

Comune di Mercallo
Provincia di Varese

**INDAGINE GEOFISICA CON METODO TOMOGRAFICO
ELETTRICO FINALIZZATO ALLA RICOSTRUZIONE
STRATIGRAFICA DEL SOTTOSUOLO AL FINE DI INDIVIDUARE
LA SUPERFICIE DI SCIVOLAMENTO DEL MOVIMENTO FRANOSO
VERIFICATOSI IN UNA PORZIONE DI TERRITORIO COMUNALE
DI MERCALLO (VA)**

RELAZIONE TECNICA

Maggio 2008

Rif. n. 014-08

committente:

**Spett.
Paradiso S.r.l
Via Sebastiano Veniero n.42
20148 - Milano**

a cura di:



SOMMARIO

1 Premessa.....	2
2 Indagine geofisica	2
2.1 Descrizione del metodo geoelettrico in configurazione tomografica.....	3
2.2 Strumentazione	5
2.3 Proprietà elettriche del suolo.....	6
3 Interpretazione qualitativa delle indagini geofisiche.....	8
4 Interpretazione delle linee tomografiche	8
4.1 Sezioni di resistività	9
6 Considerazioni conclusive	10
Documentazione fotografica.....	14

Tavole ed allegati

Tav.1 – Corografia generale	(scala 1:10.000)
Tav.2 – Planimetria di dettaglio e sezioni tomografiche elettriche	(scala 1:500)

1 Premessa

A seguito dell'incarico conferitoci dalla Paradiso S.r.l. di Milano, in data 28 Aprile 2008 sono state eseguite tre linee tomografiche in Comune di Mercallo (VA), su terreni di proprietà della Paradiso S.r.l. L'indagine è stata finalizzata alla ricostruzione stratigrafica del sottosuolo al fine di individuare la superficie di scivolamento del movimento franoso ed avere un'idea più precisa sulla geometria del dissesto e dei volumi di materiale mobilizzati. Tale movimento ha interessato il versante compreso tra un albergo ed lo stagno di Comabbio in via Fornace 498/1. L'esecuzione delle linee tomografiche è stata eseguita in modo che essa interessasse il più omogeneamente possibile l'area in frana.

2 Indagine geofisica

Come scritto in premessa, l'indagine geofisica è consistita nell'esecuzione di tre linee tomografiche aventi lunghezze differenti, in base alle difficoltà logistiche:

- Linea 1: 72 metri;
- Linea 2: 96 metri;
- Linea 3: 72 metri;

per una lunghezza complessiva pari a 240 metri.

In tutte le linee è stato necessario operare la correzione topografica in quanto la morfologia, trattandosi di un movimento franoso lungo un pendio, è ricca di dislivelli.

Delle tre linee eseguite, due sono state realizzate perpendicolari al pendio e parallelamente tra loro all'interno del corpo di frana, mentre la terza è stata

effettuata in obliquo partendo dal piede della frana (appena prima dell'acqua dello stagno) ed è stata prolungata oltre il piazzale.

In base alla finalità della ricerca, al fine di precisare nel migliore dei modi i rapporti stratigrafici del sottosuolo ed individuare la superficie di scivolamento, l'indagine è stata eseguita utilizzando le metodiche Schumberger e Wenner.

Questa tipologia operativa ha permesso di investigare in modo continuo, lungo ciascuna linea tomografica il sottosuolo sino ad una profondità massima di circa 20,0 metri dal piano campagna (linea tomografica più lunga – Linea 2)

Per la realizzazione delle linee tomografiche si è fatto uso dello strumento “ Syscal R1 plus switch-48” in grado di gestire automaticamente stendimenti sino a 48 elettrodi ed effettuare il riattacco con ulteriori elettrodi, quali quelli effettuati. I dati ricavati dalle misure di resistività sono stati salvati inizialmente nella memoria interna allo strumento e successivamente scaricati su supporto computer.

L'interpretazione delle linee è stata eseguita mediante un software che effettua l'inversione completa 2D.

2.1 Descrizione del metodo geoelettrico in configurazione tomografica

La tecnica geofisica utilizzata è stata la tomografia elettrica di superficie (ERT) con acquisizione di misure di resistività del terreno.

Il sistema dei profili elettrici con dispositivo multi-array per Tomografia Elettrica di Resistività è una metodologia innovativa in quanto un'evoluzione delle misure geoelettriche classiche, ed applicata in modo tale da ottenere risoluzioni spaziali elevate. Il sistema permette di ricostruire la distribuzione spaziale, in 2 e 3 dimensioni, della resistività reale nel sottosuolo con una risoluzione che dipende dalla distanza tra gli elettrodi e dalle anomalie presenti.

Tutti gli elettrodi sono collegati, mediante un apposito cavo multiconduttore, allo strumento di acquisizione.

La metodica elettrica consiste nell'immissione di corrente ad una coppia di elettrodi (denominati A e B) e misurando la differenza di potenziale tra altre coppie di elettrodi, denominati M ed N ed inseriti all'interno dei due precedenti. Si passa poi ad una seconda coppia di trasmissione e ricezione così fino a raggiungere il numero massimo di misure disponibile nella configurazione.

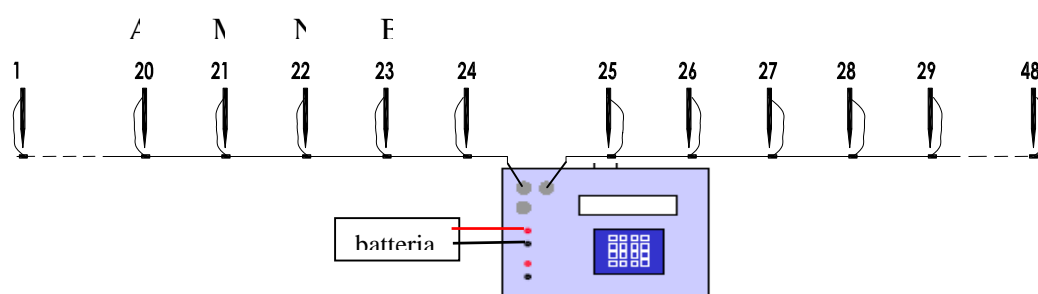


Fig. 1 – Rappresentazione schematica del dispositivo elettrico

Si ottengono così 550 misure per ciascuna sezione di interesse e con un apposito algoritmo di inversione, è possibile ricostruire la distribuzione di resistività reale del sottosuolo.

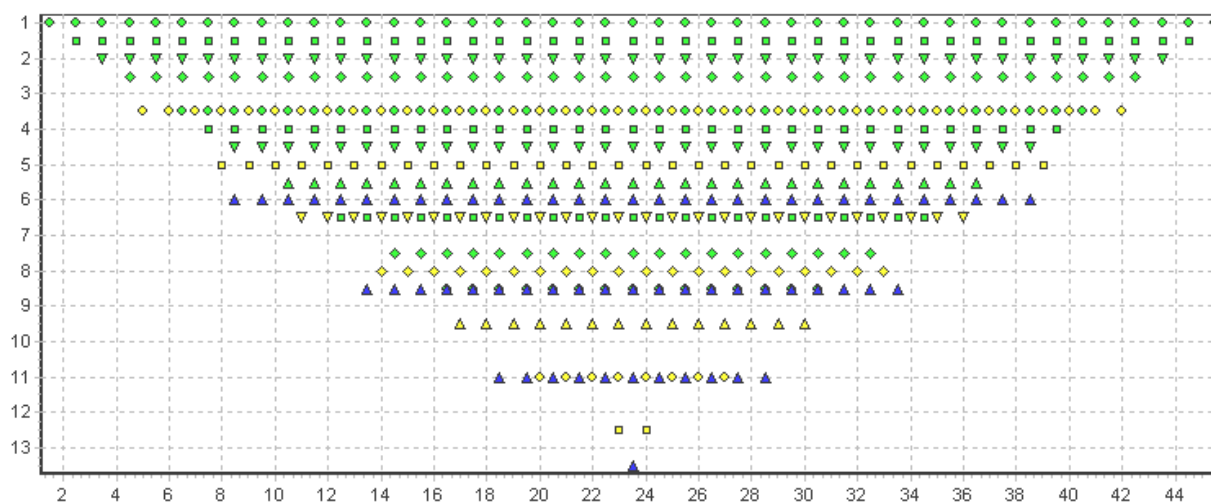


Fig. 2 - Andamento delle letture nel sottosuolo col metodo tomografico, ad ogni simbolo equivale una lettura.

Le misure sono interpretate mediante uno specifico software di inversione dei dati capace di ricostruire la distribuzione di resistività reale utilizzando il metodo degli elementi finiti.

2.2 Strumentazione

Lo strumento utilizzato per l'esecuzione dell'indagine geofisica con metodologia tomografica elettrica è prodotto dalla ditta IRIS e il modello è il SYSCAL R1 PLUS



Switch – 48, di cui si riporta a lato una rappresentazione fotografica.

Esso è in grado di misurare sia il valore di resistività che di caricabilità (IP), gestisce fino a 48 elettrodi ed è in grado di fornire una energizzazione di corrente pari a 175 W. La corrente in uscita viene automaticamente regolata al fine di ottimizzare i valori di lettura

della d.d.p. (differenza di potenziale) e assicura la migliore qualità della misura. Il sistema è dotato di impostazioni standard per il funzionamento a 48 elettrodi, ma può essere settato anche manualmente in funzione del numero di elettrodi che si intende disporre oltre che della distanza tra essi.



Gli elettrodi sono costituiti da picchetti in acciaio che vengono collegati al cavo mediante pinza metallica (v.di foto a lato).

Principali caratteristiche dello strumento

Intensità:	fino a 2500 mA;
Voltaggio:	fino a 600 V;
Energizzazione:	fino a 175 W;
Tempo del ciclo:	da 0,5 -1 o 2 sec, programmabile da 0,25 a 10 sec;

2.3 Proprietà elettriche del suolo

La tecnica geofisica utilizzata come già accennato è stata quella della tomografia elettrica di superficie (ERT) con acquisizione di misure di resistività del terreno.

La resistività dei terreni nel sottosuolo è controllata principalmente dai vari fattori quali:

- porosità,
- grado di saturazione dei pori,
- salinità del fluido presente nei pori,
- presenza di sostanze organiche (idrocarburi, solventi, ecc.),
- temperatura,
- presenza di argilla.

Archie ha proposto la relazione empirica che è valida per suoli aventi scarsa componente argillosa (sabbie, ghiaie):

$$\rho_s = \rho_f a \Phi^{-n} S^{-m}$$

dove:

- ρ_s : resistività ($\Omega \cdot m$) del suolo parzialmente saturo di fluido,
- ρ_f : resistività ($\Omega \cdot m$) del fluido presente nei pori,
- S : frazione del volume di pori occupata dal fluido,
- m : coefficiente di saturazione (solitamente assunto essere pari a 2),
- a : costante empirica, detta di Winsaur (tipico per sabbia: 0.62)

- n : coefficiente empirico, detto di "tortuosità" (tipico per sabbia: 2.15),
- Φ : porosità del suolo.

La resistività del fluido ρ_f è calcolabile qualora si conoscano le concentrazioni di ioni in soluzione (ad es. Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , ecc.) utilizzando la formula:

$$\rho_f = 0.0123 + 10 (3.562 - 0.955 \log_{10} C)$$

dove C è la somma delle concentrazioni (pesate da opportuni coefficienti ricavati sperimentalmente per ciascuno ione) di tutti gli ioni presenti.

Ad esempio, se il fluido è costituito da acqua di falda, si possono ottenere i seguenti valori:

H ₂ O con:	100 mg/l di Cl ⁻ : $\rho_f = 13 \Omega \cdot \text{m}$
	1000 mg/l di Cl ⁻ : $\rho_f = 2.75 \Omega \cdot \text{m}$
	10000 mg/l di Cl ⁻ : $\rho_f = 0.3 \Omega \cdot \text{m}$

Inoltre, una sabbia satura in acqua a conducibilità pari a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ha una resistività di circa 90 $\Omega \cdot \text{m}$.

Una normale ghiaia fine, avente porosità pari a 0.35 e satura d'acqua ($S=1$), presenterebbe, nei tre casi precedenti, rispettivamente le seguenti ρ_s : 75, 16 e 1.8 $\Omega \cdot \text{m}$. Dunque i fluidi altamente salini, come ad esempio acque di falda interessate dall'interazione con acque marine, possono rendere terreni naturalmente resistivi (sabbie, limi) molto conduttivi.

I cationi adsorbiti sulla superficie delle particelle di argilla offrono cammini addizionali per la corrente elettrica e quindi aumentano la conducibilità dei sedimenti. Casi particolari di forti anomalie di conducibilità (inferiori ai 5 $\Omega \cdot \text{m}$) possono essere osservate nel caso di perdite di liquami da condotte fognarie. I valori di resistività per le argille oscillano normalmente tra i 20 e i 10 $\Omega \cdot \text{m}$.

3 Interpretazione qualitativa delle indagini geofisiche

E' necessario sottolineare che l'interpretazione delle indagini geofisiche è fatta nell'ipotesi che gli strati del sottosuolo siano omogenei, orizzontali e con superfici di separazione piano parallele.

Nell'area indagata le condizioni sopra riportate non sono del tutto rispettate (trattandosi di un movimento franoso in cui il materiale si presenta disposto in modo caoticizzato) per tale motivo l'interpretazione è fatta con un certo grado di errore. Inoltre, essendo l'indagine geofisica una investigazione indiretta, la valutazione delle resistività e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira attorno al 10-15 %.

4 Interpretazione delle linee tomografiche

L'interpretazione delle linee tomografiche è stata effettuata mediante un software che effettua l'inversione 2D (e non la semplice deconvoluzione interattiva delle pseudosezioni). Il programma utilizza il metodo degli elementi finiti in due dimensioni. Gli elementi della maglia sono trapezoidali per permettere la compensazione dei dislivelli topografici. L'algoritmo interattivo di inversione si basa sulla minimizzazione dell'errore quadratico medio tra i dati di campagna e i dati simulati. La convergenza dell'algoritmo è ottenuta con la stima automatica di un parametro di stabilizzazione (eseguita con il metodo dei coefficienti reciproci generalizzati) ripetuta ad ogni interazione.

Il risultato ottenuto è stato riportato sulle sezioni di resistività riportate in TAV. 2.

Il rapporto che intercorre fra le litologie del sottosuolo e i valori di resistività registrati, durante l'indagine, sono stati comparati con dati bibliografici e in parte anche diretti ricavati dai logs stratigrafici dei sondaggi eseguiti.

4.1 Sezioni di resistività

L'interpretazione delle sezioni ha potuto mettere in evidenza che il sottosuolo presenta nel complesso due unità:

- unità resistiva
- unità conduttiva;

Unità resistiva: graficamente è rappresentata dal colore rosso al colore giallo ed è caratterizzata da valori di resistività superiore ai 100 ohm*m. Tale variazione di resistività è legata all'eterogeneità della componente incoerente formata da materiale fini, medi e grossolani.

Litologicamente tale unità rappresenta materiale di riporto.

Unità conduttiva: è rappresentata graficamente dai colori compresi dal verde al viola. Presenta valori di resistività mediamente bassi, inferiori a 50 ohm*m e solo in alcuni casi con valori di resistività che si avvicinano a 100 ohm*m . Tale unità è ben evidente in tutte le sezioni e rappresenta il substrato litologico locale caratterizzato da argille e limi talora con arricchimento di sabbia (valori di resistività più elevati). L'eterogeneità del substrato è ben evidenziato dall'indagine geotecnica eseguita per la valutazione della capacità portante dei terreni di sottofondazione.

6 Considerazioni conclusive

In base a quanto emerso dall'indagine geofisica e in funzione alle considerazioni sulle varie unità, è possibile estrapolare le seguenti indicazioni:

- sono stati individuate due unità: resistiva e conduttiva;
- l'unità resistiva caratterizza il materiale di riporto i diversi valori di resistività evidenziano l'eterogeneità di tale materiale;
- l'unità conduttiva rappresenta il substrato dell'area caratterizzata da argille e limi argillosi talora con aumento del contenuto sabbioso.
- il passaggio fra le due unità ben evidente nella rappresentazione grafica di tav 2 nella porzione centrale delle sezioni rappresenta la superficie di scivolamento della frana.

Gropello Cairoli, maggio 2008

Dott. Geol. Roberto Perotti

Documentazione fotografica



Foto 01 – Posizione della linea tomografica 2



Foto 02 – Posizione della linea tomografica 3