

Committente:

Comune San Maurizio Canavese

Sito:

Via General Cabrera – San Maurizio Canavese (TO)



Indagine geofisica con metodologia elettromagnetica per la ricerca di
oggetti metallici interrati

Relazione n:	24-273
Redatto da:	Dott. Andrea Antonietti
Controllato da:	Dott. Geol. Mario Naldi
Data:	Agosto 2024
Revisione:	0

Sommario

1. INTRODUZIONE 1

2. INDAGINE ELETTROMAGNETICA 2

3. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA ED ELABORAZIONE DATI..... 2

4. RISULTATI OTTENUTI..... 3

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 4

In allegato:	
Tavola 1	Ubicazione del rilievo elettromagnetico
Tavola 2	Esito del rilievo elettromagnetico - Mappa di conducibilità elettrica apparente
Tavola 3	Esito del rilievo elettromagnetico - Mappa di suscettività magnetica apparente

Appendice A	Cenni teorici sulle indagini elettromagnetiche FDEM
-------------	---

1. INTRODUZIONE

Su incarico del Comune di San Maurizio Canavese – Settore Territorio e Ambiente, in data 7 Agosto 2024, sono state eseguite delle indagini geofisiche di tipo elettromagnetico in un'area verde di circa 2600 metri quadri sita in Via General Cabrera nel comune di San Maurizio Canavese (TO). In figura 1 si riporta l'estratto di tavola 1 per l'ubicazione dell'area d'indagine.



Figura 1 - Ubicazione area d'indagine con punti di misura rilevati

L'indagine ha lo scopo di valutare la presenza di eventuali oggetti metallici interrati, potenzialmente assimilabili ad ordigni bellici inesplosi entro i primi 3-4 m dal piano di indagine, nell'ambito della realizzazione di una nuova costruzione adibita ad asilo nido.

I sistemi FDEM, EM nel seguito, consentono di acquisire una fitta maglia di misure di conducibilità elettrica e suscettività magnetica del sottosuolo, parametri fisici influenzati dalle caratteristiche del sottosuolo e dalla presenza di oggetti metallici nei primi metri dal piano campagna. L'interpolazione dei punti rilevati consente la costruzione di mappe orizzontali dei valori misurati, le cui anomalie (picchi di valori) possono essere associabili ad oggetti metallici interrati.

I risultati dell'indagine sono descritti in dettaglio nelle pagine seguenti ed illustrati nelle Tavole allegate al testo.

2. INDAGINE ELETTROMAGNETICA

Come detto nel capitolo introduttivo, l'indagine elettromagnetica (EM) è stata eseguita in un'area a prato di estensione pari a circa 2600 mq, dove verrà costruito un nuovo asilo nido.

Il dettaglio dell'area di indagine è riportato nella *Tavola 1* allegata.

L'indagine è stata condotta eseguendo delle linee di misura parallele con interasse pari a 1 m ed acquisendo un dato ogni 0.5 m lungo ciascuna linea. Nel complesso è stata indagata una superficie di 2644 mq (2757 metri lineari e 4910 punti di acquisizione).

Contestualmente all'indagine EM è stato realizzato un rilievo con GNSS in modalità RTK, al fine di garantire la corretta ubicazione dei vertici dell'area oggetto di rilievo e delle anomalie riconosciute in sito (oggetti metallici visibili in superficie: tombini, soglie metalliche, paletti, ecc...).

3. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA ED ELABORAZIONE DATI

Per lo scopo dell'indagine è stato utilizzato il sistema di acquisizione Profiler EMP-400 (GSSI Instruments, US – si veda *Figura 2* e caratteristiche strumentali in *Appendice A*), un sistema multifrequenza in grado generare un campo elettromagnetico in frequenza (secondo 3 frequenze diverse, rispettivamente pari a 5 kHz, 9 kHz e 15 kHz) e di acquisire il campo EM secondario generato dal terreno e dagli oggetti immediatamente vicini all'antenna, sul quale hanno influenza le caratteristiche litologiche dei materiali in posto, e soprattutto eventuali oggetti metallici superficiali ed interrati.



Figura 2 - Profiler GSSI - EMP400

I dati misurati di conducibilità elettrica e suscettività magnetica apparenti (correlati alle caratteristiche dei materiali presenti nel sottosuolo) sono stati opportunamente elaborati e localizzati secondo la seguente procedura:

- *Despiking* per eliminare singoli valori anomali non realistici;
- Omogeneizzazione dei valori mediante sottrazione del valore medio troncato (20%) di conducibilità elettrica e suscettività magnetica apparenti per ciascuna sub-area, al fine di eliminare le differenze dovute a variazioni di temperatura e umidità tra le varie sub-aree;
- *Contouring* (mediante l'utilizzo del software Surfer 13 – Golden Software, US) e generazione di mappe di conducibilità elettrica e suscettività magnetica apparenti georiferite.

4. RISULTATI OTTENUTI

I risultati dell'indagine sono mostrati nelle Tavole 2 e 3 allegate alla presente relazione.

Delle 3 frequenze acquisite con elettromagnetometro e comprese tra i 5000 ed i 15000 Hz, si è scelta la più significativa, e cioè le frequenze a 9000 Hz che ha fornito i valori più stabili (in termini di stacking) del valore in quadratura. I risultati sono stati espressi in termini di andamento della conducibilità elettrica apparente e della suscettività magnetica apparente. I valori vengono definiti "apparenti" in quanto rappresentano la media dei valori corrispondenti ai primi 3÷4 m di sottosuolo e, pertanto, non vanno intesi in termini assoluti ma unicamente in senso relativo al fine di individuare aree o oggetti puntuali anomali. Ad esempio un suolo argilloso presenterà valori di conducibilità elettrica superiori rispetto ad uno sabbioso/ghiaioso, mentre un manto di asfalto determinerà una conducibilità minore. Al tempo stesso un oggetto metallico colpito da un campo elettromagnetico (primario), genera a sua volta un campo elettromagnetico (secondario) e determina valori anomali della conducibilità elettrica che possono essere molto elevati o molto bassi (fortemente negativi). Questo fenomeno è dovuto alla tipica forma "a farfalla" che caratterizza un campo elettromagnetico.

In maniera analoga i risultati vengono anche espressi in termini di andamento della suscettività magnetica apparente ovvero *"la costante proporzionale adimensionale che quantifica il grado di polarizzazione magnetica del materiale in seguito all'applicazione di un campo magnetico"*. Un oggetto metallico interrato oltre ad avere proprietà di conduttore elettrico, quando colpito da un campo elettromagnetico modifica la sua magnetizzazione: per valori piccoli e positivi si parla di materiale paramagnetico, per valori negativi di materiale diamagnetico (assenza di ferro). Caso a parte è un materiale ferromagnetico nel quale la suscettività magnetica positiva è molto alta.

Generalmente i materiali non-magnetici sono o para- o dia- magnetici poiché non possiedono una propria magnetizzazione permanente in assenza di un campo elettromagnetico esterno.

Al contrario, le sostanze ferromagnetiche o antiferromagnetiche hanno valori di suscettività positivi ed una magnetizzazione permanente, anche in assenza di una sorgente elettromagnetica esterna.

I dati misurati sono stati opportunamente localizzati ed elaborati con un programma di contouring (Surfer v.13.4.553) per la definizione di mappe di variazione dei parametri geofisici (correlati alle caratteristiche dei materiali presenti nel sottosuolo): nelle tavole allegate si riportano le mappe di conducibilità elettrica apparente (Tavola 2) e di suscettività magnetica apparente (Tavola 3).

La porzione grigia (in varie tonalità) corrisponde al valore di fondo sito-specifico, ossia al valore medio troncato per ciascuna area d'indagine. In tonalità tendenti al rosso emergono le anomalie elettromagnetiche con valori positivi di conducibilità elettrica, mentre in blu quelle con valori negativi (esprese in mS/m). Analogamente per la suscettività magnetica in viola emergono le anomalie fortemente magnetiche (materiale ferromagnetico), in verde le anomalie diamagnetiche (fortemente negative) esprese in ppm.

Sono quindi state individuate ed interpretate le anomalie significative rilevate come riportato nei callout delle tavole 2 e 3.

In sintesi **non si rilevano anomalie elettromagnetiche riconducibili ad oggetti metallici interrati** correlabili alla presenza di ordigni bellici inesplosi.

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione ha illustrato i risultati dell'indagine elettromagnetica eseguita per conto del Comune di San Maurizio presso un'area verde di circa 2600 metri quadri sita in Via General Cabrera dove verrà costruito in nuovo asilo nido.

Con riferimento allo scopo dell'indagine (localizzazione di oggetti metallici interrati potenzialmente correlabili a ordigni bellici inesplosi), i risultati ottenuti **non hanno evidenziato anomalie attribuibili ad oggetti metallici interrati**.

Si rilevano soltanto:

1. Anomalia generata dal cordolo del marciapiede ad ovest.
2. Alcune aree con valori di suscettività magnetica tali da far ipotizzare una risposta elettromagnetica del terreno ad un differente grado di umidità.

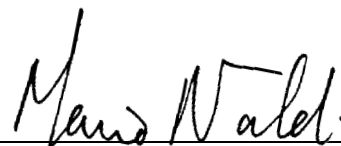
Nella restante parte del sito indagato, sulla base dei risultati ottenuti, ed in accordo ai limiti di profondità della strumentazione utilizzata (entro i primi 3-4 m), si esclude la presenza di oggetti metallici interrati assimilabili ad ordigni bellici inesplosi.

Techgea S.r.l.

Redatto da: Dott. Andrea Antonietti



Controllato da: Dott. Geol. Mario Naldi



LIMITAZIONI DI RESPONSABILITA'

Questo rapporto tecnico si basa sull'applicazione di conoscenze e leggi scientifiche riconosciute ma anche di calcoli e valutazioni professionali suscettibili di interpretazione.

Le stime e le considerazioni espresse in questa relazione sono basate su informazioni acquisite e/o disponibili al momento dell'indagine e sono strettamente condizionate dai limiti imposti dalla tipologia utilizzata, dalla consistenza dei dati utilizzabili nonché dal programma di lavoro concordato con il Cliente.

Le indagini geofisiche si basano su tecniche di esplorazione indiretta che, nonostante siano utilizzate allo stato dell'arte sia delle conoscenze scientifiche che degli avanzamenti tecnologici, hanno una serie di limitazioni intrinseche proprie di ogni metodo utilizzato. L'indagine geofisica non può e non deve sostituire integralmente l'esplorazione diretta anche se ne rappresenta un indispensabile complemento per colmare le lacune informative e per garantire un'univoca correlazione dei principali elementi presenti nel sottosuolo indagato.

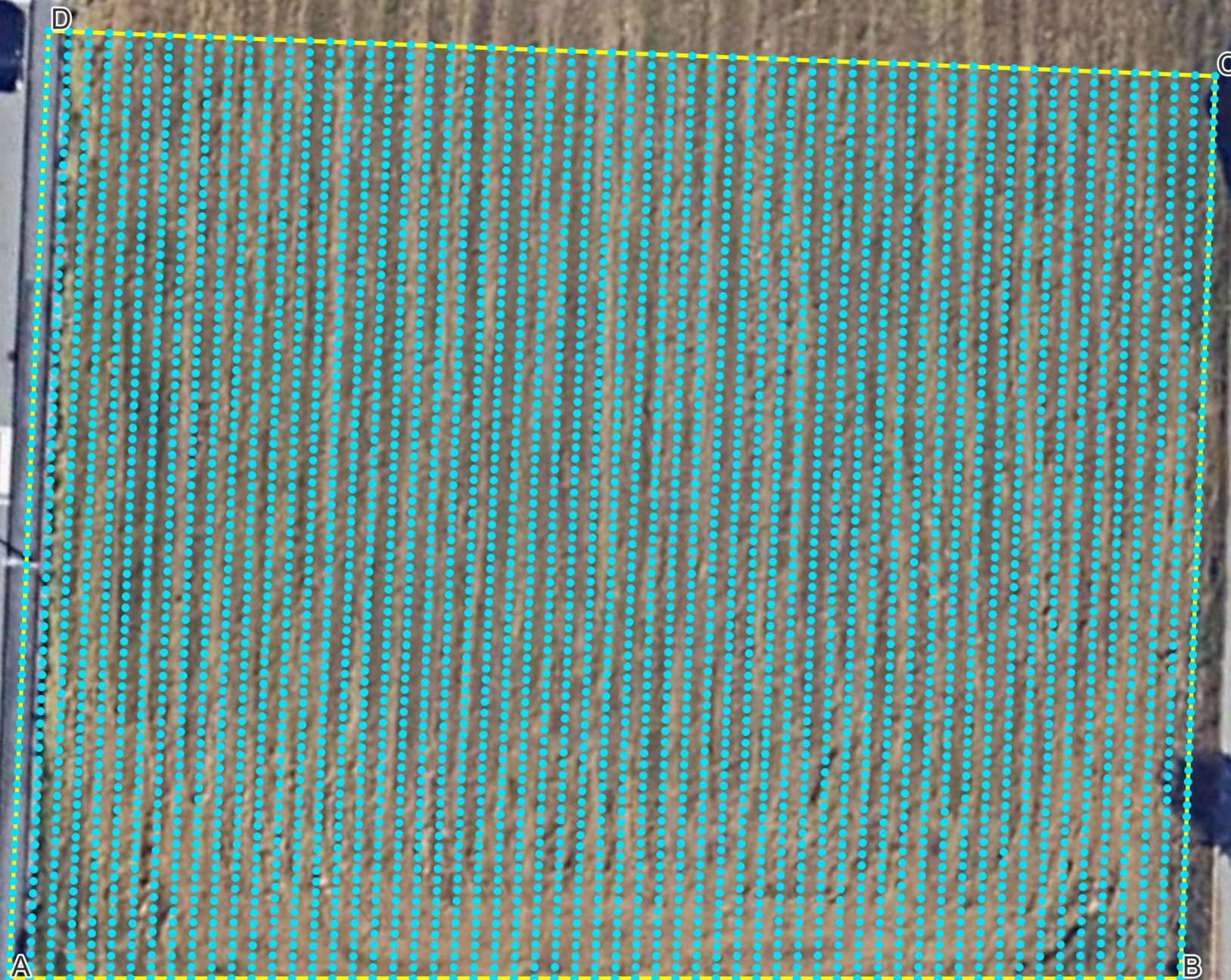
Questo rapporto si basa sulla conoscenza professionale degli attuali standard e codici, tecnologia e legislazione dell'Unione Europea. Modifiche e aggiornamenti di quanto sopra citato potrebbero rendere inappropriate o scorrette le raccomandazioni, indicazioni e conclusioni stilate nel testo.

Le conclusioni ed i suggerimenti operativi contenuti nella presente relazione vanno intesi come proposte di intervento e non come azioni vincolanti, salvo ciò non sia specificatamente indicato. Si tiene a precisare che le valutazioni contenute in questo rapporto sono state elaborate da tecnici e pertanto rivestono un carattere esclusivamente tecnico, non costituendo in alcun modo parere legale.

Gli Autori rispondono unicamente al Committente circa la corrispondenza del rapporto emesso, in ordine agli obiettivi delle ricerche definite nell'ambito dell'incarico e non possono farsi carico di responsabilità per danni, rivendicazioni, perdite, azioni o spese, qualora subite anche da terzi, come risultato di decisioni prese o azioni condotte e basate sul rapporto stesso.

TAVOLE

Ubicazione delle indagini geofisiche



Vertici Area Indagine UTM WGS84

Nome	Est	Nord
A	392148,561	5007388,749
B	392200,141	5007362,451
C	392221,931	5007401,414
D	392171,558	5007429,587

Legenda

- Punti di misura EM
- Area d'indagine EM



Cliente: Comune San Maurizio C.se	Relazione: 24-273
Sito: Via General Cabrera - San Maurizio C.se (TO)	Revisione: 0
Data: Agosto 2024	Tavola: 1

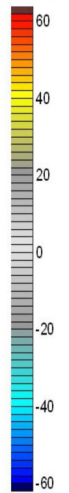
0 5 10 m



Mappa di Conducibilità Elettrica Apparente



Scala dei colori
Valori di conducibilità elettrica apparente
[mS/m]



Cliente: Comune San Maurizio C.se Relazione: 24-273

Sito: Via General Cabrera - San Maurizio C.se (TO)

Revisione: 0

Data: Agosto 2024

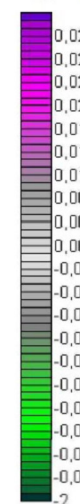
Tavola: 2

Mappa di Suscettività Magnetica Apparente

Cordolo in cemento

Probabili aree con maggiore umidità del terreno

Scala dei colori
Valori di suscettività magnetica apparente [ppm]



Cliente: Comune San Maurizio C.se	Relazione: 24-273
Sito: Via General Cabrera - San Maurizio C.se (TO)	Revisione: 0
Data: Agosto 2024	Tavola: 3

0 5 10 m



APPENDICE A

Cenni teorici sulle indagini elettromagnetiche FDEM

Cenni teorici sulle indagini elettromagnetiche FDEM

I metodi elettromagnetici (EM) includono tecniche geofisiche comunemente utilizzate in indagini del sottosuolo per scopi ambientali, geotecnici o idrogeologici. Il metodo si basa sulla misura delle variazioni localizzate del Campo Magnetico Terrestre (CMT) e/o del suo gradiente. I parametri fisici che influenzano il campo magnetico sono la suscettività magnetica e la magnetizzazione residua. La suscettività magnetica indica l'attitudine di un materiale a magnetizzarsi in presenza di un campo magnetico inducente; ai fini della prospezione essa può essere considerata una grandezza scalare. La magnetizzazione residua è la magnetizzazione acquisita da un corpo al momento della sua formazione; è una grandezza vettoriale che si somma in intensità e direzione al vettore di magnetizzazione indotta.

Le variazioni magnetiche (o anomalie) misurate riflettono il contrasto di suscettività tra le strutture antropiche da individuare e le rocce o i terreni che le contengono. Il contrasto di suscettività è tanto più forte quanto più è elevato il contenuto di minerali ferro-magnetici nelle strutture anomale di interesse o viceversa nei terreni incassanti; in quest'ultimo caso le anomalie presentano una polarità inversa.

Principalmente si riconoscono quindi due tipologie di indagini elettromagnetiche EM: la prima, basata sul dominio di frequenza, misura l'ampiezza e la fase di un campo elettromagnetico indotto (FDEM); la seconda, basata sul dominio di tempo, misura il tempo di decadimento dell'impulso elettromagnetico indotto da una trasmittente (TDEM).

Il metodo elettromagnetico in dominio di frequenza è impiegato in differenti campi di applicazione:

- indagini ambientali del sottosuolo (mappatura di discariche abusive o rifiuti/bidoni interrati);
- ricerche archeologiche;
- caratterizzazione geologica del sottosuolo;
- localizzazione di tubazioni e strutture interrate in genere;
- caratterizzazione agronomica (tipologia suoli).

Le indagini elettromagnetiche in dominio di frequenza (FDEM) consentono di ottenere, in modo speditivo, delle mappe dei valori della variazione di fase e di ampiezza del campo elettromagnetico secondario rispetto al campo primario indotto. Il campo primario, generato da una sorgente naturale o da una corrente alternata artificiale, si propaga infatti nel terreno sottostante inducendo delle correnti nel semispazio conduttore. A loro volta, le correnti così prodotte generano un campo secondario che distorce il campo primario e che, differendo in intensità, fase e direzione da quest'ultimo, indica la presenza di conduttori nel sottosuolo. L'ampiezza delle correnti indotte in un corpo conduttore nel sottosuolo dipende da diversi fattori, ma principalmente dalle proprietà elettriche del sottosuolo e delle strutture interrate. Lo strumento fornisce i valori di conducibilità elettrica apparente del sottosuolo e della suscettività magnetica.

Il metodo di prospezione EM fa pertanto intervenire simultaneamente 3 processi fisici distinti:

- il passaggio di corrente alternata in una bobina trasmittente genera un campo magnetico H_p (campo magnetico primario) variabile con il tempo;
- il flusso del campo magnetico primario genera delle correnti indotte (correnti di Foucault) in tutti i conduttori sui quali esso agisce (suoli, rocce);
- le correnti indotte generano un campo magnetico secondario H_s , il quale, insieme al campo primario che si propaga direttamente attraverso l'aria, provoca il passaggio di corrente alternata in una bobina ricevente.

L'utilizzo di più frequenze consente d'individuare anomalie diverse prodotte da target di diversa natura. La profondità d'indagine è funzione della frequenza del campo primario, della conducibilità elettromagnetica del mezzo e della geometria e disposizione dell'anomalia da indagare rispetto alla sorgente del campo primario. Si analizza quindi la variazione in ampiezza e fase che un segnale (onda sinusoidale) subisce nell'attraversare mezzi a diversa conduttività.

Estraendo la componente in fase e la componente in quadratura di fase, si ha:

$$\text{In fase: } \operatorname{Re}\left(\frac{H_s}{H_p}\right) \cdot 10^6 \text{ [ppm]}$$

$$\text{In quadratura: } \operatorname{Im}\left(\frac{H_s}{H_p}\right) \cdot 10^6 \text{ [ppm]}$$

La componente in fase risulta sensibile ad oggetti metallici (fusti sepolti, tubazioni interrate ecc.). La componente in quadratura di fase è proporzionale alla conducibilità del mezzo indagato. Al tempo stesso la conduttività elettrica (l'inverso della resistività) dei suoli e delle rocce dipende inoltre dal grado di saturazione in acqua, dalla salinità dell'acqua contenuta nei pori della roccia, dalla composizione mineralogica, dalla presenza di metalli o contaminanti organici (benzina, gasolio, nafta ecc.).

I dati vengono acquisiti secondo la seguente procedura:

1. si traccia un'area di acquisizione (possibilmente rettangolare) che, opportunamente referenziata rispetto ad un sistema di coordinate note, viene suddivisa in una serie regolare di linee di misura (in funzione del dettaglio richiesto);
2. l'operatore seleziona e visualizza attraverso il menu di setup i parametri dello strumento relativi all'acquisizione dell'area;
3. l'operatore si posiziona sul primo punto di acquisizione (con coordinate $x = 0$, $y = 0$), attiva lo strumento e cammina con passo regolare lungo la prima linea di misura;
4. lo strumento esegue la misura il cui termine viene stabilito dall'operatore alla fine della linea;

5. dopo aver registrato i dati acquisiti sulla prima linea, l'operatore passa alla successiva e ripete le procedure di cui al punto 3);
6. al termine dell'acquisizione si ha come output una serie di punti a cui vengono attribuite le coordinate rispetto al sistema di riferimento locale, le componenti in quadratura, fase e conducibilità apparente per ogni frequenza indicata.

Gli strumenti elettromagnetici forniscono un valore relativo di conducibilità elettrica a partire dal confronto tra due campi magnetici (campo primario e campo indotto). E' evidente, quindi, che la presenza di campi elettromagnetici nella zona del rilievo possono essere fonte di disturbo.

La misura elettromagnetica, in particolare, è fortemente disturbata dalla presenza di:

- elettrodotti;
- motori elettrici di grosse dimensioni;
- accumuli di rottami metallici, recinzioni, autovetture ecc..

Esistono numerose soluzioni tecniche sul mercato, strumenti denominati Ground Conductivity Meters (GCM), che utilizzano due bobine di piccole dimensioni (Small-loop systems), una trasmittente ed una ricevente, affiancate secondo specifiche configurazioni e mantenute ad una distanza costante s (a seconda delle strumentazioni, compresa tra 0,75 m e 100 m).

Il Profiler EMP-400 (GSSI, USA) ha una spaziatura tra le bobine pari a 1,219 m e consente la misura simultanea fino a 3 frequenze definite dall'utente (in un range compreso tra 1 kHz e 16 kHz); la profondità massima di investigazione è pari a circa 5-6 m, in relazione alle caratteristiche del mezzo investigato. Sulla base di queste considerazioni, se gli eventuali obiettivi dovessero trovarsi in zone a profondità maggiore occorre approfondire l'indagine con indagini geofisiche di dettaglio (linee di tomografia elettrica) o direttamente con sondaggi geognostici.

Per l'elaborazione e rappresentazione dei dati elettromagnetici sono stati utilizzati i programmi:

- *MagMap 2000 v. 5.03* (Geomatics Inc, USA): consente la localizzazione ed il processing preliminare dei dati;
- *Surfer v. 10.7.972* (Golden Software Inc, USA): esegue il gridding dei dati (metodo kriging) e la rappresentazione grafica delle sezioni tomografiche.

Specifiche tecniche della strumentazione elettromagnetica

Profiler System Includes:

- Profiler EM system with wireless, handheld computer
- 12-channel WAAS GPS (can also be integrated with external GPS)
- 2 batteries
- Battery charger
- Carrying strap
- Rugged transit case
- Instruction manual
- 2-year warranty

Physical Dimensions:

- Length: ~ 57.5 inches (1.46 m)
- Max. Width: ~ 9.5 inches (24 cm)
- Max. Height: ~ 4.9 inches (12.4 cm)
- Weight: ~ 10 pounds (4.535 kg)

Specifications:

Coil Spacing:	4 feet (91.219 m)
Operational Bandwidth:	1 kHz to 16 kHz
Records from 1 to 3 frequencies	
Measurement Values:	In-phase - PPM Quadrature - PPM Conductivity - mS/m
Memory	248.5 MB 180,000 continuous data points 360,000 discrete data points
Power:	Re-chargeable Lithium Ion battery or 8 (eight) AA batteries
Data Transfer:	Via MicroSoft® Active Sync
Display:	2.2" x 2.9" color screen (5.58 x 7.36 cm)



www.geophysical.com • sales@geophysical.com

12 Industrial Way • Salem, NH 03079-4843
Tel: (603) 893-1109 • Fax: (603) 889-3984



**The World Leader in
Subsurface Imaging™**

Copyright © 2007 Geophysical Survey Systems, Inc.
November, 2007