

**Studio di Geologia  
Applicata e Ambientale**  
*dott. geol. Lino Berti*

38010 DENNO (TN)  
Via Castro Corona, 30  
Tel. - fax 0461/655040  
C.F. [REDACTED]  
P. I.V.A. 01224660223  
E-mail: [linobe@tin.it](mailto:linobe@tin.it)

**PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO**  
**COMUNE DI TRENTO**



**COMMITTENTE**

*Agenzia per lo Sviluppo S.p.a.*

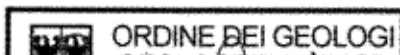
**INDAGINE DI TOMOGRAFIA ELETTRICA PER IL  
PROGETTO DI AMPLIAMENTO DELL'AREA  
PRODUTTIVA A RAVINA DI TRENTO**

*- Relazione risultati indagini -*

il geologo:

***dott. geol. Lino Berti***

Ordine dei Geologi  
Trentino - Alto Adige  
iscrizione n° 95



il progettista:

**INDAGINE DI TOMOGRAFIA ELETTRICA PER IL PROGETTO DI  
AMPLIAMENTO DELL'AREA PRODUTTIVA A RAVINA DI TRENTO**

*- Relazione risultati indagini -*

**INDICE**

1. PREMESSA.....	2
2. UBICAZIONE DELL'AREA .....	2
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO e GEOMORFOLOGICO.....	3
4. LA TOMOGRAFIA ELETTRICA .....	4
4.1. Generalità.....	4
4.2. Caratteristiche tecniche strumentali .....	6
4.3. Parametri di acquisizione .....	7
4.4. Approccio analitico .....	7
5. SINTESI DEI RISULTATI .....	9
6. CONCLUSIONI.....	11

**ALLEGATI**

- Ubicazione delle indagini all'interno dell'area di studio;
- estratto carta di sintesi geologica allegata al PUP (agg.. 2006);
- foto dell'area interessata dall'indagine mediante TOMOGRAFIA ELETTRICA;

**Studio di Geologia  
Applicata e Ambientale**  
*dott. geol. Lino Berti*

## 1. PREMESSA

Su incarico e per conto dell'AGENZIA PER LO SVILUPPO S.p.a. di Rovereto è stata eseguita, nel mese di marzo 2006, un'indagine geoambientale mediante TOMOGRAFIA ELETTRICA per verificare le caratteristiche del terreno di una porzione dell'area produttiva di futuro allestimento a sud-est di Ravina, ed in particolare l'eventuale presenza di materiali non naturali tra cui materiali di risulta di scavi, bidoni metallici o di plastica etc.

Al fine di caratterizzare il deposito antropico dal punto di vista della tipologia dei materiali conferiti, tra le diverse metodologie geofisiche disponibili è stata scelta quella elettrica (tomografia elettrica) che è in grado di fornire con sufficiente dettaglio informazioni relative alle caratteristiche sia granulometriche che tipologiche dei materiali. Essa inoltre consente la definizione delle geometrie degli accumuli elettricamente omogenei.

In considerazione della vastità dell'area in questione e della presunta composizione merceologica del deposito sono stati realizzati due profili tra loro paralleli con orientazione nord-sud che partono dal ciglio meridionale di via Stella e si sviluppano per circa 100 m verso meridione.

Il primo profilo è localizzato all'interno dell'area di deposito materiali recintata (foto 1) mentre l'altro è localizzato immediatamente a valle della recinzione orientale.

Un terzo profilo è stato eseguito alcune decine di metri verso ovest tra i filari di un vigneto (fig. 5) dove sicuramente non è ragionevole pensare vi sia stato alcun rimaneggiamento di tipo antropico e per questo dovrebbe essere indicativo del modello elettrico del terreno naturale.

Tale disposizione risulta essere atta ad ispezionare in maniera strategica il corpo del deposito fino ad una profondità che copre abbondantemente lo spessore presunto del riporto.

Le modalità di indagine (ubicazione, metodologia e numero di profili di tomografia) sono state concordate con i dott. geol. TOMAS GARBARÌ e LUIGI VERONESE della ditta G.G. Service di Cles, specializzata in indagini geofisiche del sottosuolo.

L'analisi dei dati raccolti in sito è stata effettuata in un successivo momento mediante appositi programmi al computer.

Tutte le attività di campagna (raccolta dei dati) sono state svolte sotto la direzione dello scrivente.

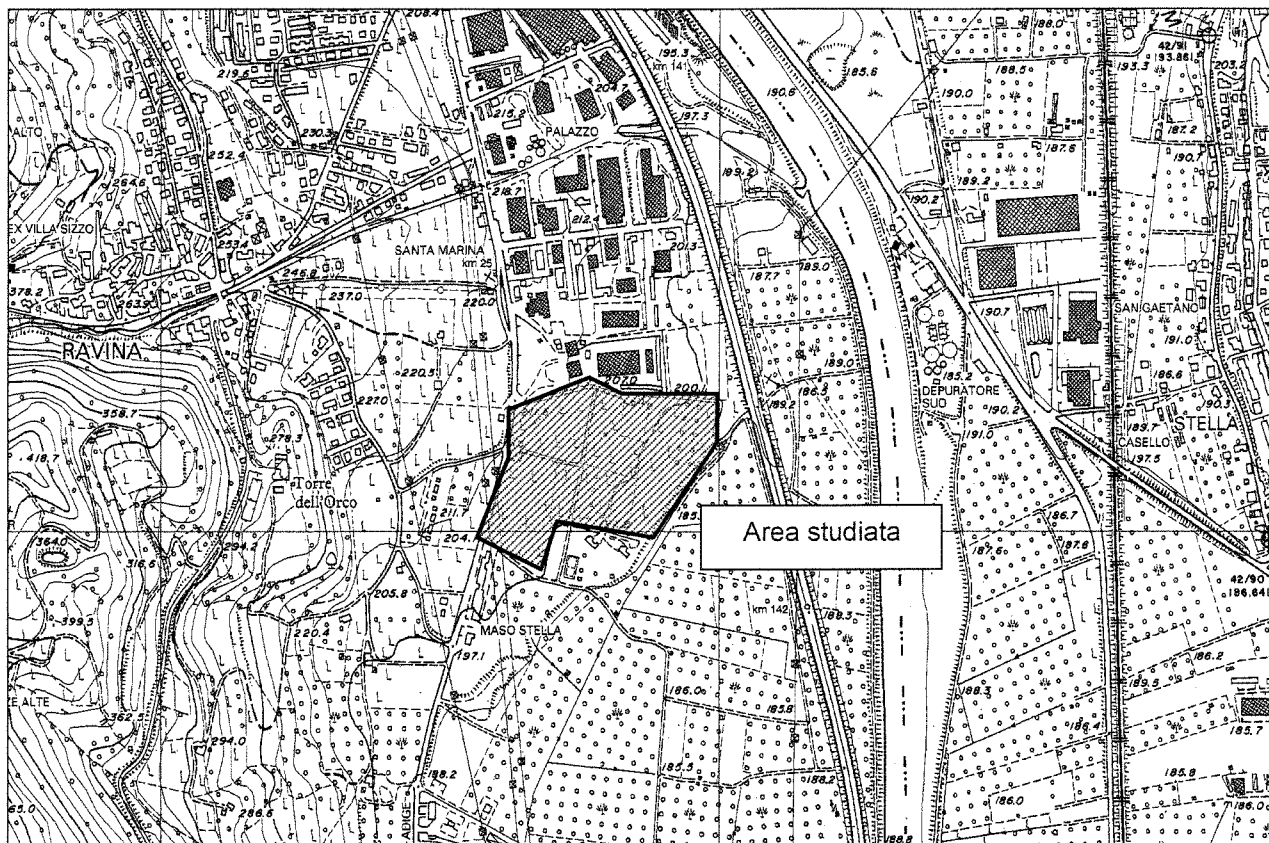
dati di tipo geologico e stratigrafico sono stati desunti da una precedente relazione prodotta dal dott. geol. L. Veronese del Servizio Geologico della P.A.T. "*Infrastrutture dei comparti C1 e C2 dell'area per insediamenti produttivi loc. Marina di Ravina*"

## 2. UBICAZIONE DELL'AREA

L'area di interesse è posta all'estremità meridionale dell'area industriale di Ravina, fra le quote 211 m e 197 m s.l.m., sul bordo destro (occidentale) della Valle dell'Adige, alla periferia meridionale del paese di Ravina (Trento).

L'area è attualmente adibita a deposito di attrezzature meccaniche in disuso (vedi foto allegate).

La zona amministrativamente ricade nel Comune di Trento; nella carta topografica generale del territorio provinciale, in scala 1:10.000, edita dalla P.A.T., la zona studiata è compresa nella sezione 060140 "MATTARELLO" (v. corografia di seguito riportata).



**INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**

(estratto carta tecnica P.A.T.: sez. 060140 "MATTARELLO" - scala 1:10.000)

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO e GEOMORFOLOGICO

La zona si colloca sull'unghia del conoide formato dal Rio Gola, che scende dal M. Bondone e sbocca nel Fiume Adige poco a NE del sito di interesse.

Il sito è pendente verso SE con un'inclinazione decrescente spostandosi da W ad E, fino ad essere sub-pianeggiante nel settore della piana dell'Adige: in zona sono riconoscibili almeno due terrazzamenti riferibili a passate fasi alluvionali.

La zona di interesse è quindi posta proprio nella zona di transizione ed interdigitazione fra il conoide di Ravina e la piana dell'Adige (Val Lagarina).

L'area è situata nella parte occidentale della piana alluvionale del fiume Adige che rappresenta l'attuale fase sedimentaria del bacino fluviale.

Questo bacino è una depressione tettonica allungata in direzione N-S dove depositi fluvio-lacustri attuali e recenti in giacitura sub-orizzontale, sono discordanti sulle formazioni rocciose calcaree giurassiche presenti nei dintorni e affioranti lungo i versanti.

Nella piana alluvionale si alternano una serie di caratteristici conoidi più o meno grandi che s'interdigitano con i depositi fluvio-lacustri di fondovalle e tra questi appunto il conoide di Ravina, costruito dal Rio Gola.

**Studio di Geologia  
Applicata e Ambientale**  
*dott. geol. Lino Berti*

I sedimenti di riempimento del bacino fluvio-lacustre, che raggiungono nella parte centrale spessori di qualche centinaio di metri, sono il risultato degli apporti solidi durante le successive fasi deposizionali post-glaciali del fiume Adige.

I dati di sottosuolo evidenziano la presenza di depositi di conoide ghiaioso-ciottolosi con elementi tendenzialmente arrotondati, interdigitati con depositi alluvionali dell'Adige di tipo sabbioso-limoso.

L'assetto stratigrafico della zona d'interesse è caratterizzato da una potente copertura di terreni sciolti di età quaternaria che hanno riempito la valle dell'Adige.

la fase deposizionale è iniziata in epoca post-glaciale. Lo spessore della copertura non è noto: in località Ghiaie, poche centinaia di metri a nord del sito e più precisamente presso la confluenza tra il t. Fersina e il f. Adige, esiste un pozzo (nome: FERSINA 1) profondo 423 m interamente attraversante alluvioni sciolte.

Le divagazioni del fiume ed il succedersi delle continue fasi erosive e deposizionali con apporti anche dalle valli laterali, sono ben visibili in superficie riconoscendo varie forme geomorfologiche come i terrazzamenti e i conoidi.

Da tutte le informazioni ed i dati raccolti, si evince la presenza, nel sottosuolo dell'area di interesse, di una potente coltre ghiaiosa carbonatica (conoide del Rio Gola) che si assottiglia spostandosi da W verso E e si interdigita con le alluvioni sabbioso-limose dell'Adige.

Lo strato più superficiale con spessore metrico è costituito da una cotica di suolo sabbioso e limoso di bassa permeabilità che ricopre quasi tutta l'area.

Nell'area in esame sono quindi individuabili i seguenti tipi di depositi:

1. depositi alluvionali grossolani di conoide (ATTUALI E RECENTI): sono formati da ghiaia poligenica, eterometrica, ad elementi arrotondati, con ciottoli e sabbia in percentuali variabili; hanno una buona permeabilità e costituiscono potenziali acquiferi (conoide del Rio Gola);
2. depositi alluvionali fini (ATTUALI E RECENTI): sono formati da sabbia limosa e argillosa; sono interdigitati in continuità con i precedenti depositi; hanno scarsa permeabilità e possono costituire livelli di separazione tra acquiferi (alluvioni del f. Adige).

#### 4. LA TOMOGRAFIA ELETTRICA

##### 4.1. Generalità

Negli ultimi anni si è registrato un crescente interesse nei confronti dell'utilizzo dei metodi geoelettrici ed in particolare della tomografia elettrica applicata all'ambito idrogeologico e della caratterizzazione ambientale. Questo tipo di prospezione geofisica è in grado di fornire un'elevata risoluzione, un'ampia copertura areale, la minimizzazione del personale e del tempo utilizzato per l'acquisizione dati e la presentazione dei risultati in una forma comprensibile al fruitore.

La tecnica dell'imaging elettrico (o tomografia elettrica) adotta una procedura automatizzata sia per l'acquisizione che per l'elaborazione e consente di raccogliere dati elettrici del sottosuolo con una densità elevata impiegando cavi *multicore* con spaziatura interelettrodica molto piccola (generalmente 1-2m ed anche meno).

**Studio di Geologia  
Applicata e Ambientale**  
*dott. geol. Lino Berti*

L'unità di misura è costituita da un georesistivimetro classico assistito da un computer che mediante un software dedicato gestisce la configurazione geometrica e la sequenza del grande numero di letture che vengono effettuate. Gli elettrodi da controllare sono molte decine, spesso qualche centinaio, ed i vari cavi impiegati vengono tra loro connessi, e collegati all'unità di misura.

In pratica, il rilievo consiste dapprima nel posizionare gli elettrodi nel terreno, quindi nell'effettuare il collegamento ai take-out dei cavi che portano il segnale (di input ed output) all'unità di misura.

Da software vengono poi impostate la configurazione prescelta ed i relativi parametri geometrici (passo di misura, numero di misure ecc.). Le misure sono ciclicamente ripetute fino ad un massimo di 4-6 volte qualora non si raggiunga prima una stabilizzazione della lettura (indicata da un basso scarto percentuale tra il 2-6%). Le misure non soddisfacenti, comunque salvate nel data set, potranno essere eliminate in sede di analisi. Per ottenere una densità di valori idonea alla costruzione di una pseudosezione di resistività è necessario che il passo di misura non superi la distanza interelettrodica.

Il primo risultato dell'analisi è costituito da una pseudosezione che è solo rappresentativa della sezione reale. Ritrae, infatti, l'andamento della resistività apparente, una specie di valore mediato, con la pseudopropofondità, calcolata con semplici considerazioni geometriche. Ogni misura viene posta convenzionalmente al centro del quadripolo attivo ed alla pseudopropofondità che gli compete.

I dati acquisiti in campagna e rappresentati secondo pseudosezioni vengono successivamente elaborati per risalire alla elettrostratigrafia reale (resistività vera) della sezione indagata che si ottiene utilizzando una tecnica di inversione.

Contemporaneamente alla misura della resistività è possibile effettuare misure di polarizzazione indotta ed approdare, in maniera analoga a quanto descritto per la resistività, a sezioni di polarizzabilità che definiscono la caricabilità dei terreni e dei corpi sepolti.

La *polarizzazione indotta* è un fenomeno generato dalla stimolazione di una corrente elettrica che viene osservata dopo l'applicazione di una tensione al terreno. Il metodo si basa sull'osservazione della curva di decadimento del potenziale susseguente all'interruzione della corrente immessa, cioè sulla misura della caricabilità residua trattenuta dal mezzo di indagine sottoposto a corrente.

Per un terreno omogeneo il tempo di decadimento è funzione della resistività del terreno stesso e non cambia al variare delle coppie dei punti in cui si misura. Se nel terreno è sepolto un oggetto metallico o se vi è circolazione preferenziale di fluidi si verificano anomalie nel decadimento.

I valori strumentali della polarizzazione indotta possono anche essere espressi in termini di angoli di fase. In questo caso l'unità di misura comunemente utilizzata è il mrad (milli-radiani). Molti resistivimetri di ultima generazione, tra cui quello in dotazione alla GG Service, possono misurare gli angoli di fase per frequenze diverse. Questo permette di effettuare studi di resistività complessa in cui si osserva il cambiamento dello sfasamento (equivalente alla caricabilità) che è un valore frequenza-dipendente.

Nel caso in questione è stata adottata in acquisizione la configurazione Wenner con il seguente array geometrico:

- 50 elettrodi;
- spaziatura interelettrodica pari a 2,0 m
- sono stati impostati 10 livelli di misura;

- la tranche massima di terreno indagata è legata alla lunghezza dello stendimento ed è risultata pari a circa 9 m.

#### 4.2. Caratteristiche tecniche strumentali

L'indagine è stata realizzata mediante la strumentazione in dotazione alla GG Service che è costituita da un georesistivimetro e misuratore di polarizzazione indotta fornito di un sistema multielettrodico a 75 elettrodi e prodotto dalla LGM di Schaufling (Germania).

Il sistema è interfacciato ad un PC su cui è installato un software (GeoTest 2.0) che lavora su piattaforma Windows per gestire l'attivazione successiva e programmata di 4 elettrodi alla volta (due di corrente e due di potenziale nel caso configurazioni convenzionali quali Wenner, Schlumberger o dipolo-dipolo).

Le misure vengono effettuate in corrente alternata con periodo di misura che può essere compreso tra 0,8s e 0,12s con cicli di alcuni secondi; i voltaggi variano da un minimo di 0,2mV a massimi di 300V picco-picco mentre l'intensità di corrente varia da minimi di 0,001 mA a massimi di 100A.

Ogni valore di resistività apparente fornito strumentalmente è il risultato di un ciclo di misura che è costituito generalmente da 3-8 ripetizioni delle misure. Il valore proposto rappresenta il risultato di una media mobile tra le letture (minimo di 3 letture) protratta fino al punto in cui la differenza tra successive letture scende al di sotto di scarti compresi tra 3 e 5%.

Per evitare disturbi legati a fenomeni di polarizzazione le misure sono separate da un ritardo di regime che di default è fissato a 2500ms.

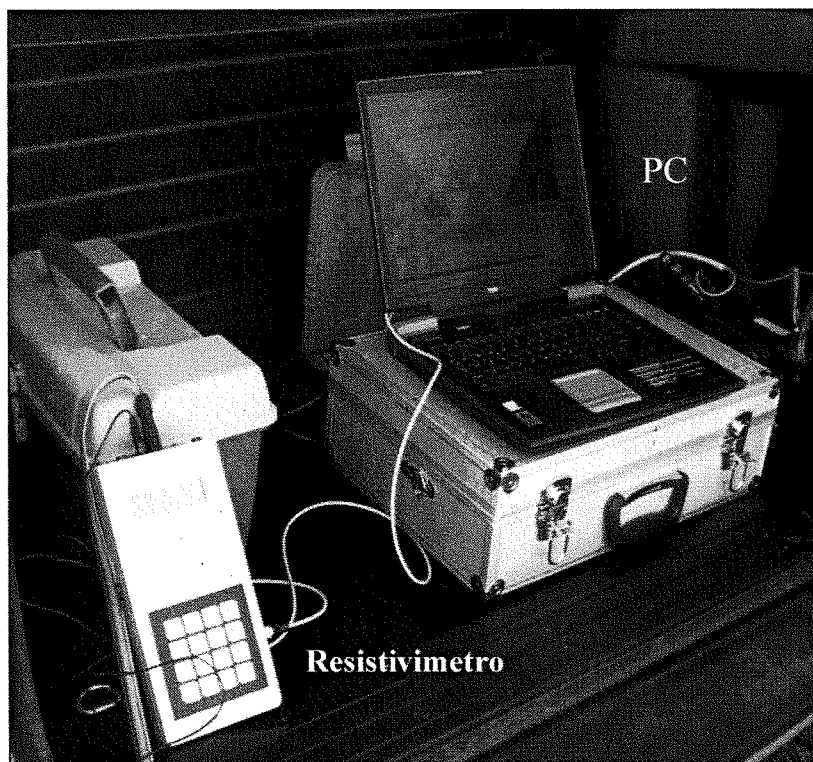


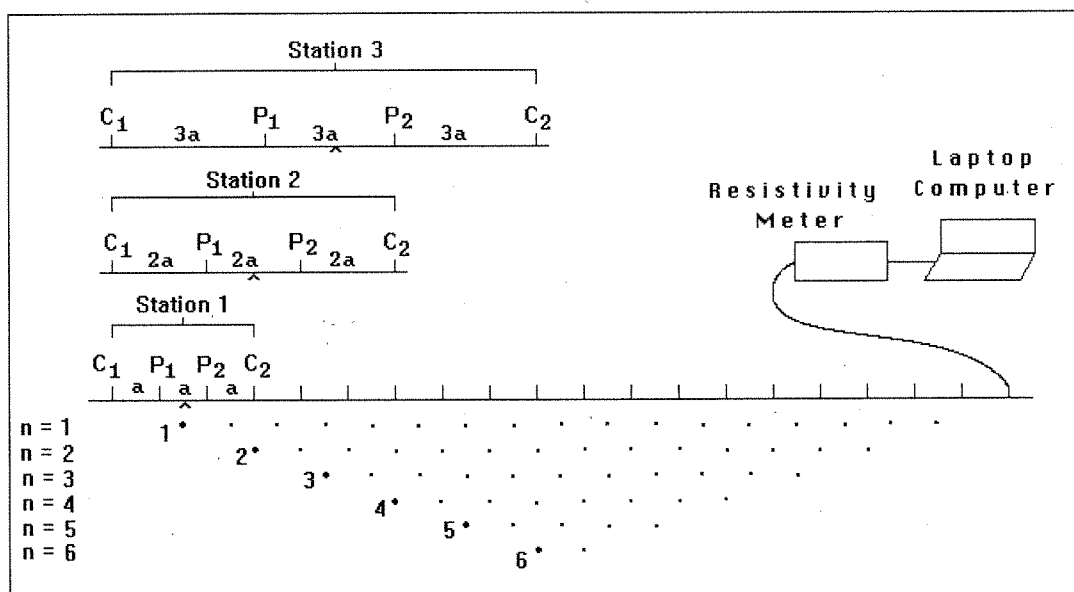
Figura 1: Lay-out strumentale

### 4.3. Parametri di acquisizione

Nelle indagini geoelettriche è possibile scegliere diversi tipi di configurazioni in base a criteri che considerano, ad esempio, il tipo di target da individuare, la profondità massima da raggiungere o la sensibilità delle misurazioni condotte. Le configurazioni si distinguono in base alla distribuzione geometrica della programmazione di attivazione delle coppie di elettrodi attivati per l'acquisizione.

La configurazione tipo Wenner prevede che l'interdistanza ( $a$ ) tra gli elettrodi esterni di corrente ( $C_1, C_2$ ) e quelli interni di potenziale ( $P_1, P_2$ ) sia uguale per ogni dato acquisito. L'aumento della penetrazione della corrente nel terreno si ottiene tramite allargamenti dell'interdistanza elettrodica per multipli unitari di  $a(2a; 3a; \dots 7a)$ .

Lo schema sotto riportato permette di comprendere la modalità con cui viene costruita una pseudozezione: ogni misura è localizzata sulla base di assunzioni esclusivamente geometriche.



**Figura 2:** modalità di acquisizione con configurazione Wenner per un sistema multielettrodico (nell'esempio 19 elettrodi, 6 livelli di misura, 57 punti di misura).

Questo tipo di arrangiamento è molto vantaggioso in quanto fornisce uno tra i più elevati rapporti segnale/rumore.

### 4.4. Approccio analitico

Al conseguimento dei dati bruti raccolti strumentalmente sul campo la prima operazione eseguita nel trattamento consiste nella rimozione di tutti gli eventuali valori da considerarsi anomali e/o rumorosi. In caso di rilievi eseguiti in morfologia non piana è necessario, in seguito alla ubicazione precisa degli elettrodi posizionati sul terreno, operare una correzione topografica ed un successivo aggiornamento dei valori di resistività apparente.

# Studio di Geologia Applicata e Ambientale

dott. geol. Lino Berti

L'elaborazione è effettuata in termini bidimensionali con inversione del modello utilizzando il software Res2Dinv v3.55 prodotto dalla Geotomo (Malesia).

Di seguito viene esposto il procedimento utilizzato comunemente per l'analisi:

- Il procedimento di calcolo prevede la suddivisione iniziale della sezione in una griglia di regolarizzazione (analoga a quella impiegata nelle computazioni ad elementi finiti). Ad ogni cella della griglia viene attribuito un valore di resistività o di polarizzazione indotta sulla base dei dati misurati.
- Il modello iniziale viene quindi sottoposto ad un processo di inversione che utilizza una routine conosciuta con il nome di *smoothness-constrained least-square method* (de Groot-Hedlin e Constable 1990, Sasaki 1992) implementata con una tecnica di ottimizzazione quasi-Newtoniana (Loke e Barker 1996a) che la velocizza notevolmente. Le elaborazioni bidimensionali considerano in blocco tutti i dati acquisiti ed ottimizzano un modello a celle di resistività. Questo modello è meno viziato dalla assunzione di una elettrostratigrafia piana valida per il monodimensionale e risulta, quindi, più adattabile alle complesse geometrie che si incontrano nella realtà.
- L'inversione ha termine al momento in cui si ottiene una buona coincidenza, in senso statistico (scarto quadratico medio), tra i dati sperimentali e quelli teorici (confronto tra pseudosezioni misurate e calcolate).
- Disponendo di una taratura (sondaggio meccanico o dati desunti da scavi) il modello geoelettrico del sottosuolo proposto al termine dell'analisi può essere ricondotto a quello geolitologico.

Vengono di seguito presentate le pseudosezioni misurate e calcolate: dal confronto grafico delle pseudosezioni di resistività (misurata e calcolata) si nota come la qualità dei dati acquisiti sia molto elevata e si segnala che analiticamente il processo di inversione ha raggiunto la convergenza mostrando bassi scarti quadratici.

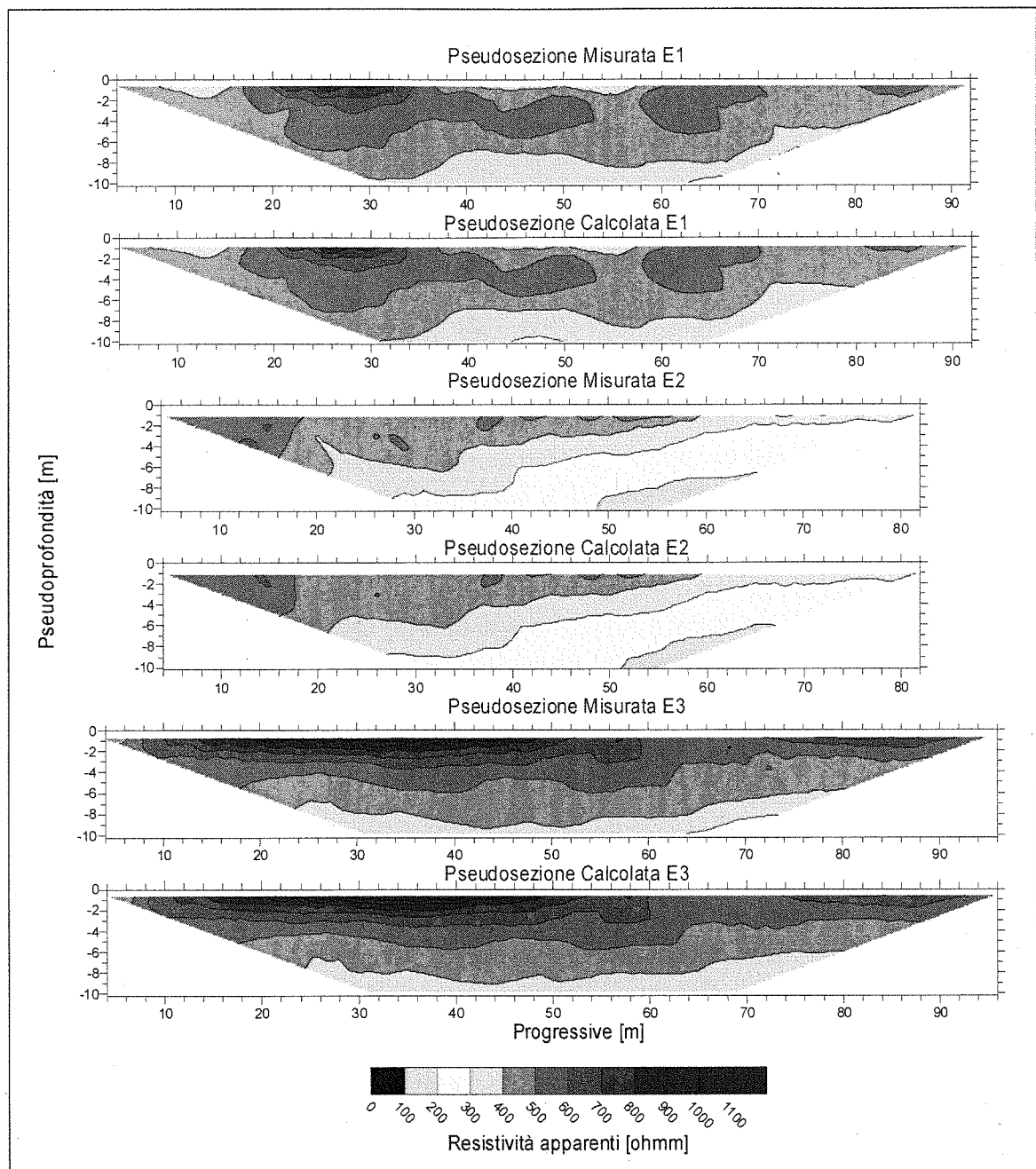
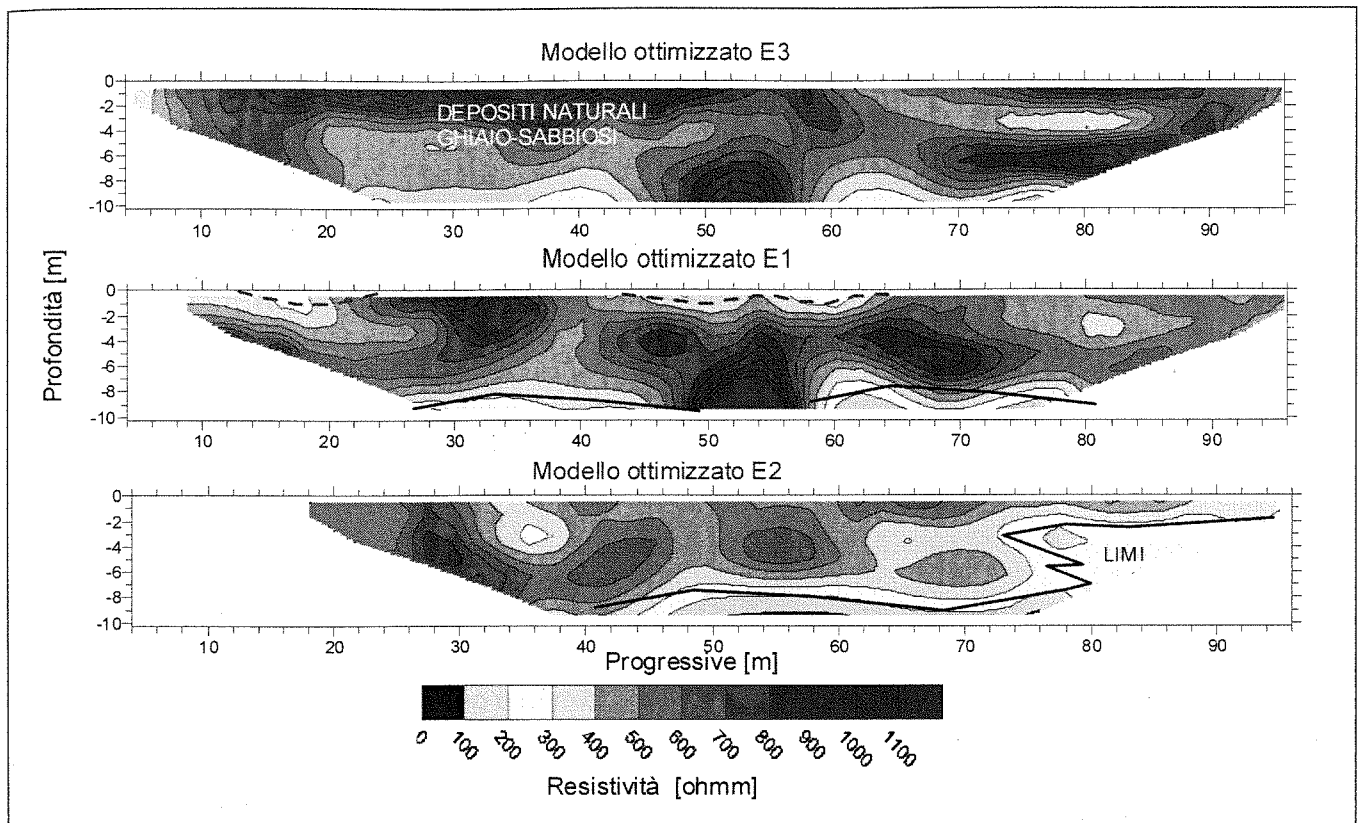


Figura 3: Pseudosezioni ottenute nell'area d'indagine.

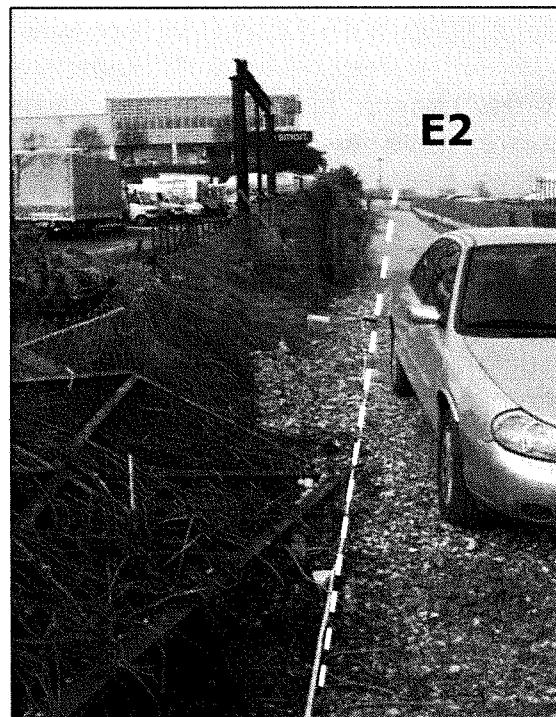
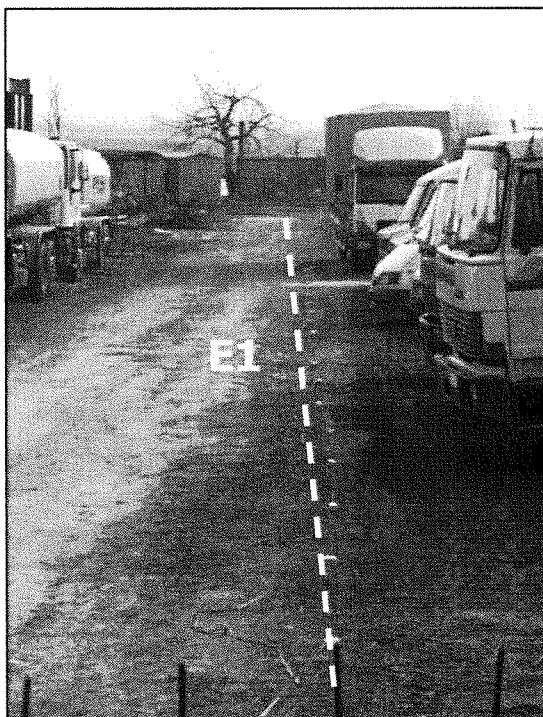
## 5. SINTESI DEI RISULTATI

I tre modelli ottimizzati ottenuti dal processo di inversione e mostrati qui di seguito partendo da quello di monte (E3) a quello di valle, presentano valori di resistività compresi tra 100 e 1200 ohm m con decisa prevalenza degli intervalli più resistivi.

**Studio di Geologia  
Applicata e Ambientale**  
*dott. geol. Lino Berti*



**Figura 4:** Inversioni ottenute dai tre profili di tomografia elettrica (E1, E2 e E3).



Immagini relative agli stendimenti geoelettrici nella parte a valle occupata da un deposito di attrezzatura e mezzi in disuso



**Figura 5:** Immagine relativa allo stendimento geoelettrico E3.

Tali caratteristiche ben si accordano con la natura dei sedimenti che costituiscono il conoide alluvionale (ghiaie con sabbie) e che solo nella porzione più distale si interdigitano con lenti a dominante limosa frutto della interferenza intermittente tra i regimi idraulici dell'Adige e del Rio Gola.

Esaminando le tre sezioni elettriche (E1, E2, E3) si nota una sostanziale concordanza nella struttura interna e ciò porta a ritenere che non vi siano stati lavori di scasso e successivo riporto per ottenere il piazzale del deposito macchine. Nei profili effettuati in corrispondenza di quest'area si possono osservare solo delle piccole differenze rispetto alla sezione di riferimento (E3) che riguardano la porzione più pellicolare dove si delineano delle piccole sacche di materiale leggermente più conduttivo. Esse sono interpretabili come gli effetti del materiale messo in opera per la loro compensazione e che probabilmente è di granulomeria più fine di quella dei terreni naturali del sito.

I dati di polarizzazione non mostrando significative anomalie di caricabilità sono stati volontariamente omessi; pertanto è da escludere la presenza di elementi metallici nel sottosuolo.

Ugualmente può dirsi per quanto attiene oggetti di plastica o concentrazione di idrocarburi che avrebbero dato origine ad anomalie di elevata resistività di gran lunga superiori al limite superiore della scala cromatica fissata a 1200 ohm m.

## 6. CONCLUSIONI

Nel mese di marzo 2006 è stata eseguita un'indagine geofisica mediante il metodo della TOMOGRAFIA ELETTRICA sul bordo destro (occidentale) della Valle dell'Adige, alla periferia meridionale del paese di Ravina (Trento sud) in un'area attualmente adibita a deposito di attrezzature meccaniche in disuso.

L'indagine geofisica è stata eseguita dalla G.G. Service di Cles alla presenza dello scrivente e per conto dell' AGENZIA PER LO SVILUPPO S.p.a.

**Studio di Geologia  
Applicata e Ambientale**  
*dott. geol. Lino Berti*

---

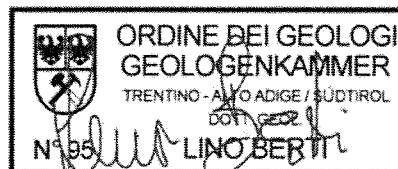
In base ai risultati ottenuti si può concludere che:

- L'indagine di tomografia elettrica eseguita nello spigolo nord est dell'ampliamento dell'area produttiva a Ravina di Trento ha permesso di ricostruire il modello geoelettrico del sottosuolo su tre sezioni due delle quali (E1 ed E2) impostate in un'area riservata al deposito di macchine e materiale in disuso e la terza (E3) effettuata per taratura su terreno naturale coltivato a vigneto di cui si ipotizza l'assenza di rimaneggiamento antropico;
- Gli esiti sia dei modelli di resistività che di caricabilità elettrica portano ad escludere la presenza nel sottosuolo di materiali non naturali derivanti da demolizioni o di contenitori siano essi metallici o di plastica;
- L'area deputata a parco macchine operatrici pare quindi sia stata solamente livellata mediante la stesa di uno strato superficiale di stabilizzato al fine di facilitare la movimentazione dei mezzi.

Denno, aprile 2006

**dott. geol. Lino Berti**

Ordine dei Geologi  
Trentino - Alto Adige  
iscrizione n°95



## **ALLEGATI**

- Ubicazione delle indagini all'interno dell'area di studio;
- estratto carta di sintesi geologica allegata al PUP (agg.. 2006);
- foto dell'area interessata dall'indagine mediante TOMOGRAFIA ELETTRICA;

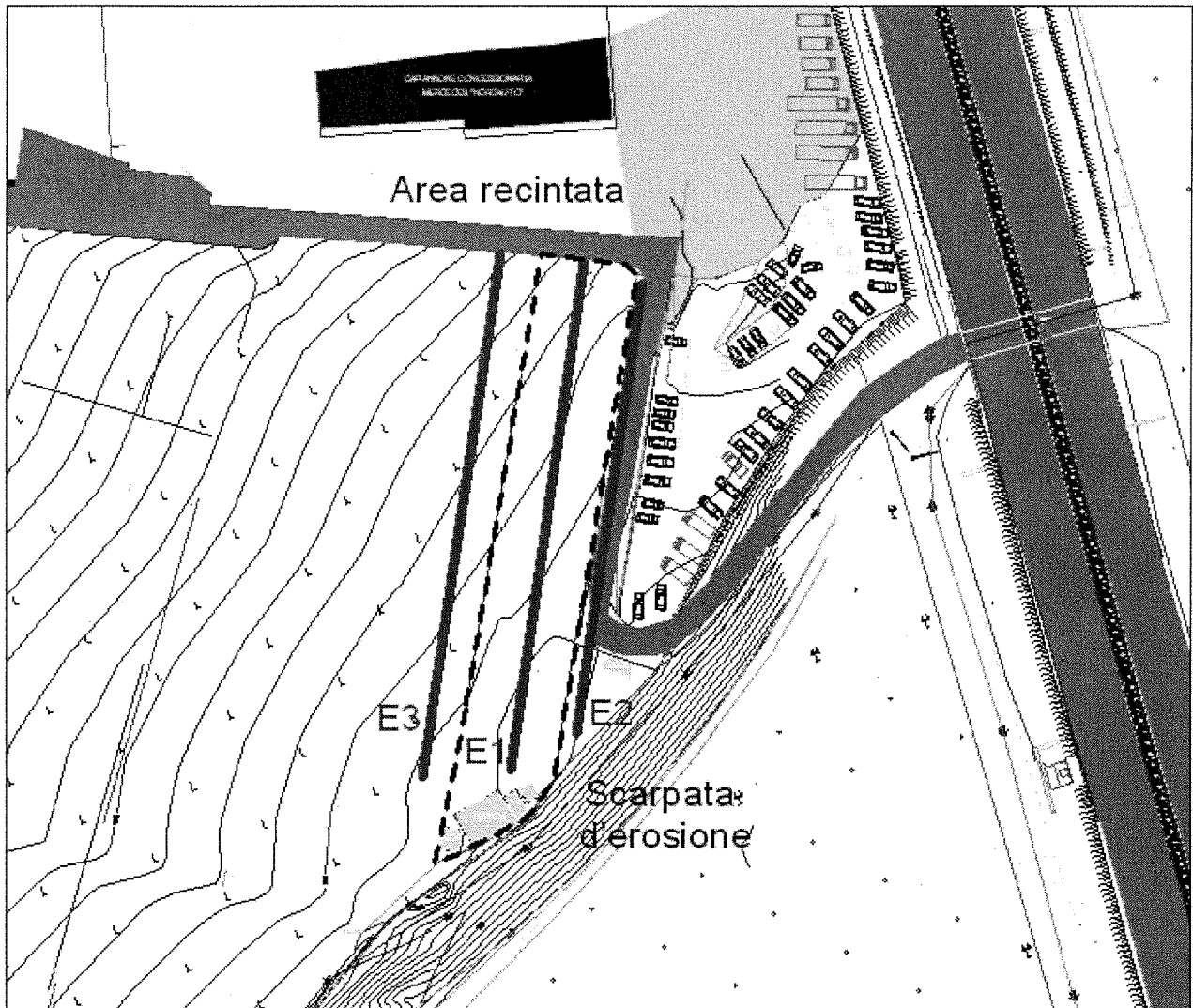
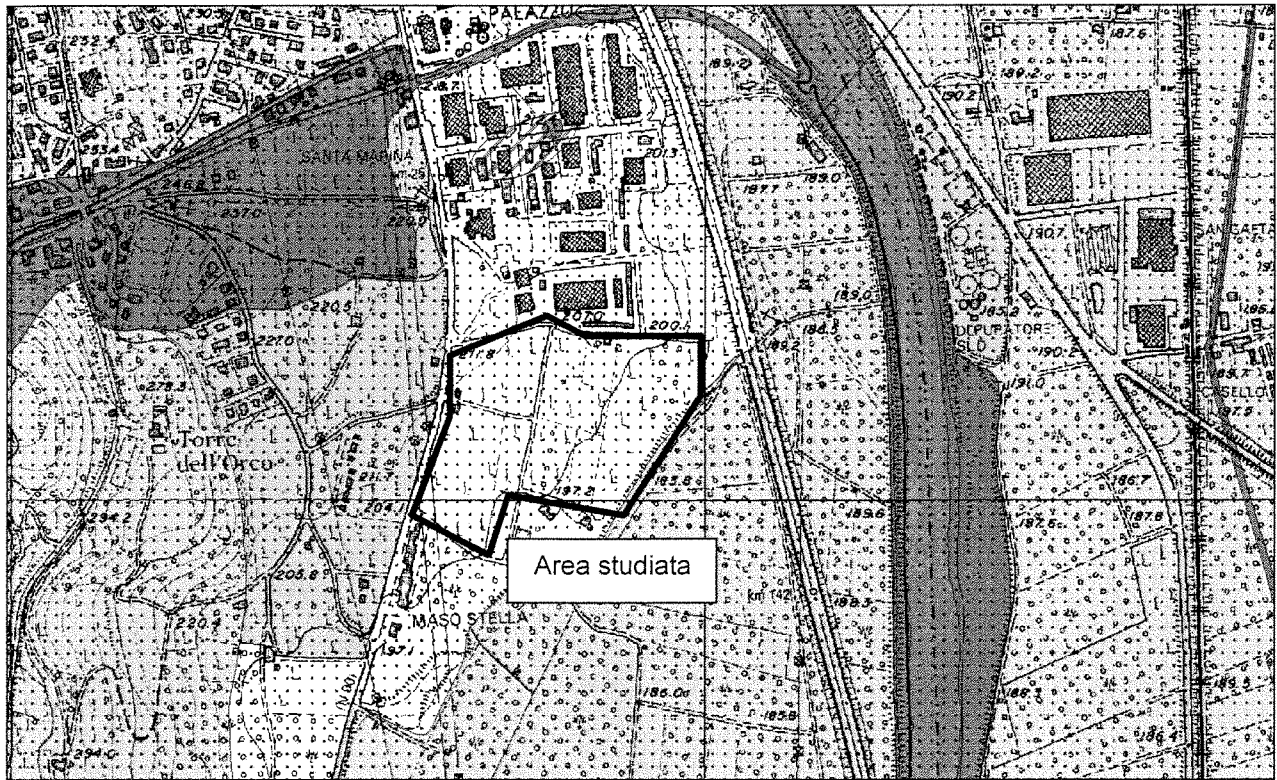


Figura 5: Ubicazione delle indagini (profili E1, E2 e E3) all'interno dell'area di studio.

**Studio di Geologia  
Applicata e Ambientale**  
dott. geol. Lino Berti



Estratto carta di sintesi geologica allegata al PUP (agg. 2006)

**LEGENDA**

**AREE AD ELEVATA PERICOLOSITA' GEOLOGICA, IDROLOGICA E VALANGHIVA -  
TUTELA ASSOLUTA DI POZZI E SORGENTI**

- Aree ad elevata pericolosità geologica e idrologica
- Aree di tutela assoluta di pozzi e sorgenti
- Aree individuate dal P.G.U.A.P. con aree a rischio molto elevato (R4) soggette a ulteriori vincoli
- Aree ad elevata pericolosità valanghiva

**AREE DI CONTROLLO GEOLOGICO, IDROLOGICO, VALANGHIVO E SISMICO**

- Aree critiche recuperabili
- Aree con penalità gravi o medie
- Aree con penalità leggere
- Aree soggette a fenomeni di esondazione
- Aree di rispetto idrogeologico
- Aree di protezione idrogeologica
- Aree a controllo sismico:
  - a bassa sismicità (zona sismica 3)
  - a sismicità trascurabile (zona sismica 4)

**AREE SENZA PENALITA' GEOLOGICHE**

- Aree senza penalità
- Fiumi e Laghi
- Ghiacciai



Foto 1: Vista da S dell'area attualmente adibita a deposito di attrezzature meccaniche in disuso.



Foto 2: Ubicazione del profilo E1 (particolare foto 1).