
L'Ordine degli Ingegneri di Cuneo
In collaborazione con Engineering Controls Srl e DRC Srl
Organizza il Convegno

*Vulnerabilità sismica degli edifici esistenti:
Procedure di gestione e tecniche di indagine non invasive*

Cuneo, 25 Settembre 2015



Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Con la collaborazione di:



Con il patrocinio di:





***Vulnerabilità sismica degli edifici esistenti:
Procedure di gestione e tecniche di indagine non invasive***

Cuneo, 25 Settembre 2015

Tecniche di indagine non invasive per la verifica di fondazioni e terreni

Geol. Simone Sartini - Geol. Alessandro Bianchi
So.Ge.T. Lucca

Con la collaborazione di:



Con il patrocinio di:





Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



GEOFISICA o FISICA TERRESTRE:

scienza che studia, a grande scala, le proprietà fisiche del globo terrestre e le loro variazioni, rilevabili in superficie, nello spazio e nel tempo.



Proprietà fisiche:

- Densità

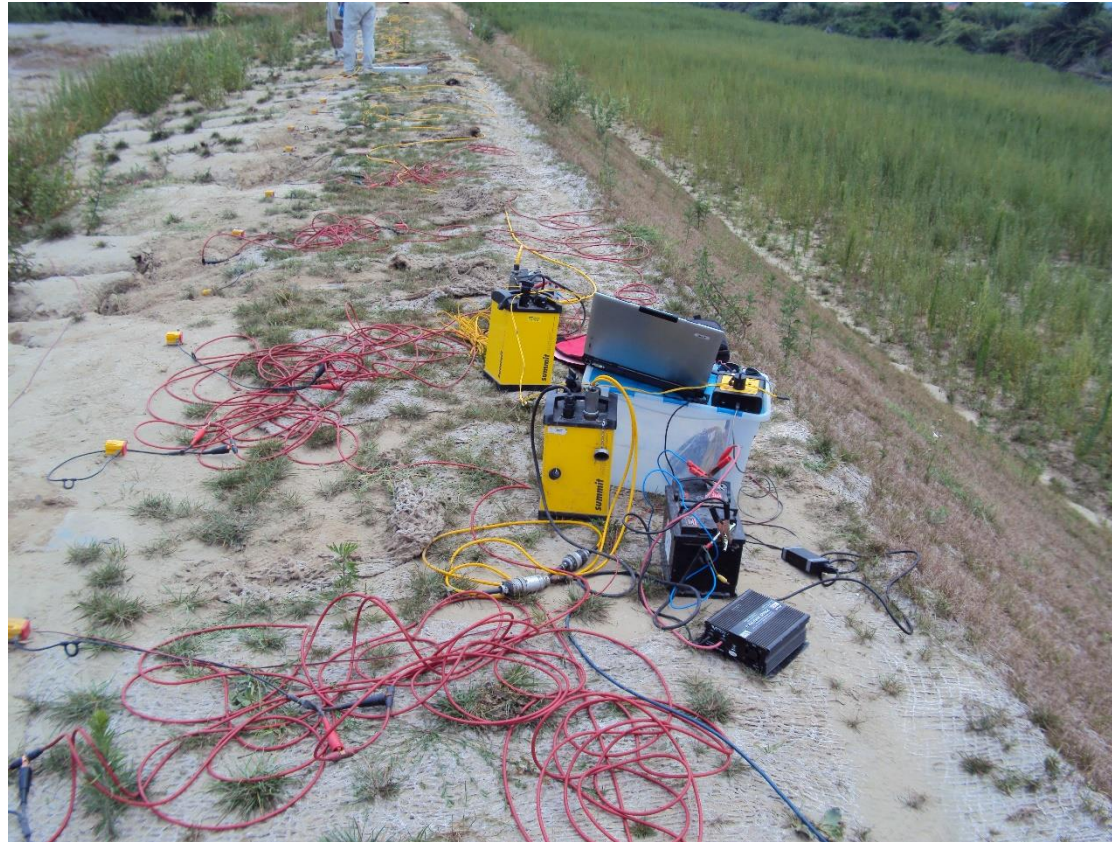


Metodi :

- Gravimetro

Proprietà fisiche:

- Elasticità



Metodi :

- Sismica

Proprietà fisiche:

- Suscettività magnetica



Metodi :

- Magnetometro

Proprietà fisiche:

- Conducibilità elettrica



Metodi :

- Geoelettrica

Proprietà fisiche:

- Costante dielettrica



Metodi :

- Georadar



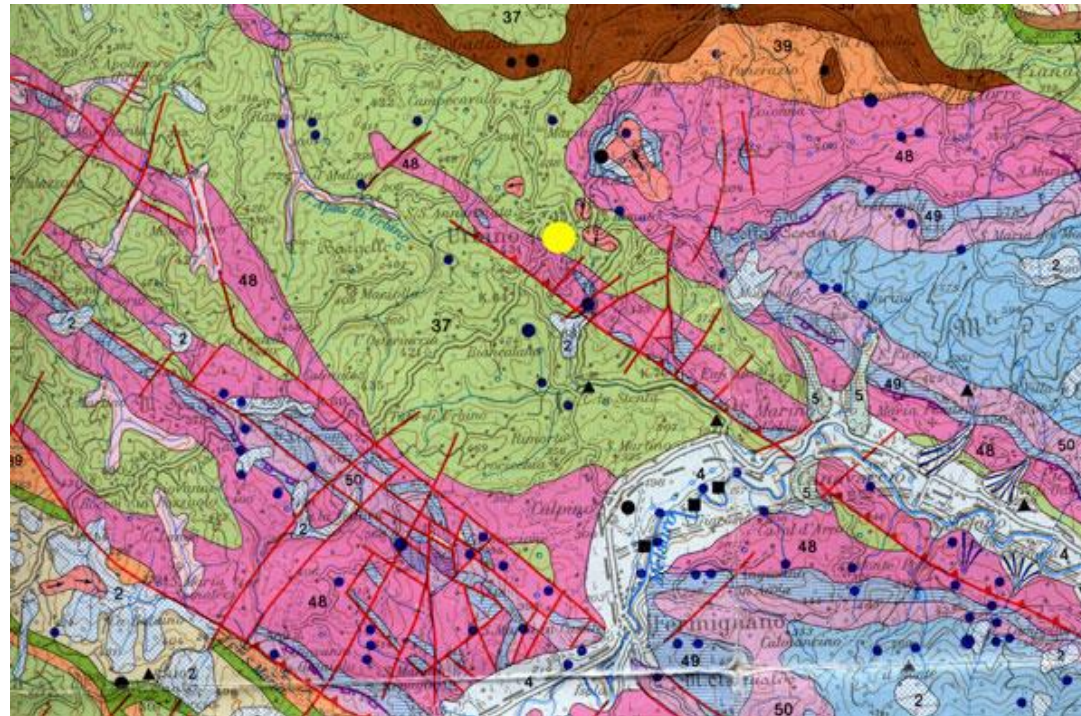
Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



GEOFISICA APPLICATA

Utilizza i metodi geofisici per la risoluzione di problemi quotidiani e su piccola scala:

- Geologia



GEOFISICA APPLICATA

Utilizza i metodi geofisici per la risoluzione di problemi quotidiani e su piccola scala:

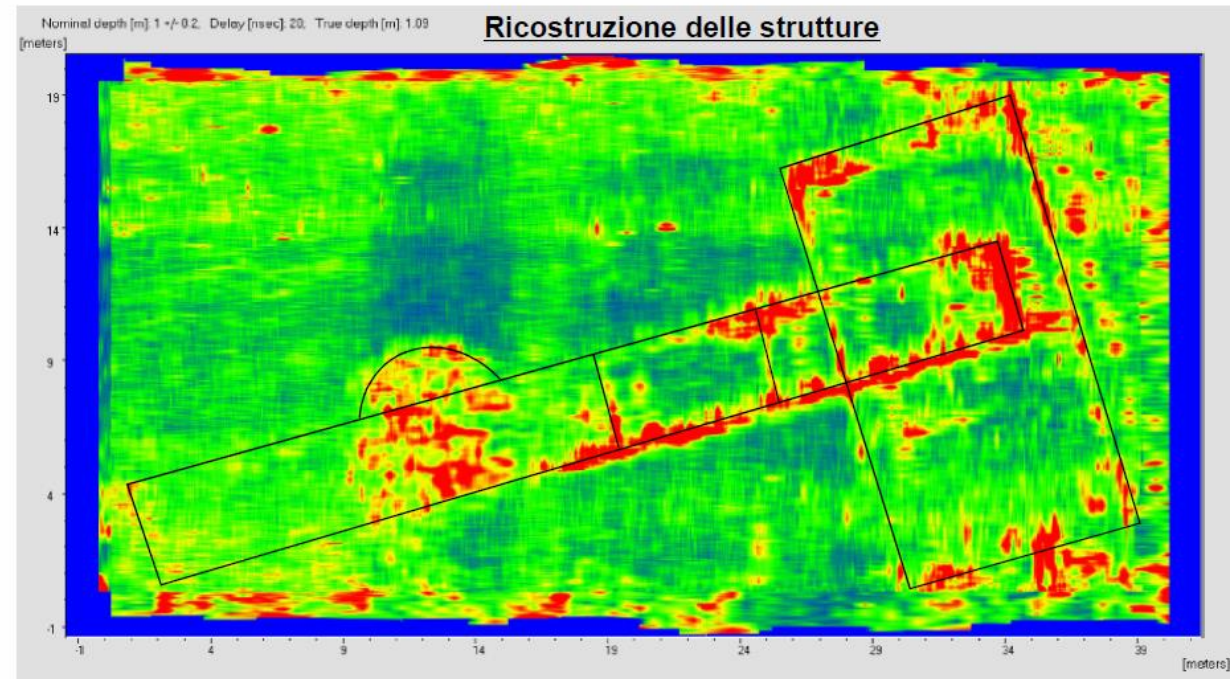
- Geotecnica



GEOFISICA APPLICATA

Utilizza i metodi geofisici per la risoluzione di problemi quotidiani e su piccola scala:

- Archeologia





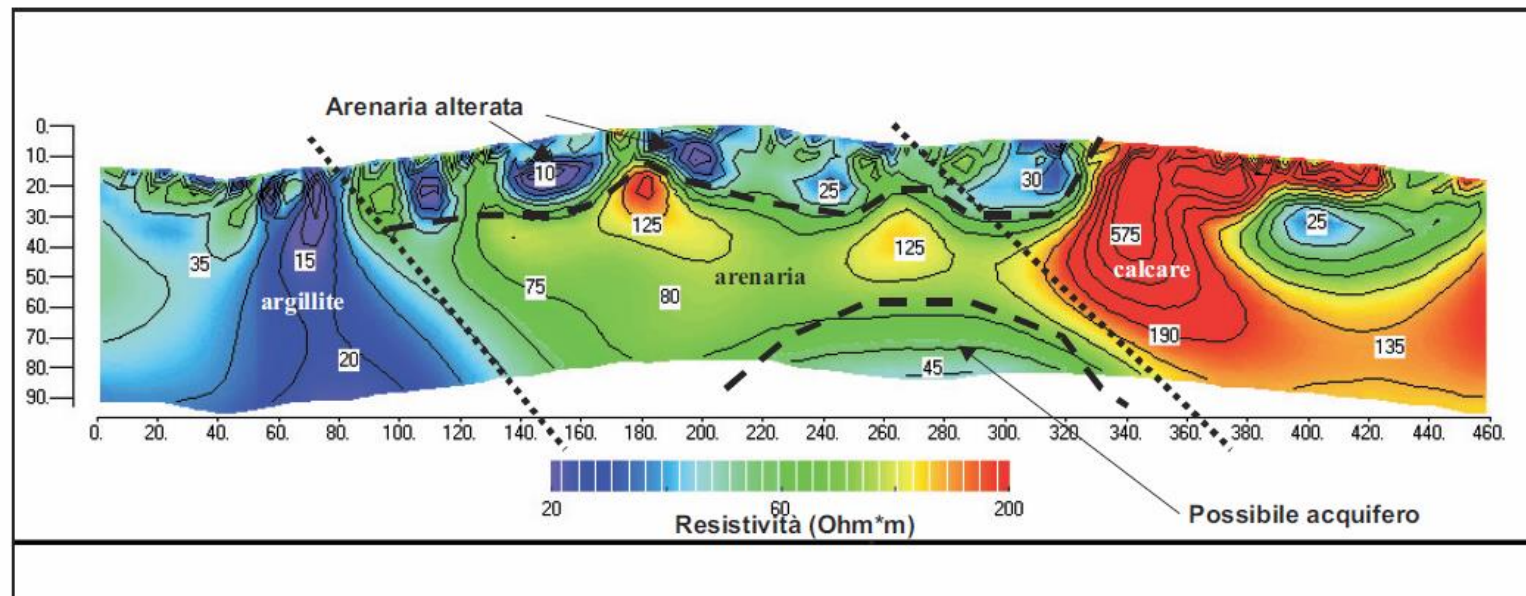
Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



GEOFISICA APPLICATA

Utilizza i metodi geofisici per la risoluzione di problemi quotidiani e su piccola scala:

- Idrogeologia



GEOFISICA APPLICATA

Utilizza i metodi geofisici per la risoluzione di problemi quotidiani e su piccola scala:

- Ingegneria



GEOFISICA APPLICATA

Utilizza i metodi geofisici per la risoluzione di problemi quotidiani e su piccola scala:

- Ambientale





Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Ai sensi della nuova normativa antisismica nazionale (D.M. 14 Gennaio 2008 Norme Tecniche per le costruzioni) si deve procedere a determinare il parametro Vs30, che esprime la velocità media delle onde elastiche di taglio (onde S appunto) nei primi 30 metri di profondità al disotto del piano di fondazione. In particolare, per Vs30, si intende la media pesata della velocità delle onde S determinata come di seguito:

$$V_{s30} = 30 \frac{1}{\sum_{i=1}^N h_i V_i}$$

Una volta noto il valore della Vs30 è possibile collocare il terreno interessato dall'intervento all'interno di una delle categorie di suolo previste dalla legge in oggetto e riportate di seguito.

	Vs30	Nspt - Cu
Suolo di fondazione		
A Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	> 800 m/s	
B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).	> 360 m/s < 800 m/s	Nspt > 50 Cu > 250 kPa
C Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).	> 180 m/s < 360 m/s	15 < Nspt < 50 70 < Cu < 250 kPa
D Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).	< 180 m/s	Nspt < 15 Cu < 70 kPa
E Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).		
S1 Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs,30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu,30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	< 100 m/s	
S2 Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.		



Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Per la verifica di fondazioni e terreni di fondazione di edifici esistenti le metodologie più usate sono:

- Prove di tipo sismico: Tomografia sismica a rifrazione

Prova MASW

Prova Re.Mi

Prova Down Hole

Anche Caratterizzazione
delle fondazioni

[Prova Cross Hole

Misura dei microtremori (metodo HVSR)

Caratterizzazione
terreno di fondazione

- Metodi geoelettrici: Tomografia geoelettrica 3D (ERT3D)

Tomografia geoelettrica 2D (ERT2D)

Cross Hole geoelettrico

Caratterizzazione delle
fondazioni e del
terreno di fondazione

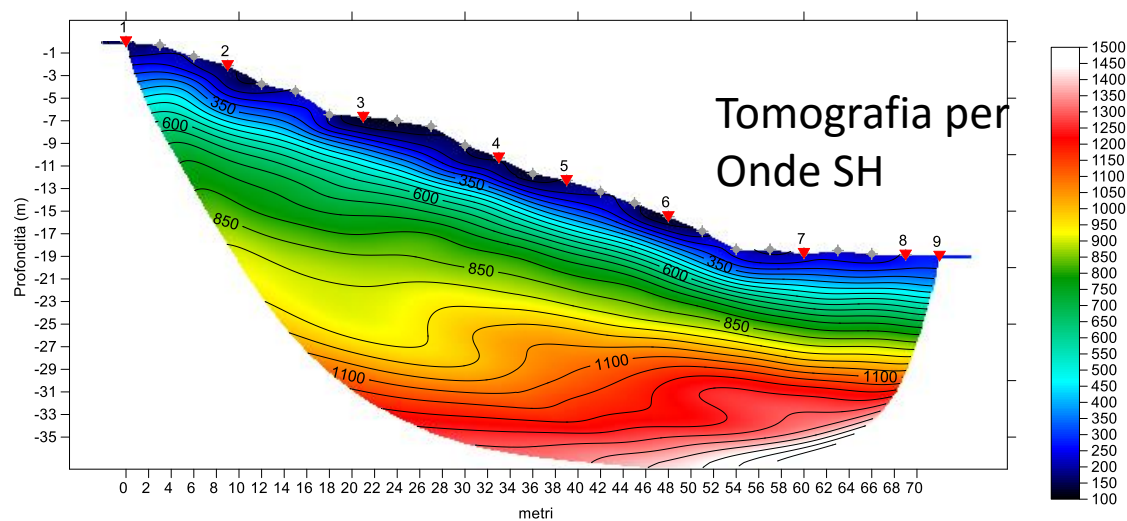
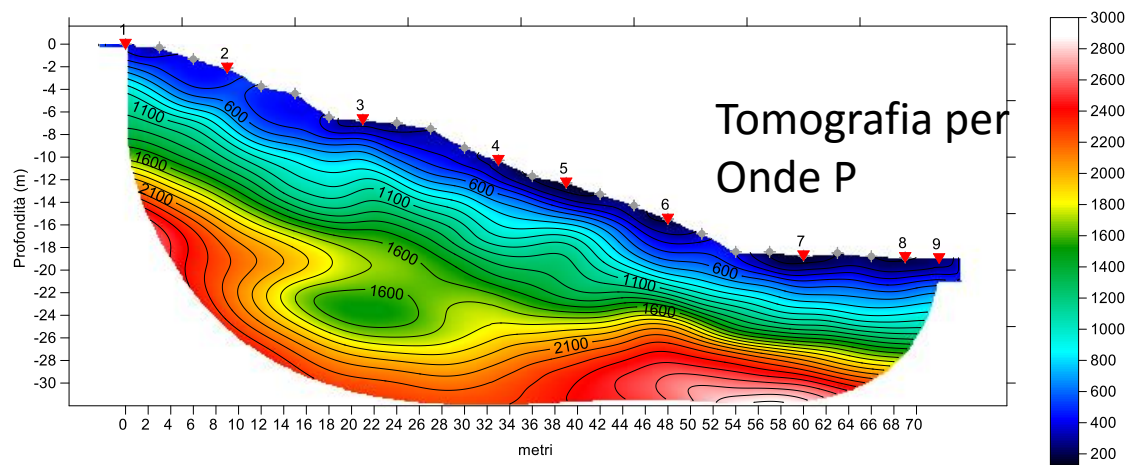
- Georadar



Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Tomografia sismica a rifrazione

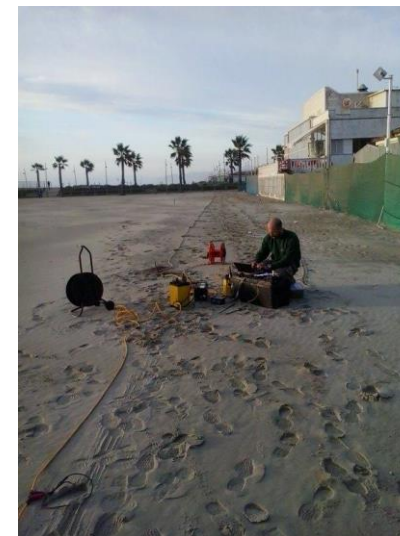


Applicazioni:

- Ricostruzione sismo-stratigrafica del sottosuolo (individuazione del bedrock sismico)
- Determinazione dei moduli elastici dinamici
- Determinazione del parametro Vs30

Limiti:

- Non evidenzia inversioni di velocità

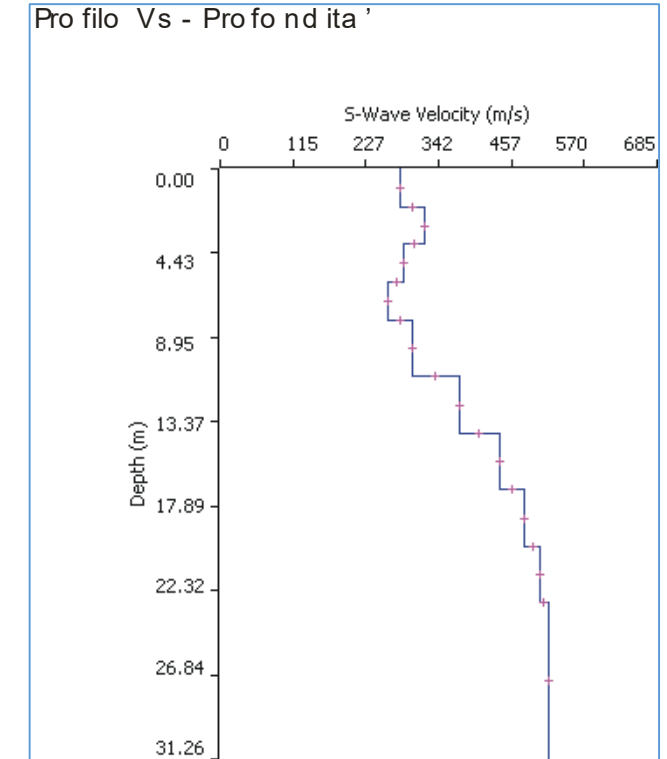
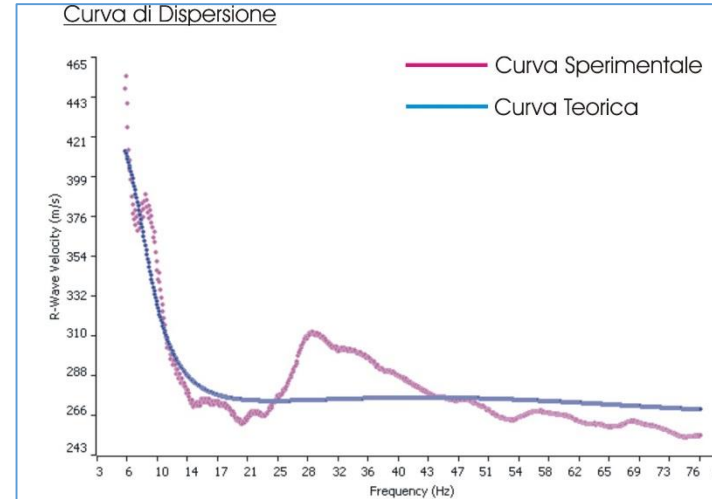
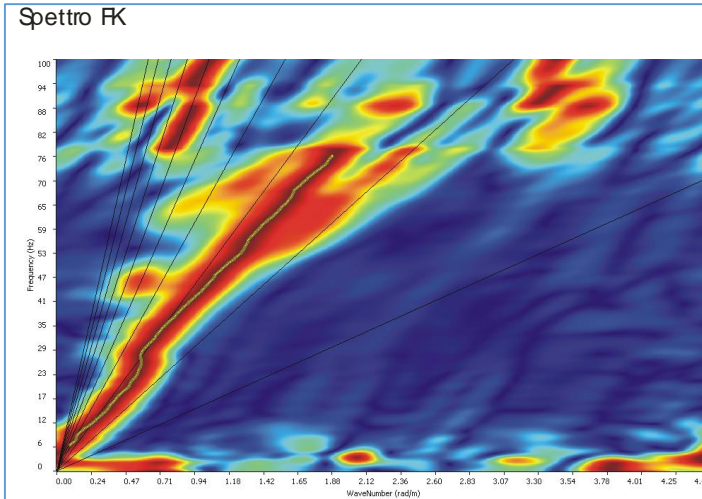




Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Prova MASW (Multi-channel analysis of surface waves)



Applicazioni:

- Ricostruzione sismo-stratigrafica del sottosuolo (individuazione del bedrock sismico)
- Determinazione del parametro Vs30

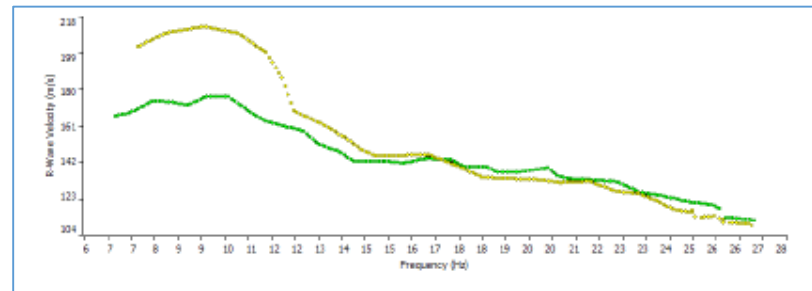
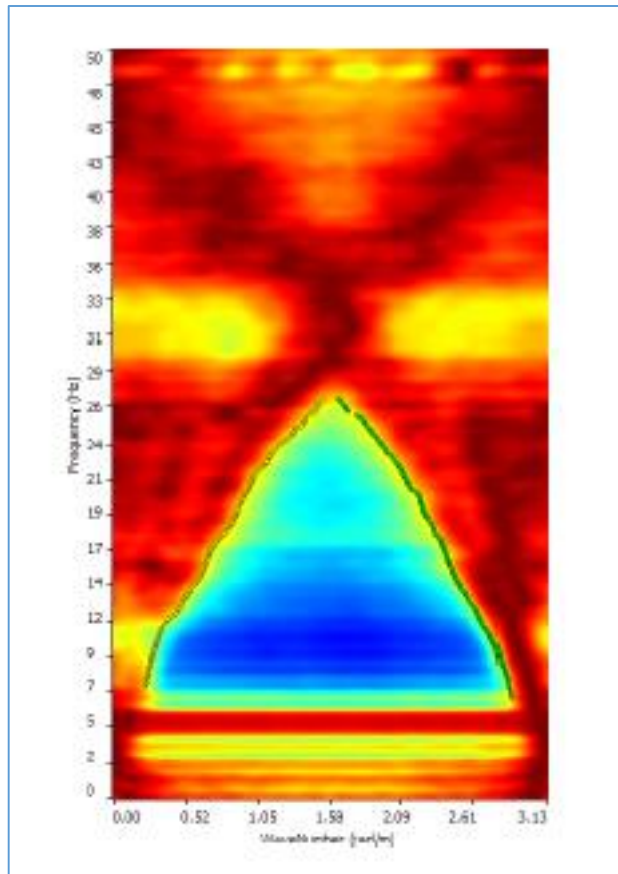
Limiti:

- Affetta da una forte soggettività interpretativa, più di altri metodi necessita di una taratura per una corretta interpretazione



Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo

Prova Re.Mi (Refractor Microtremor)

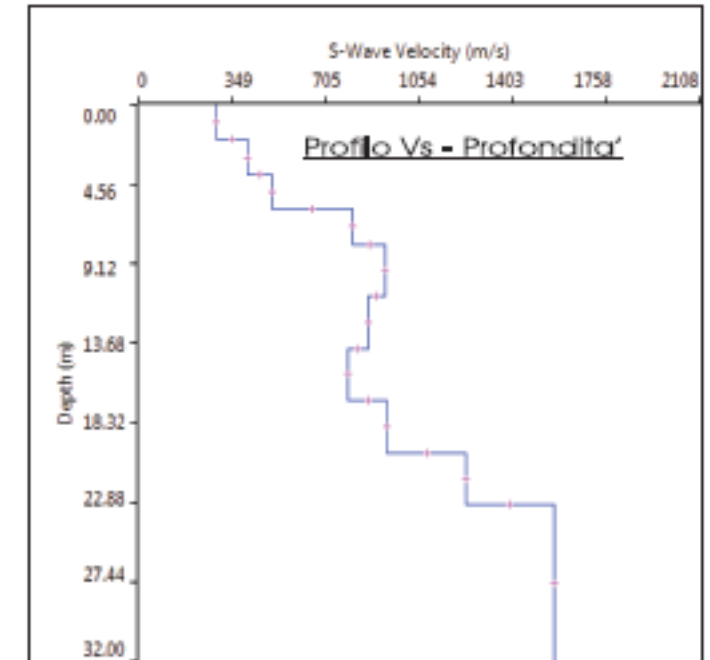


Applicazioni:

- Ricostruzione sismo-stratigrafica del sottosuolo (individuazione del bedrock sismico)
- Determinazione del parametro Vs30

Limiti:

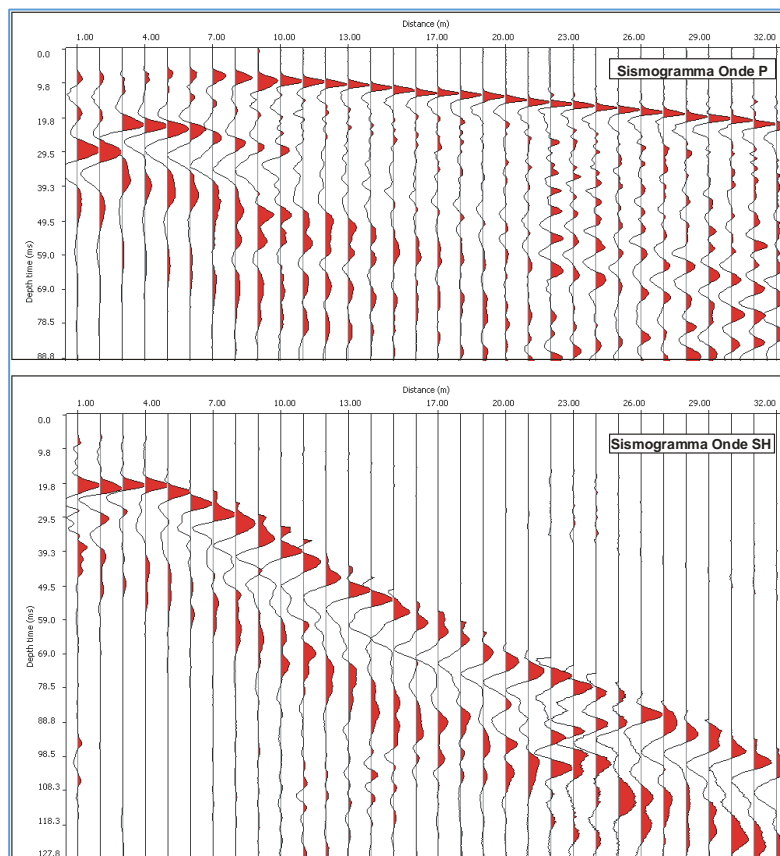
- Come la prova M.A.S.W è affetta da una forte soggettività interpretativa, più di altri metodi necessita di una taratura per una corretta interpretazione





Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo

Prova Down Hole



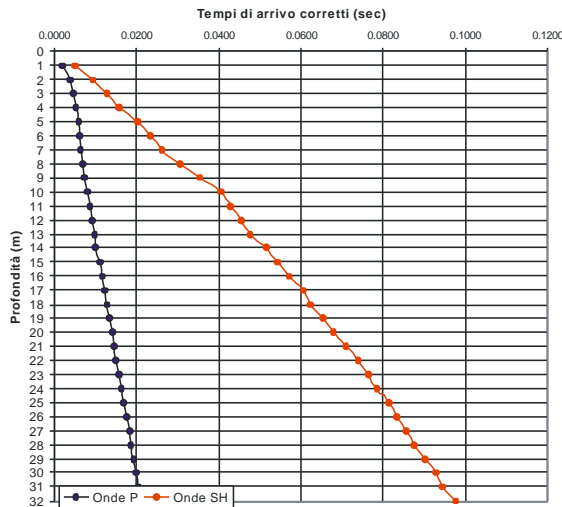


Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo

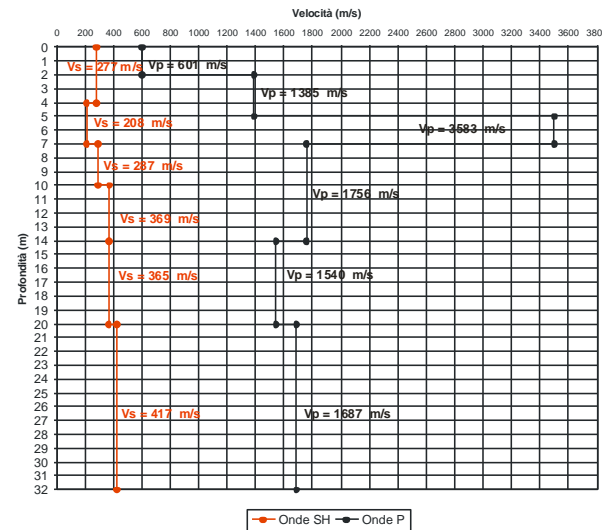
Prova Down Hole



Dromocrone



Velocità degli strati



Applicazioni:

- Ricostruzione sismo-stratigrafica del sottosuolo (individuazione del bedrock sismico)
- Determinazione del parametro Vs30

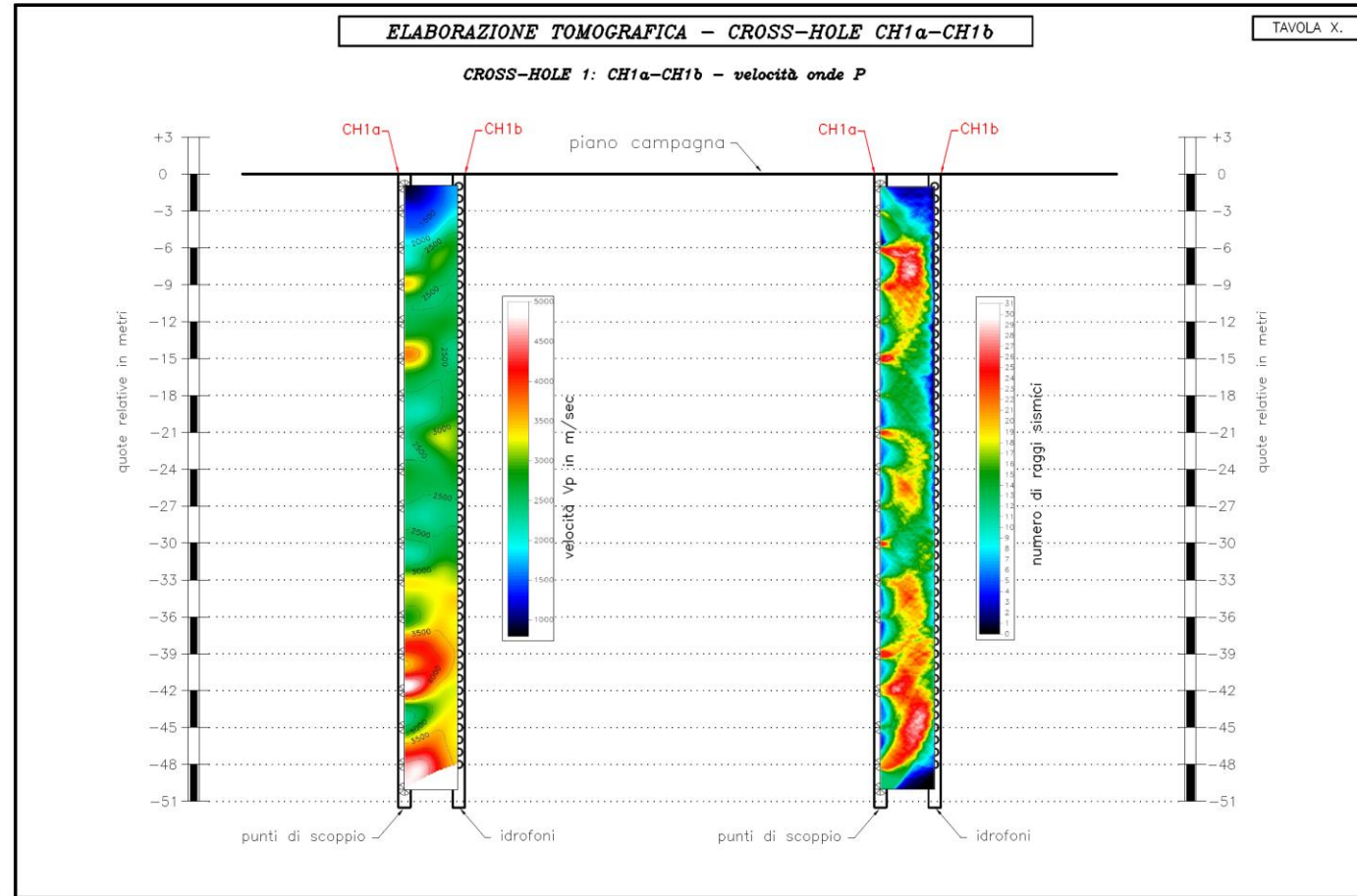
Limiti:

- Nessuno in particolare, se non il costo



Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo

Prova Cross Hole





Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Misura dei Microtremori (Metodo HVSR)

Le misure in oggetto mirano alla registrazione del cosiddetto “rumore sismico” (o “microtremore”). Il rumore sismico è presente ovunque sulla superficie della terra ed è generato dai fenomeni ambientali naturali (moti ondosi oceanici, vento) e dall’attività antropica.

Il metodo H/V o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) mira all’individuazione di possibili fenomeni di risonanza sismica e delle relative frequenze.

La frequenza di risonanza fornisce indicazioni sul rapporto fra la velocità delle onde S dello strato al tetto del bedrock sismico e la profondità di quest’ultimo:

$$f_0 = V_s / 4H$$

dove:

f_0 = frequenza di risonanza

V_s = velocità delle onde S della copertura

H = spessore della copertura ovvero profondità bedrock



Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Misura dei Microtremori (Metodo HVSR)

In Tab.1 (tratta da Albarello D. & Castellaro S. (2011) – Tecniche sismiche passive indagini a stazione singola. Supplemento alla rivista Ingegneria sismica Anno XXVIII, n. 2-2011) è riportata una correlazione fra il valore della frequenza di risonanza misurata e lo spessore delle coperture.

Tab. 1 - Abaco per la stima dello spessore delle coperture (h) a partire dai valori delle frequenze di risonanza (f_0) determinate dalle misure H/V.

F_0 (Hz)	h (m)
<1	>100
1 -2	50-100
2 -3	30-50
3 -5	20-30
5 -8	10-20
8 -20	5-10
>20	<5

Sulla base di questa tabella è possibile ottenere una indicazione di larga massima sulla profondità dello strato risonante.



Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo

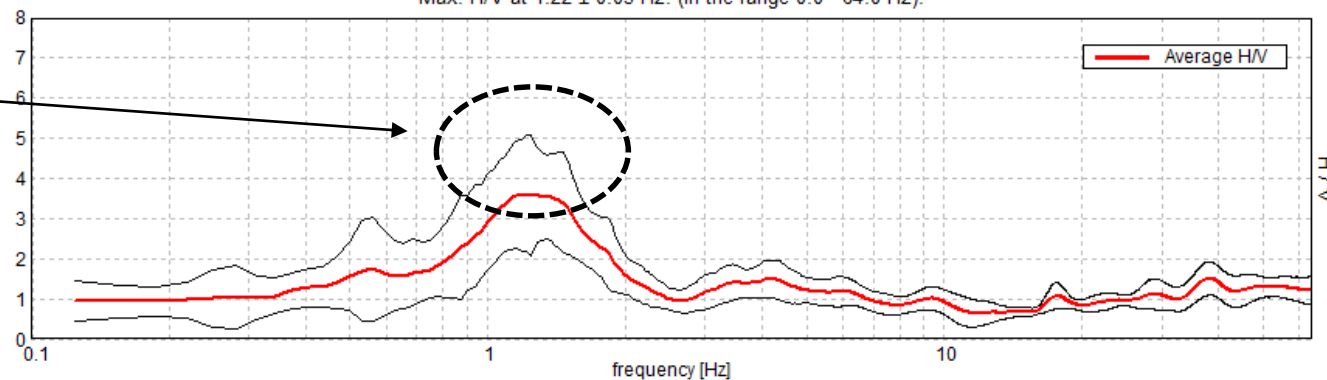


Misura dei Microtremori (Metodo HVSR)

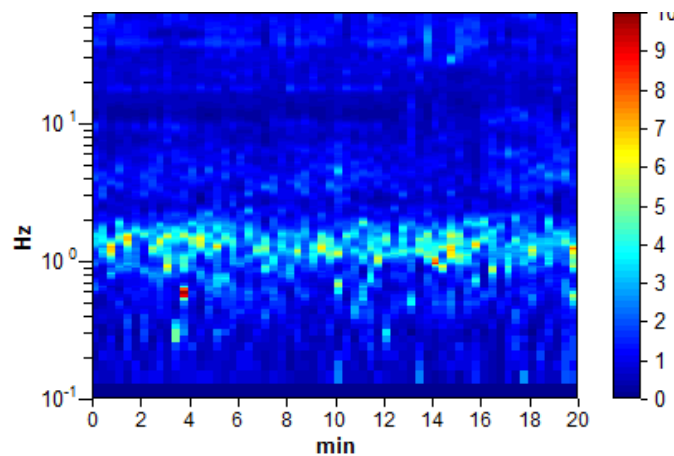
Picco di
frequenza

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

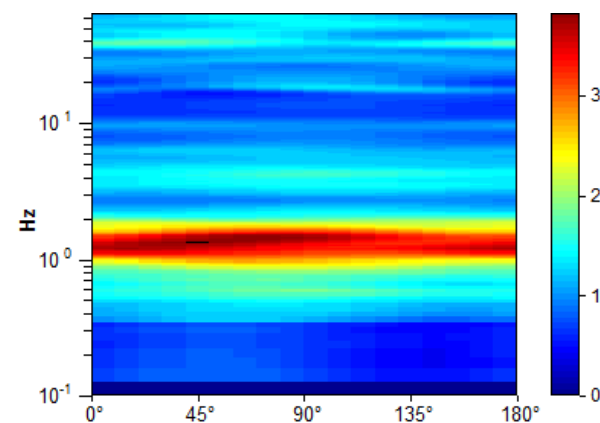
Max. H/V at 1.22 ± 0.05 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

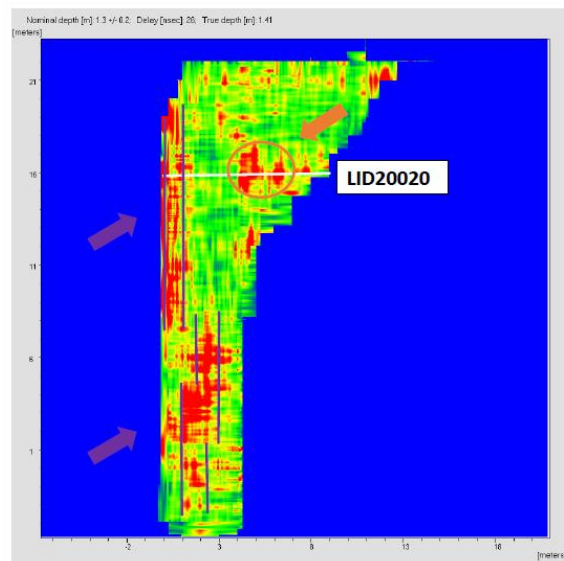




Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo

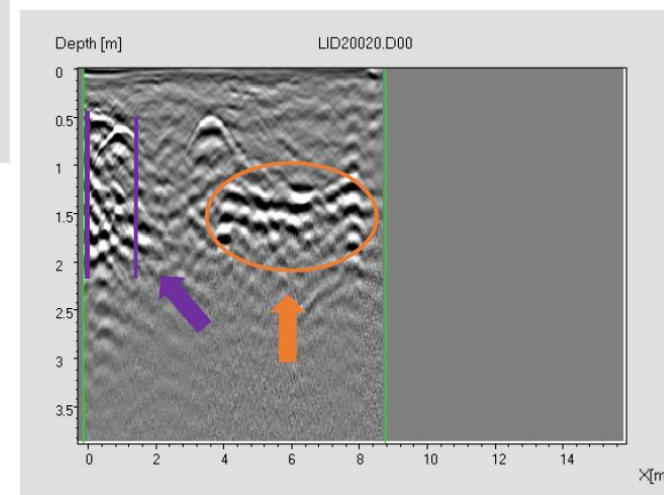


Misura della costante dielettrica (Metodo GEORADAR)



Time slice -1.40 m dal p.c.

Sezione LID20020





Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo

Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D)



Le indagini geoelettriche 3D rappresentano una evoluzione delle indagini geoelettriche multielettrodo tradizionali e prevedono l'utilizzo, quali elettrodi di corrente e di potenziale, di un numero variabile (di norma maggiore rispetto alle indagini 2D) di elettrodi variamente disposti nello spazio. Per “variamente disposti” si intende la possibilità di distribuire tali elettrodi anche in maniera non geometrica (ovvero anche non secondo maglie regolari) purché le coordinate di ciascun elettrodo possano essere riferite ad un punto zero comune.

Le indagini geoelettriche 3D, richiedendo l'acquisizione di un gran numero di misure di resistività apparente (di norma alcune migliaia), sono state rese realizzabili dal progresso strumentale (i moderni georesistivimetri multicanale sono molto veloci) e software (adesso, sul mercato, si trovano software molto potenti dedicati al trattamento dei dati 3D).

L'acquisizione delle misure di resistività apparente può avvenire con una qualsiasi geometria del quadripolo d'indagine (Polo Dipolo, Dipolo Dipolo ecc) valendo, anche per una indagine 3D, le regole di base dell'indagine geoelettrica, ovvero:

- la profondità di indagine è direttamente proporzionale alla distanza fra gli elettrodi;
- la risoluzione è inversamente proporzionale alla distanza fra gli elettrodi.

Detto ciò è evidente come ogni indagine geoelettrica (2D o 3D) deve rappresentare necessariamente il miglior compromesso fra profondità di indagine e risoluzione.



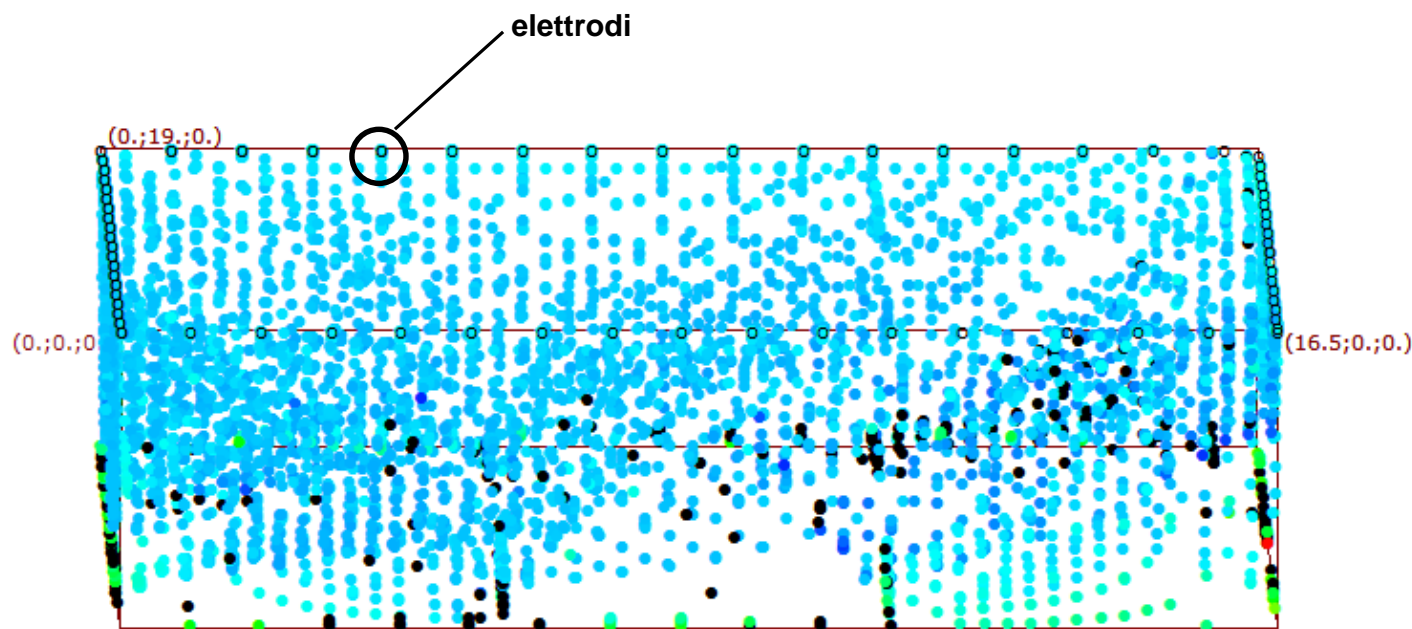
Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D)

Acquisizione delle misure

Una indagine 3D comporta l'acquisizione di un "volume" di misure di resistività apparente. Questa figura, e le seguenti, mostrano gli elettrodi disposti a quadrato e le misure di resistività apparente rappresentate da pallini la cui colorazione (da nero a celeste) esprime il range di variazione dei valori.

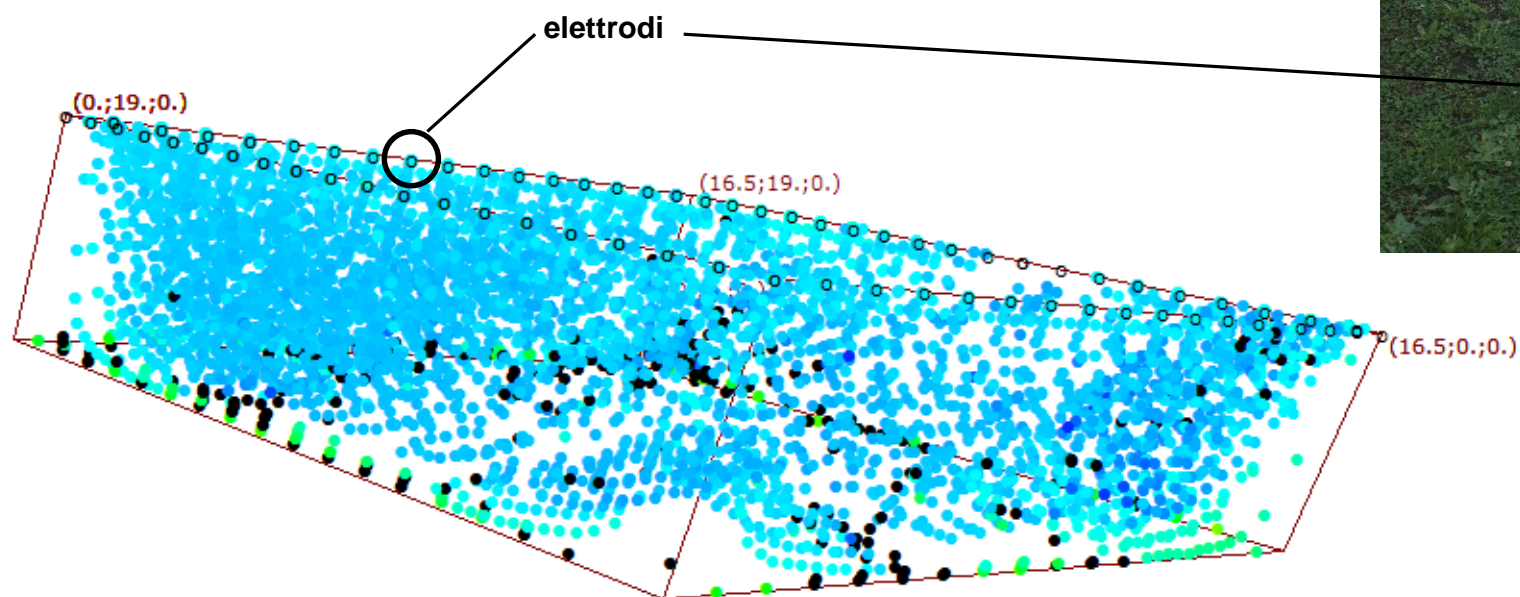




Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D)

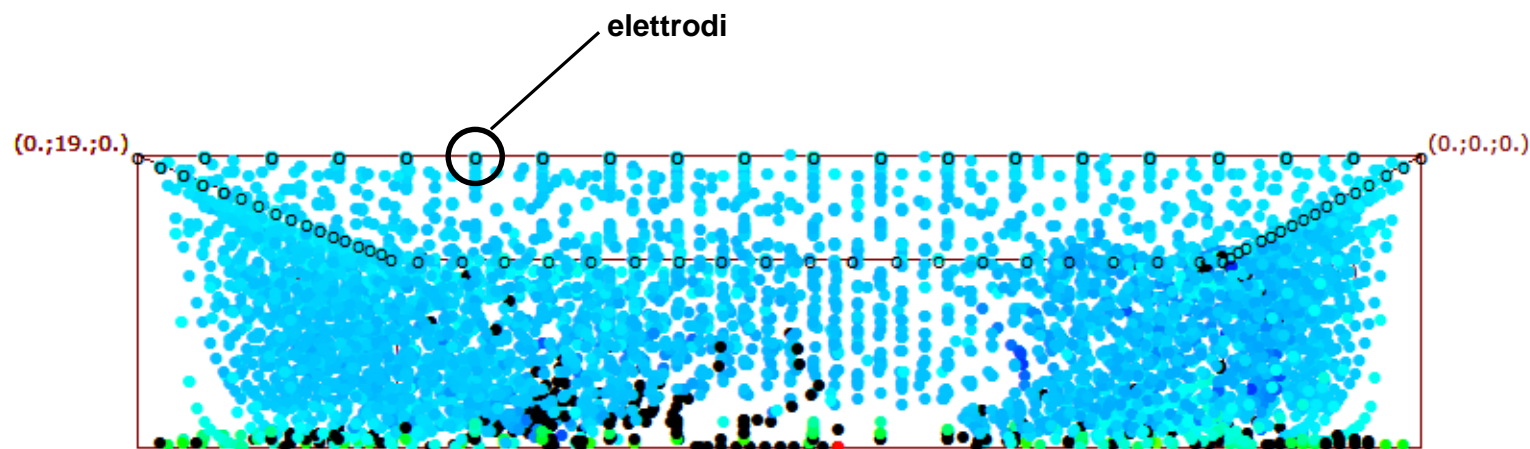




Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D)

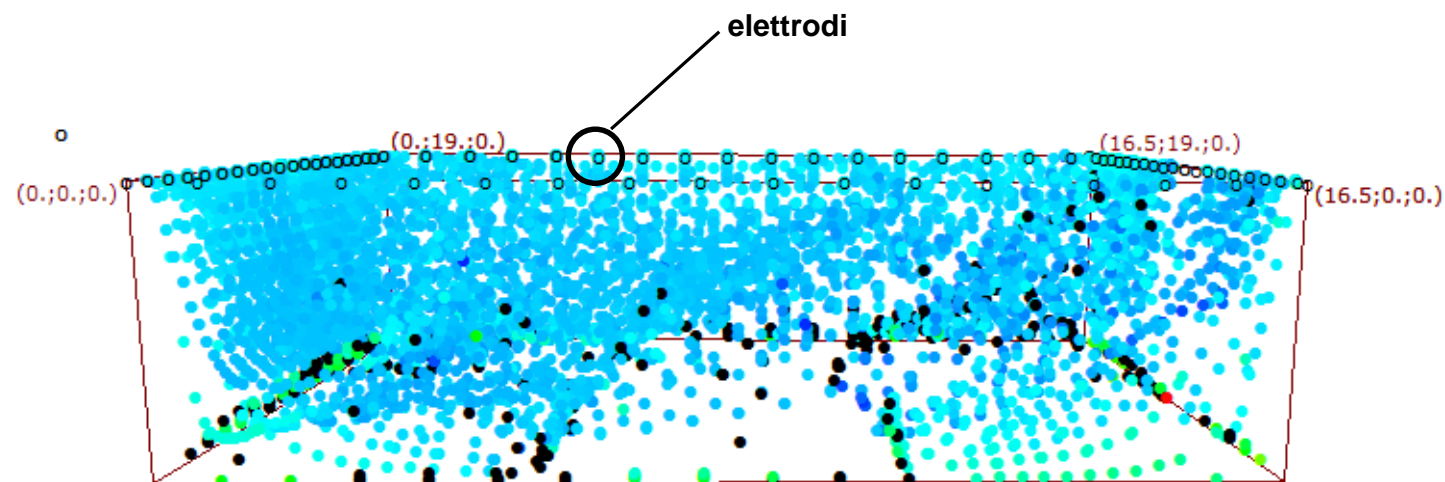




Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D)





Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo

Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D)

Esempio n.1

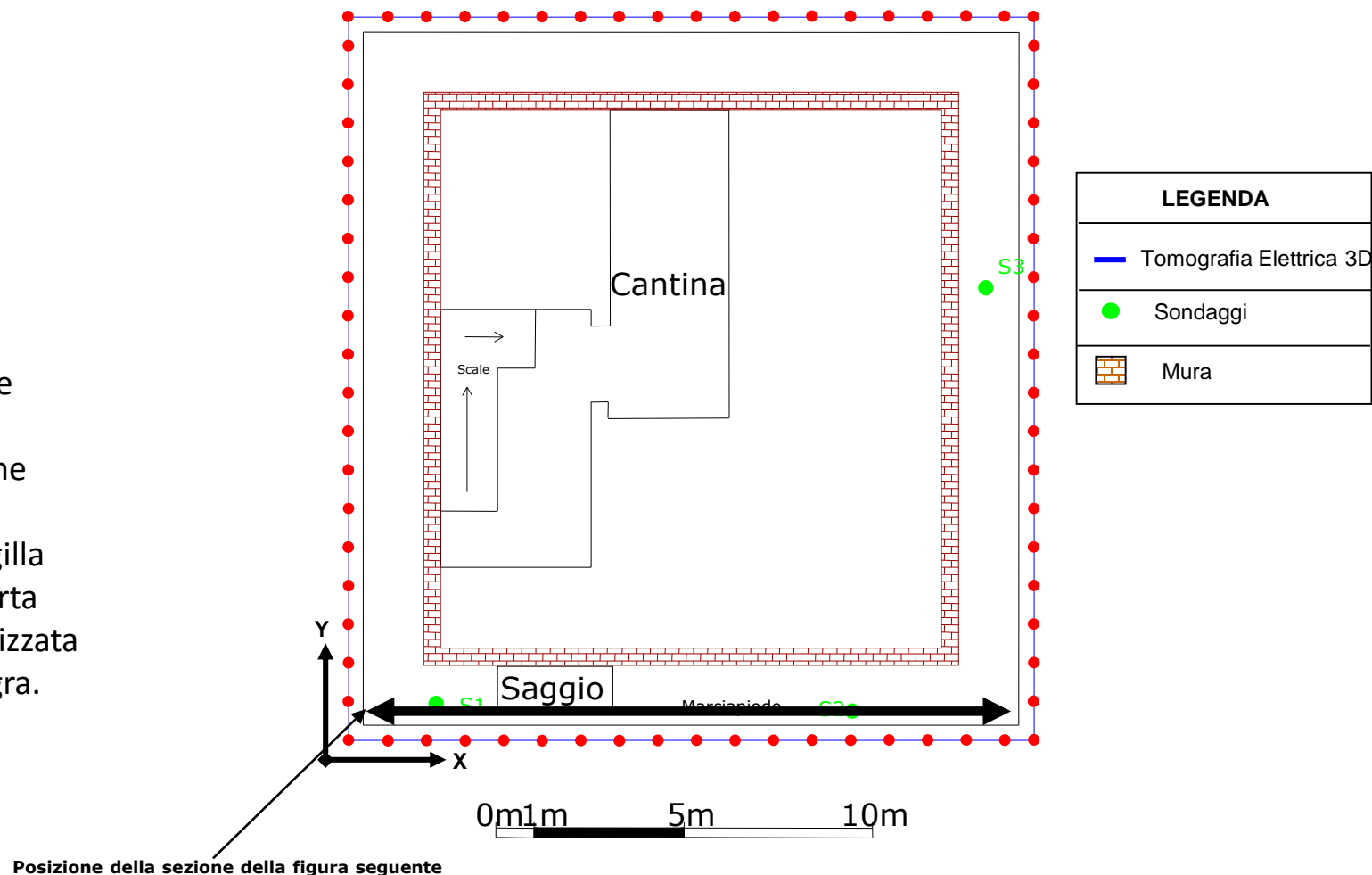


Acquisizione delle misure

La figura a lato mostra il perimetro dell'edificio in studio.
I pallini rossi indicano la posizione degli elettrodi.

In questo caso l'indagine è stata tarata con l'ausilio di tre sondaggi geognostici eseguiti in prossimità dell'edificio.

Il sito è caratterizzato dalla presenza di litologie argillitiche ed arenacee con un grado di alterazione variabile.
La composizione di una roccia ed il suo grado di alterazione hanno un effetto determinante sul valore della resistività che caratterizza la roccia stessa. Maggiori contenuti di argilla abbassano la resistività. Così pure, di norma, data una certa composizione mineralogica, una roccia alterata è caratterizzata da valori di resistività inferiori rispetto ad una roccia integra.
La figura che segue evidenzia la correlazione fra una sezione (la cui posizione è riportata a fianco) ricavata dall'indagine 3D e le stratigrafie ricavate dai sondaggi S1 ed S2.

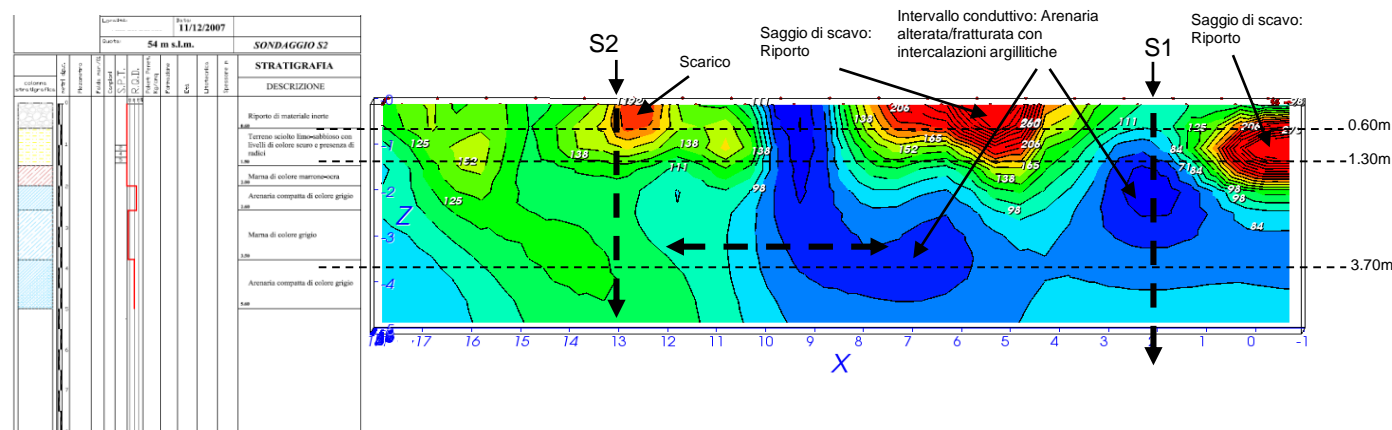
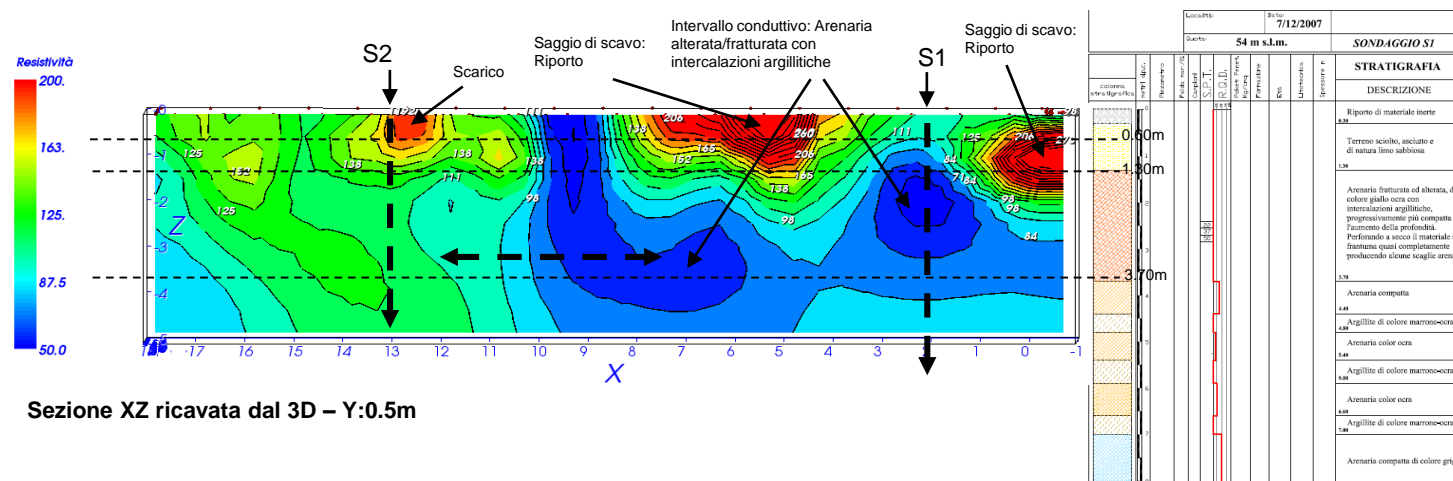




Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Tomografia Goelettrica 3D (ERT3D) Esempio n.1

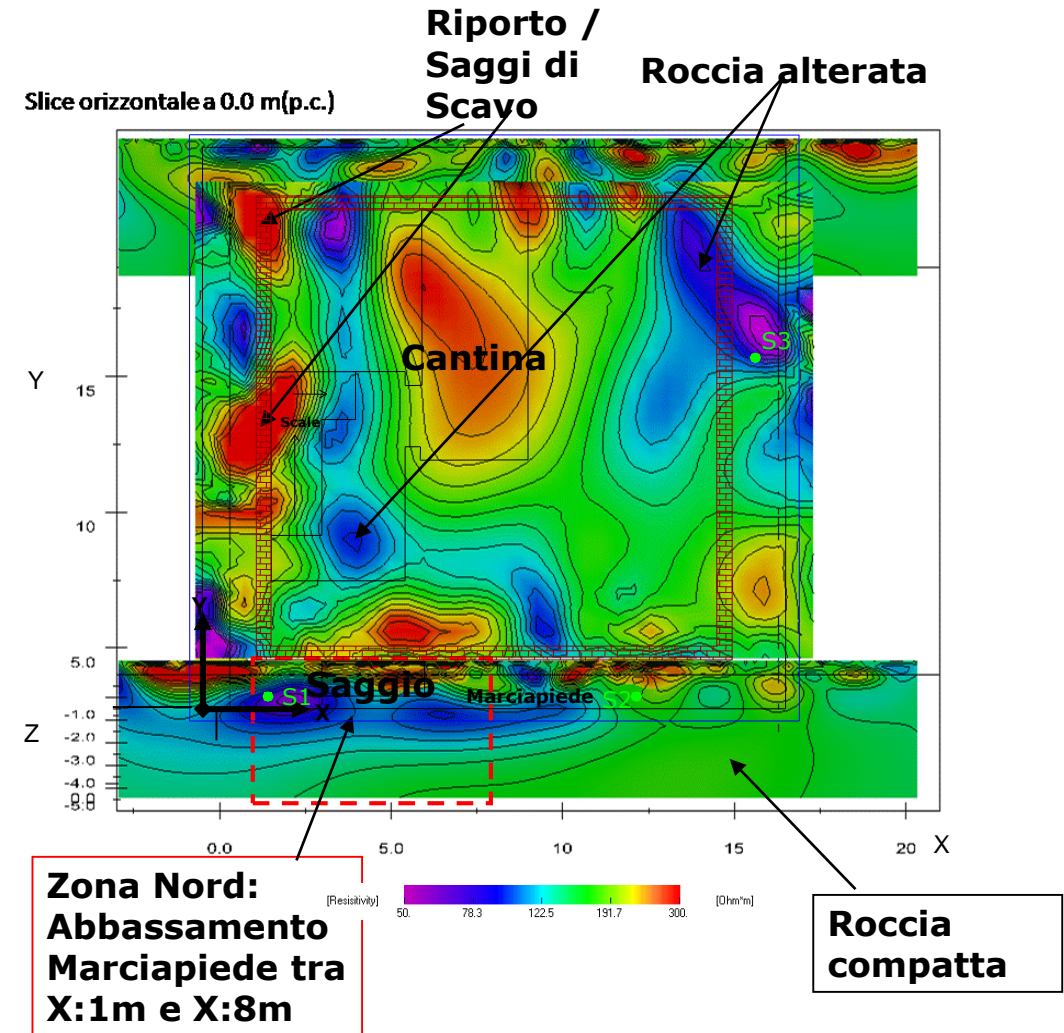


Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D) Esempio n.1

Elaborazione dati

Una volta acquisite, le misure di resistività apparente vengono sottoposte ad un processo di inversione tomografica da cui si ottengono valori di resistività reale. Fatto questo è possibile visualizzare la distribuzione dei valori di resistività reale lungo sezioni (variamente disposte) e volumi caratterizzati da certi valori di resistività reale.

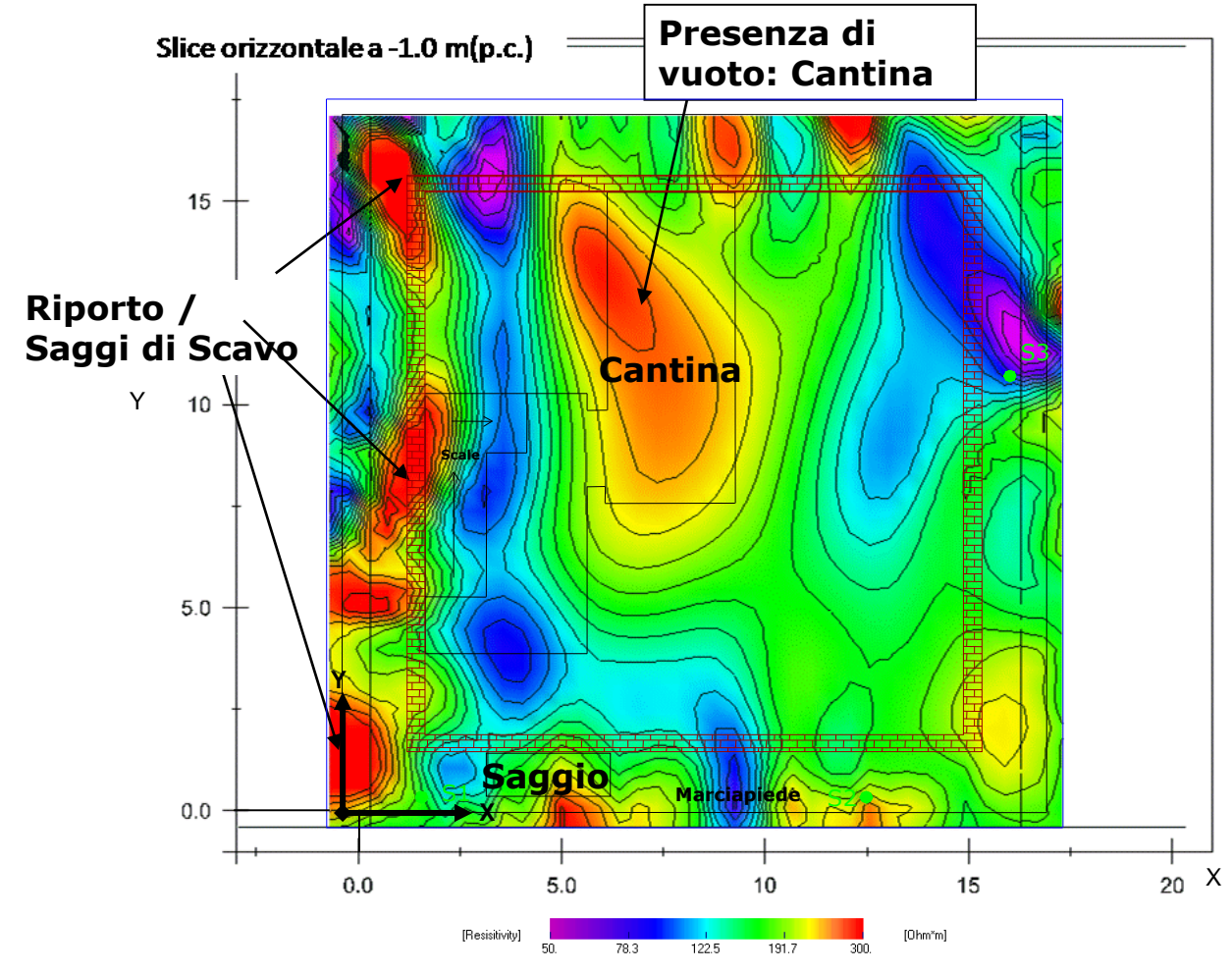
Questa figura riporta, rispetto al perimetro dell'edificio, una sezione orizzontale alla profondità di 0 metri. Si apprezza chiaramente la distribuzione dei valori di resistività. Si osservano, per esempio le variazioni di resistività attribuibili, come già si è visto, alle caratteristiche di composizione e alterazione delle litologie presenti nel sito. Si notano inoltre alcune sacche superficiali caratterizzate da alti valori di resistività ed identificabili come riporti e/o riempimenti di scavo. Si osserva infine l'anomalia resistiva attribuibile alla cantina dell'edificio.



Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D) Esempio n.1

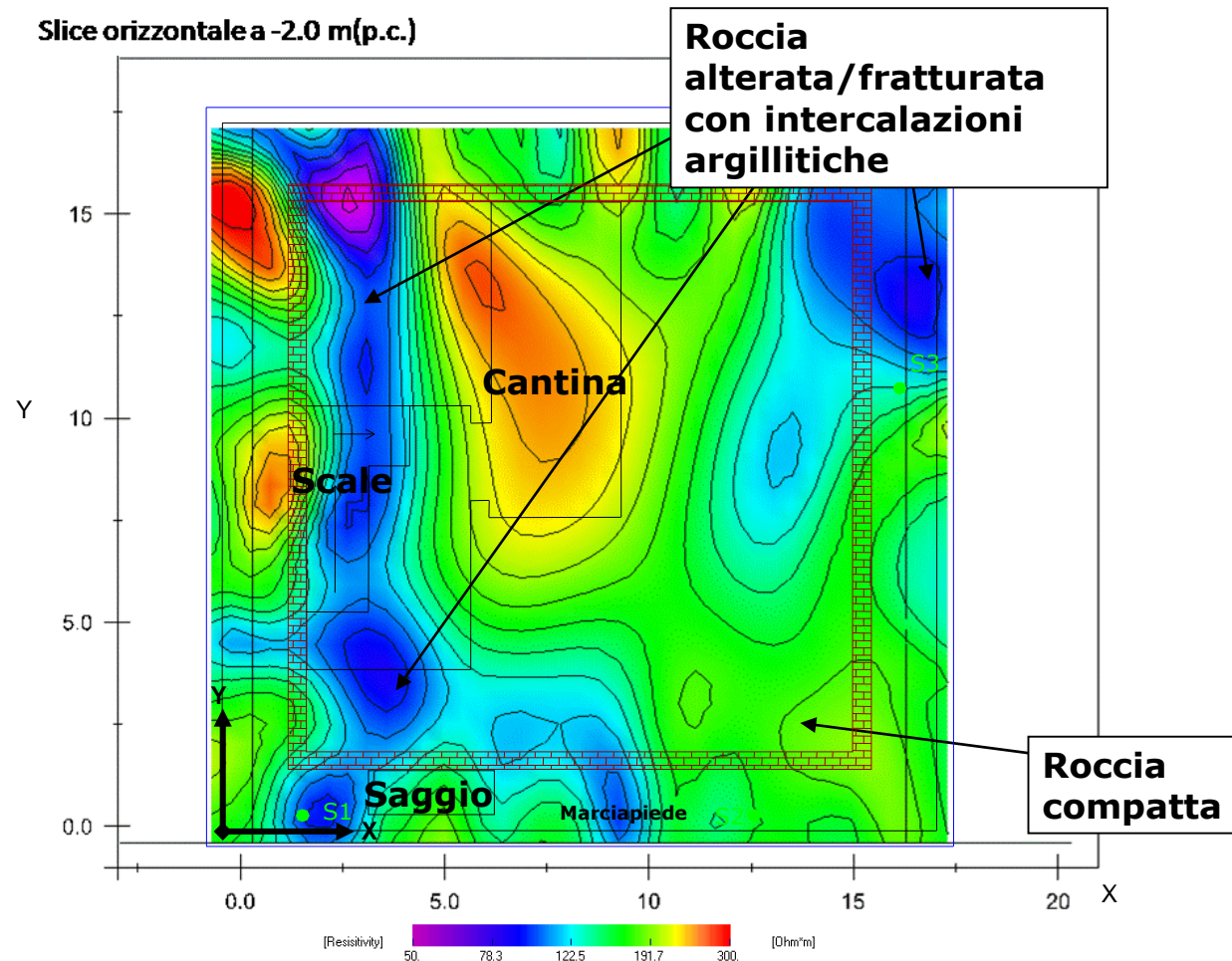
A questo punto è possibile visualizzare sezioni orizzontali (ma anche verticali) a piacimento al fine di valutare le variazioni dei terreni di fondazione entro la massima profondità di indagine raggiunta.

La sezione corrispondente alla profondità di -1,0 m dal p.c. evidenzia ancora quanto precedentemente descritto.



Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D)

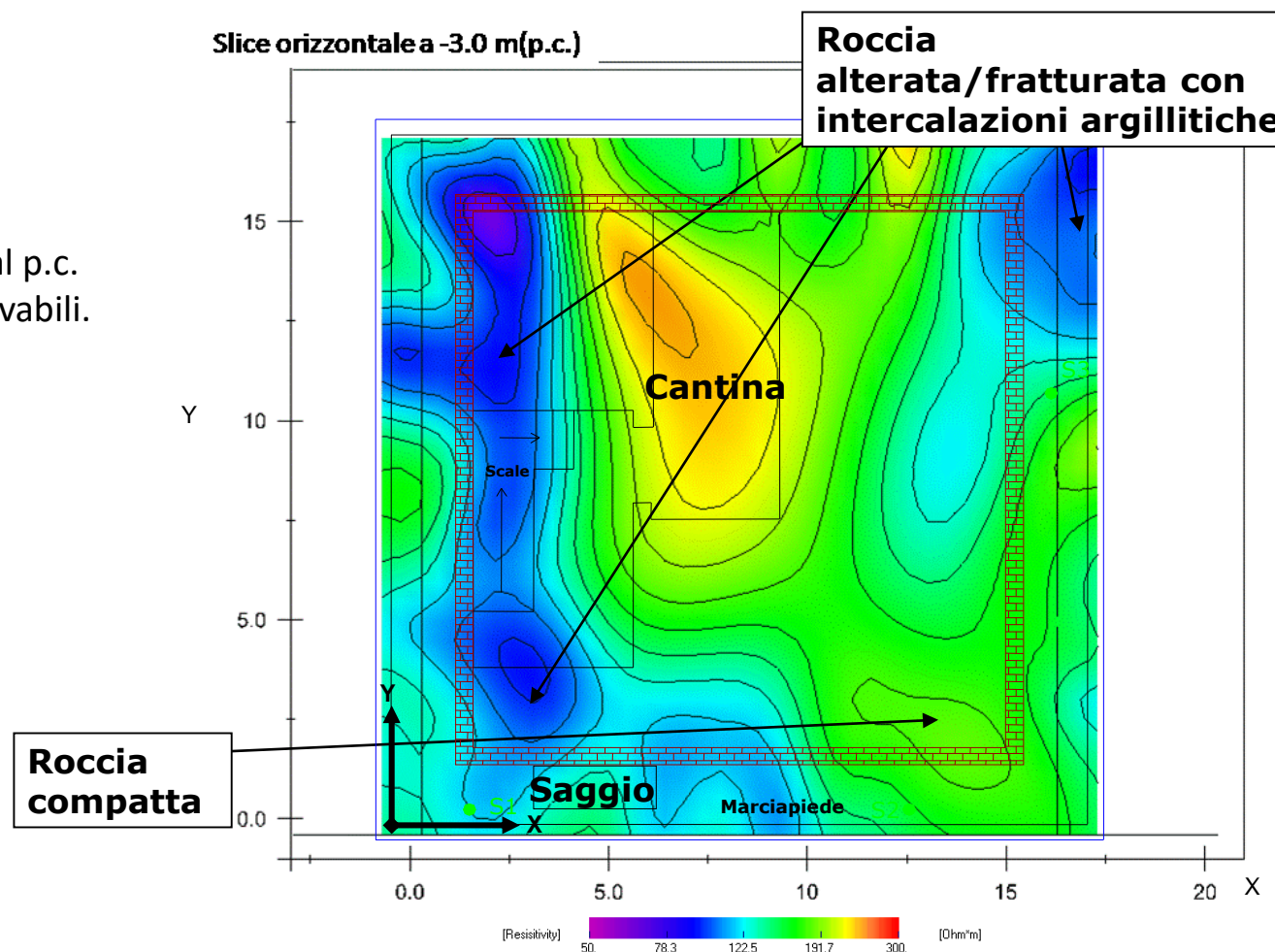
Esempio n.1



Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D)

Esempio n.1

Alla profondità di -3,0 m dal p.c.
i riporti non sono più osservabili.





Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo

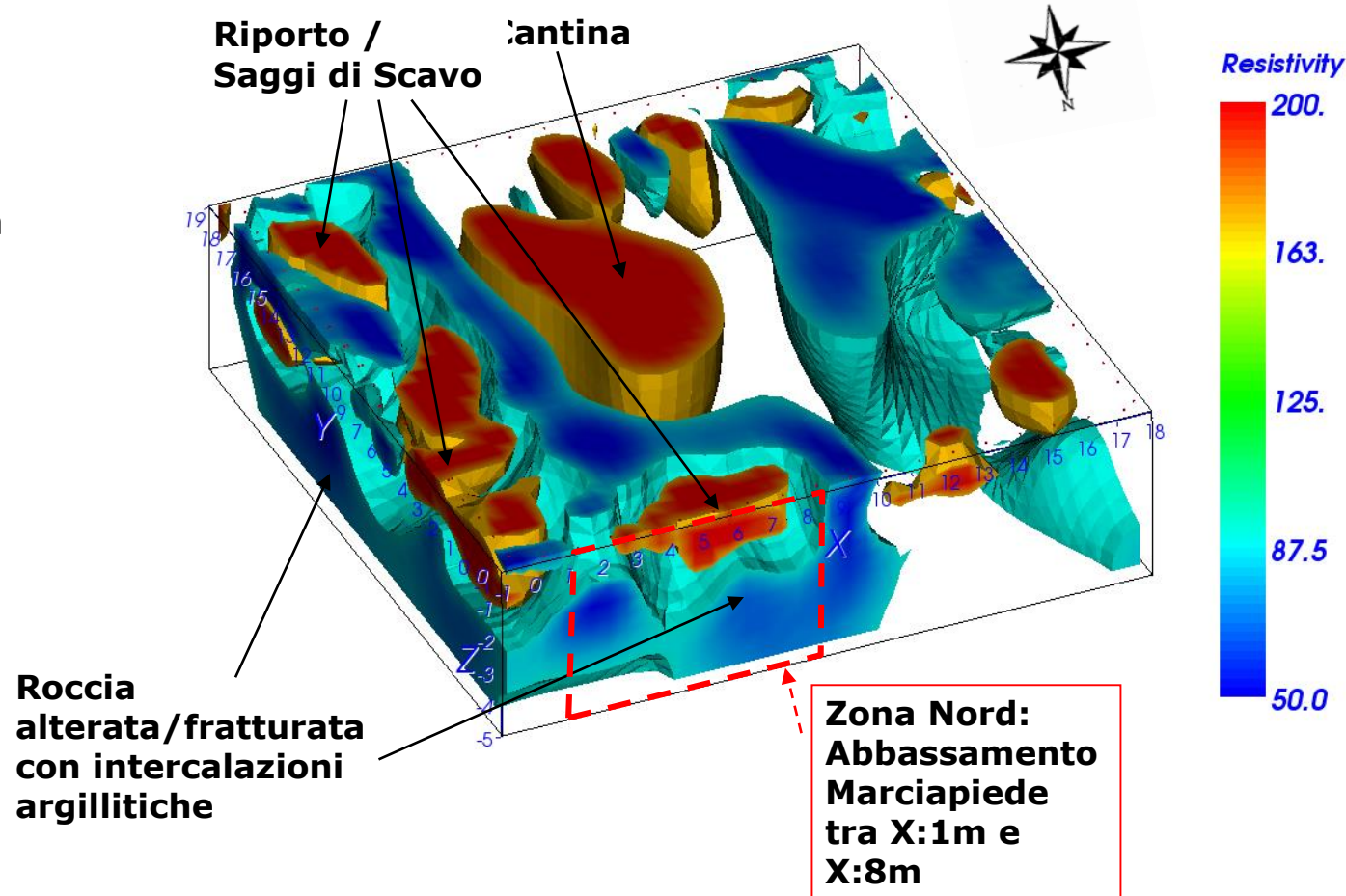


Tomografia Goelettrica 3D (ERT3D)

Esempio n.1

Volumi $>170\text{ohm}\cdot\text{m}$, $<90\text{ohm}\cdot\text{m}$ – Vista da Nord Est

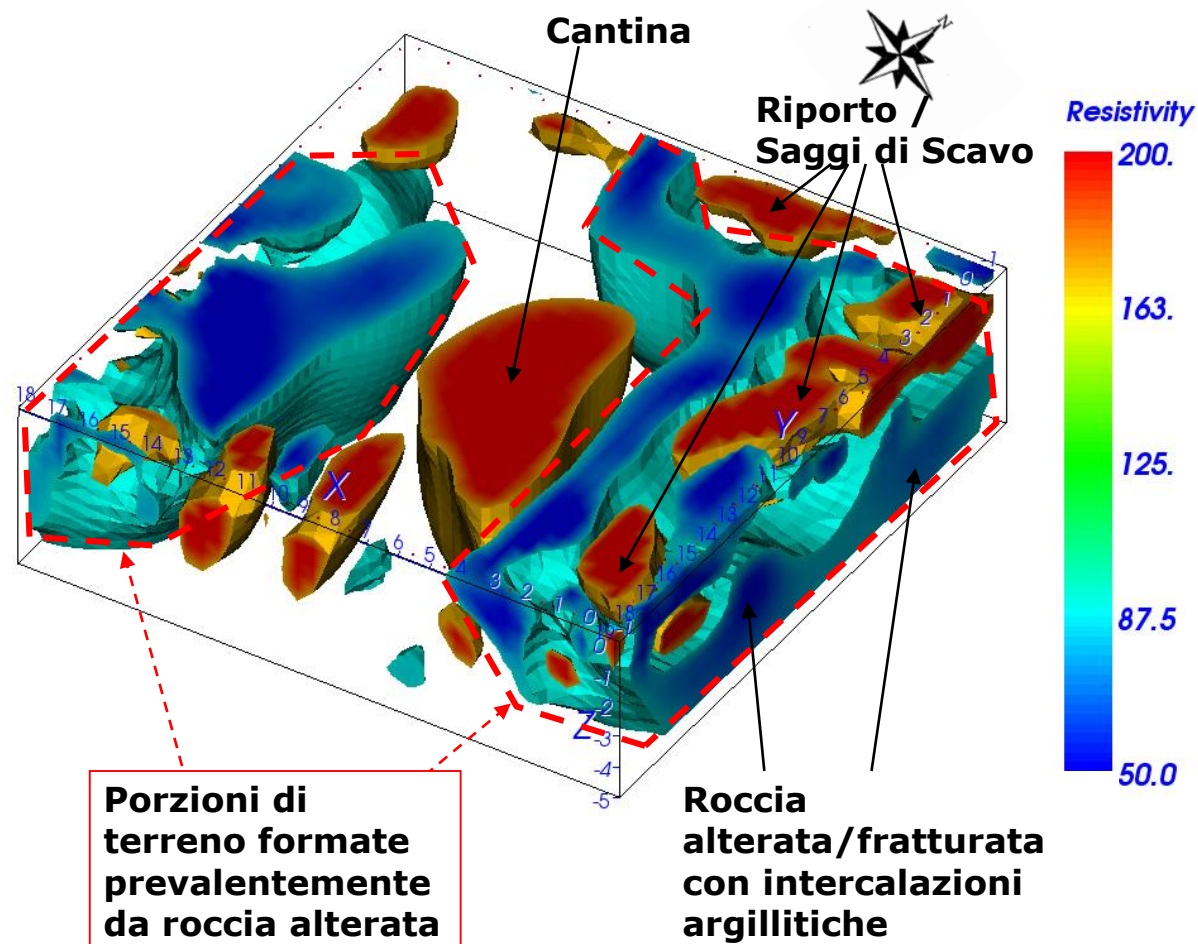
E' inoltre possibile visualizzare volumi caratterizzati da certi valori di resistività. Questa figura e le seguenti evidenziano quanto precedentemente evidenziato (riporto, roccia alterata e roccia integra) sotto forma di volumi consentendo di apprezzarne in maniera più esaustiva l'estensione ed i limiti spaziali.



Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D)

Esempio n.1

Volumi $>170\text{ohm}\cdot\text{m}$, $<90\text{ohm}\cdot\text{m}$ – Vista da Sud Est





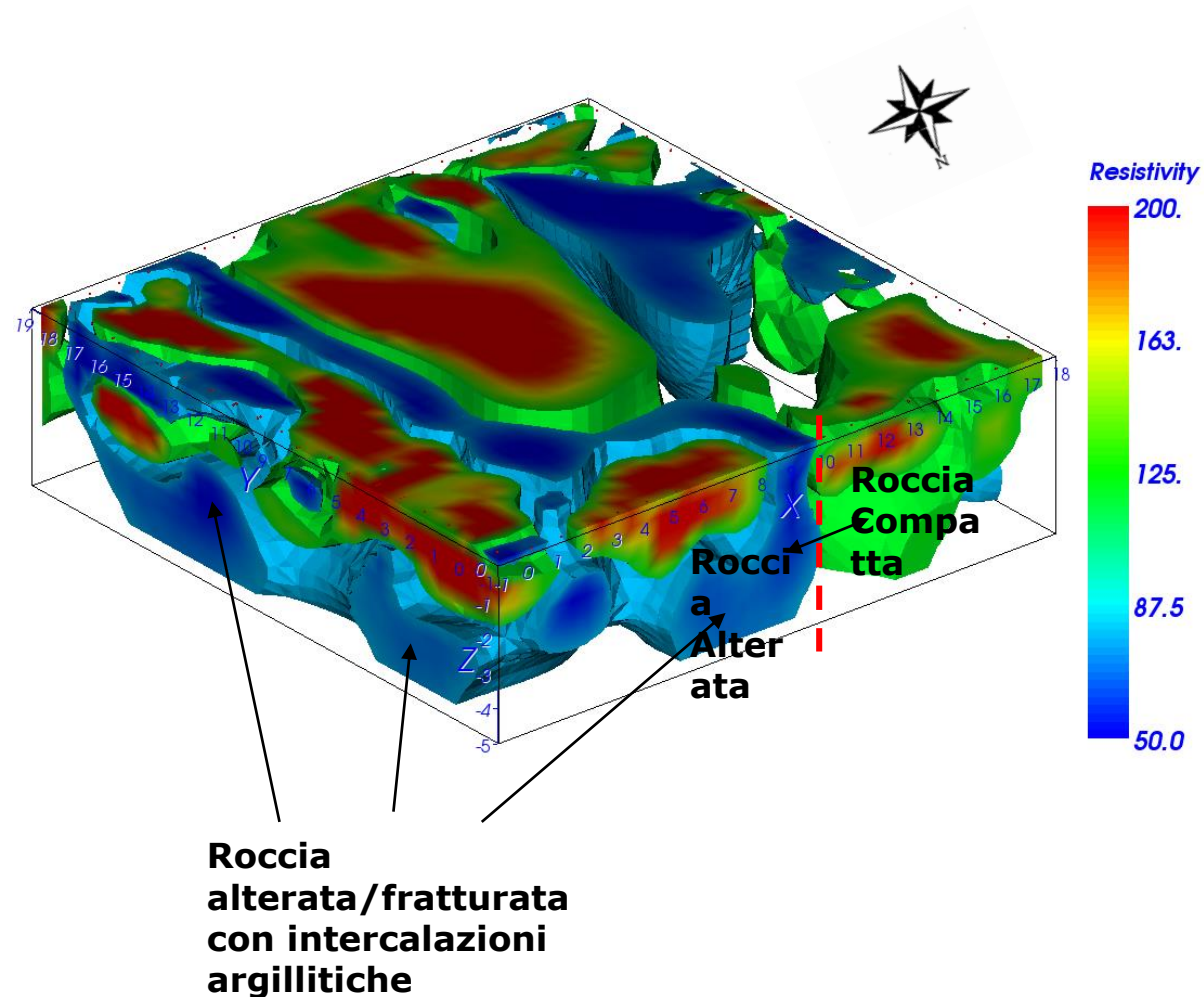
Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D)

Esempio n.1

Volumi $>120\text{ohm}\cdot\text{m}$, $<80\text{ohm}\cdot\text{m}$ – Vista da Nord Est





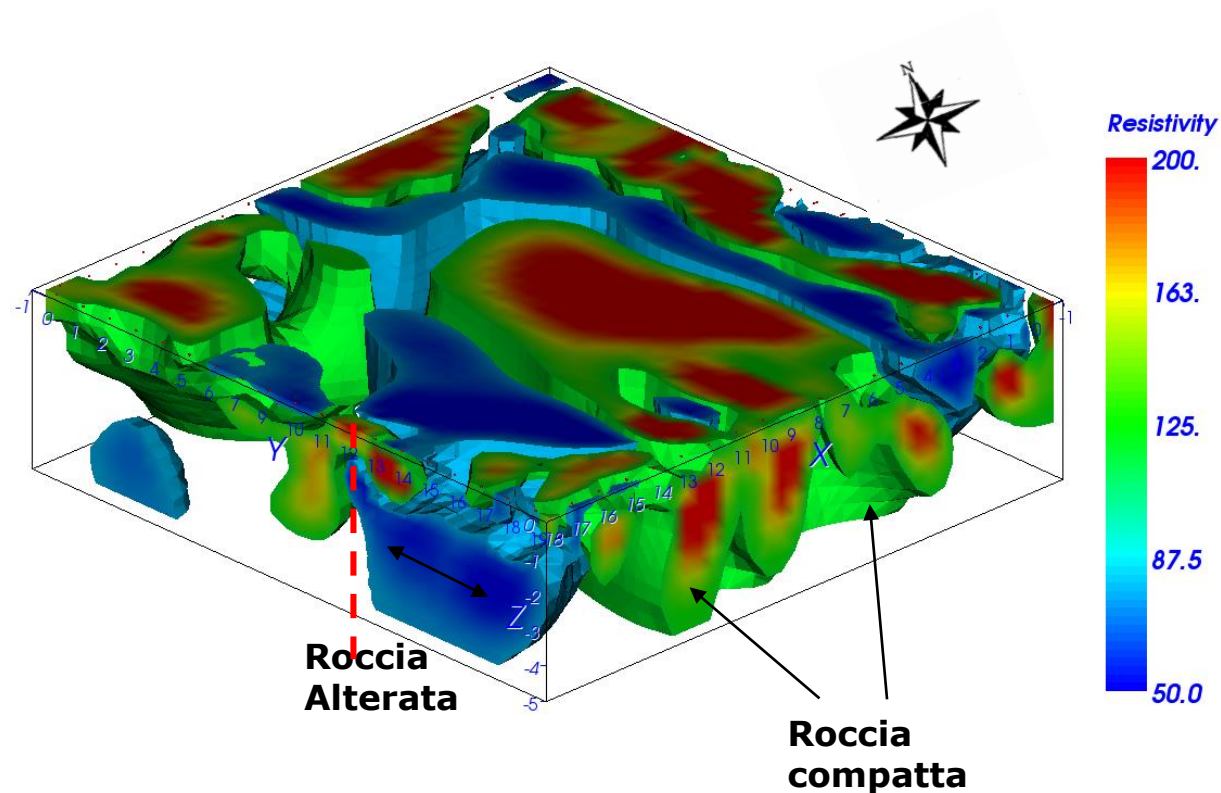
Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D)

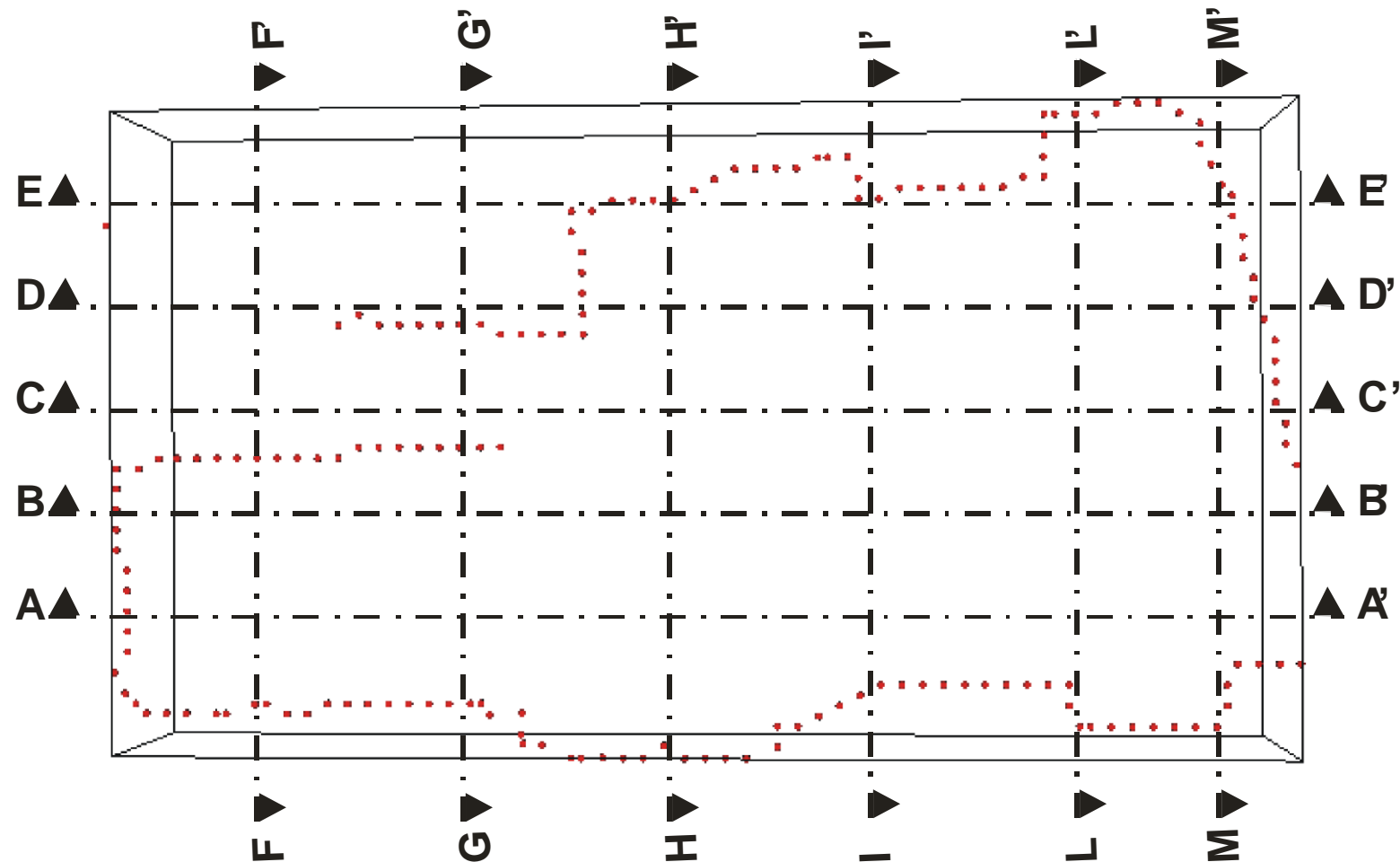
Esempio n.1

Volumi $>120\text{ohm}\cdot\text{m}$, $<80\text{ohm}\cdot\text{m}$ – Vista da Sud Ovest



Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D)

Esempio n.2

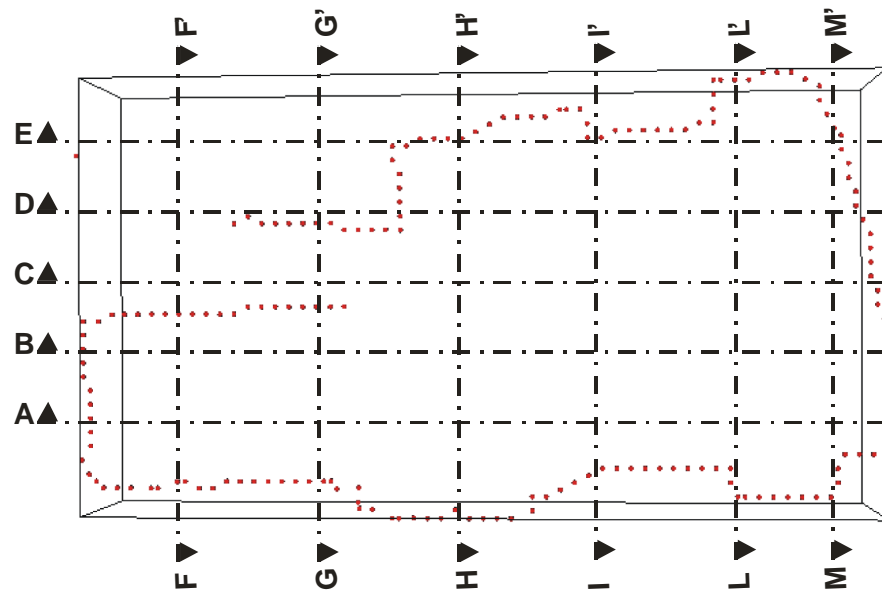




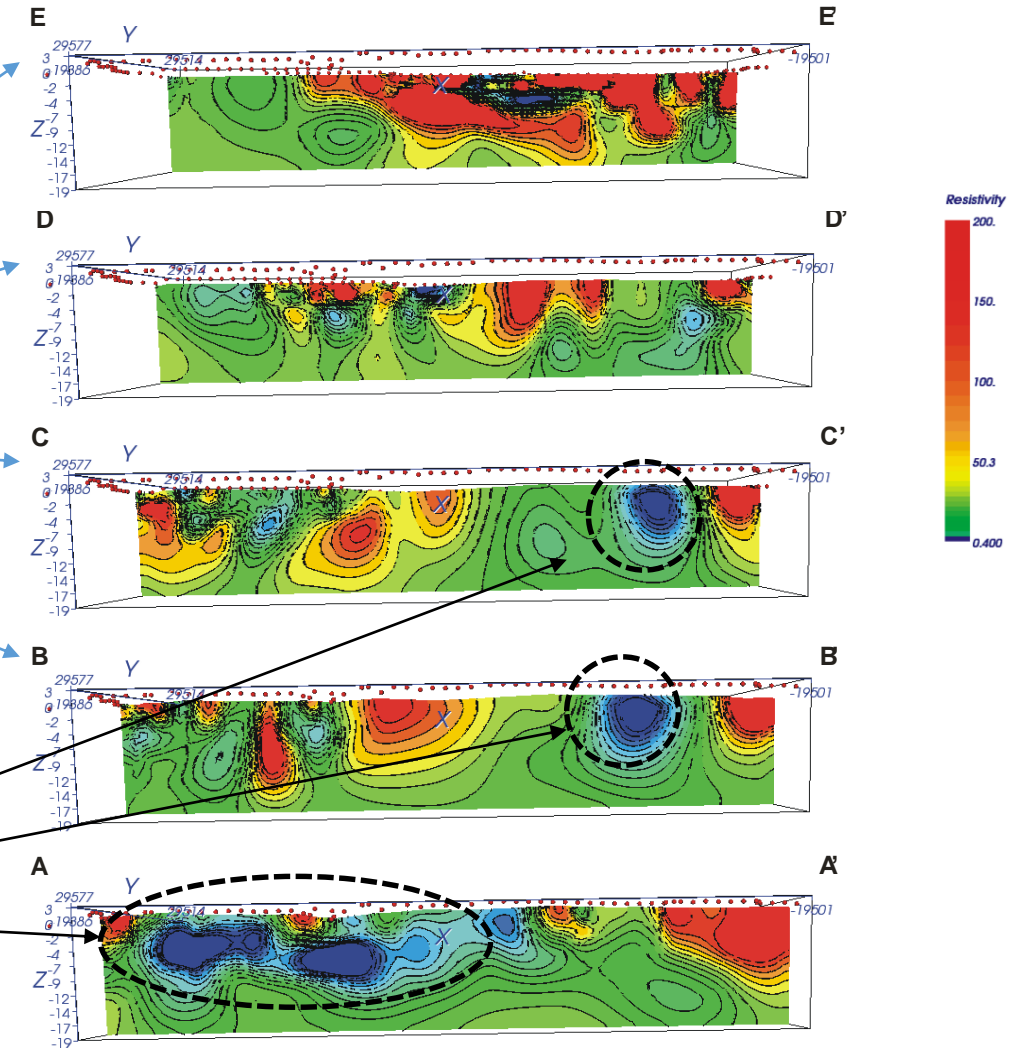
Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Tomografia Goelettrica 3D (ERT3D) Esempio n.2



Zone basso resistive
riconducibili a terreni
coesivi

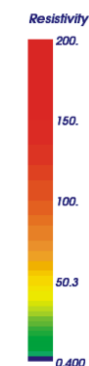
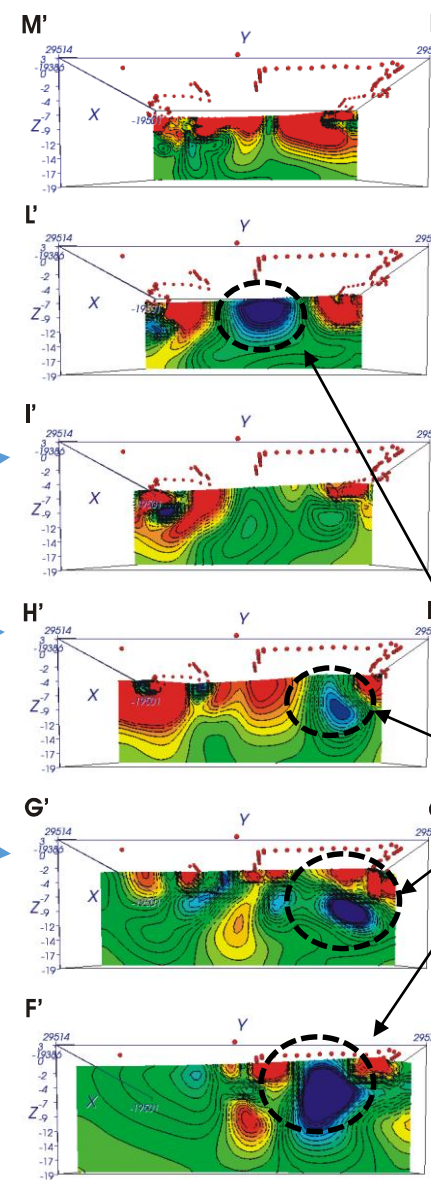
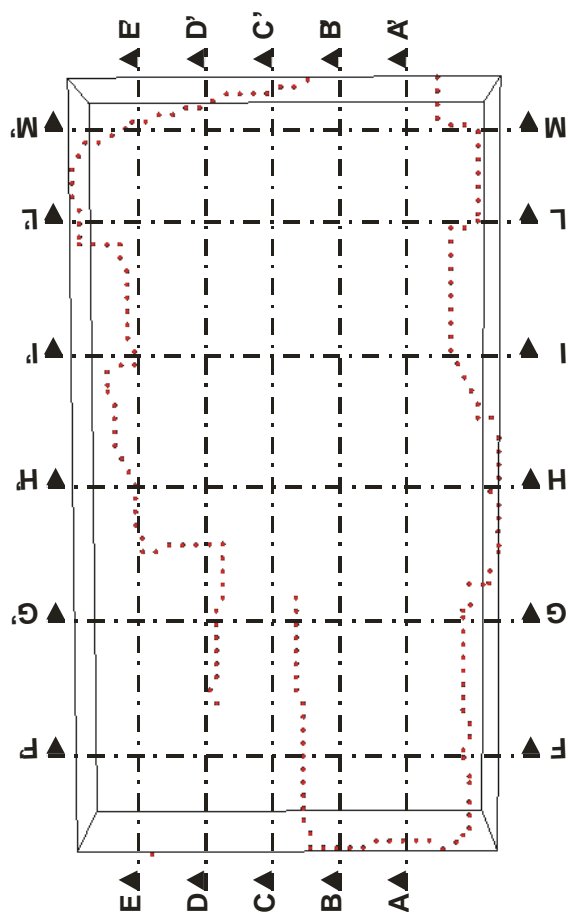




Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D) Esempio n.2



Zone basso resistive
riconducibili a terreni
coesivi

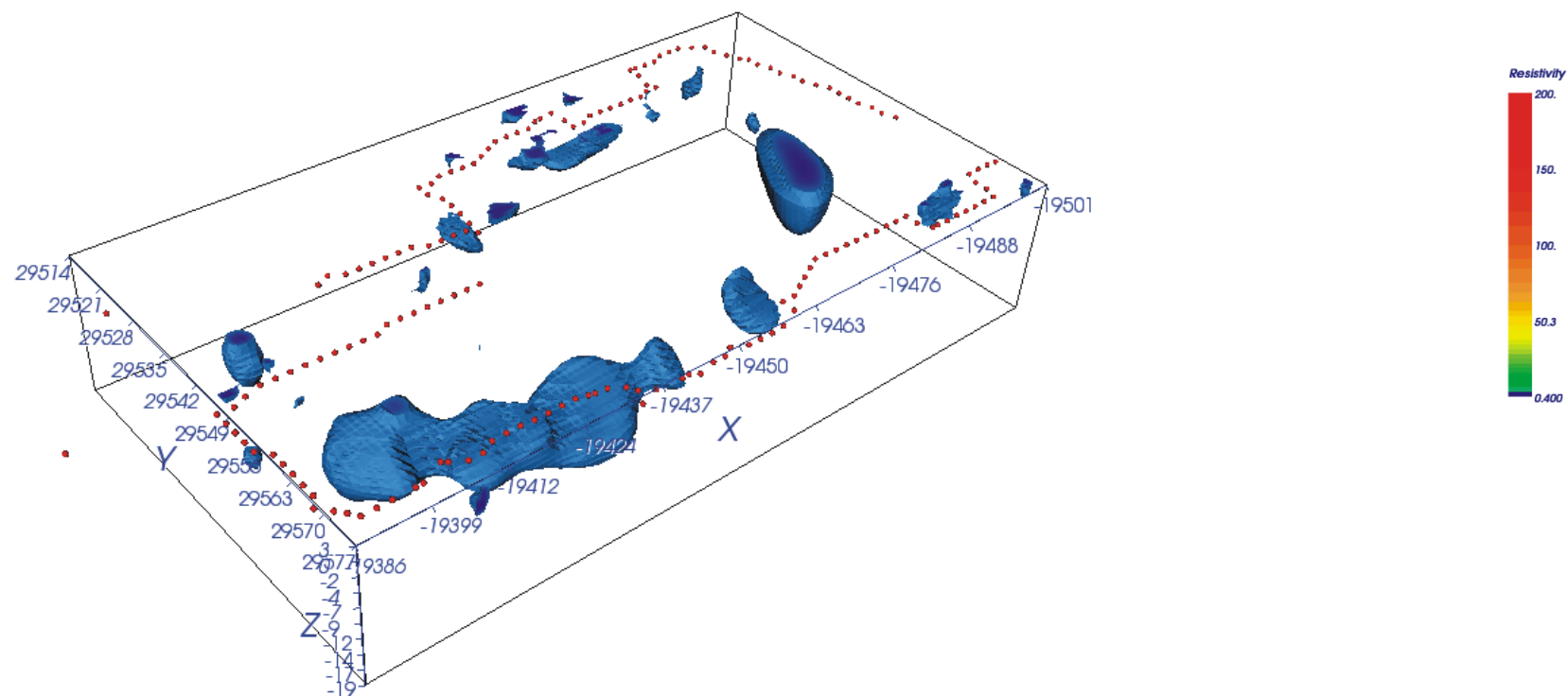


Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D) Esempio n.2

Volume di resistività compresa tra 0 e 1 Ohm*m



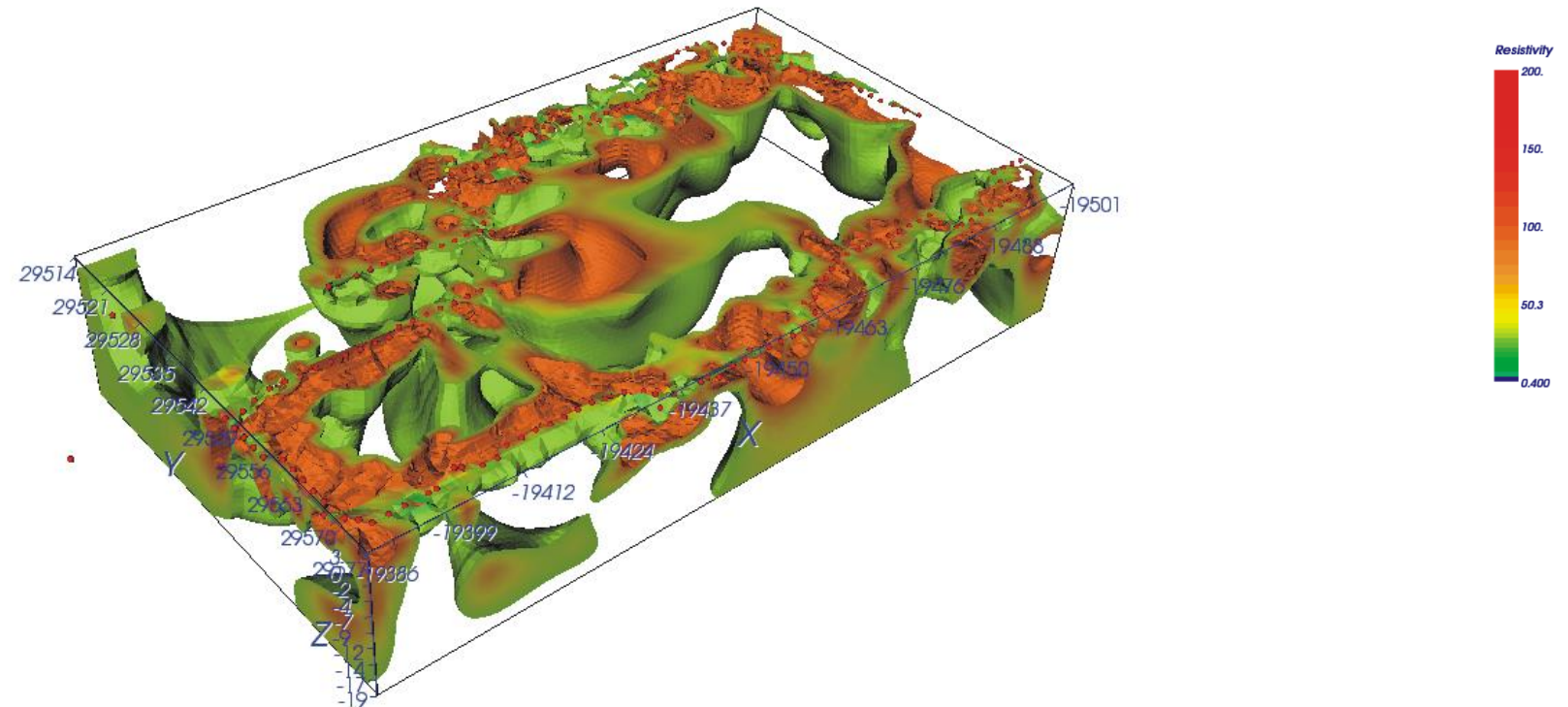


Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D) Esempio n.2

Volume di resistività compresa tra 25 e 100 Ohm * m



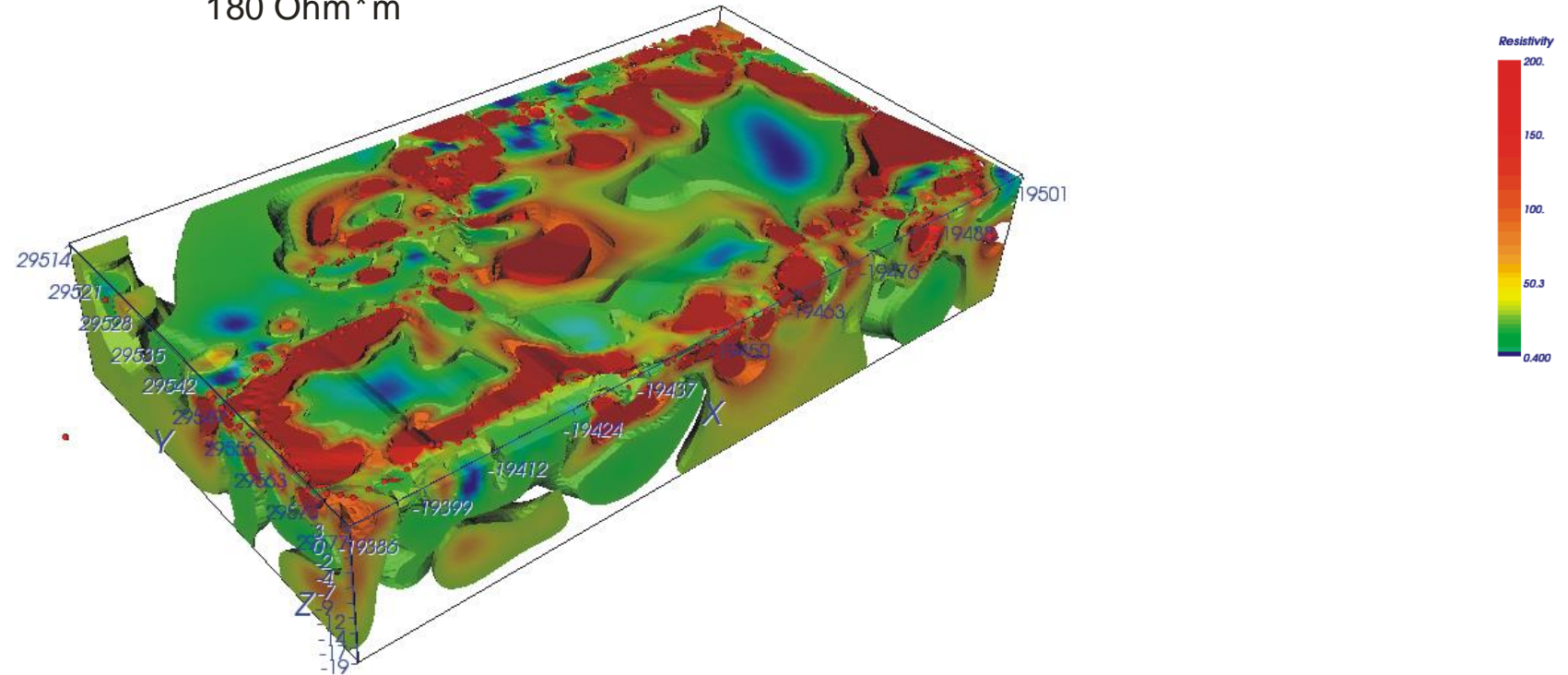


Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D) Esempio n.2

Volume di resistività compresa tra 0 e 15 Ohm*m
tra 25 e 100 Ohm*m e maggiore di
180 Ohm*m



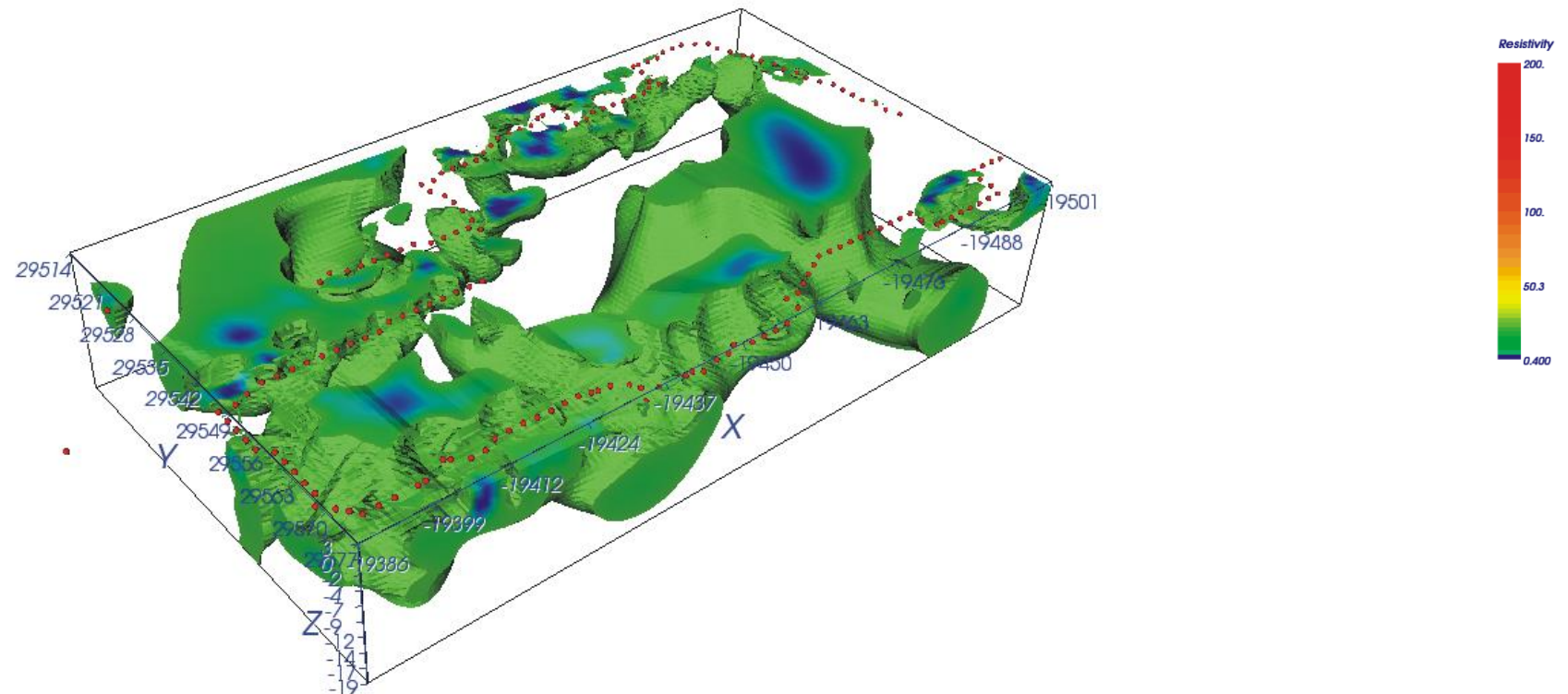


Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D) Esempio n.2

Volume di resistività compresa tra 0 e 15 Ohm*m



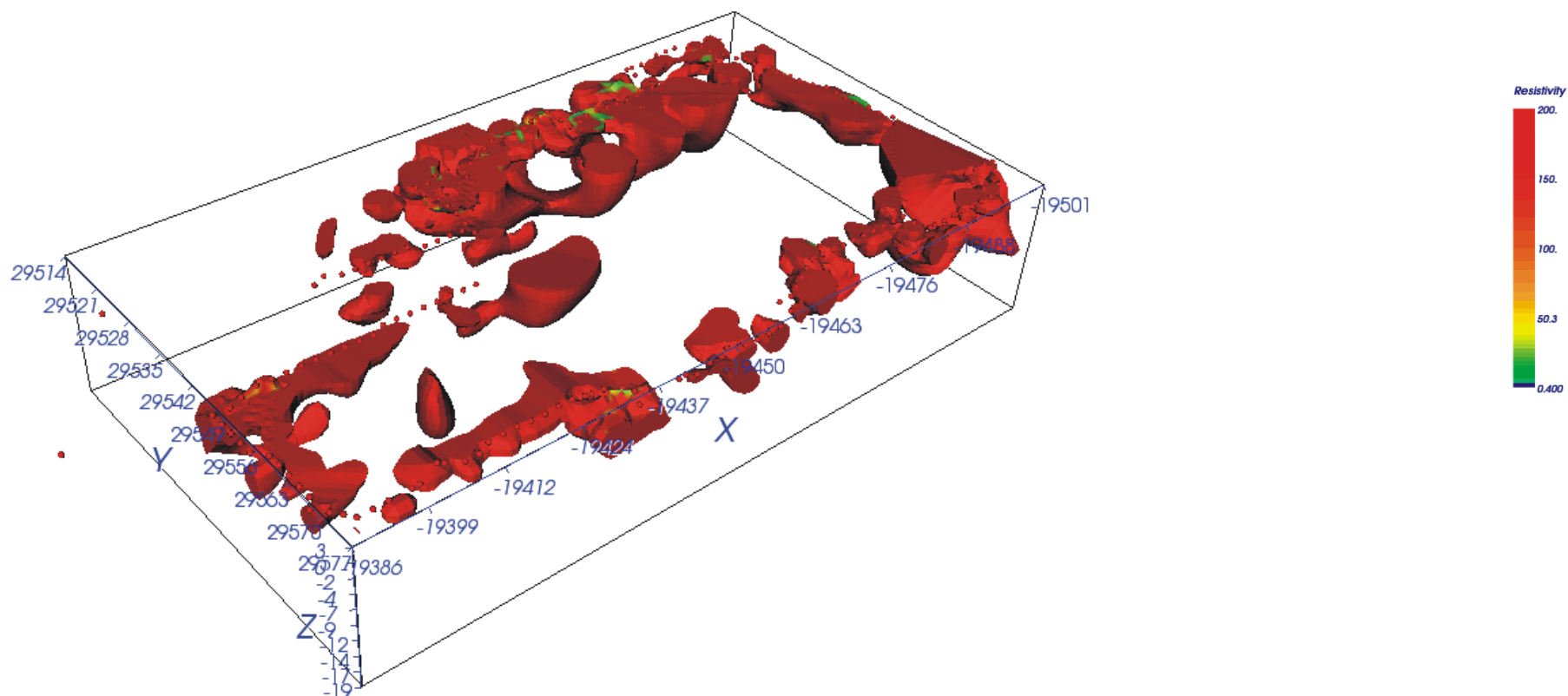


Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D) Esempio n.2

Volume di resistività maggiore di 180 Ohm*m





Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



Tomografia Geoelettrica 3D (ERT3D)

Conclusioni

Una indagine geoelettrica 3D rappresenta, ad oggi, l'unico mezzo di indagine che consente in maniera così completa (ed al contempo non invasiva e non distruttiva) lo studio dei terreni di fondazione dei manufatti esistenti. Un completo e razionale piano di indagini per lo studio dei manufatti con problemi strutturali dovrebbe prevedere in prima istanza l'esecuzione di indagini di questo tipo. Successivamente, sulla base dei relativi risultati, si potrebbero programmare le indagini dirette (penetrometrie, sondaggi e saggi di scavo) in maniera razionale e mirata.



Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Cuneo



***Vulnerabilità sismica degli edifici esistenti:
Procedure di gestione e tecniche di indagine non invasive***

Cuneo, 25 Settembre 2015

GRAZIE

*Geol. Simone Sartini - Geol. Alessandro Bianchi
So.Ge.T. Lucca*

Con la collaborazione di:



Con il patrocinio di:

