed un led di segnalazione di corto circuito in atto, la tensione d'uscita è applicata al:

- dc/dc converter utilizzato per l'alimentazione del clinometro.
- circuito soppressore di disturbi sull'alimentazione collegato alla radio.
- regolatore di tensione lineare da 12Vcc - 1.5A che tramite un ulteriore filtro antidisturbo alimenta il datalogger.
- led di segnalazione presenza di alimentazione (attivabile tramite tasto utente)

Il circuito di diagnostica dell'alimentazione controlla inoltre le uscite del dc/dc converter.

- **Condizionamento segnali analogici e digitali d'uscita del datalogger**

- Parte analogica di acquisizione – blocco “partitore”:

I segnali analogici d'ingresso vengono condizionati attraverso 12 partitori resistivi cablati come nello schermo a blocchi ed inviati agli ingressi del datalogger. Scopo dei partitori è quello di limitare l'escursione massima del segnale all'ingresso del datalogger a  $\pm 5V_{cc}$ .

- Parte digitale d'uscita – blocco “circuito di pilotaggio relays”:

Attraverso i 4 bit d'uscita del datalogger condizionati dal blocco di circuito di pilotaggio relays è possibile pilotare 4 attuatori con carico massimo di 2A.

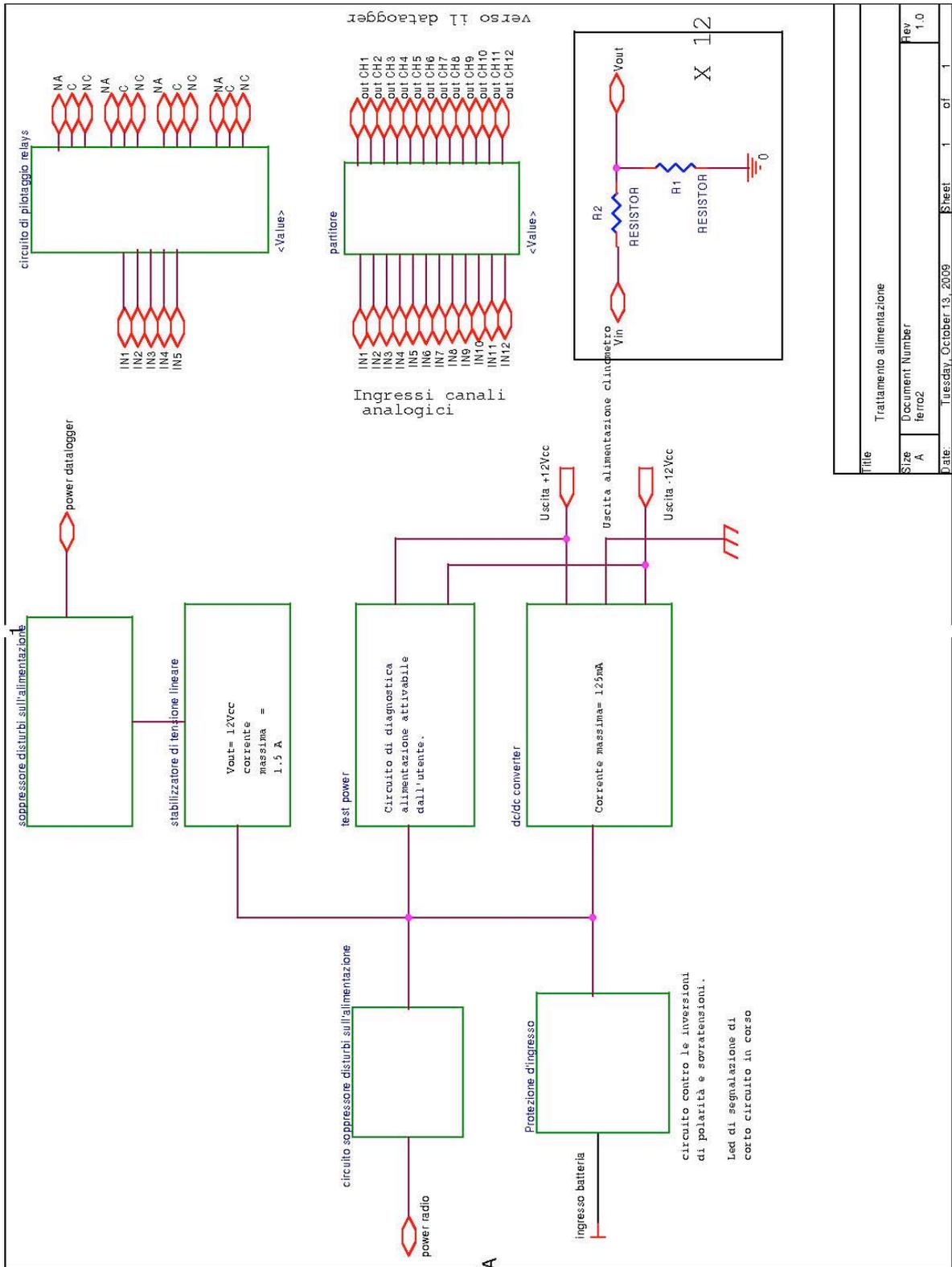


Figura 15. Schema a blocchi del circuito stampato.

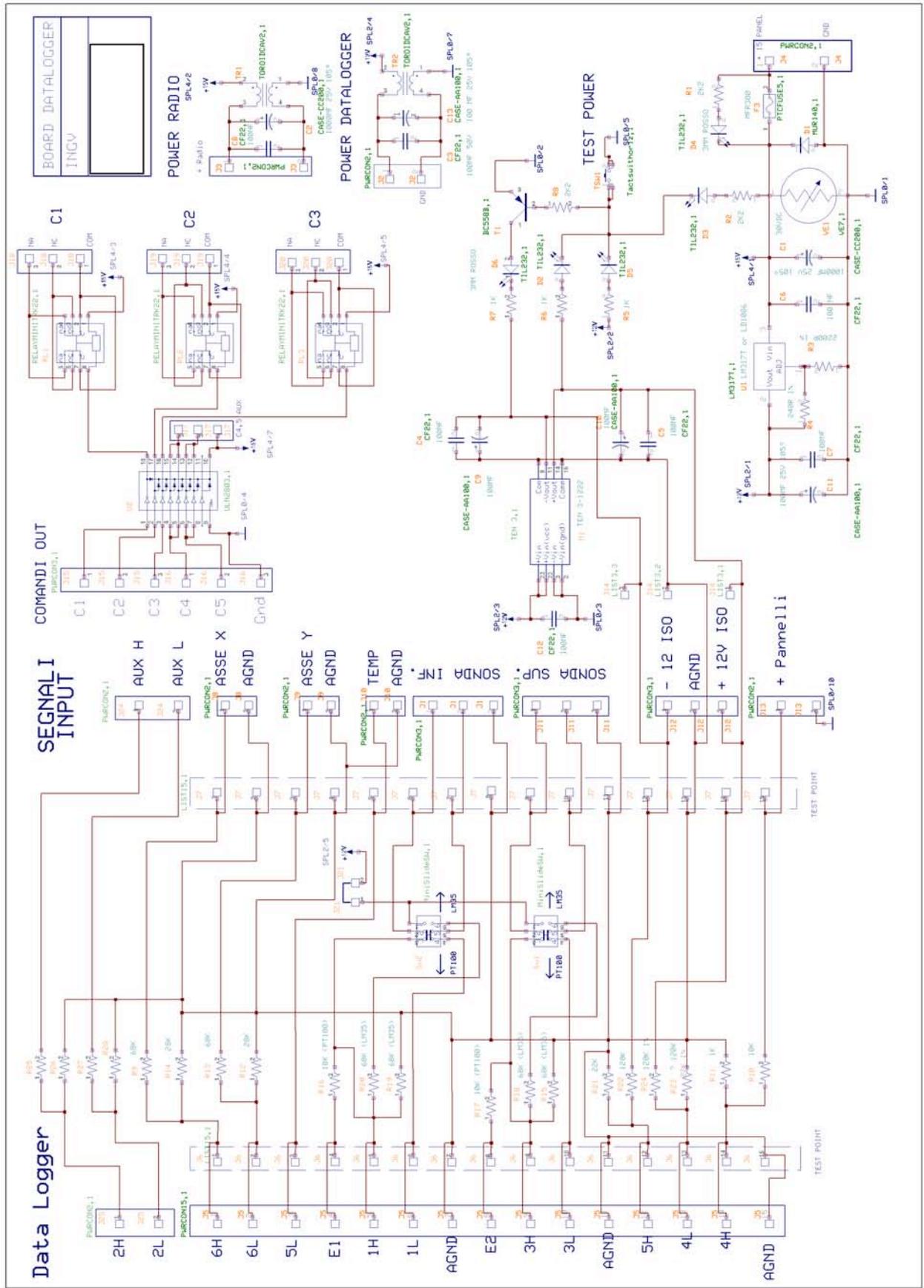


Figura 16. Schema elettrico del circuito stampato.

- **trattamento tensione di alimentazione**

La tensione di alimentazione proveniente dalle batteria collegata al regolatore di carica viene applicata al connettore J4 di ingresso: la combinazione del diodo D1 ed fusibile F3 è usata come protezione contro le inversioni di polarità ed in caso di fusibile aperto si crea una differenza di potenziale ai suoi capi tale da far accendere il diodo led D4 di segnalazione guasti.

La stazione può essere alimentata anche con sorgenti di alimentazione non stabilizzata e con transistori di breve durata ad alta tensione : a tale scopo varistore VE1 fuga a massa i transistori maggiori di 30 Volt e la tensione così trattata –non stabilizzata - viene applicata al connettore di alimentazione della radio dopo ulteriore filtraggio dello stadio: TR1, C8 e C2.

L'integrato U1 è configurato come stabilizzatore di tensione lineare a 12 Volt e dalla sua uscita pin 2 è presente una tensione continua di 12V stabilizzata che viene applicata al datalogger dopo essere stata ulteriormente filtraggio da parte di TR2, C3 e C13.

**Pilotaggio rele':**

I segnali digitali d'uscita dal datalogger (uscite C1/C5) vengono applicati tramite il connettore denominato "comandi out" al circuito integrato buffer U2 , capace di eccitare le bobine dei relè tramite i quali è possibile pilotare carichi esterni.

- **Dc/dc converter**

La tensione non stabilizzata viene applicata all'ingresso del regolatore lineare LM317 e la tensione alla sua uscita dopo essere stata filtrata da ulteriori elementi capacitivi ed induttivi viene applicata al dc/dc converter siglato M1 e tramite le sue uscite pin 11 (+12Vcc) e pin 14 (-12Vcc) convogliata ai condensatori.

La presenza su diverse parti della scheda di due condensatori in parallelo da 100 nanoFarad e 100 microFarad è data dal fatto che il componente di capacità' minore possiede una bassa componente induttiva capace di fuggire a massa i transistori veloci di tensione, mentre quello a capacità più elevata ha migliori caratteristiche elettriche nel filtraggio delle componenti a più bassa frequenza.

- **Circuito di diagnostica "test power"**

Al fine di ridurre al minimo il consumo di corrente elettrica, il circuito di diagnostica è attivabile unicamente dall'utente tramite la pressione del tasto SW1 con un incremento di assorbimento di corrente di circa 40mA.

Con la pressione del tasto SW1, si pongono a terra i catodi dei diodi led D5, D3 e D2 ed in caso di presenza di tensione continua proveniente dalle batteria (15Vcc), dall'uscita del regolatore di tensione (+12Vcc) e dall'uscita positiva del dc/dc converter (+12Vcc) si ha una loro accensione.

La base del transistor T1 portata a terra da SW1, provvede all'accensione del diodo led D6 in presenza di tensione negativa (-12Vcc) dall'uscita del dc/dc converter.

- **Condizionamento dei segnali analogici da applicare al datalogger**

Il datalogger CR1000 acquisisce segnali analogici con tensioni massime di 5V: in presenza di tensioni maggiori è necessaria una attenuazione che viene svolta dal partitore resistivo formato dalle resistenze R9 ~ R28.



Figura 17. connettori d'ingresso-uscita.

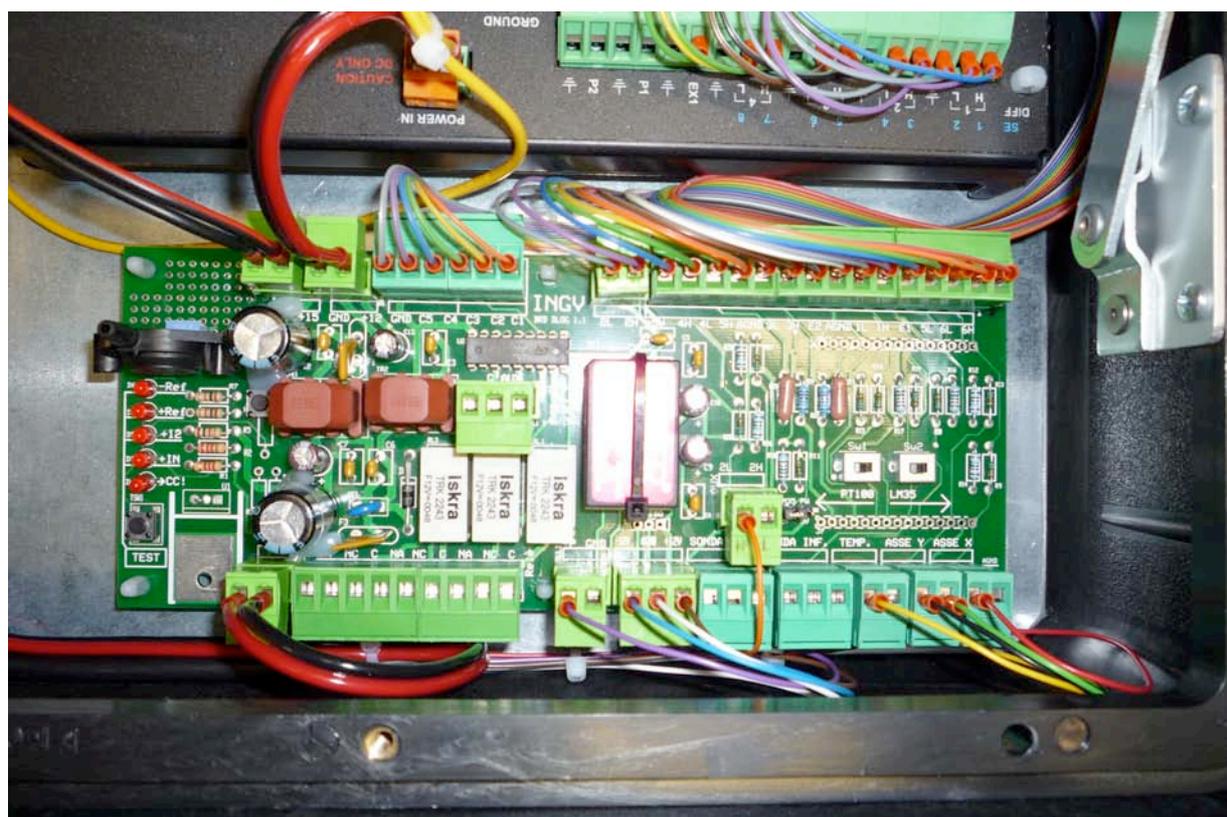


Figura 18. particolare del circuito stampato.



Figura 19. Cablaggio del circuito stampato con il datalogger.



**Figura 20.** Radiomodem RF95 e ricetrasmittitore CTE. Si nota la piastra di disaccoppiamento dalle interferenze elettromagnetiche.

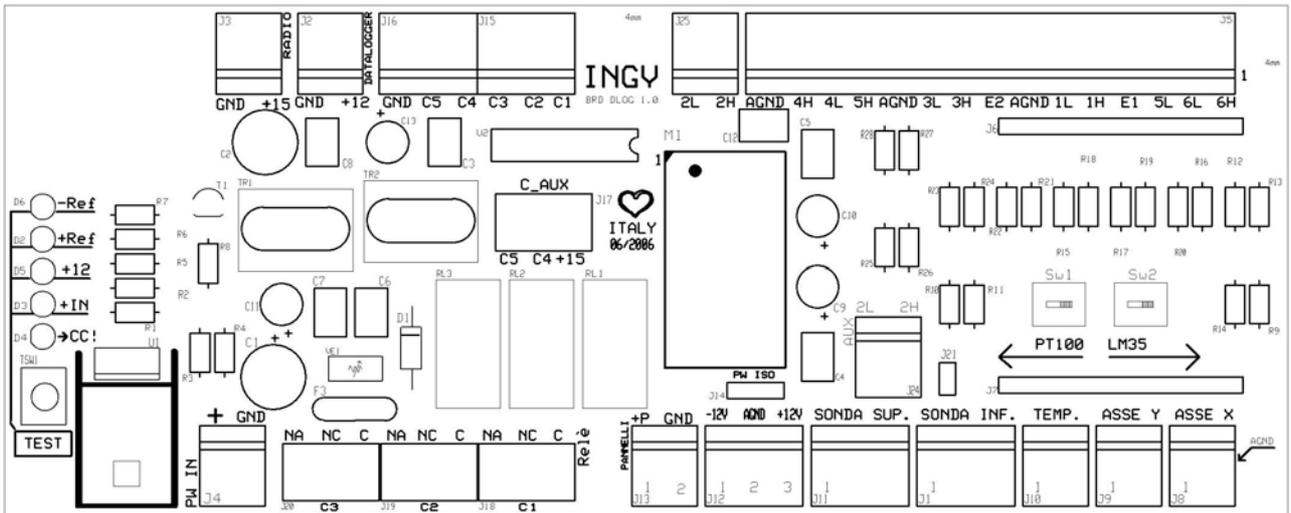


Figura 21. Disposizione componenti.

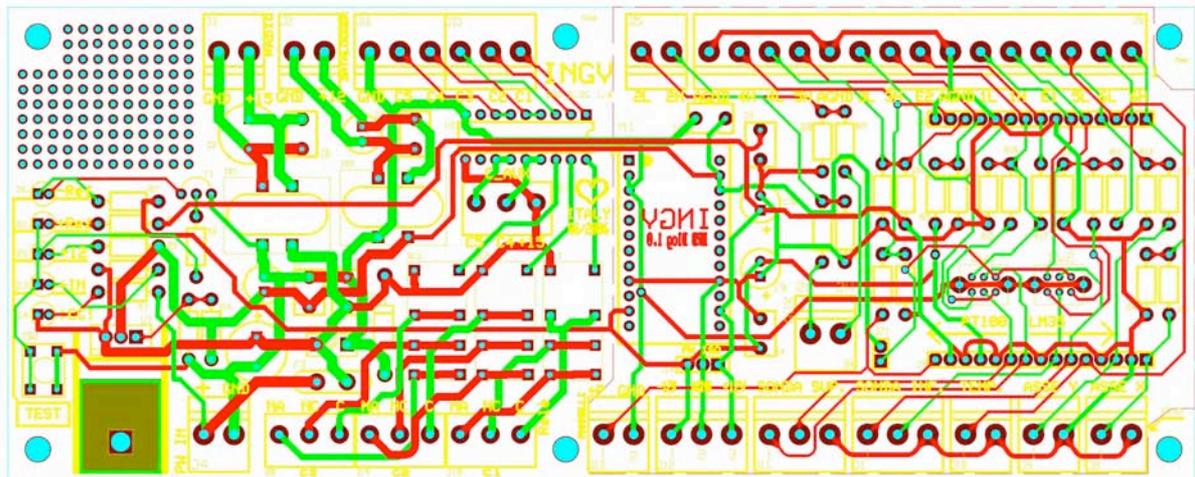
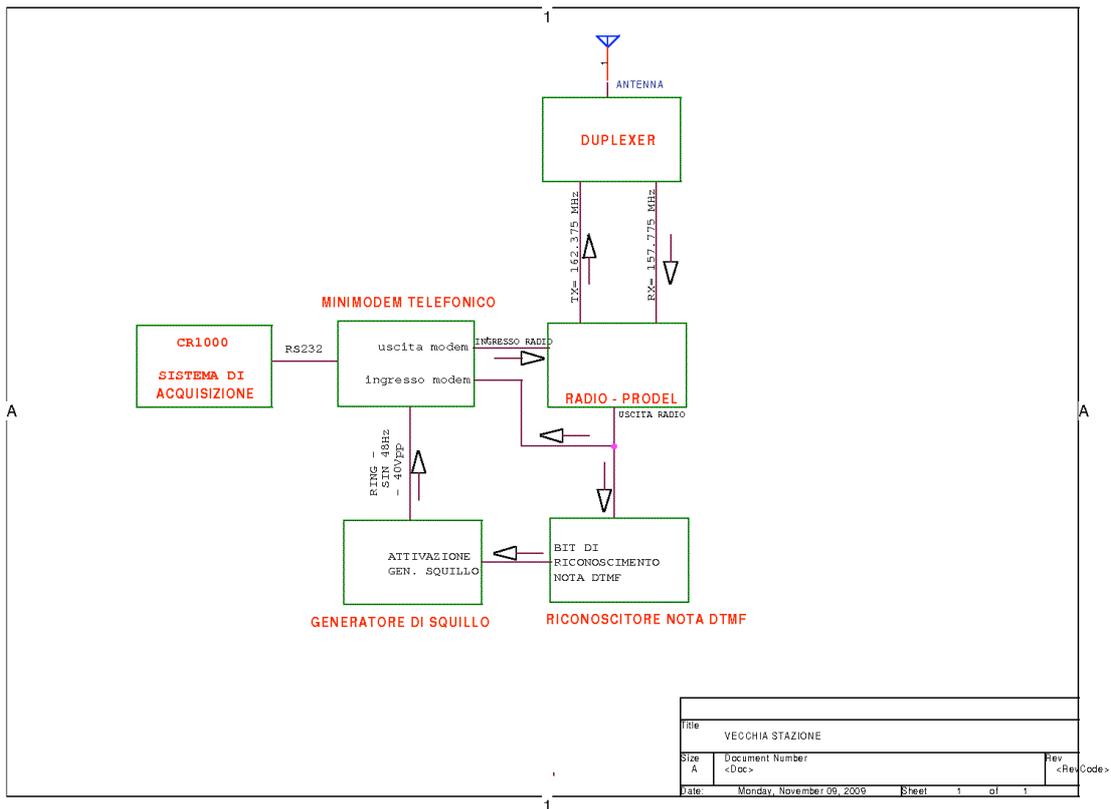
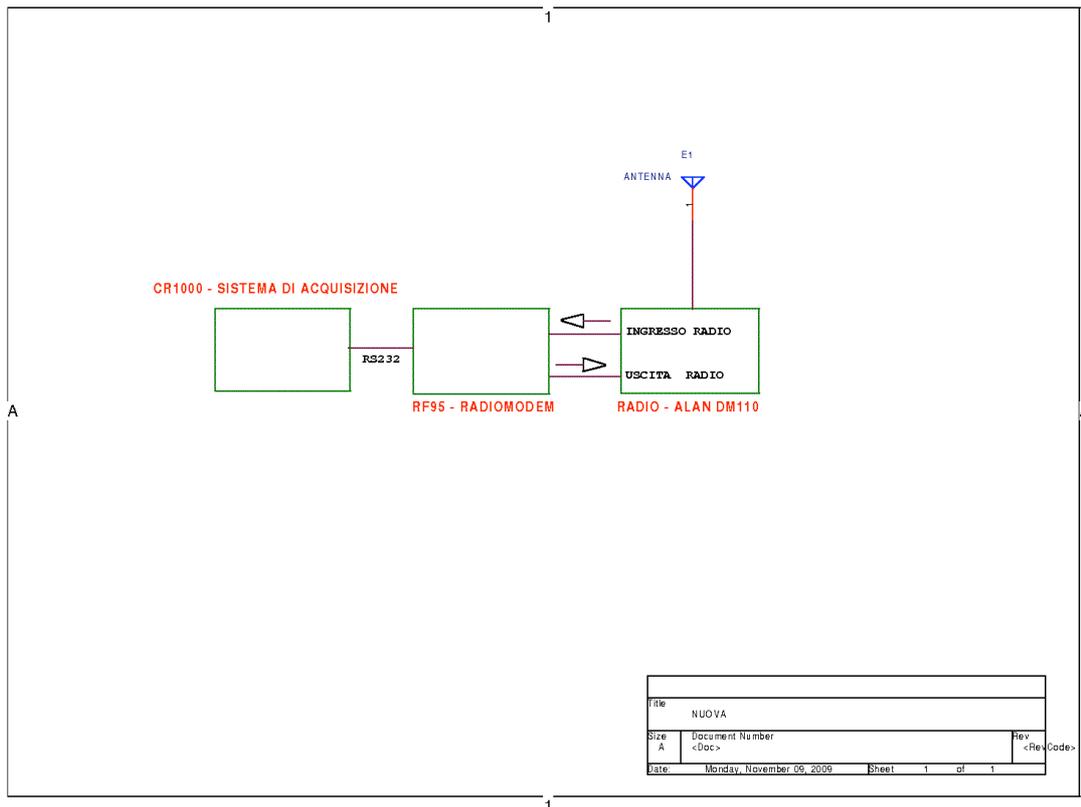


Figura 22. Circuito stampato lato rame + lato componenti.



**Figura 23.** Schema a blocchi semplificato della vecchia stazione. Per rendere più chiara la comprensione sono stati inseriti i principali blocchi. Le frecce indicano il flusso dei dati.



**Figura 24.** Schema a blocchi semplificato della nuova stazione. Per rendere più chiara la comprensione sono stati inseriti i principali blocchi. Le frecce indicano il flusso dei dati.

## Bibliografia

Marco Aloisi, Salvatore Gambino, Mario Mattia, Giuseppe Puglisi (2007). Aggiornamento dello stato deformativo all'etna 29 marzo 2007. Rapporto interno UFDG Prot. int. n° UFDG(RA) 2007/02

Alessandro Bonforte, Salvatore Gambino, Mario Mattia, Giuseppe Puglisi (2007). Aggiornamento dello stato deformativo all'Etna - 31 Agosto 2007. Rapporto interno UFDG Prot. int. n° UFDG(RA) 2007/07

Alessandro Bonforte, Salvatore Gambino, Mario Mattia, Giuseppe Puglisi (2008). Aggiornamento dello stato deformativo all'Etna. Aprile 2008. Rapporto interno UFDG Prot. int. n° UFDG(RA) 2008/03

Salvatore Gambino, Orazio Campisi, Giuseppe Falzone, Angelo Ferro, Giuseppe Laudani, Benedetto Saraceno (2008). Deformazioni co-sismiche registrate dalla rete clinometrica durante lo sciame sismico del 1-2 maggio 2008 nell'area della Faglia della Pernicana. Rapporto interno UFDG Prot. int. n° UFDG/RA 2008/07

G. Puglisi, S. Gambino, M. Mattia, M. Aloisi (2008). Monitoraggio Geodetico delle Deformazioni del suolo all'Etna, Aggiornamento 14 maggio 2008 – 09:00. Rapporto interno UFDG Prot. int. n° UFDG/RA 2008/08

Orazio Campisi, Giuseppe Falzone, Angelo Ferro, Salvatore Gambino, Giuseppe Laudani, Benedetto Saraceno (2008). Installazione a Stromboli di un clinometro LILY in foro profondo (-28 m). Rapporto interno UFDG - Prot. int. n° UFDG/RA 2008/14.

Alessandro Bonforte, Salvatore Gambino, Mario Mattia, Giuseppe Puglisi (2009). Aggiornamento dello stato deformativo all'Etna. 18 maggio 2009. Prot. int. n° UFDG(RA) 2009/05

Angelo Ferro (2009). Un sistema per il rilievo immediato di eventi di deformazione del suolo nel versante nord dell'Etna e relativa segnalazione via SMS/Email. – Rapporto tecnico INGV 2009/94.

User's manual – LILY Self-Leveling Borehole Tiltmeter – Applied Geomechanics.

Operator's manual - CR1000 Measurement and Control System Overview – Campbell Scientific

Radiotelemetry network – instruction manual – Campbell Scientific



**Coordinamento editoriale e impaginazione**

Centro Editoriale Nazionale | INGV

**Progetto grafico e redazionale**

Laboratorio Grafica e Immagini | INGV Roma

© 2009 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**