

# Dispositivo di calibrazione per il digitalizzatore della Grotta Gigante

Giuseppe Spinelli<sup>1</sup>  
Paolo Benedetti<sup>1</sup>  
Carla Braitemberg<sup>2</sup>  
Giovanni Romeo<sup>1</sup>  
Quintilio Taccetti<sup>1</sup>

*(1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*

*(2) Dipartimento di Geoscienze, Università di Trieste (DIGeo, ex DST)*



## **Indice**

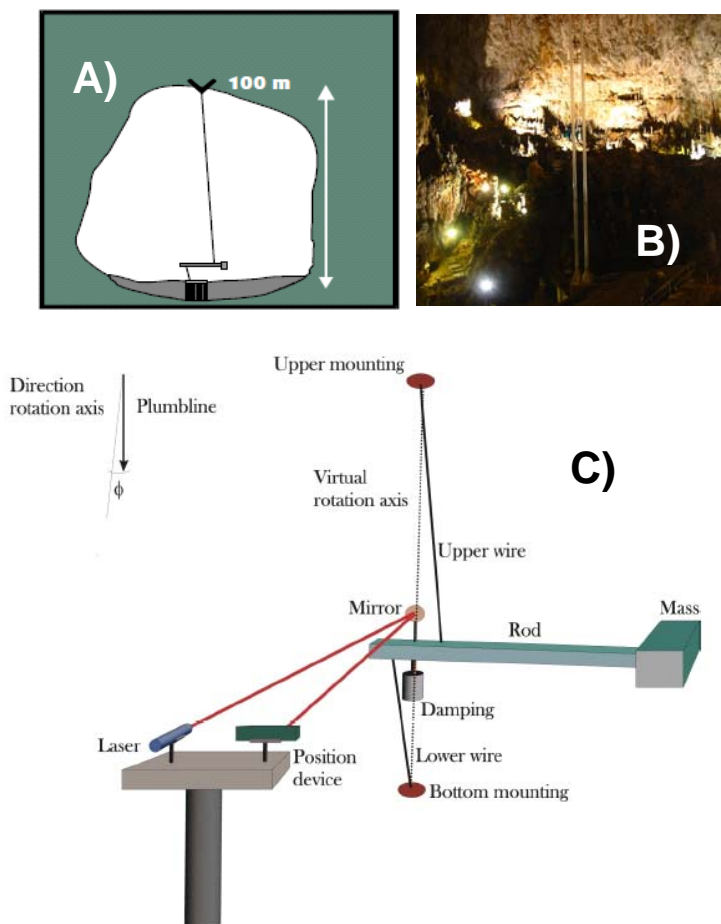
Introduzione	5
1 L'installazione della Grotta Gigante	6
2 Scopo del dispositivo montato nella grotta	7
3 Principio di funzionamento del circuito elettronico	8
4 Schema elettrico e caratteristiche tecniche del circuito	9
5 Programmazione della MCU e comandi al dispositivo	11
6 Calibrazione e funzionamento a regime del rivelatore CCD	12
Bibliografia	13



## Introduzione

La Grotta Gigante nel Carso Triestino è una cavità naturale di eccezionali dimensioni. Ha una forma simile ad un ellissoide di 130 metri di lunghezza, 65 metri di larghezza e 107 metri di altezza, con un volume di 600 mila mc. Dalla sommità della volta due lunghi fili di tungsteno arrivano fino al suolo e rappresentano la sospensione dei più lunghi pendoli orizzontali di tipo Zöllner (94 m) esistenti, con un periodo proprio di 6 minuti ed un'amplificazione angolare di 5 ordini di grandezza [Zöllner, 1872; Marussi, 1960]. Questi pendoli, digitalizzati otticamente, sono utilizzabili per studi geodetici e sismologici [Romeo, 2000; Braitenberg et al., 2006].

Il presente lavoro descrive un sistema di calibrazione, necessario per verificare periodicamente la condizione dei digitalizzatori ottici.



**Figura 1.** Schema di installazione in (C) dei pendoli Zöllner della grotta gigante [Braitenberg et al., 2010]. In (A) è rappresentato schematicamente uno spaccato della grotta con uno dei due pendoli installati, naturalmente il disegno non è in scala. In (B) sono visibili le due lunghe camicie di protezione che circondano le sospensioni dei pendoli.

## 1. L'installazione della Grotta Gigante

I pendoli geofisici della Grotta Gigante sono la più grande installazione del genere al mondo. Con una distanza totale di 95 m tra *upper* e *lower mounting* (figura 1C) ed un momento di inerzia di  $306 \cdot 10^6$  g/cm<sup>2</sup> i pendoli offrono un'amplificazione angolare statica (rapporto tra l'angolo assunto dall'asta del pendolo in funzione dell'angolo di amplificazione del terreno) dell'ordine di 25000, mentre il periodo proprio di oscillazione è dell'ordine di 360 s. Queste caratteristiche mostrano come questi strumenti possano essere usati indifferentemente per uso sismologico e geodetico. I due pendoli, con caratteristiche paragonabili, sono disposti in modo da registrare sollecitazioni nella direzione NS e EW.

Dal 2004 la posizione dei pendoli è rilevata otticamente da due rivelatori PSD (PoSition Detector) [Braitenberg et al., 2010]. Questi provvedono a misurare l'angolo di rotazione dei pendoli tramite un raggio laser riflesso da uno specchio (figura 1C) che ruota insieme all'asta del pendolo. Il segnale digitale così ottenuto viene registrato localmente su un PC accessibile in rete. La figura 2 mostra uno dei due rivelatori PSD presenti all'interno della grotta. Si intravede il riflesso rosso del raggio laser che lo colpisce.



**Figura 2.** Rivelatore PSD. Il rivelatore, in una scatola stagna, contiene il rivelatore un processore che condiziona l'uscita e produce un segnale seriale per il collegamento al calcolatore d'acquisizione. La feritoia nera è l'ingresso ottico dove incide la luce laser riflessa dal pendolo.

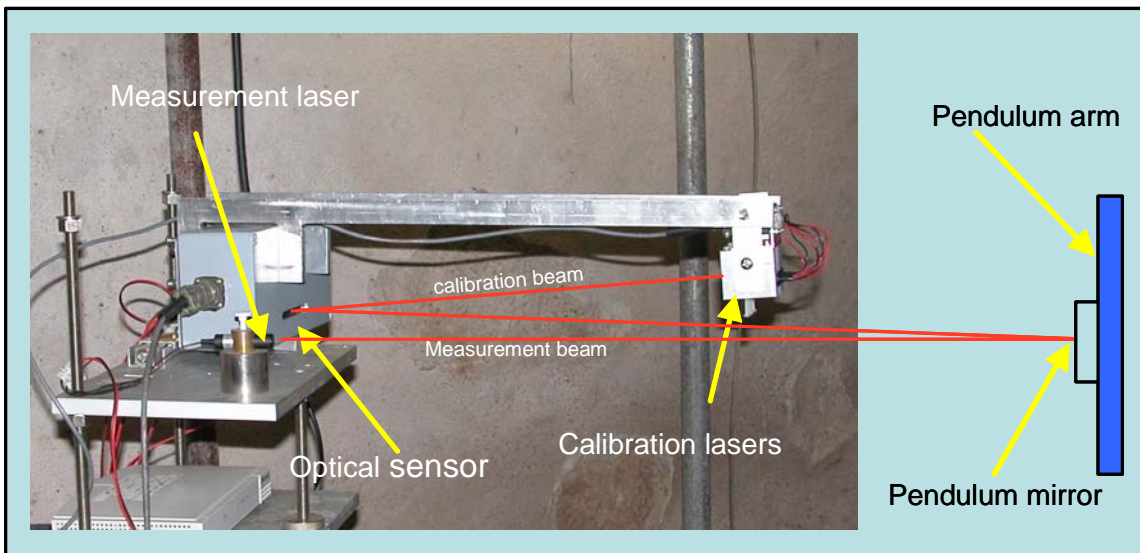
Il sistema di calibrazione descritto non calibra i pendoli, ma solo il sistema ottico ed elettronico di acquisizione.

## 2. Scopo del dispositivo montato nella grotta

Il dispositivo presentato in questo rapporto tecnico ha lo scopo di rendere possibile la calibrazione ed il reset dei digitalizzatori da remoto. Questo garantisce la validità dei dati per le lunghe serie temporali durante le quali ci si può attendere una deriva dei componenti elettronici (parte dell'elettronica dei PSD è analogica). Ciò appare particolarmente utile se si considera che, a causa della loro locazione, gli strumenti non sono facilmente accessibili. Il dispositivo in questione è costituito essenzialmente da due parti:

- Un generatore di marce ottiche ottenuto con quattro laser, con distanza reciproca fissata meccanicamente.
- un circuito dotato di microcontrollore che gestisce tutte le operazioni di calibrazione e reset

Il principio su cui si basa il sistema è semplicissimo: il calibratore proietta dei punti di luce a distanza reciproca rigorosamente costante, il valore delle posizione viene acquisito e le distanze misurate sono usate per produrre i fattori per la correzione dei dati provenienti dal pendolo. Naturalmente è necessario lo spegnimento dei laser di misura e l'accensione sequenziale dei laser di calibrazione. Il dispositivo permette di rimuovere l'alimentazione dai rivelatori, nel caso si presenti la necessità di un reset da remoto.

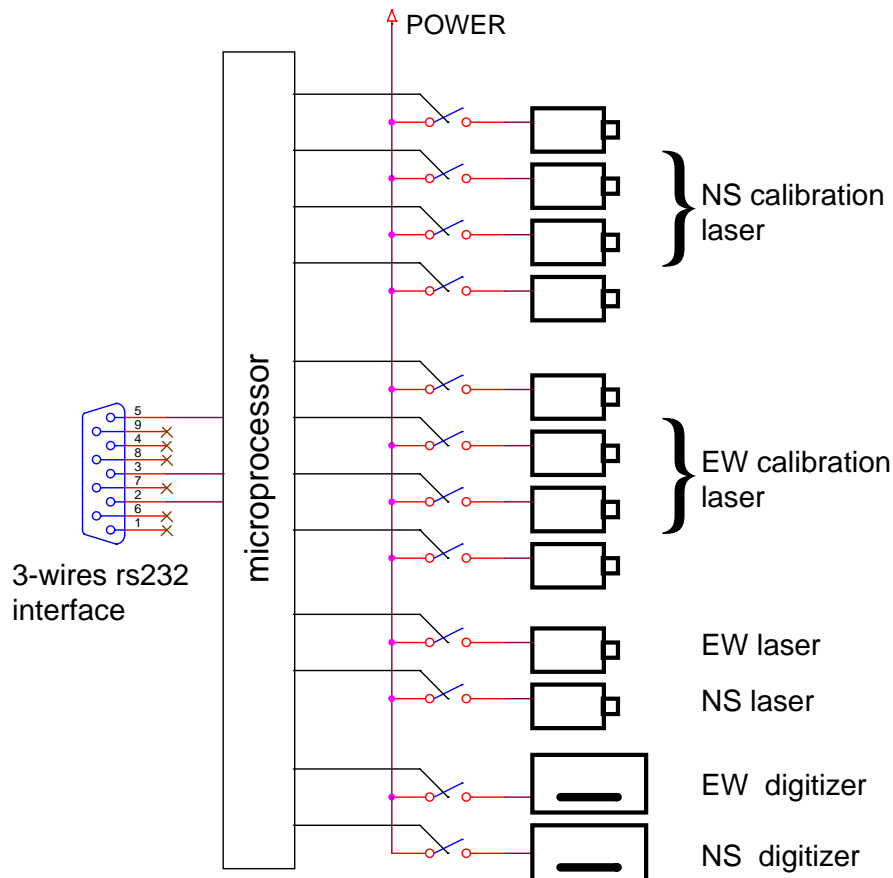


**Figura 3.** L'assemblaggio del sistema ottico comprendente i laser di calibrazione.

La figura 3 mostra la fotografia (un singolo canale) del digitalizzatore completo del sistema di calibrazione. I segmenti rossi simboleggiano il percorso della luce laser. In condizioni di funzionamento normale il *measurement laser* emette un fascio che incide sullo specchio del pendolo (*pendulum mirror*) e viene riflesso verso il PSD (*optical sensor*). In condizioni di calibrazione il laser di misura viene spento e vengono accesi e spenti, consecutivamente i quattro laser di calibrazione. Le distanze reciproche dei laser sono determinate meccanicamente. Non è necessaria una precisione assoluta di queste distanze, quanto la loro stabilità nel tempo.

### 3. Principio di funzionamento del circuito elettronico

Lo schema a blocchi del circuito è rappresentato in figura 4. Esso opera essenzialmente interpretando i comandi provenienti dalla linea seriale ed attivando l'alimentazione di 12 dispositivi, 4 laser di calibrazione NS, 4 laser di calibrazione EW, i due laser di misura NS e WS, due digitalizzatori ottici. La calibrazione di un digitalizzatore avviene spegnendo il laser di misura corrispondente e accendendo consecutivamente i quattro laser di calibrazione.



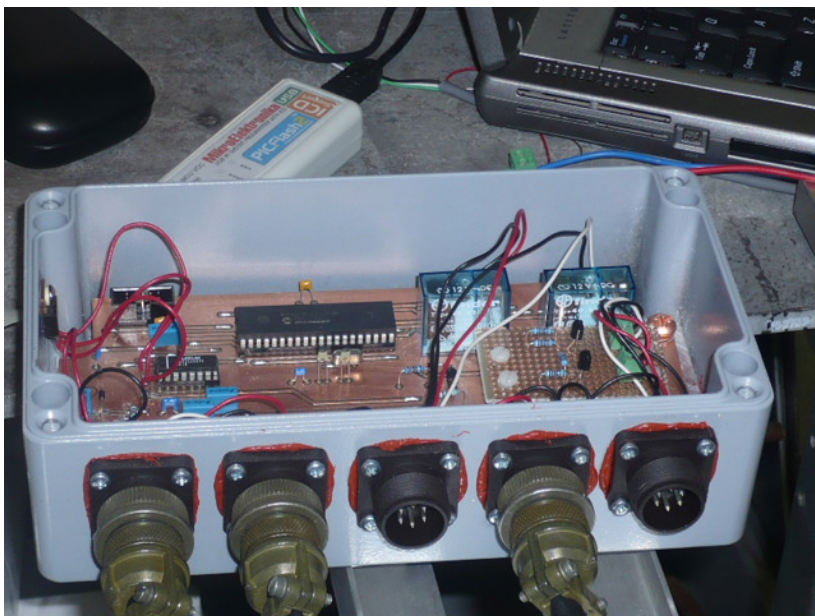
**Figura 4.** Lo schema a blocchi del sistema di calibrazione. Un microprocessore interpreta dei comandi attraverso un'interfaccia seriale (RS-232) ed aziona opportunamente una serie di interruttori (a relè o a stato solido).

Gli interruttori usati per i laser sono dei transistor bipolari, mentre per l'interruzione dell'alimentazione dei digitalizzatori sono stati preferiti dei relé, per motivi di isolamento galvanico. Il processore che governa il dispositivo è un PIC1684, programmato con un compilatore Pascal. La linea seriale è collegata al computer di acquisizione, già in rete, e permette ad un operatore remoto di controllare il dispositivo.

Il computer trasmette il comando (di calibrazione e/o di reset). Questo comando viene interpretato dalla MCU che a sua volta comanda i laser di calibrazione e/o i relé di reset. La MCU, inoltre, trasmette al computer un messaggio che il computer visualizza sullo schermo. Questo messaggio informa l'utente sul buon esito o meno del comando da lui lanciato.



La figura 5 presenta una foto del circuito in esame. In primo piano si notano il microcontrollore ed i due relé. All'esterno della scatola si possono vedere i cinque bocchettoni utilizzati per raggruppare azioni e comandi dello stesso tipo. A partire da sinistra abbiamo: il connettore 1 per alimentazione ed interfaccia seriale, il connettore 2 per gli NS calibration lasers, il connettore 3 per i relé, il connettore 4 per gli EW calibration lasers, il connettore 5 per i laser di misura.



**Figura 5.** Circuito che gestisce la calibrazione ed il reset dei digitalizzatori da remoto.

#### **4. Schema elettrico e caratteristiche tecniche del circuito**

Il regolatore di tensione U17 fornisce i livelli di alimentazione per il microcontrollore PIC16F877A (J9) e per tutti i componenti elettronici del circuito. Il regolatore riceve in ingresso, attraverso il connettore J10, una sorgente di tensione esterna di 12V e fornisce in uscita i 5V necessari per il corretto funzionamento del circuito. Il connettore JP7 consente la programmazione del microcontrollore; il connettore JP6, insieme con il MAX3232, viene utilizzato per la comunicazione bidirezionale MCU-PC. Il microcontrollore PIC16F877A utilizza i pin 19, 20, 21, 22 per comandare il gruppo laser 1; i pin 35, 36, 37, 38 per comandare il gruppo laser 2; i pin 27, 28 per comandare il laser di misura 1 ed il laser di misura 2; i pin 33, 34 per interrompere l'alimentazione tramite il relé 1 ed il relé 2. Nella figura 6 viene riportato lo schema elettrico del circuito in esame.

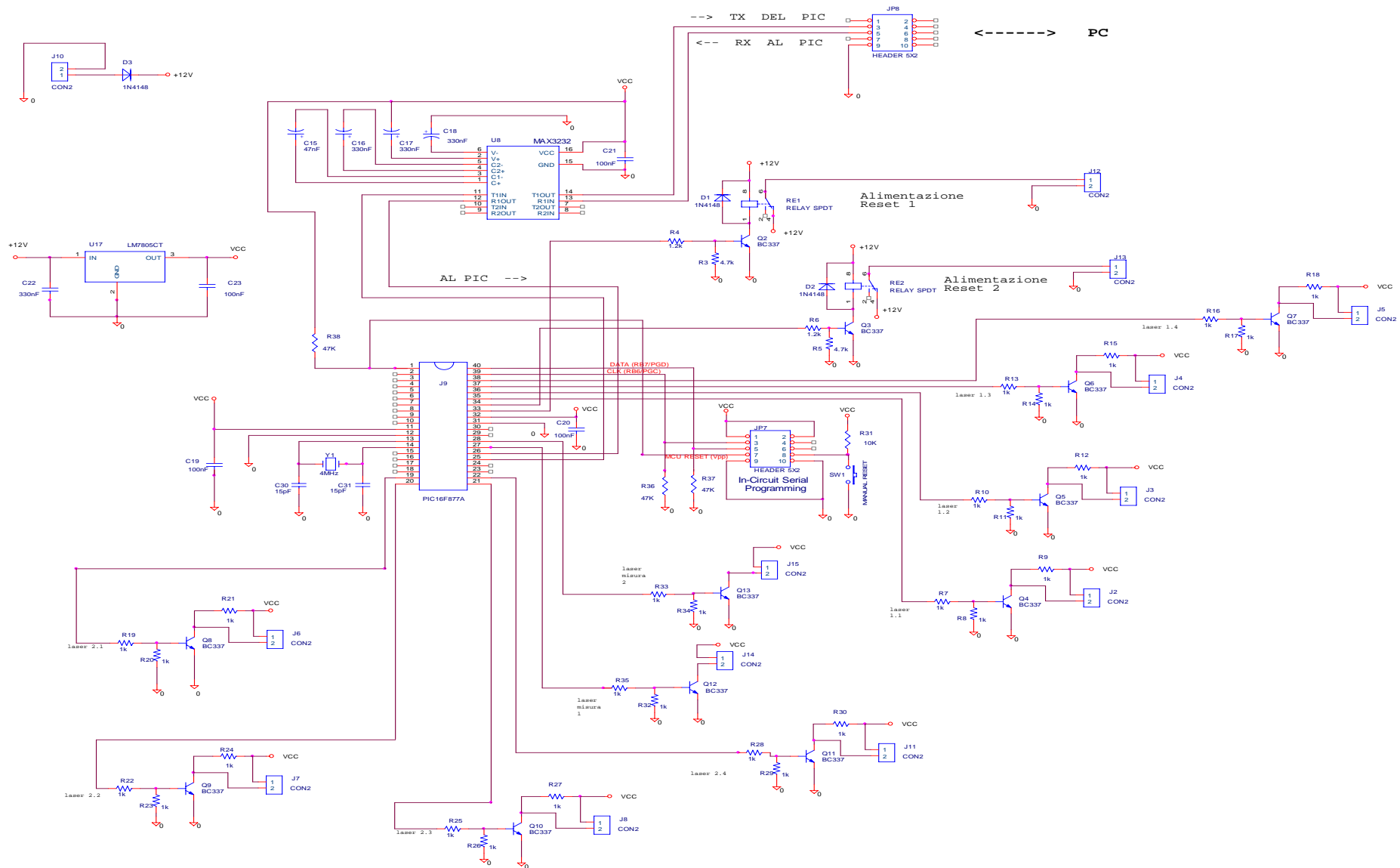


Figura 6. Schema elettrico del circuito.

## 5. Programmazione della MCU e comandi al dispositivo

Il microcontrollore che appare in figura 6 può essere programmato attraverso un PICflash2 programmer collegato al connettore JP7. Il PICflash programmer si comporta sia come ICSP (In-Circuit Serial Programmer) che come ICD (In-Circuit Debugger).

Una volta lanciato, il programma si pone in attesa di comandi dalla seriale (9600baud, nessuna parità, 8 bit, 1 stop bit). Il comando accettato dalla tastiera è del tipo: @k#, dove @ è il carattere di inizio stringa, # il carattere di fine stringa; k determina il tipo di azione e può assumere i seguenti valori:

- a: rele\_1
- b: rele\_2
- c: rele\_1 e rele\_2
- 1: laser\_1\_1
- 2: laser\_1\_2
- 3: laser\_1\_3
- 4: laser\_1\_4
- 5: laser\_2\_1
- 6: laser\_2\_2
- 7: laser\_2\_3
- 8: laser\_2\_4
- m: laser di calibrazione 1\_1 e 2\_1
- n: sequenza laser calibrazione 1
- o: sequenza laser calibrazione 2
- p: tutti i laser di calibrazione in sequenza
- q: laser di calibrazione on
- r: laser di calibrazione off
- s: spegni laser di misura 1
- t: spegni laser di misura 2
- u: accendi laser di misura 1
- v: accendi laser di misura 2

Il programma ha un tempo massimo per la ricezione di un comando corretto. Una stringa non chiusa in un tempo ragionevole viene ignorata. Se viene ricevuto un comando non corretto il dispositivo lo segnala e scrive la legenda dei comandi possibili e del loro significato. Il programma tiene al corrente l'operatore del buon esito dell'operazione.

Di seguito il log di una seduta per la calibrazione di un digitalizzatore (in nero il comando lanciato dall'operatore tramite linea seriale, in rosso l'eco ricevuto sul terminale con cui l'operatore viene informato sul comando da lui lanciato):

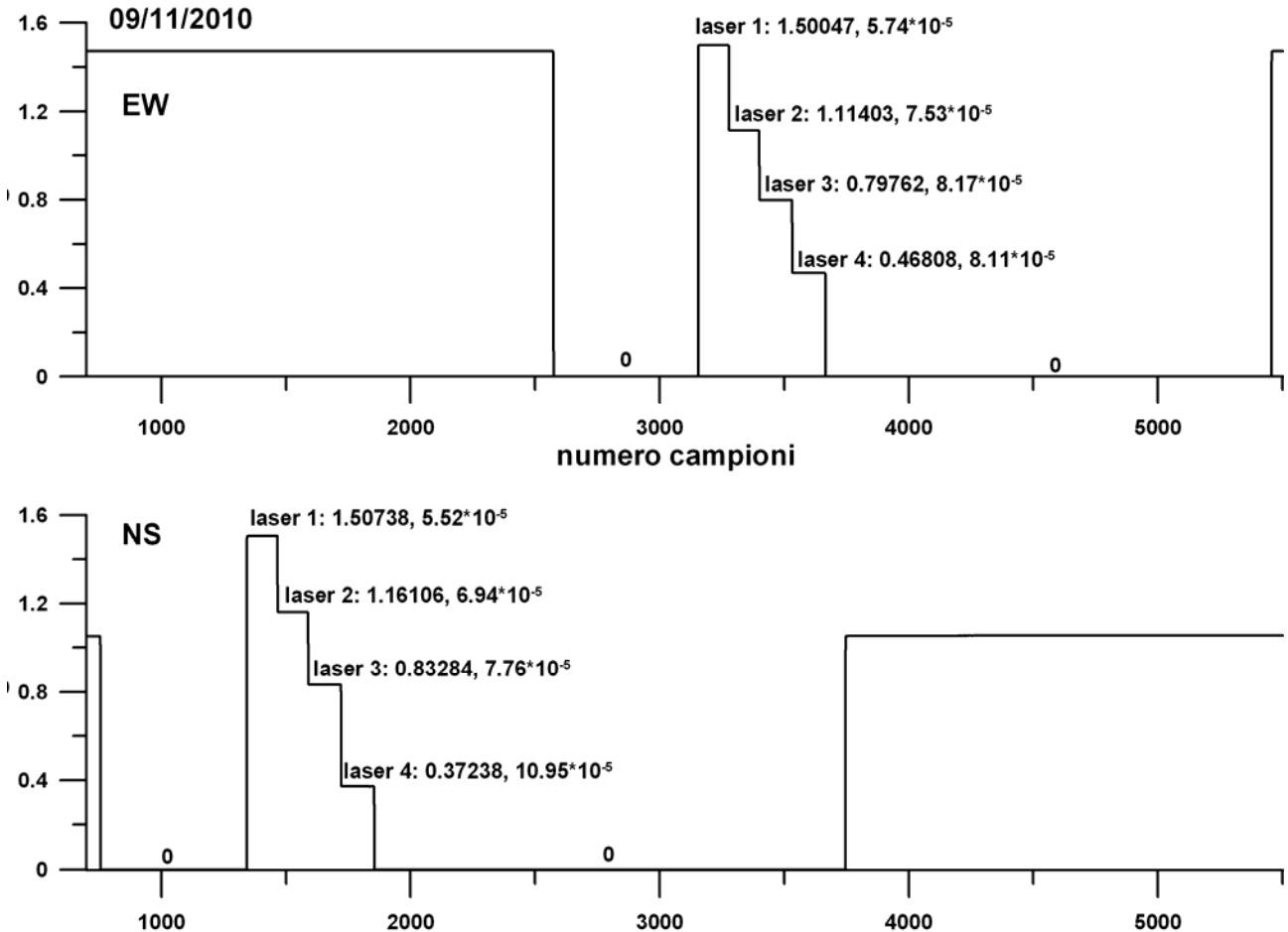
```
@s#  
Spegni il laser di misura 1  
@n#  
In sequenza laser calibrazione: laser 1.1 laser 1.2 laser 1.3 laser 1.4  
@u#  
Accendi il laser di misura 1
```

N.B.

Il comando @n#, che determina l'accensione in sequenza dei quattro laser di calibrazione, produce il grafico mostrato nella successiva figura 7.

## 6. Calibrazione e funzionamento a regime del rivelatore CCD

Durante la calibrazione i laser di misura vengono spenti e vengono accesi i laser di calibrazione che producono 4 letture fisse. La distanza tra le marche dipende dalla costruzione meccanica e dalla costruzione dei laser, ma è comunque costante nel tempo e, una volta presa come riferimento la prima lettura, eventuali variazioni nelle letture successive saranno da imputare ad una variazione della risposta del digitalizzatore. Nella figura 7 sono mostrati due diagrammi relativi alla calibrazione nelle direzioni EW ed NS.



**Figura 7.** Segnale digitale trasmesso dai due Rivelatori CCD.

I grafici mostrano il segnale digitale trasmesso dal rispettivo rivelatore CCD prima, dopo e durante la calibrazione. In condizioni normali (senza forti terremoti in corso) nella scala del diagramma il segnale dei pendoli appare come un segmento orizzontale: troppo breve per evidenziare le maree e troppo poco risoluto per evidenziare il segnale sismico. Il segnale cambia invece durante la calibrazione che viene ottenuta accendendo in sequenza quattro laser ognuno dei quali colpisce il rivelatore in un punto diverso da quello dove lo colpiscono gli altri tre laser. Ciò viene evidenziato dai quattro scalini presenti sul grafico in quanto ogni scalino corrisponde al punto in cui ciascuno dei quattro laser colpisce il rivelatore.

## **Bibliografia**

Zöllner F., (1872). *Zur Geschichte des Horizontalpendels.*

Ber Verh Königl Sächs Ges Wiss Leipzig Math-Phys Cl 24:183–192, Reprinted in Ann Phys Chem (1873) 150:140–150.

Marussi A., (1960). *The University of Trieste station for the study of the tides of the vertical in the Grotta Gigante.* Proceedings of the III Int. Symposium on Earth Tides, Trieste, 1960, 45-52.

Romeo G., (2000). *Digitization of optical lever instruments.* Annali di Geofisica vol. 43 n. 3 June 2000.

Braitenberg C., Romeo G., Taccetti Q., Nagy I., (2006). *The very-broad-band long-base tiltmeters of Grotta Gigante (Trieste, Italy): Secular term tilting and the great Sumatra-Andaman islands earthquake of December 26, 2004.* Journal of Geodynamics 41 (2006) 164–174.

Braitenberg C. et al., (2010). *La Stazione Geofisica Ipogea Della Grotta Gigante (Carso Triestino).* Unpubl. Annual Report, DIGeo, Trieste, 53 pp.