



OSSERVATORIO VESUVIANO  
*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*

Mario La Rocca

# **Circuito per la calibrazione dei sismometri**

Open File Report n° 8 - 2000

OSSERVATORIO VESUVIANO

Via Diocleziano 328, 80124 Napoli (Italy)

Tel: +39 (0)816108300 – Fax :+39 (0)816108351

## Circuito per la calibrazione dei sismometri

### **Introduzione**

La calibrazione di un sismometro è una procedura di importanza fondamentale, da realizzare sia in laboratorio che in campagna, per poter verificare la corrispondenza dei parametri calcolati e misurati sperimentalmente con i valori dichiarati dal costruttore al fine di accertare il corretto funzionamento dello strumento. Inoltre la calibrazione può riguardare solo il sismometro oppure l'intera catena strumentale coinvolta nell'acquisizione dei dati. Quest'ultimo caso è spesso necessario per conoscere la relazione che lega l'ampiezza in "counts" dei segnali acquisiti alla velocità effettiva del suolo. In questa relazione ci occuperemo solamente della calibrazione del sismometro. Le procedure di calibrazione sono diverse a seconda del tipo di sismometro e delle circostanze in cui devono essere realizzate. In questa relazione viene descritto un metodo applicabile a tutti i sismometri elettromagnetici dotati di bobina di calibrazione e realizzabile facilmente anche in campagna. Esso consiste nel far circolare nella bobina di calibrazione una corrente costante che, all'atto dell'accensione e dello spegnimento, produce un segnale impulsivo ai capi della bobina di trasduzione. Dall'analisi di tale segnale si può ricavare la curva di risposta del sismometro.

La circolazione di una corrente nella bobina di calibrazione produce un campo magnetico che si sovrappone al campo magnetico permanente in cui oscilla la bobina sismica del sismometro. La variazione del campo magnetico totale corrisponde ad una forza che agisce sulla bobina sismica sommandosi alle forze esercitate dal sistema di sospensione meccanica e alle forze inerziali dovute all'eventuale moto dell'involucro dello strumento. Se la corrente che circola nella bobina di calibrazione è costante, anche il campo magnetico da essa prodotto sarà costante, così come la forza che agisce sulla bobina sismica. Il risultato quindi è una variazione della posizione di equilibrio della bobina sismica. Considerando le forze di smorzamento del moto, meccaniche ed elettromagnetiche, l'equazione del moto della bobina sismica è del tipo

$$m\ddot{x} + \beta\dot{x} + kx + c = 0$$

in cui  $x$  è una funzione del tempo che rappresenta la posizione del corpo mobile, mentre  $\dot{x}$  e  $\ddot{x}$  sono le derivate prima e seconda rispetto al tempo. Una soluzione di tale equazione è data dalla funzione

$$x(t) = X_0 \exp(-\gamma t) \sin(\omega t + \varphi)$$

con  $\gamma = -\frac{\beta}{2m}$  e  $\omega = \sqrt{\frac{\beta^2}{4m^2} - \frac{k}{m}}$ , che, associata alla funzione

$$i(t) = 0 \quad \text{per} \quad t < t_1$$

$$i(t) = I_0 \quad \text{per} \quad t_1 \leq t < t_2$$

$$i(t) = 0 \quad \text{per} \quad t \geq t_2$$

con le opportune condizioni iniziali  $x(t_1) = 0$ ,  $\dot{x}(t_1) = 0$  e  $x(t_2) = X_0$ ,  $\dot{x}(t_2) = 0$ , dà le funzioni graficate in fig. 1, che rappresentano rispettivamente la posizione e la velocità della bobina sismica. Nello stesso grafico è riportata anche la corrente che, circolando nella bobina di calibrazione, induce tali effetti sul geofono. In fig. 1 la velocità e la posizione sono calcolate in un sistema di riferimento solidale con l'involucro del sismometro, che si suppone rimanere fermo durante la procedura di calibrazione. Essendo una la derivata dell'altra, queste due funzioni presentano la stessa polarità in corrispondenza della variazione di corrente, cioè hanno entrambe inizio crescente o decrescente. Poiché la rete sismica dell'OV segue la convenzione (normalmente adottata in sismologia) che prevede impulsi positivi per movimenti del suolo UP, Nord ed Est, il segnale che rappresenta la velocità della bobina sismica rispetto all'involucro del sismometro deve essere invertito. Pertanto quando la corrente nella bobina di calibrazione passa da 0 a  $I_0$  l'impulso corrispondente deve essere positivo.

L'analisi dei dati per la determinazione della curva di risposta, effettuata in Laboratorio di Sismologia utilizzando un programma appositamente realizzato in ambiente Mathcad da E. Del Pezzo, è descritta in dettaglio in Del Pezzo (Rapporto interno OV, 2000), e pertanto viene qui omessa.

### Il circuito che genera gli impulsi di corrente

Il circuito realizzato per la calibrazione con gli impulsi è schematizzato in fig. 2. Come si può vedere è estremamente semplice, essendo costituito da un solo circuito integrato, un

transistor, un relais e pochi componenti lineari passivi. Poiché è alimentato da una batteria da 12 V che, come ben noto, si trova in ogni stazione della rete sismica dell'OV, si presta all'utilizzo in campagna. Il circuito integrato 4060 è un contatore binario utilizzato come oscillatore per pilotare, tramite il transistor Q1, il relais che apre e chiude il circuito a cui sono collegati da un lato la batteria e dall'altro la bobina di calibrazione del sismometro  $L_C$ . La resistenza R3, in serie con la bobina di calibrazione, pone un limite superiore alla corrente che può circolare nella bobina di calibrazione per evitare danni accidentali al sismometro, mentre la resistenza variabile V2 consente di regolare la corrente di corto circuito nel range 20 - 110 mA. Ciò è necessario in quanto sismometri differenti richiedono valori diversi di corrente per produrre in uscita un segnale con rapporto segnale/rumore sufficientemente alto da consentire il calcolo dello smorzamento. Ad esempio, nelle stesse condizioni di rumore sismico di media ampiezza un sismometro Mark L4C può essere calibrato con una corrente di 30 mA, mentre per un Geotech S13 occorre utilizzare una corrente di almeno 60 mA. Con la massima corrente di corto circuito, collegando in serie le bobine di calibrazione di tre S13, si può avere una corrente di circa 70 mA. Le resistenze R1, R2 e il condensatore C1 determinano l'intervallo di tempo del contatore, che può essere aggiustato tramite la resistenza variabile V1.

Il circuito di fig. 2 fa circolare nella bobina di calibrazione una corrente periodica di periodo T descritta dalla seguente relazione:

$$\begin{aligned} i(t) &= I_0 & 0 < t \leq T/2 \\ i(t) &= 0 & T/2 < t \leq T \end{aligned}$$

La periodicità del segnale e il duty cycle di 0.5 non sono condizioni necessarie per la calibrazione. E' invece importante che tra due impulsi consecutivi trascorra un tempo sufficiente affinché l'ampiezza del segnale sismico diventi trascurabile rispetto al primo impulso. Per sismometri a corto periodo tale intervallo di tempo deve essere di almeno 5 s. Pertanto le calibrazioni descritte nella presente relazione sono state effettuate con corrente di periodo T di circa 10 s. In buone condizioni di rumore sismico poche decine di impulsi sono più che sufficienti per ottenere una buona calibrazione (Del Pezzo, 2000).

Poiché i risultati ottenuti con questo metodo sono molto positivi, la prossima versione del circuito generatore di impulsi sarà dotata di un quarzo in modo da mantenere le variazioni del periodo T, dovute ad esempio a variazioni di temperatura, molto minori del tempo di

campionamento. Questo semplificherà la procedura di analisi dei dati migliorando ulteriormente il risultato finale.

## **Esempi**

In fig. 3 sono mostrati alcuni dati sperimentali. Nel grafico a) è riportata la serie di impulsi realizzati il 29/05/00 alla stazione TRZ, che adotta un sensore Mark L4C. La corrente  $I_0$  utilizzata per questa calibrazione è di 30 mA, ed è stata applicata al sensore dopo aver abbassato l'amplificazione del modulatore al minimo valore possibile per evitare la saturazione del segnale. Come si può vedere nel grafico b), che mostra in maggior dettaglio una coppia di impulsi, il rapporto segnale/rumore è ottimo per la determinazione della curva di risposta, e in particolare dello smorzamento, che in questo caso è risultato dell'80% circa. Nel grafico c) invece sono riportati analoghi impulsi di calibrazione realizzati nel Laboratorio di Elettronica dell'OV utilizzando un sismometro Geotech S13 nella configurazione verticale. In questo caso la corrente  $I_0$  era di 60 mA, la resistenza di shunt 6.8 K $\Omega$ , e i dati sono stati registrati utilizzando una stazione digitale MarsLite campionando a 125 sps. I dati sperimentali differiscono dalla funzione teorica per la inevitabile presenza di rumore sismico e rumore elettronico, e per il fatto che i segnali prodotti dal sismometro vengono filtrati prima di essere convertiti in forma digitale nel processo di acquisizione. Il filtro determina le differenze maggiori tra i due segnali nella fase iniziale, smussando l'inizio repentino dell'impulso e introducendo un ritardo di fase. Pertanto un confronto diretto dei dati sperimentali e teorici non è significativo se non si tiene conto degli effetti del filtro utilizzato dal sistema di acquisizione.

I dati descritti nella presente relazione, nonché il programma che genera i segnali teorici di spostamento e velocità della bobina sismica graficati in fig. 1, sono a disposizione di chiunque fosse interessato ad ulteriori approfondimenti. Eventuali dubbi, commenti o suggerimenti saranno ben accetti e possono essere inoltrati all'autore direttamente oppure al seguente indirizzo di posta elettronica: mlarocca@ov.ingv.it.

*M. La Rocca: Circuito per la calibrazione dei sismometri*

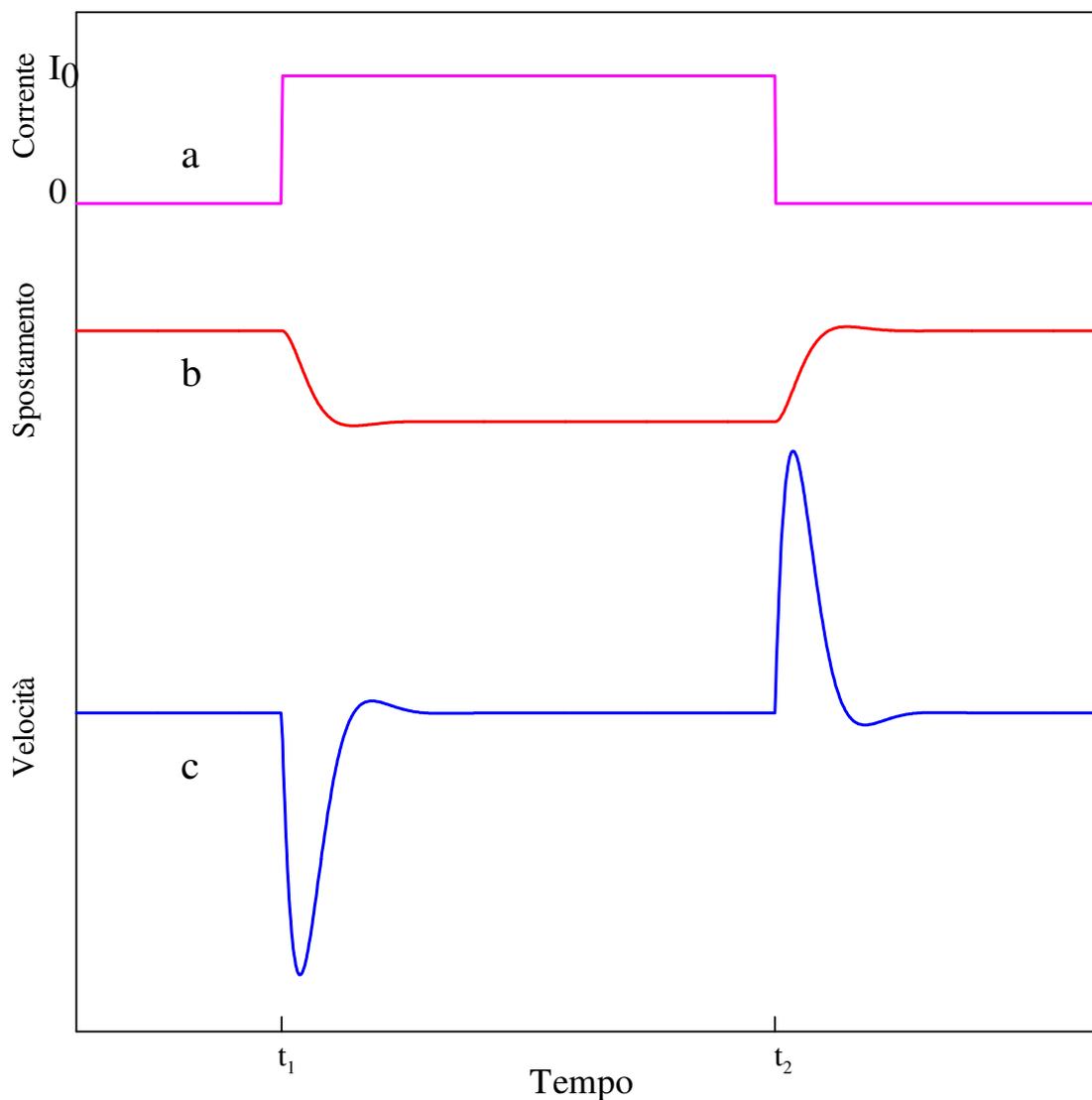


Fig. 1. Gradino di corrente (a) che, circolando nella bobina di calibrazione, produce lo spostamento della bobina sismica (b). Il segnale prodotto dal sismometro, essendo proporzionale alla velocità della bobina sismica, ha l'andamento mostrato dalla curva (c). Questi segnali sono stati calcolati assumendo nullo il rumore sul segnale di corrente e nullo il rumore sismico, per un sismometro con smorzamento del 70%.

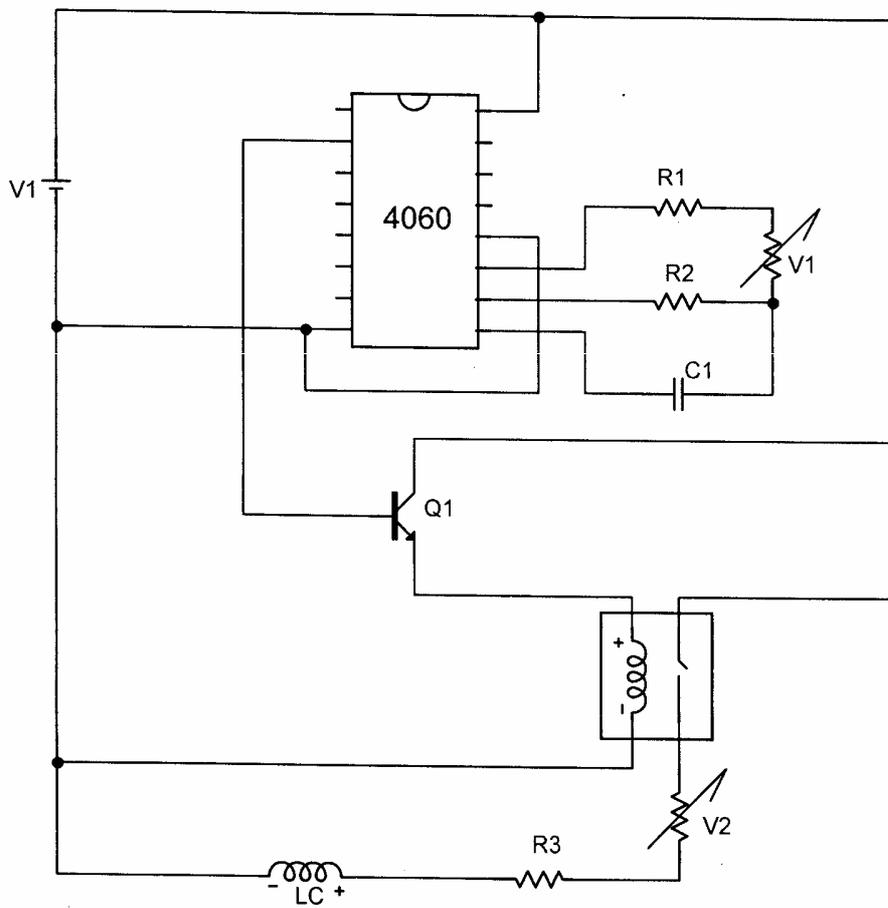


Fig. 2. Schema del circuito che genera il segnale ad impulso utilizzato per la calibrazione dei sismometri. L'induttanza LC rappresenta la bobina di calibrazione del sismometro. Il circuito integrato è un HCF-4060BE, mentre il transistor Q1 è un 2N2222A. Il circuito è alimentato da una tensione continua di 12V.

I valori dei componenti passivi sono i seguenti:

- R1 = 16 KOhm
- R2 = 2.4 KOhm
- R3 = 118 Ohm
- V1 = 1 KOhm
- V2 = 470 Ohm
- C1 = 0.2 microF

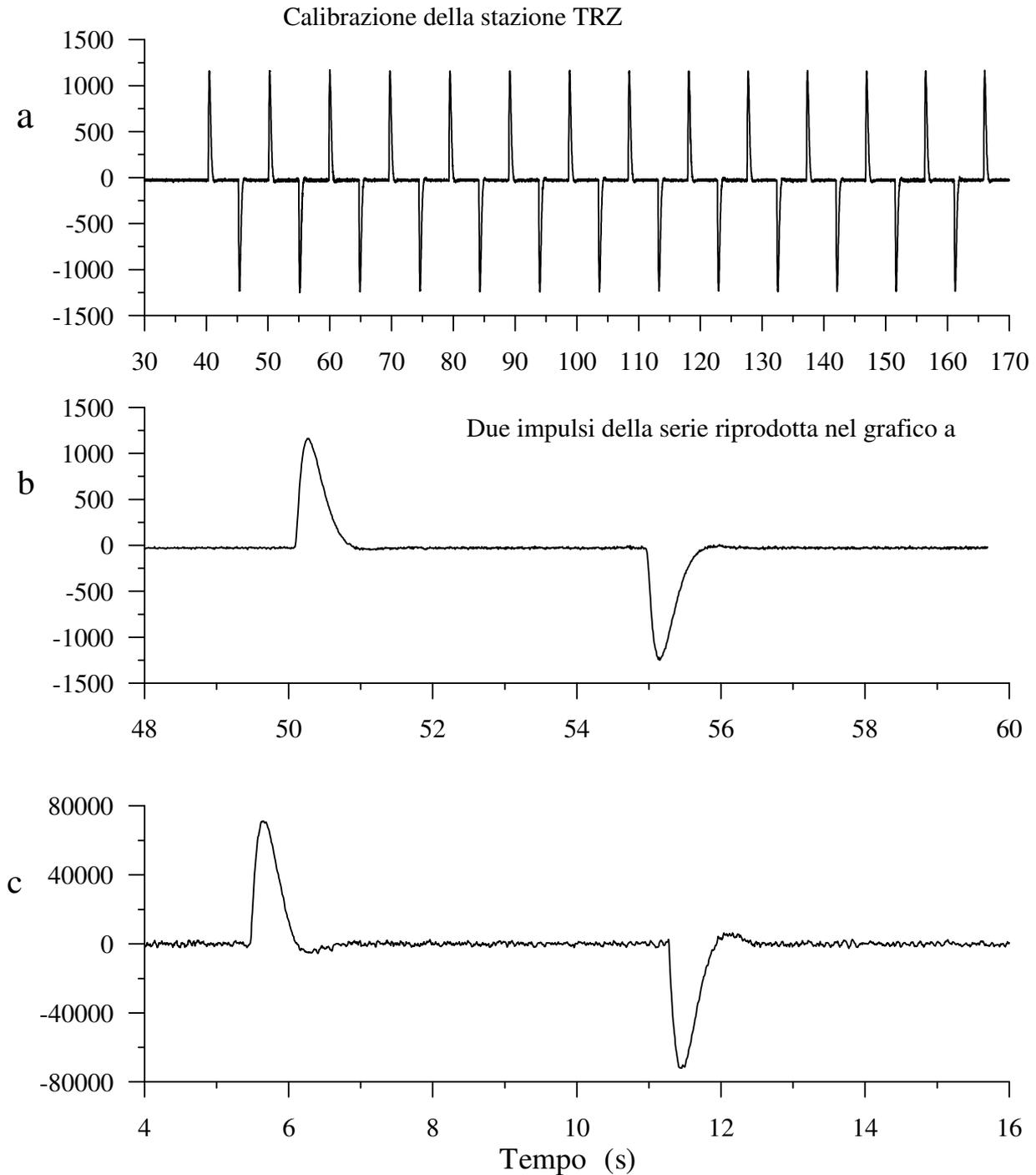


Fig. 3. a) impulsi di calibrazione realizzati il 29/05/2000 alla stazione TRZ che adotta un sensore Mark L4C. Questa serie di impulsi è stata effettuata con corrente di 30 mA, ottenendo un ottimo rapporto segnale rumore, come si può vedere in dettaglio nel grafico b). Nel grafico c) invece sono riportati due impulsi di calibrazione realizzati nel Laboratorio di Elettronica dell'Osservatorio in via Diocleziano, utilizzando un sismometro Geotech S13 e una corrente di 60 mA.