

## MISURE DEI PARAMETRI ELETTRICI DELLE ROCCE IN LABORATORIO. SVILUPPO DI SOFTWARE PER LA GESTIONE DI STRUMENTAZIONE

G.M.S. Losito, M. Masi, V. Pazzi, A. Trova

1 Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICEA), Università di Firenze

La misura in laboratorio delle proprietà elettriche delle rocce è necessaria ogni qual volta si debbano valutare gli effetti della mineralogia, del contenuto d'acqua e della composizione elettrolitica sulla risposta spettrale di un campione (Vanhala e Soininen, 1995). I dati di laboratorio inoltre possono fornire un utile supporto per l'interpretazione dei dati di campagna. La tecnica qui adottata per le misure è quella della Spectral Induced Polarization (SIP) monocromatica, basata sull'energizzazione del campione mediante l'applicazione di una tensione in regime sinusoidale con la tipica configurazione del quadripolo ABMN. La risposta elettrica è dipendente sia dalle caratteristiche del mezzo che dalla frequenza e tensione di energizzazione. Test e misure di laboratorio indicano che, in presenza di polarizzazione, la risposta del campione è non lineare (Olhoeft, 1979; Losito e Angelini, 2002).

La strumentazione attualmente in uso presso il Laboratorio di Geofisica Applicata (Università di Firenze) per questo tipo di prove è costituita da un generatore di segnale per l'energizzazione (HP 33120A, frequenza operativa  $10^{-4}$  -  $10^6$  Hz, ampiezza fino a 5V), un oscilloscopio per l'acquisizio-

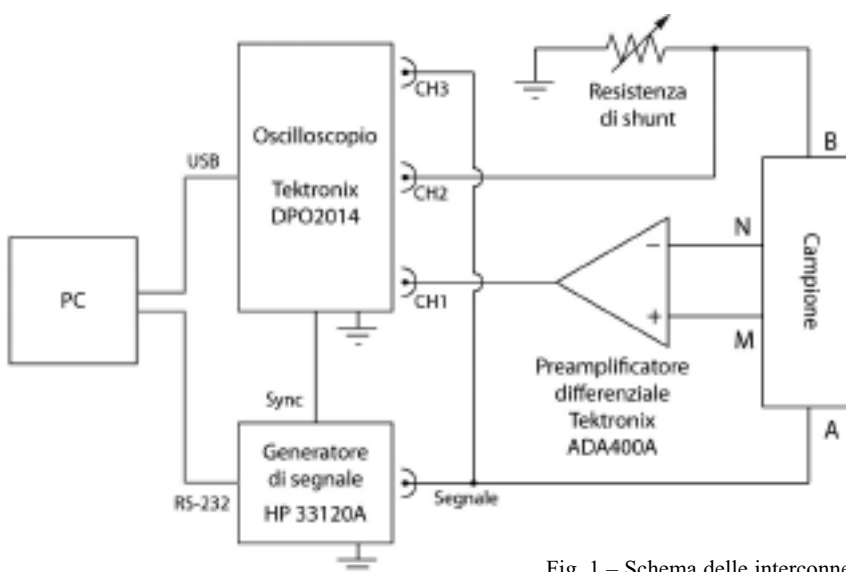


Fig. 1 – Schema delle interconnessioni tra gli strumenti.

ne e conversione A/D (Tektronix DPO2014), un preamplificatore differenziale ad alta impedenza (Tektronix ADA400A). Un PC, interfacciato alla strumentazione, coordina le operazioni di acquisizione e trasferimento dei dati. Il campione incoerente è contenuto all'interno di un cilindro di materiale isolante e non polarizzabile (PVC). La configurazione strumentale così definita (Fig. 1) consente di soddisfare i principali requisiti che questo tipo di misure richiedono: l'ampiezza di banda, l'accuratezza delle misure, la flessibilità del sistema.

Per quanto riguarda l'ampiezza di banda, il sistema consente di effettuare misure nell'intervallo  $10^{-4}$  Hz -  $10^6$  Hz. Tuttavia, come mostra un test effettuato su resistenze di riferimento (Fig. 2), l'accuratezza delle misure è garantita in un intervallo più ristretto ( $10^{-4}$  Hz -  $10^3$  Hz). Le resistenze utilizzate nel test, di valore 150  $\Omega$ , 1.5 k $\Omega$  e 10 k $\Omega$ , vogliono simulare la risposta di un campione puramente resistivo che all'interno del contenitore (di geometria fissata) assumerebbe rispettivamente la resistività di 350  $\Omega$ m, 50  $\Omega$ m e 5  $\Omega$ m (valori tipici di resistività riscontrabili in laboratorio). La deviazione dello sfasamento da zero, causata principalmente dall'effetto di accoppiamento capacitivo interno alla strumentazione, risulta essere al massimo di 17 mrad a 1000 Hz, valore che comunque è accettabile se lo si confronta con gli sfasamenti misurati sui campioni reali.

In realtà l'accuratezza delle misure non è legata solamente alla componente elettronica della strumentazione ma dipende in buona misura anche dalla geometria e dal materiale di cui sono costituiti gli elettrodi. Con il sistema di misura a quattro elettrodi si riesce ad eliminare un problema che è tipico del sistema a due elettrodi cioè l'impedenza di contatto tra elettrodo e soluzione. La natura "non ideale" del metallo che costituisce gli elettrodi, però, può introdurre delle capacità equivalenti in parallelo alle alte frequenze. Anche se questo si traduce in un incremento dell'errore di determinazione della fase a frequenze superiori ai 10 Hz, non costituisce un problema dal momento che gran parte dei fenomeni di interesse si attivano a frequenze sensibilmente inferiori (Olhoeft, 1985).

La flessibilità di utilizzo invece è garantita dal software di controllo. Il software, denominato RHOLab, sviluppato in ambiente MATLAB, consiste in una procedura che consente di gestire gli strumenti e di automatizzare le misure. Il software oltre a disporre di apposite routine dedicate all'acquisizione, al trasferimento dei dati e la loro memorizzazione su PC, dispone anche di funzioni che permettono in tempo reale l'elaborazione dei dati ed la presentazione grafica dei risultati, calcolando e riportando in forma grafica i parametri elettrici caratteristici: resistività ( $\rho$  [ $\Omega$ m]), permittività ( $\epsilon$  [ $Fm^{-1}$ ]), densità di corrente ( $j$  [ $A m^{-2}$ ]), sfasamento tra il segnale applicato e l'armonica fondamentale di quello misurato ( $\varphi$  [ $^\circ$ ]), la tangente dell'angolo complementare allo sfasamento ( $tg \delta$ ), distorsione armonica totale (THD(%)).

Per validare questo nuovo software sono state condotte alcune "misure test" utilizzando campioni sabbiosi: nelle Figg. 3 e 4 sono presentati gli andamenti dei parametri  $\rho(\omega)$ ,  $\epsilon(\omega)$ ,  $\varphi(\omega)$ ,  $tg \delta(\omega)$ , THD(%)( $\omega$ ) di campioni inquinati rispettivamente con percolato di discarica (Fig. 3) e Cr(VI) (Fig. 4). Le misure presentate sono state particolarmente risolutive per la comprensione dei processi elettrocinetici a media scala condotti di recente presso il Laboratorio di Geofisica Applicata dell'Uni-

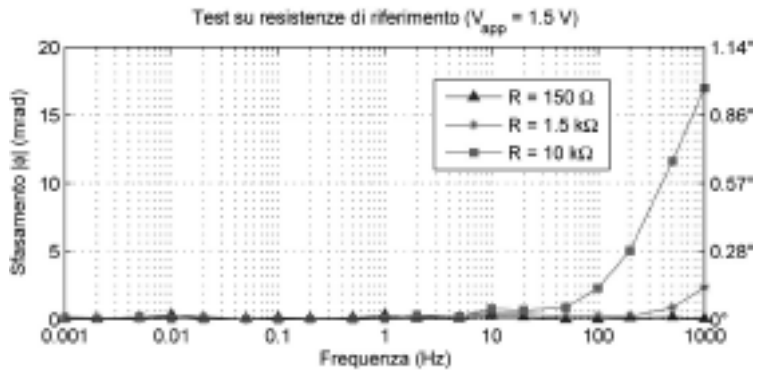


Fig. 2 – Test del sistema su resistenze di riferimento. Sfasamento tra il segnale applicato e misurato.

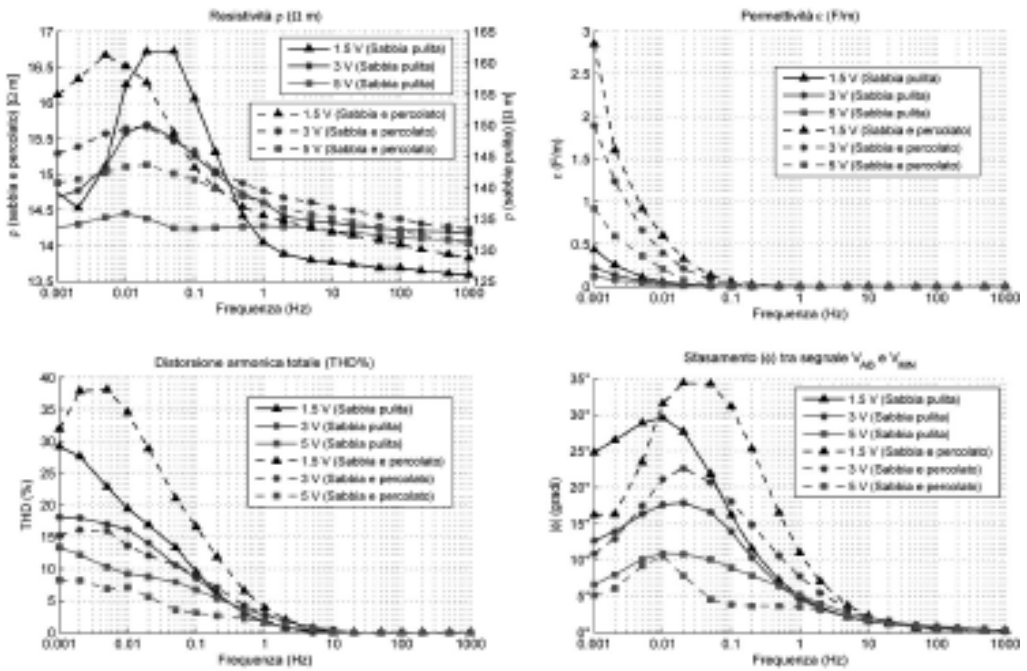


Fig. 3 – Confronto tra gli andamenti dei parametri  $\rho(\omega)$ ,  $\epsilon(\omega)$ , THD(%) $(\omega)$  e  $\phi(\omega)$  di un campione ( $\varnothing = 47$  mm;  $L = 180$  mm) di sabbia pulita ed uno inquinato con percolato di discarica.

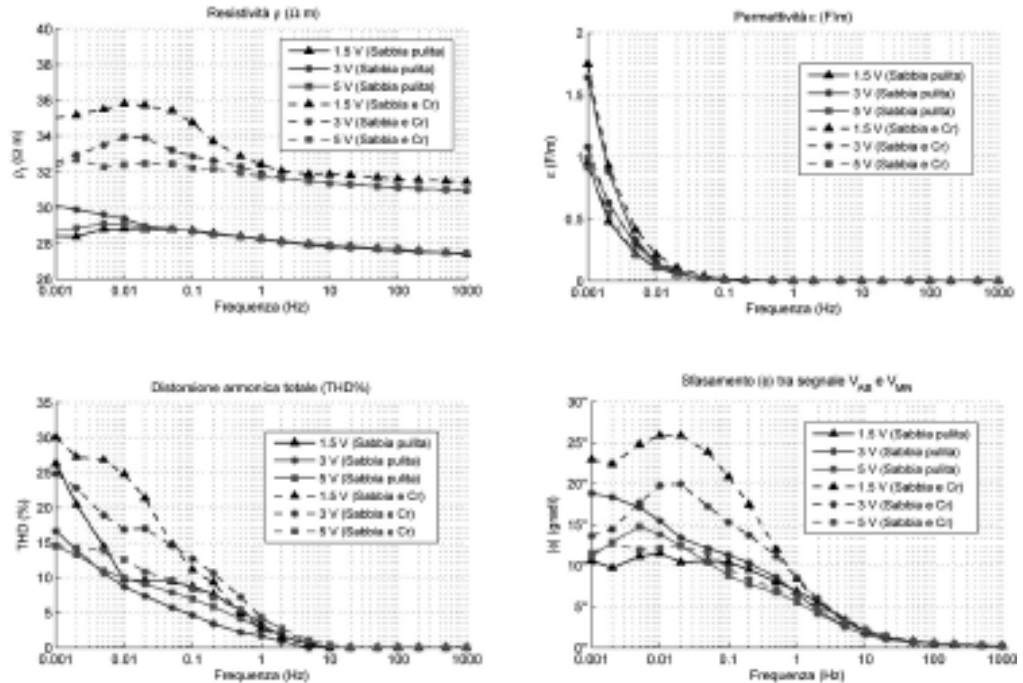


Fig. 4 – Confronto tra gli andamenti dei parametri  $\rho(\omega)$ ,  $\epsilon(\omega)$ , THD(%) $(\omega)$  e  $\phi(\omega)$  di un campione ( $\varnothing = 35$  mm;  $L = 105$  mm) di sabbia pulita ed uno costituito da 2/3 del volume con sabbia pulita e 1/3 con sabbia inquinata con Cr(VI) in concentrazione di  $2.5 \text{ mg}_{\text{Cr(VI)}}/\text{kg}_{\text{dry soil}}$ .

versità di Firenze, ed in particolare per l'effetto della "diversa concentrazione a blocchi" dell'inquinante nel materiale sabbioso (Loeb e Bertin, 1976).

### **Bibliografia**

- Loeb J., Bertin J.; 1976: Experimental and Theoretical aspects of induced polarization, Vol. 2 - Macroscopic and microscopic theories. Geopublication Associates, Schweizerbart, 86pp.
- Losito G., Angelini R.; 2002: Physical parameters activating electrical signal distortions in polluted soils. *Annals of Geophysics*, 45(2), 207-217.
- Olhoeft G. R.; 1979: Nonlinear behaviour of molecules, atoms and ions in electric, magnetic and electromagnetic fields. Elsevier, 395-409.
- Olhoeft G. R.; 1985: Low-frequency electrical properties *Geophysics*, SEG, 50, 2492-2503.
- Vanhala H., Soininen H.; 1995: Laboratory technique for measurement of spectral induced polarization response of soil samples. *Geophysical Prospecting*, 43, 655-676.