

# TOMOGRAFIA ELETTRICA TRIDIMENSIONALE

*ERT – 3D per la diagnostica di strutture e fondazioni*

Gianfranco Morelli  
Federico Fischanger

**Geostudi Astier srl**  
Livorno  
info@geoastier.it



[www.geoastier.com](http://www.geoastier.com)

## Aspetti distintivi della tomografia ERT 3D

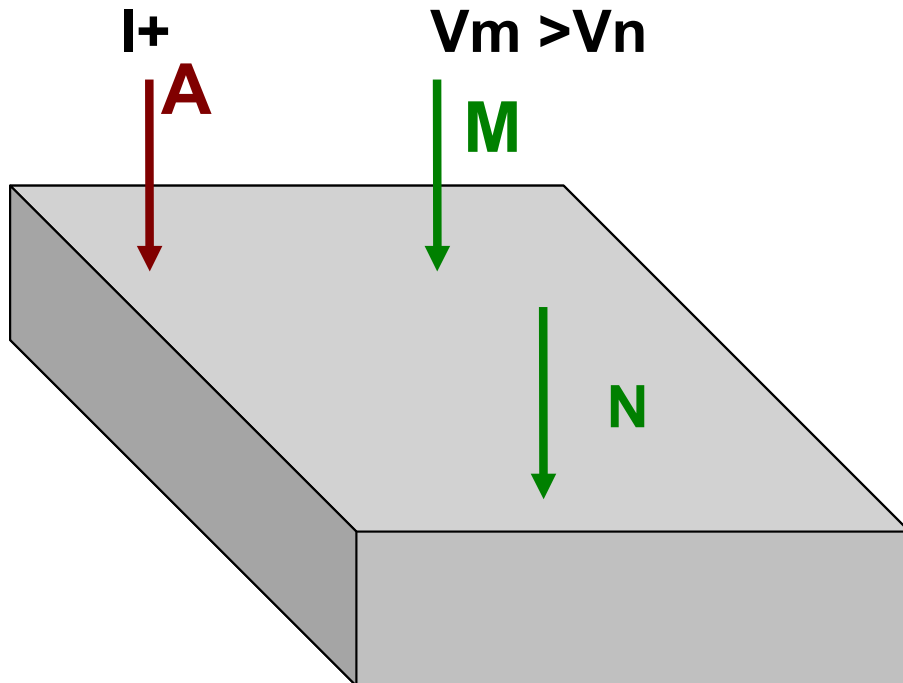
1. Obbliga a maggiore precisione **nei rilievi di campagna** (posizionamento degli elettrodi e di aspetti topografici 3D)
  2. Amplia lo **spettro delle possibili geometrie di acquisizione** e delle combinazioni quadripolari
  3. Implica la gestione di **data sets molto grandi**, con ovvie conseguenze in fase di acquisizione e di elaborazione dati
- Rende più complessa la fase di **pre-processing** e di valutazione di qualità delle misure (rumore complesso, resistività apparenti negative).

# Aspetti distintivi della tomografia ERT 3D

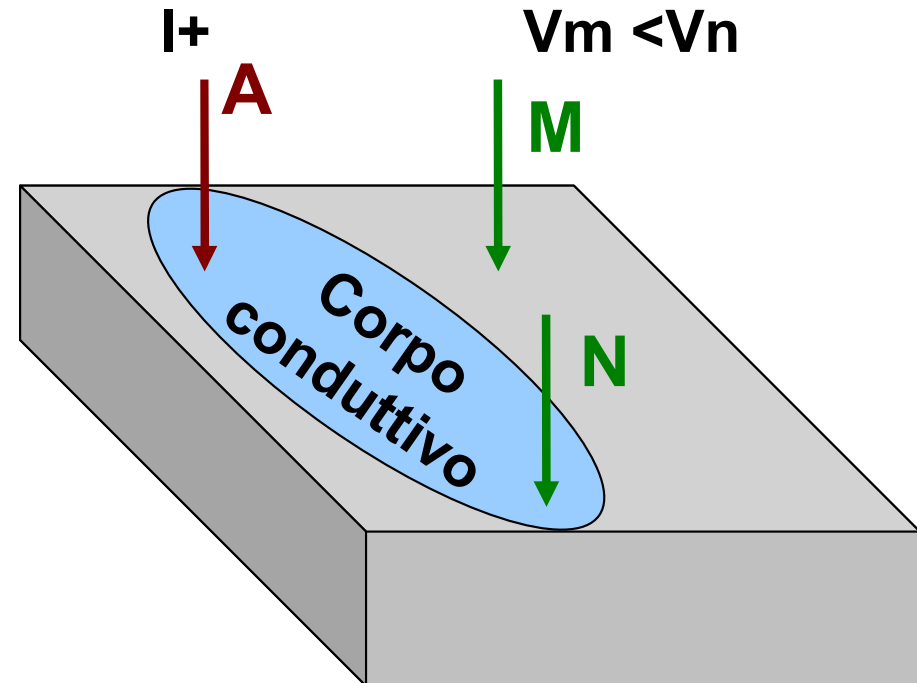
La tomografia 3D obbliga a riconsiderare il concetto di **resistività apparente**:

$$\text{ResApp} = K (V_m - V_n) / I$$

**Terreno omogeneo**



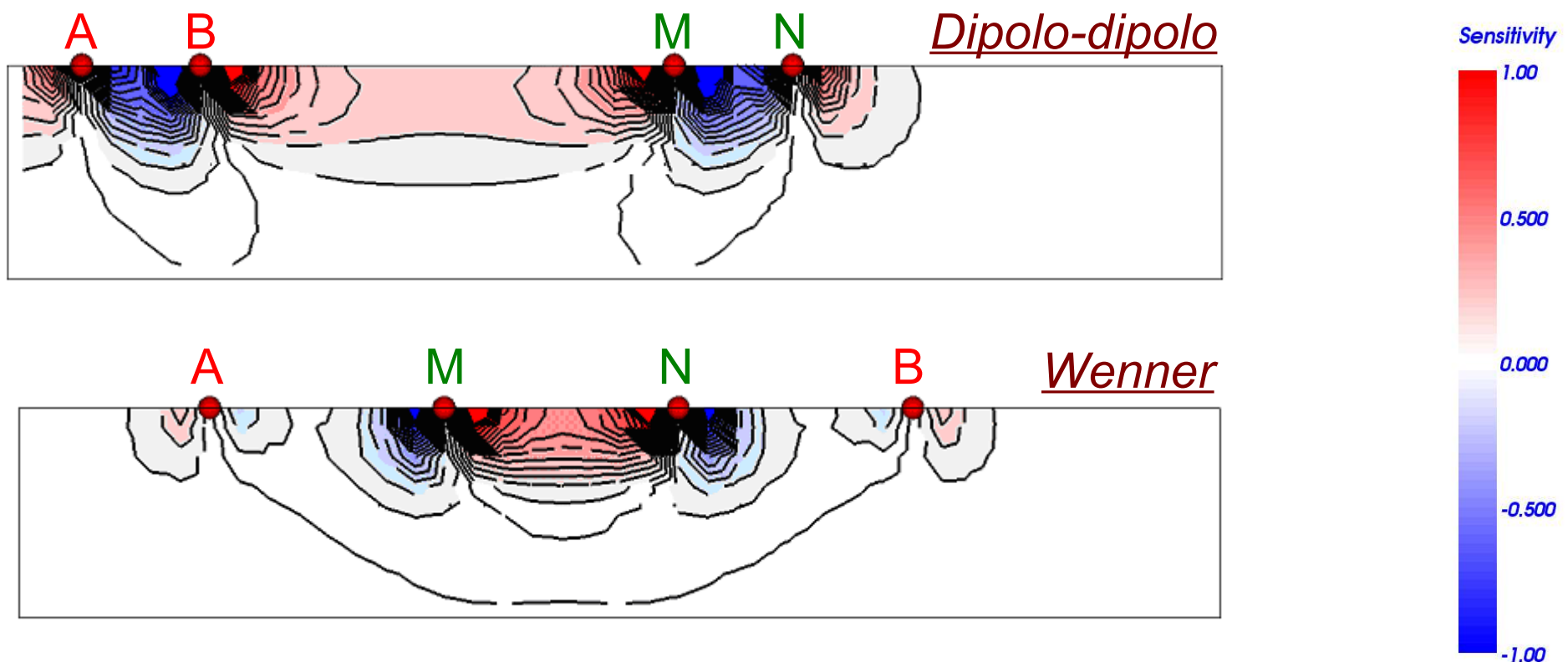
**Terreno non omogeneo**



## Strumenti di supporto alla progettazione misure 3D

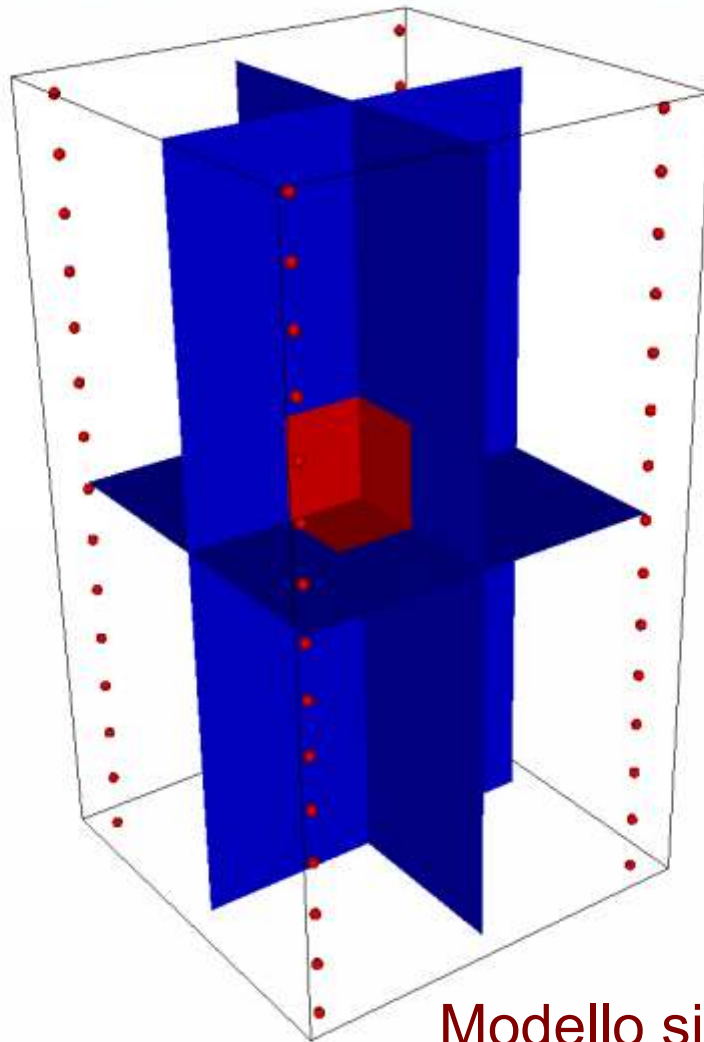
L'**analisi di sensitività** è uno strumento di ausilio nella pianificazione di una campagna di misura 3D: consente di valutare geometria e *array* elettrofici più adatti al singolo contesto.

Esempio:

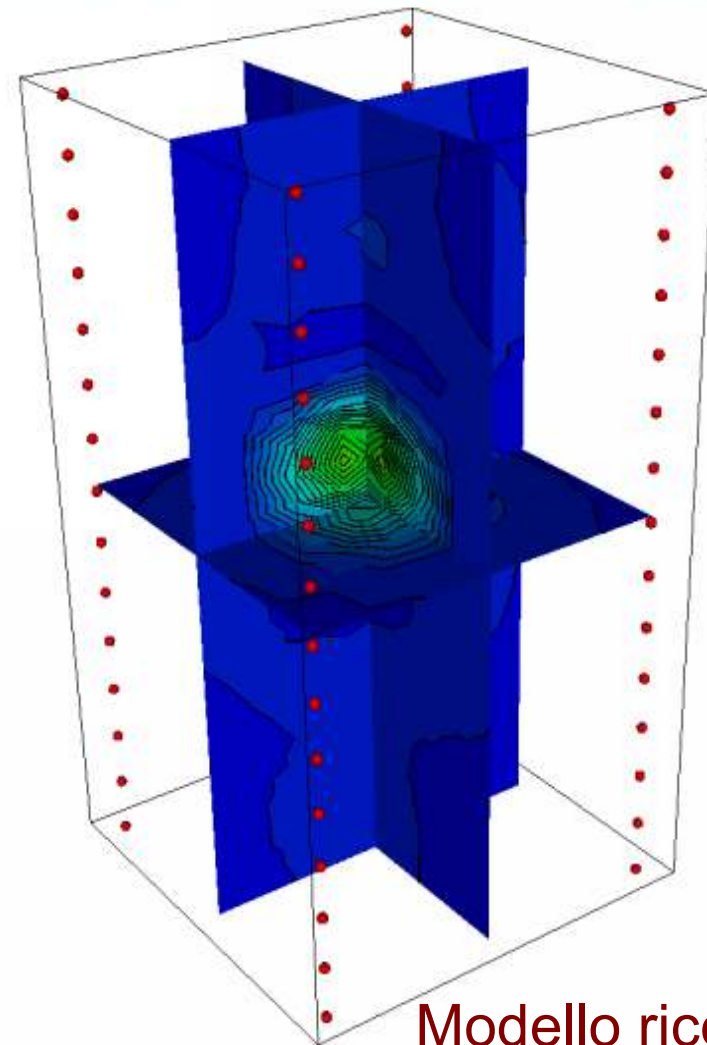


## ***Strumenti di supporto alla progettazione misure 3D***

La **modellazione diretta su modelli 3D sintetici** uno strumento di ausilio nella pianificazione di campagne di misura



Modello sintetico



Modello ricostruito

# Geometrie elettrodiche 3D

---

## Geometrie elettrodiche 3D

### - Superficie

- ✓ Profili 2D paralleli
- ✓ Profili 2D non paralleli
- ✓ Griglie 3D
- ✓ Geometrie L-shaped, C-shaped o anulari (*loop*)

### - Foro

- ✓ Classica (tra due coppie di fori)
- ✓ Multi-borehole

### - Miste (superficie/foro)

## ***Profili 2D paralleli***

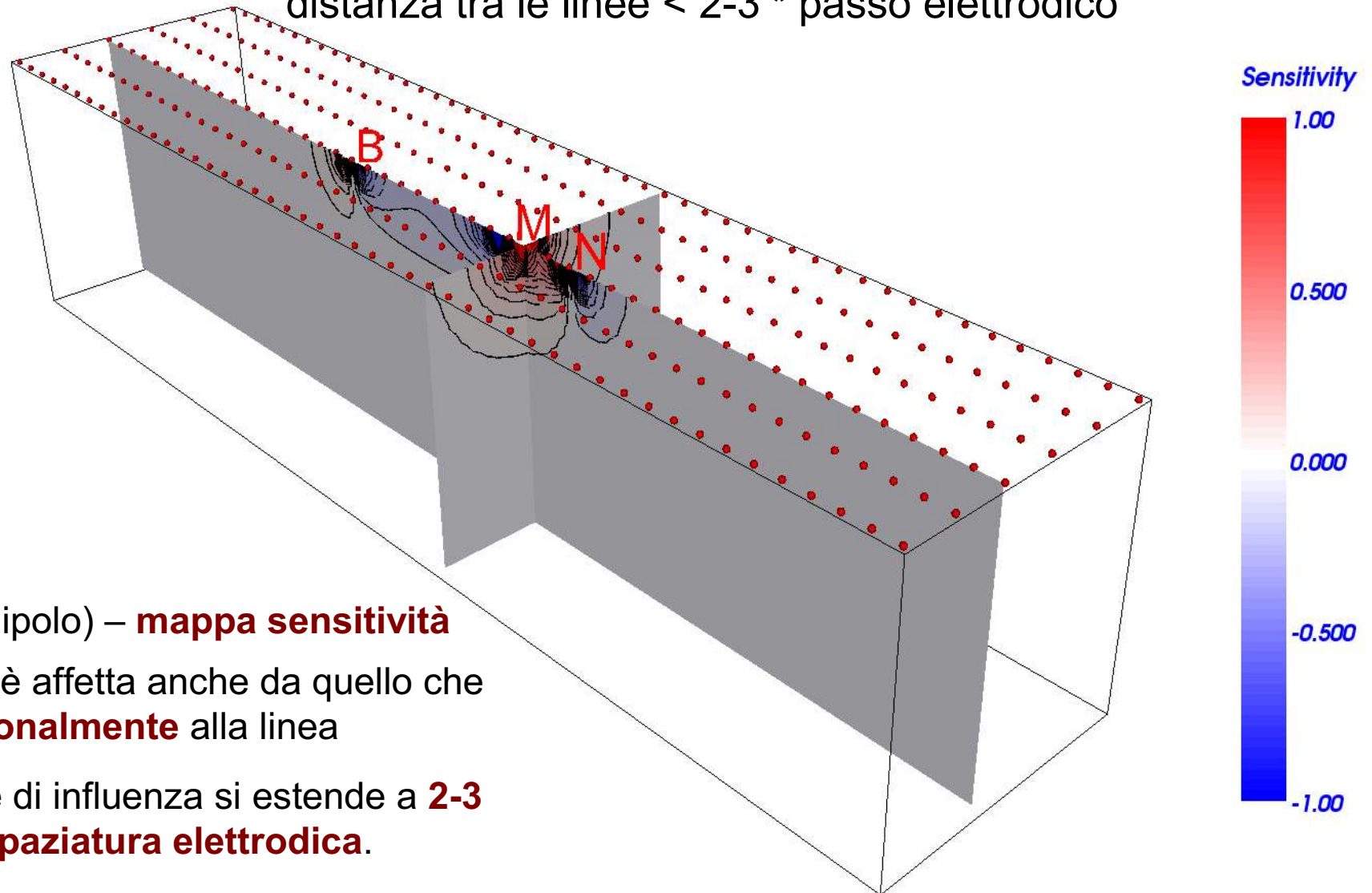
---

Quando optare per un'indagine 3D acquisendo con **profili elettrodi 2D paralleli**:

- vincoli **economico-strumentali** (numero di elettrodi):  
con i classici 40-50 elettrodi griglie 3D sono adatte solo per “micro” indagini .
- vincoli di **profondità di investigazione** ( max distanza tra elettrodi)
- vincoli di **risoluzione** ( spaziatura elettrodi )
- vincoli di **dimensione** dell'area da coprire =>  
informazione “parziale” nelle zone non interessate dalle linee.

## Profili 2D paralleli – Corretto setup delle linee

Buona definizione dell'interdistanza tra i profili:  
distanza tra le linee  $< 2-3 * \text{passo elettrodo}$

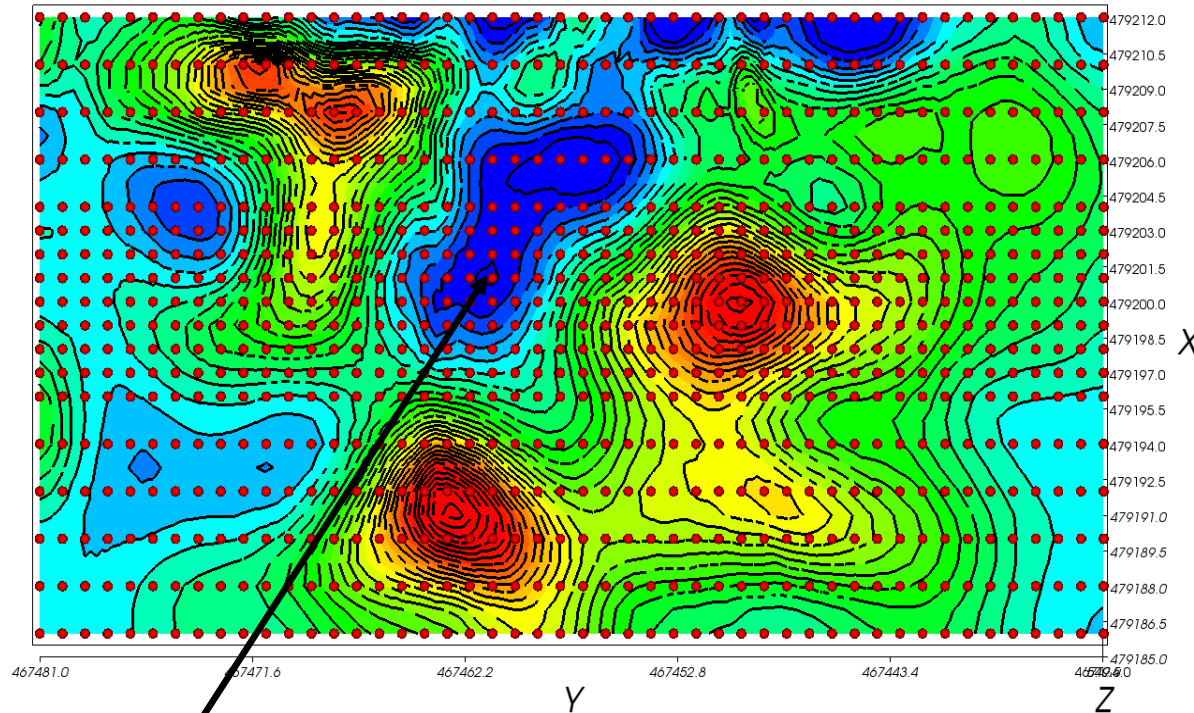


Misura 2D (polo-dipolo) – **mapa sensitività**

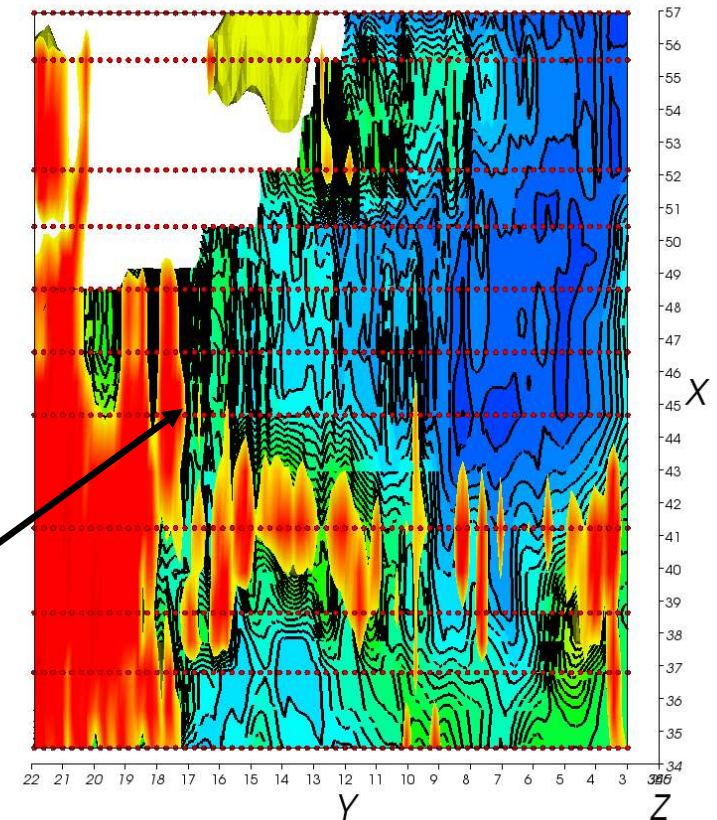
- ✓ la misura è affetta anche da quello che c'è **ortogonalmente** alla linea
- ✓ la regione di influenza si estende a **2-3 volte la spaziatura elettrodica**.



# Profili 2D paralleli – Esempi



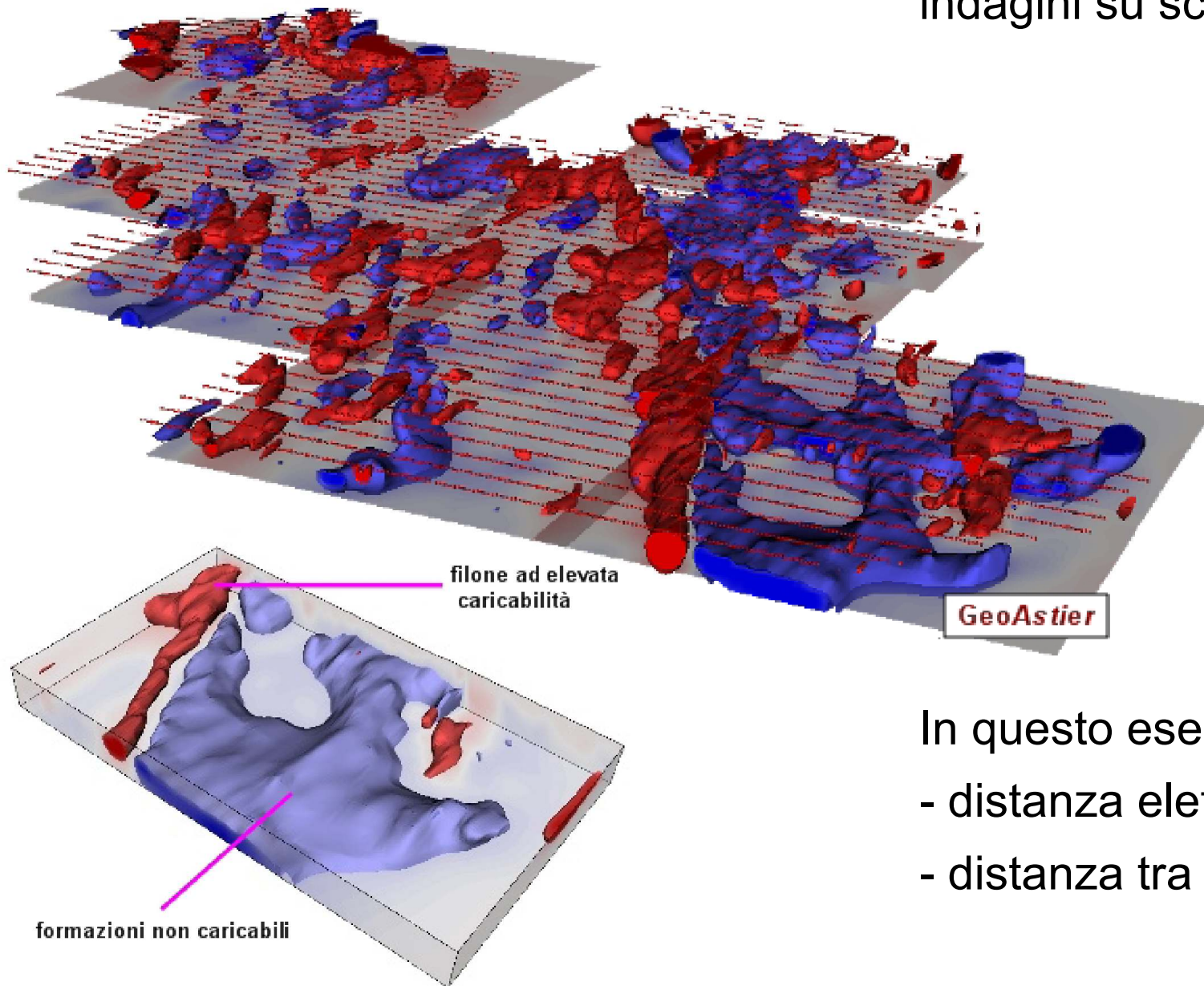
**Buona** scelta dell'interdistanza tra i profili ( con infittimento centrale)



**Cattiva** scelta dell'interdistanza tra i profili (risultati con "strisciate" ortogonali alle linee)

## Profili 2D paralleli – Gradient Array (esplorazione mineraria)

indagini su scala regionale.



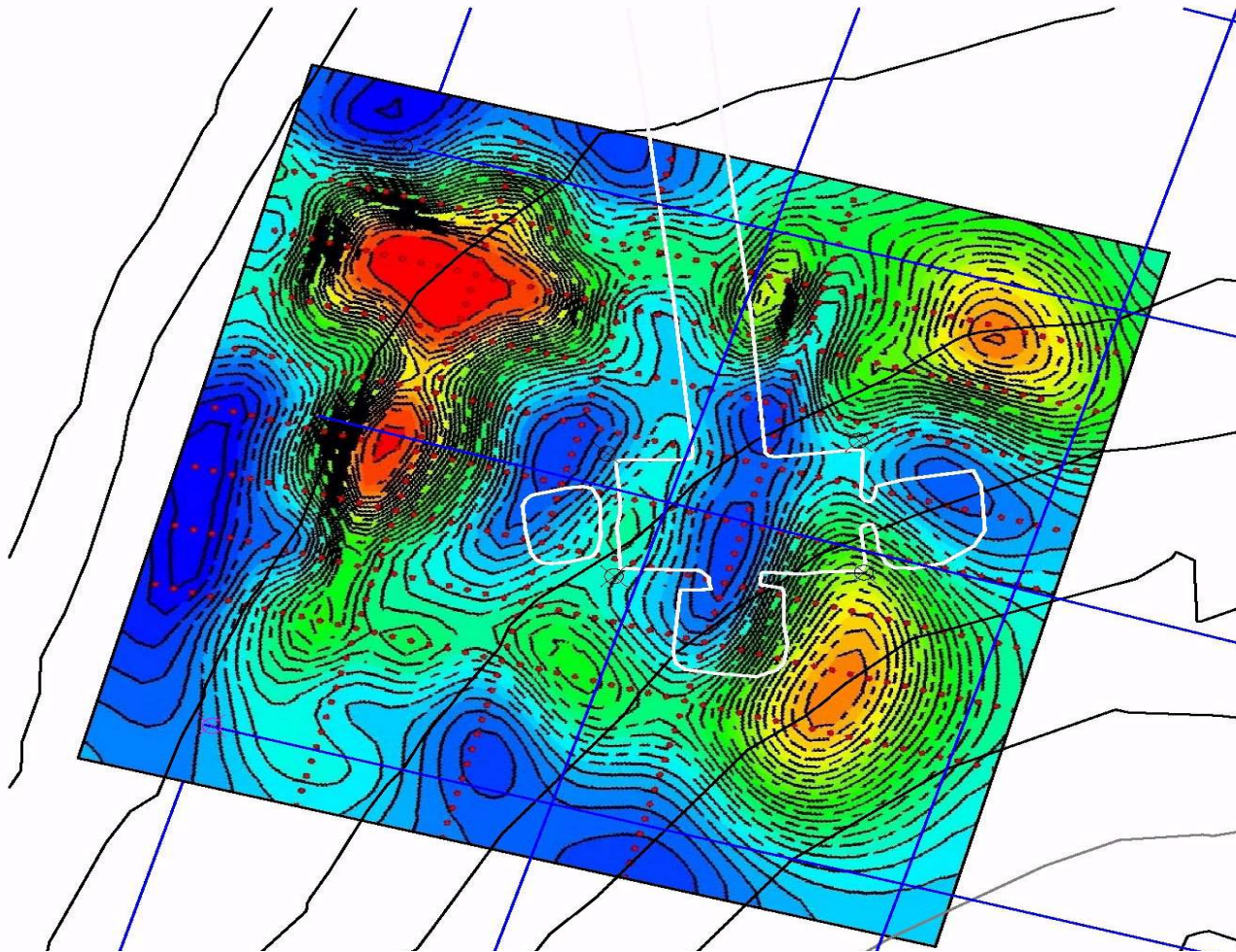
In questo esempio:

- distanza elettrodica: 25 m
- distanza tra profili: 200 m

## ***Profili 2D non paralleli***

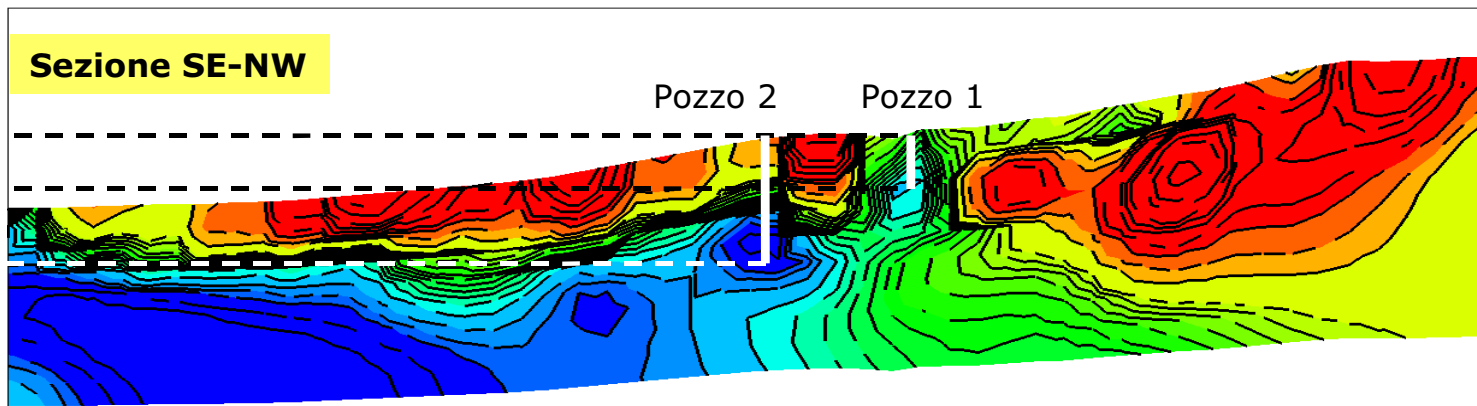
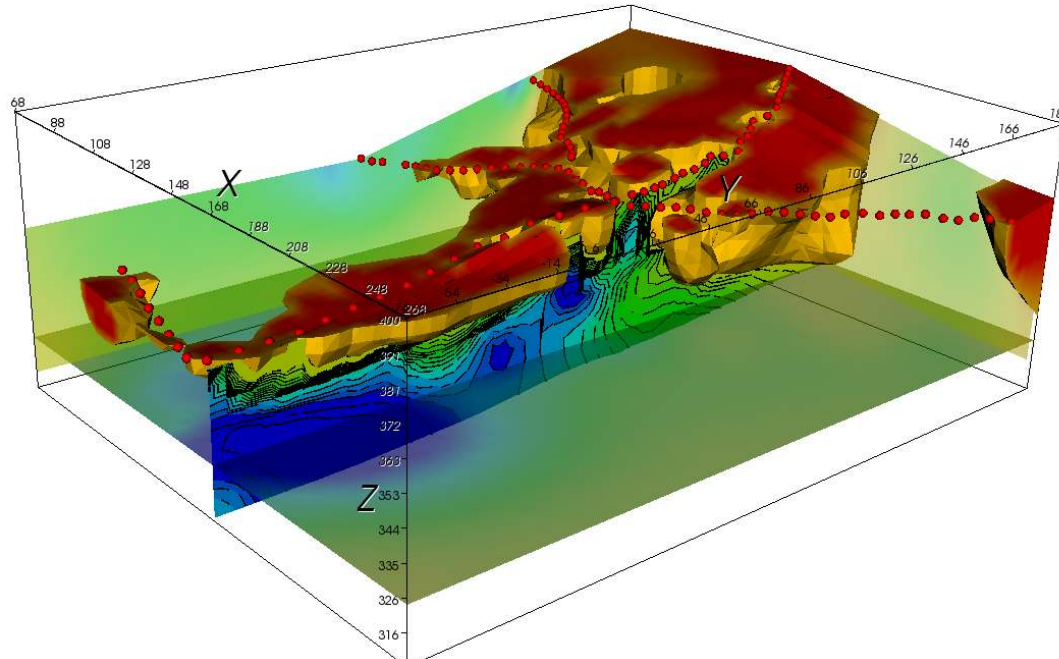
---

L'aggiunta di linee ortogonali aumenta l'**informazione tridimensionale** e consente di utilizzare una maggiore distanza tra i profili.

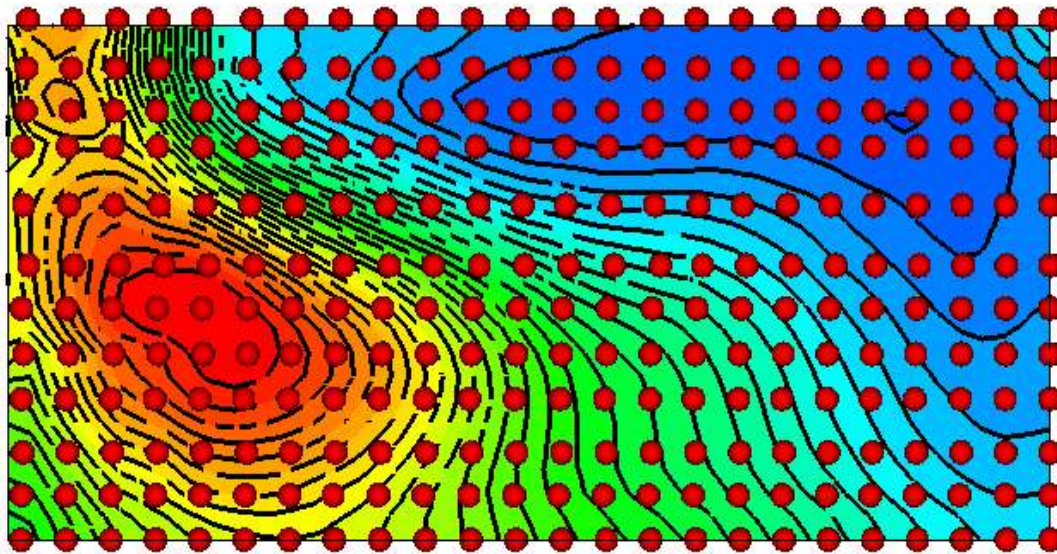


## Profili 2D non paralleli

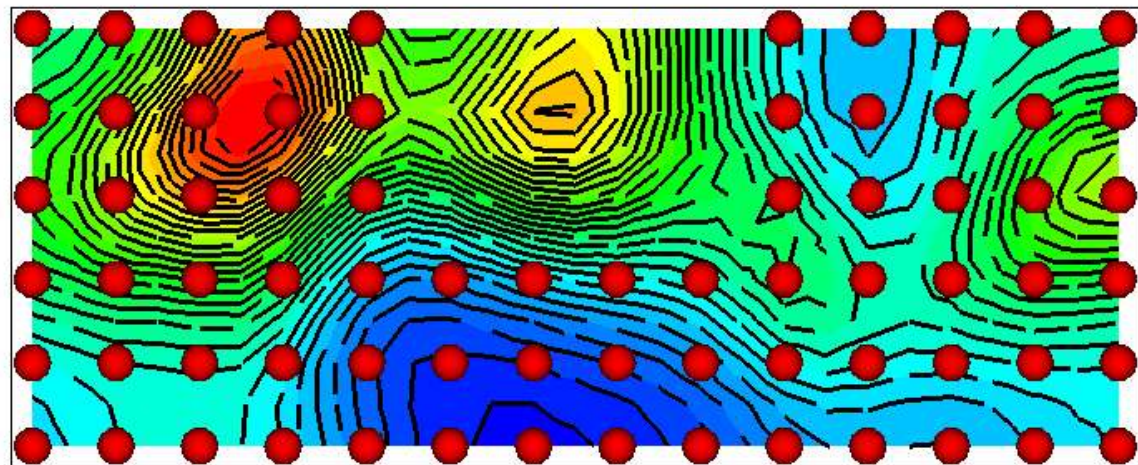
A volte **limiti fisici** (accessibilità) obbligano alla scelta di profili 2D non paralleli. In questi casi è molto importante generare sequenze opportune.



## GRIGLIE 3D



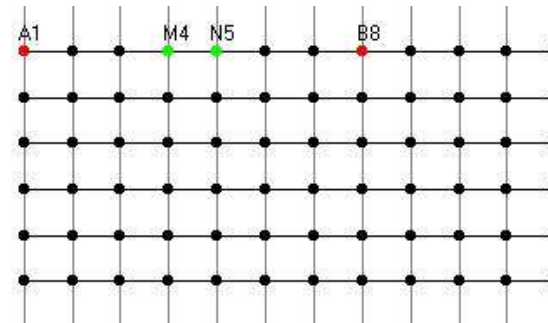
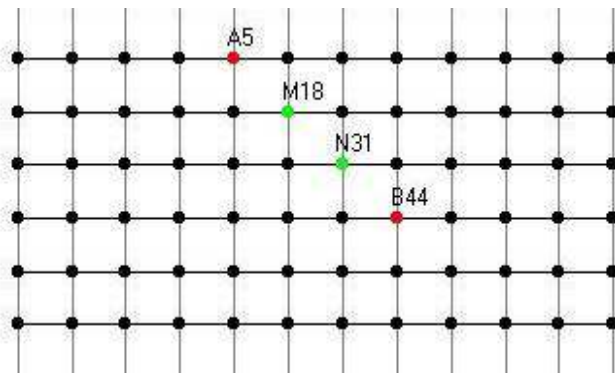
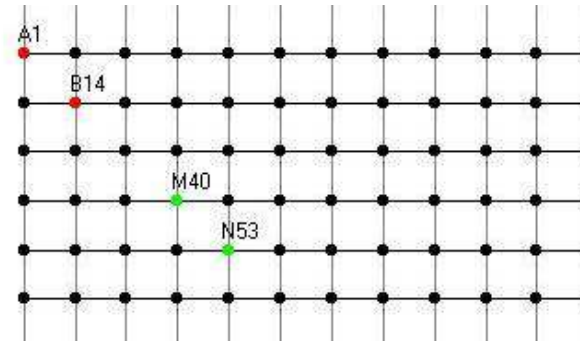
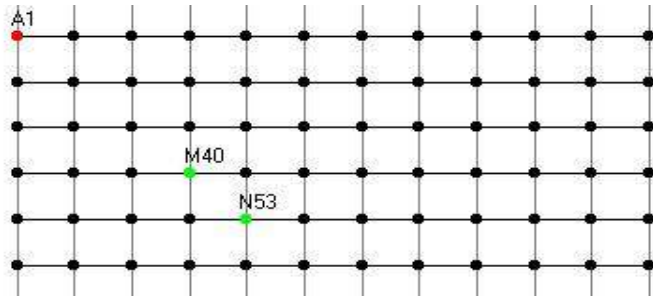
Griglie regolari



Griglie irregolari

## Griglie 3D – Sequenze

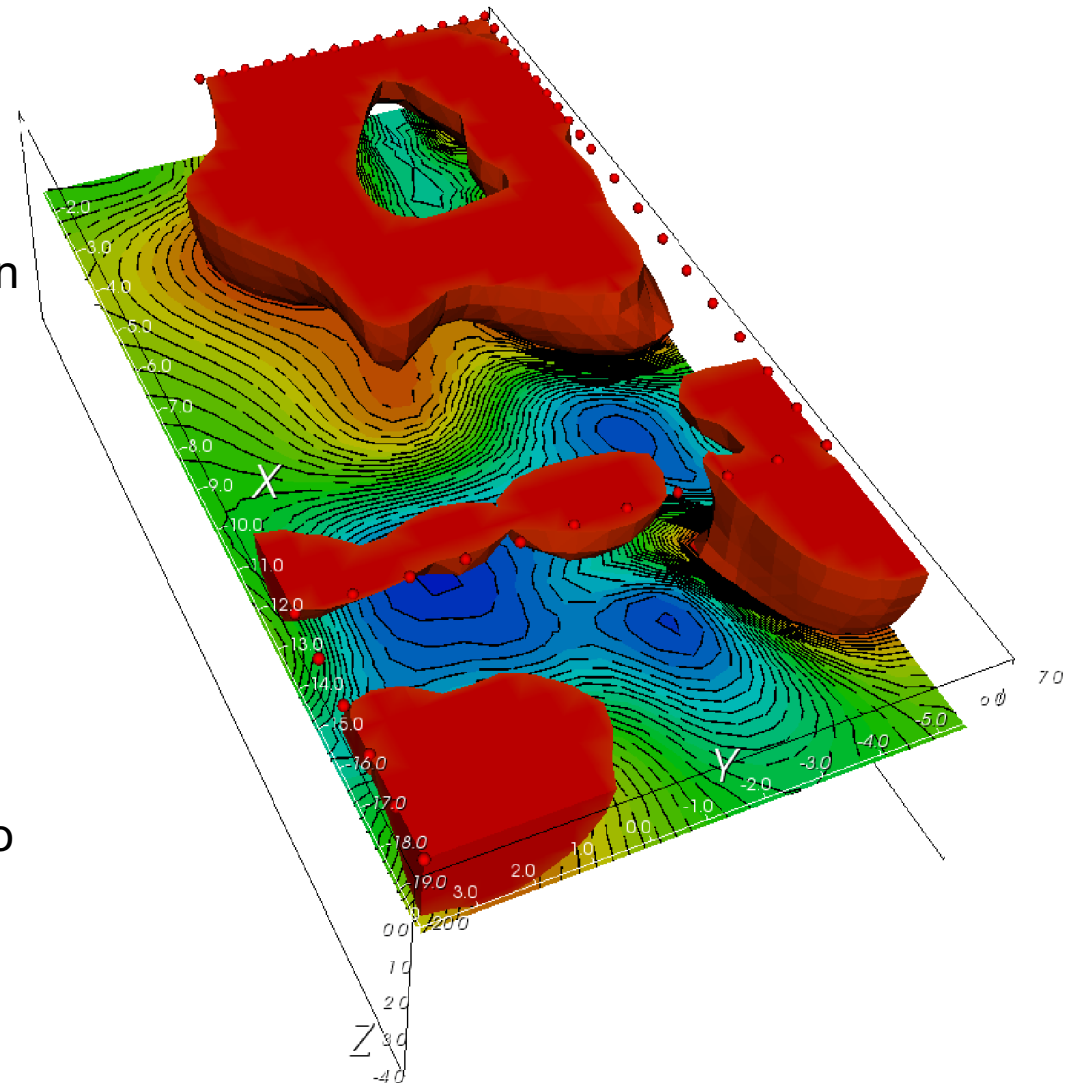
- quadripoli “classici” (Wenner, dip-dip, ...) o specifici quadripoli 3D come il dipolo dipolo equatoriale.
- quadripoli 2D devono essere disposti lungo le diverse direzioni dello spazio (x, y e le diagonali).
- la tridimensionalità delle misure pone meno vincoli sul rispetto della regola: “*distanza tra le linee pari a 2-3 x passo elettrodico*”.



# Geometrie elettrodiche a **L**, **C** e **loop** di elettrodi

Quando:

- Necessità di indagare al di sotto di manufatti, in presenza di **strutture sepolte intrinsecamente "3D"**
- **Poco spazio** a disposizione per gli stendimenti elettrodici a causa della presenza di strutture o **difficoltà di accesso** (es. discariche).
- Necessità di **limitare i costi** di indagine rispetto all'approccio ERT in foro o ad altre tecniche diagnostiche.
- Necessità di **ridurre possibili interazioni con sottoservizi**

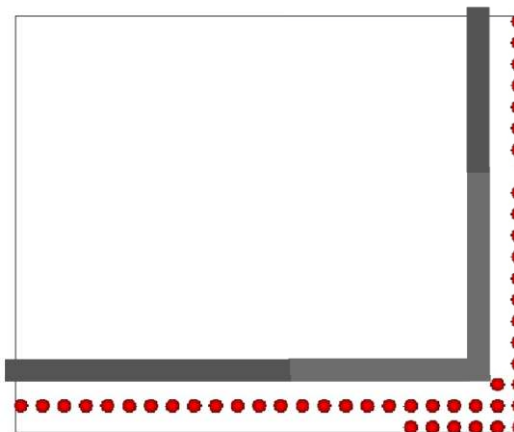
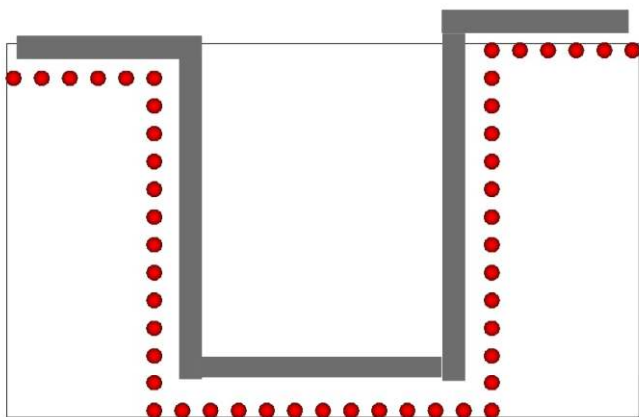
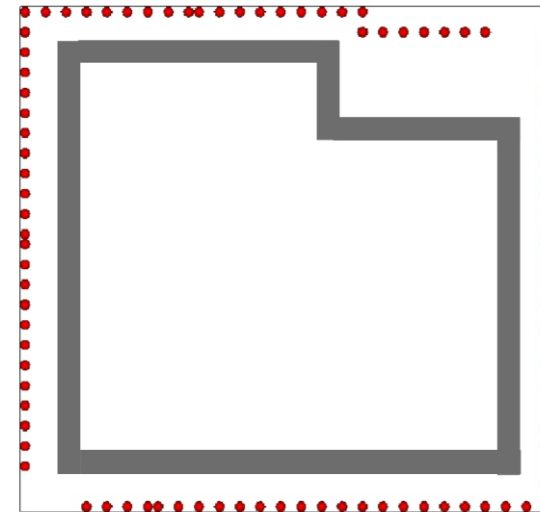
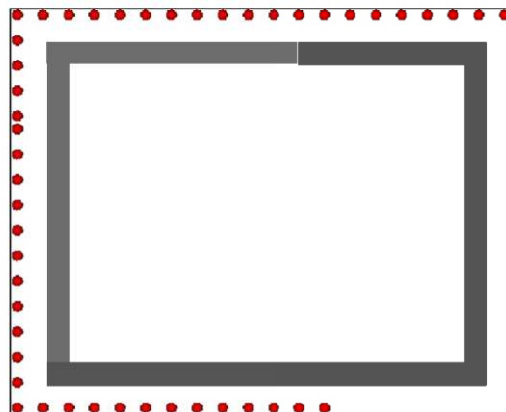
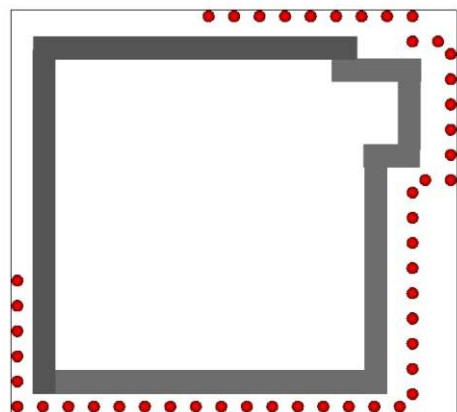


# Geometrie elettrodiche a **L**, **C** e **loop** di elettrodi





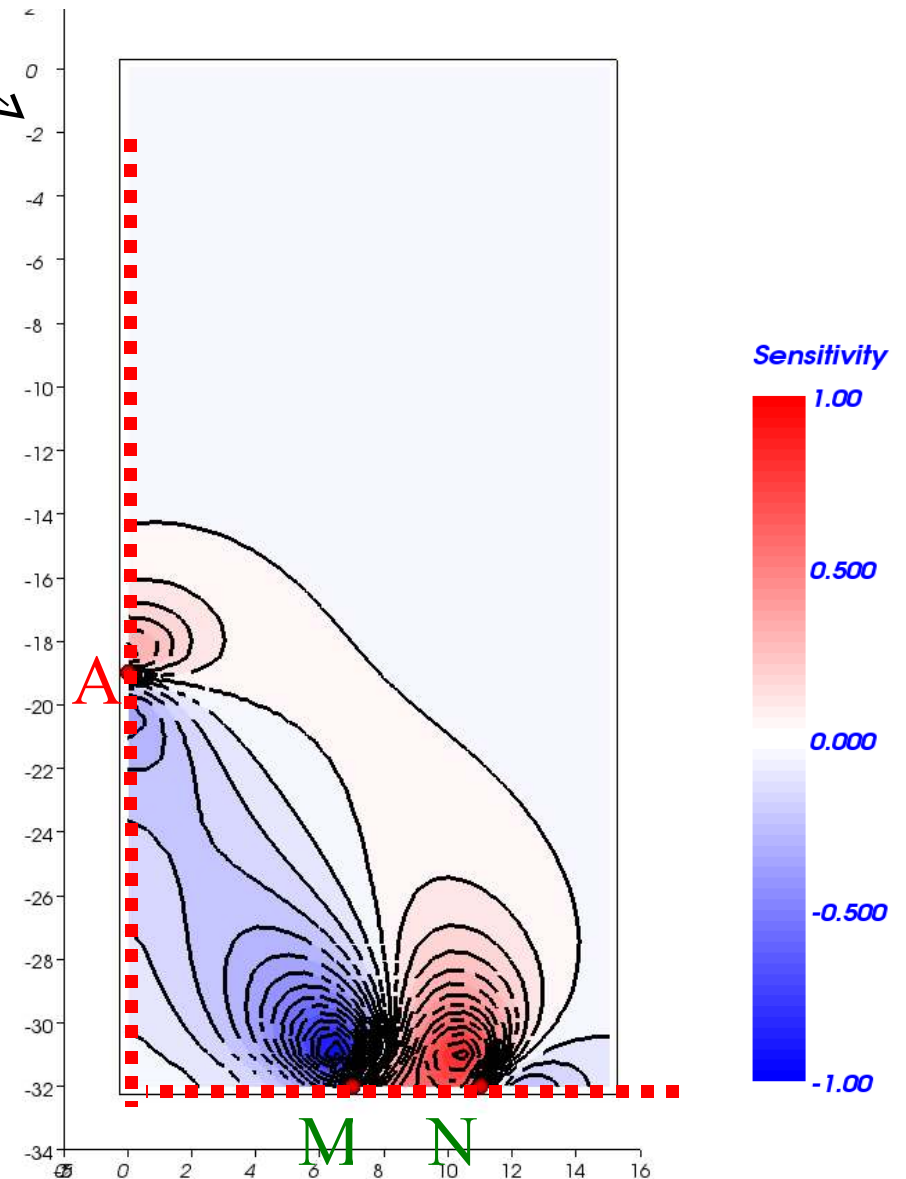
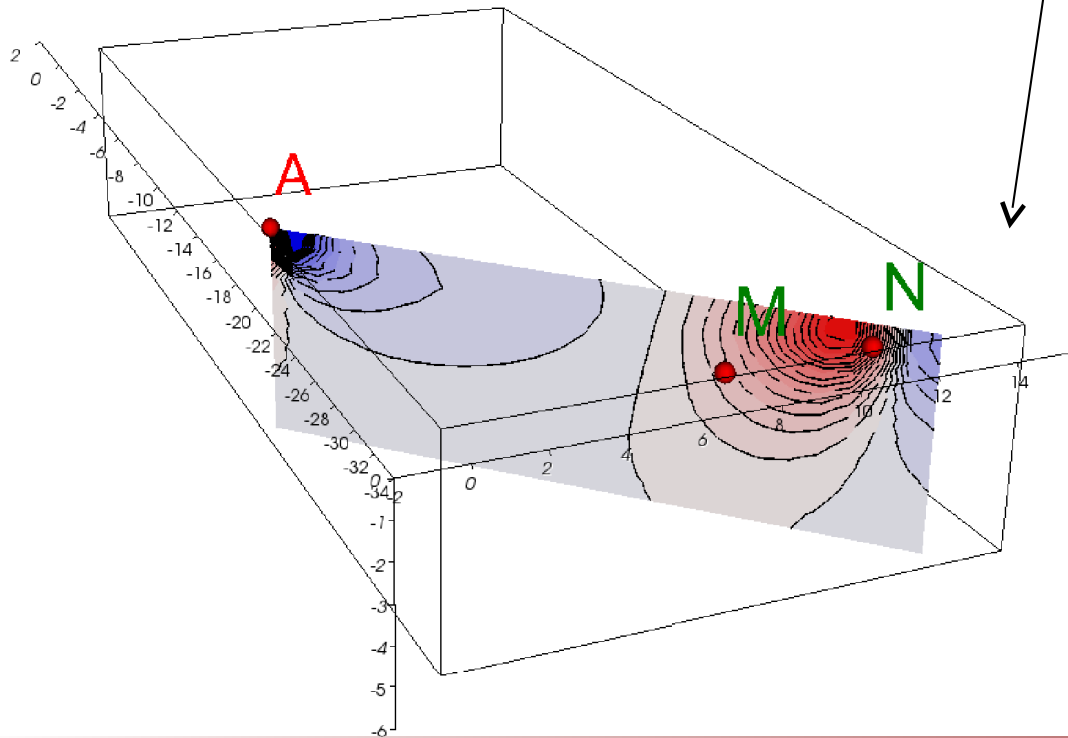
# Geometrie elettrodiche a *L*, *C* e *loop* di elettrodi



# Geometrie elettrodiche a *L*, *C* e *loop* di elettrodi

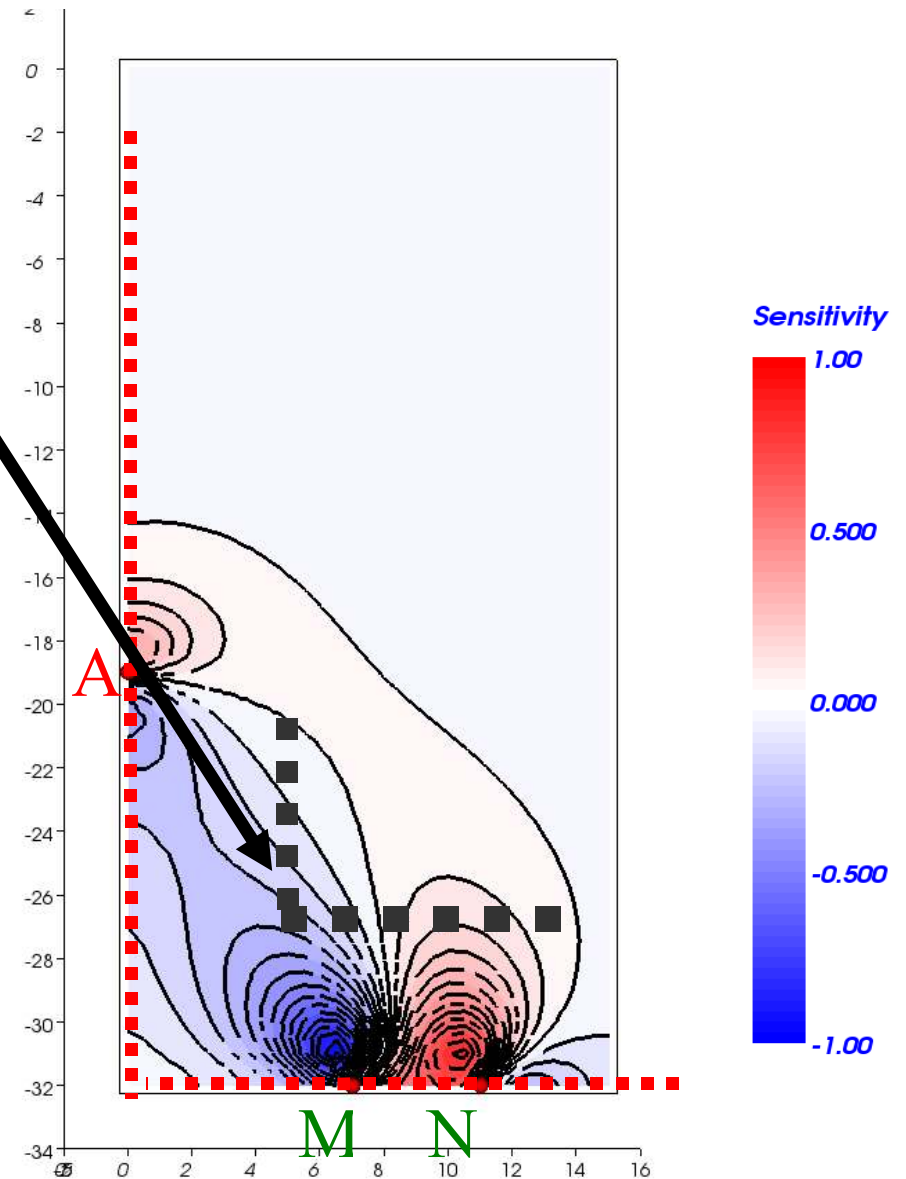
**Mappa di sensitività** per un quadripolo *cross cable*

Ottimo grado di sensitività anche per quelle regioni dello spazio non sovrastate dagli elettrodi

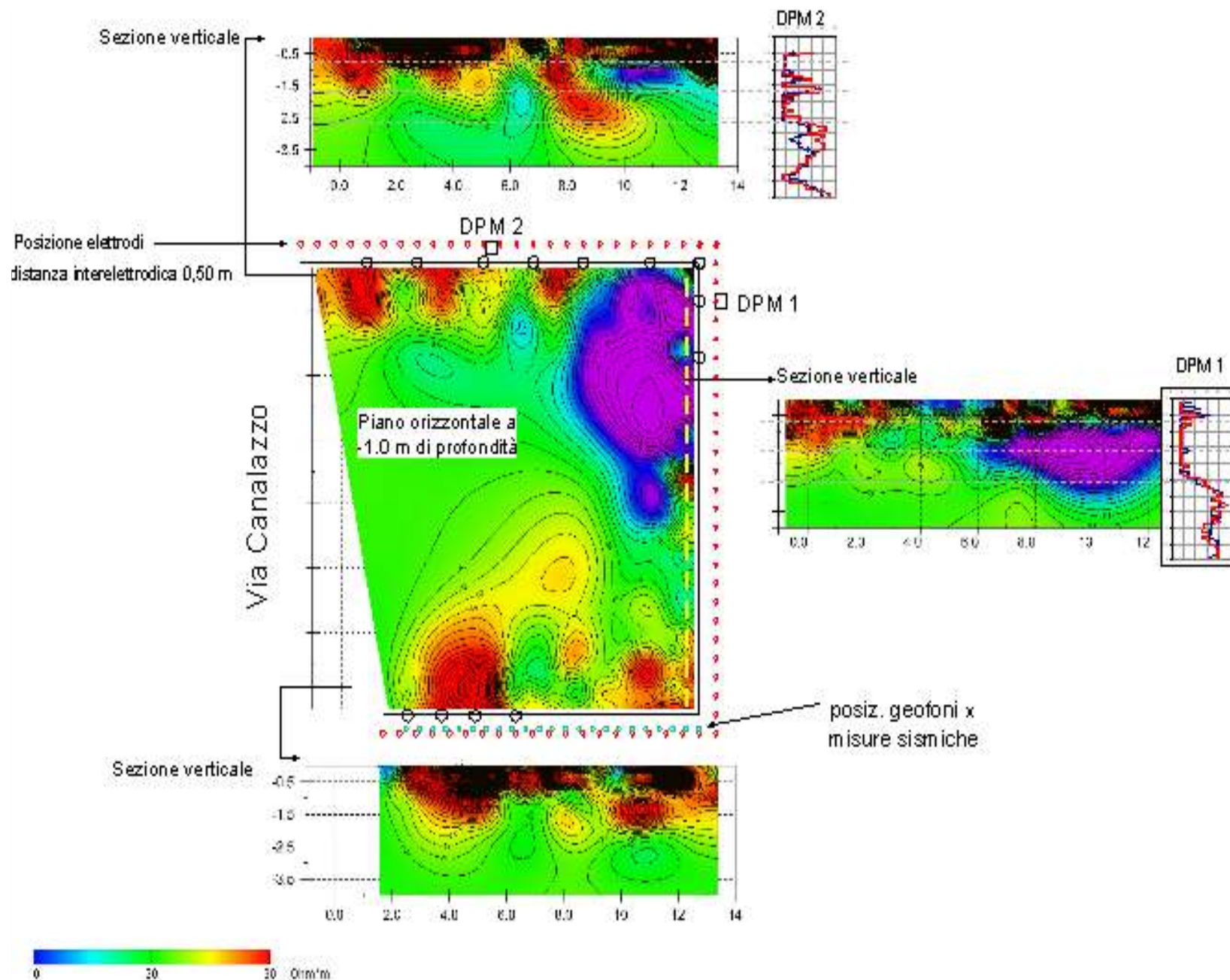


# ***Sviluppi tecnologici per geometrie a L, C e loop***

Utilizzo di elettrodi aggiuntivi all'interno della struttura -> incremento **risoluzione**.



# Geometrie a L, C e loop - *Integrazione con altre indagini*



# **Tomografia elettrica 3D in foro**

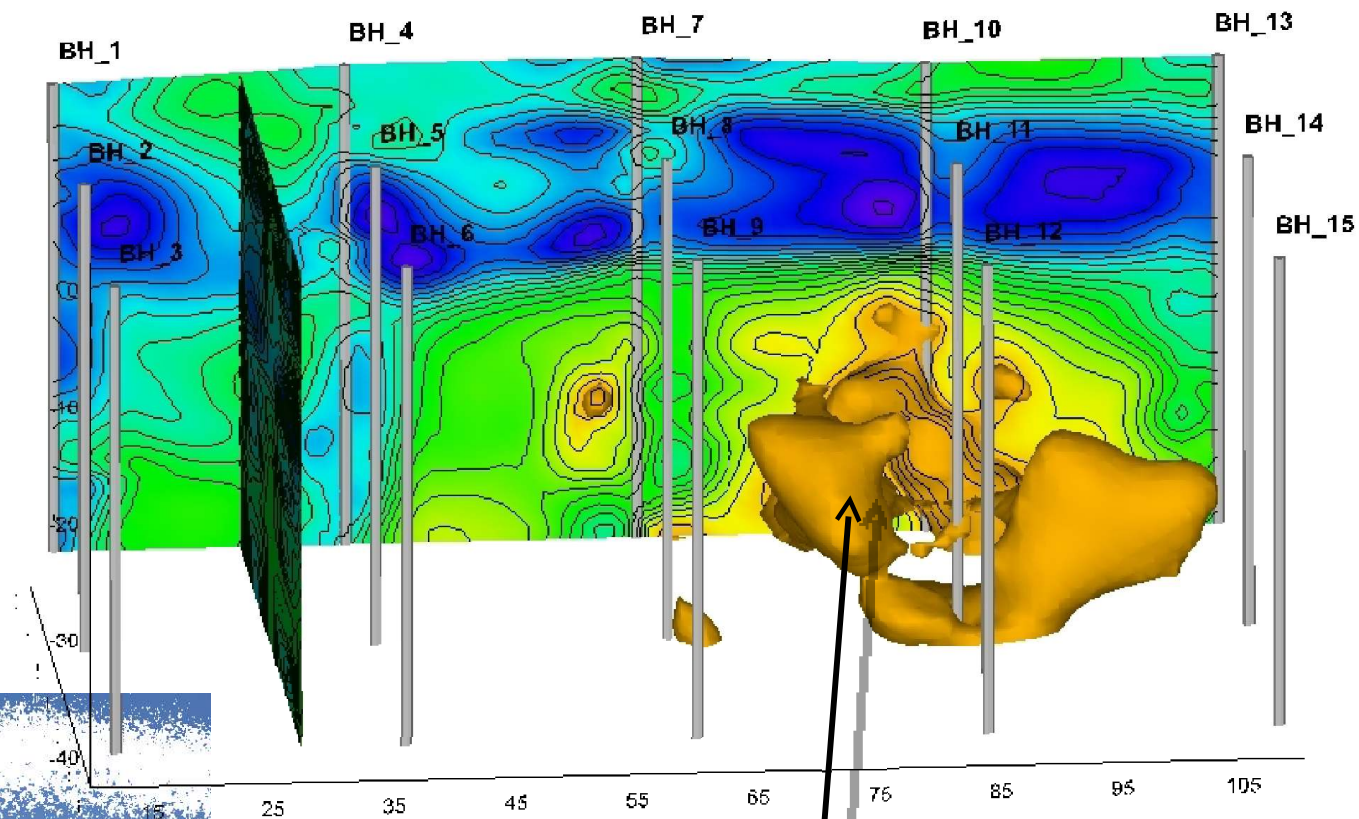
---

La **tomografia in foro** è impiegata nelle seguenti situazioni:

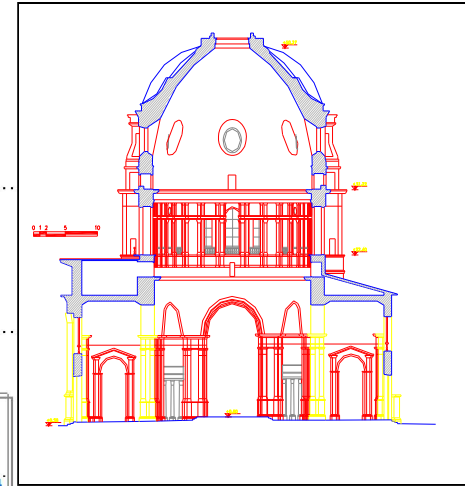
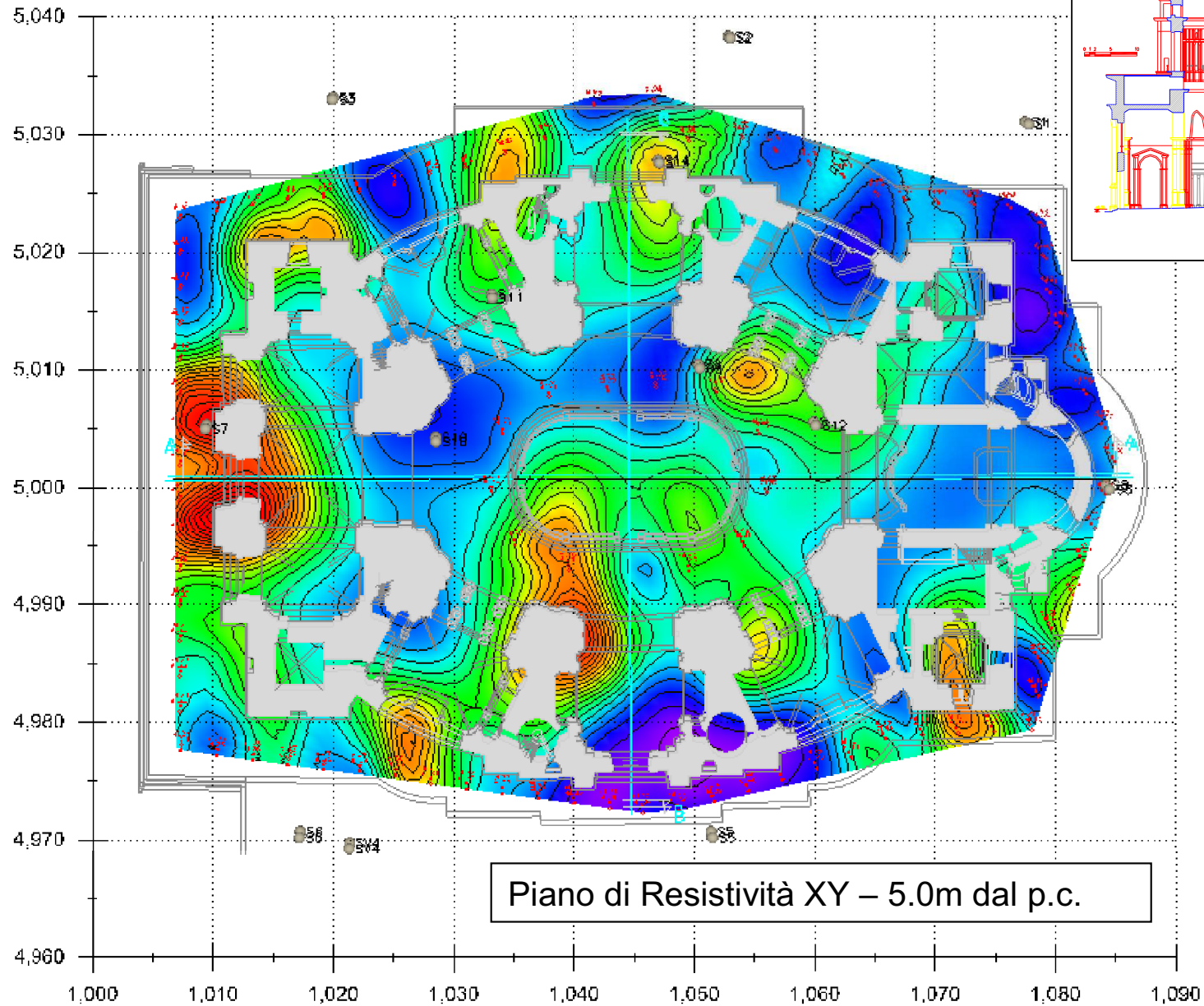
1. quando è necessaria un'**alta risoluzione** in profondità
2. in contesti in cui lo **spazio per stendimenti superficiali è ridotto**: aree industriali (raffinerie..), perimetro di edifici o di altre strutture (serbatoi, ...).
3. nelle misure di **monitoraggio** da ripetere nel tempo (*time lapse*), spesso accoppiate a tecniche di recupero ambientale dei suoli (*air sparging* e altro).
4. impieghi per indagini a **piccola profondità** (4 – 6 metri) a scopi di ingegneria geotecnica (studio fondazioni, iniezioni, applicazioni pedologiche) e applicazioni di **laboratorio**.

# Tomografia elettrica 3D in foro

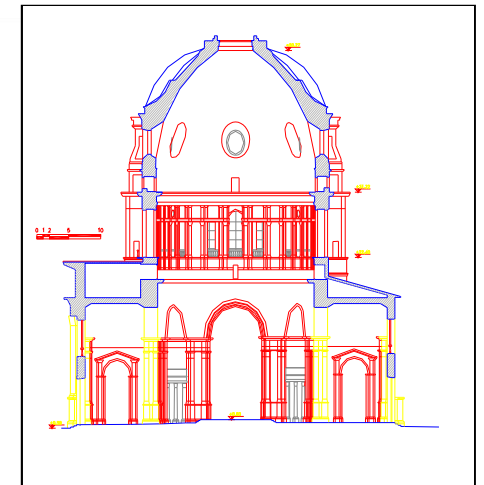
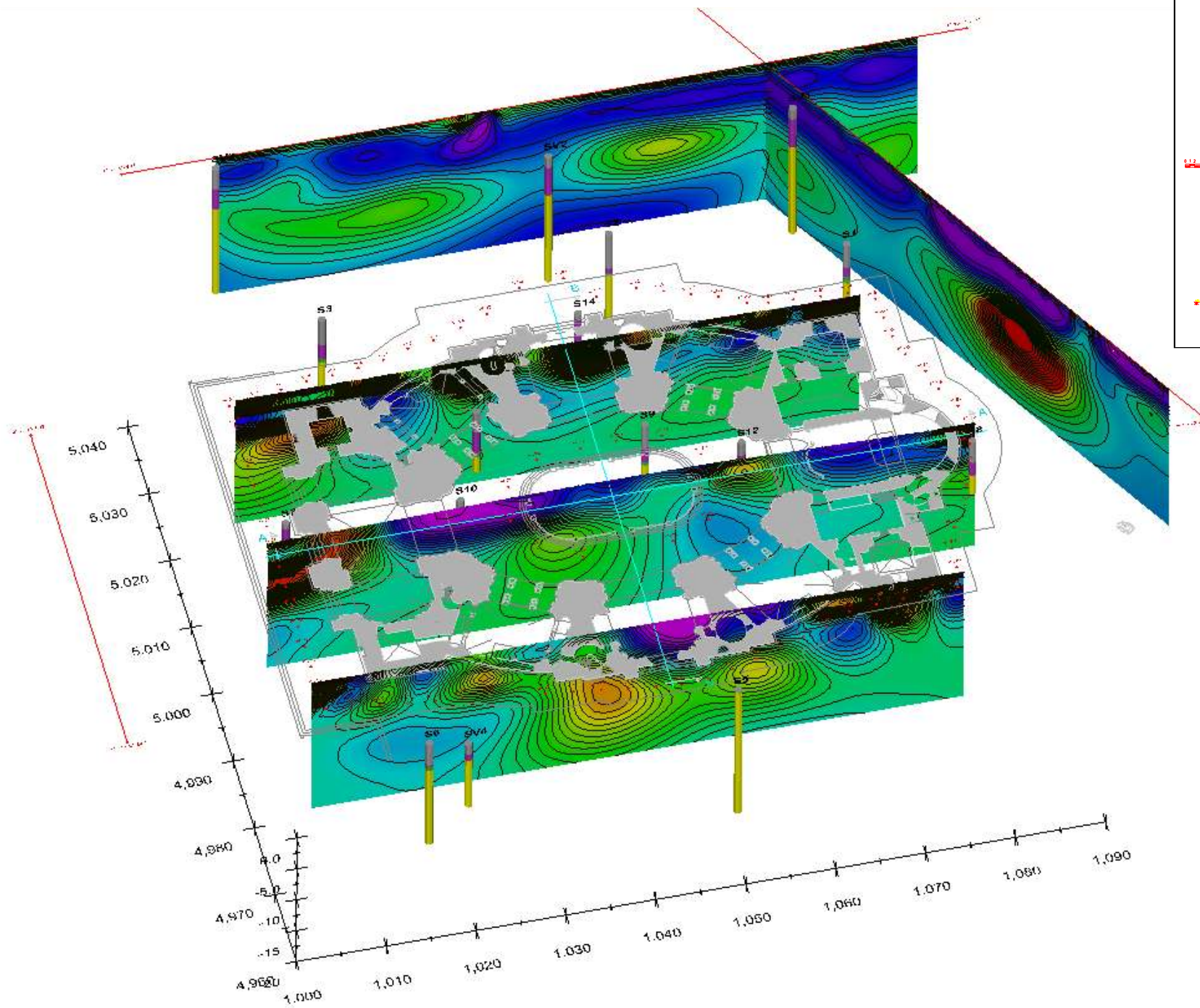
Mappatura 3D di cavità  
in calcari e marne, al di  
sotto di grandi edifici  
Al Ain - UAE



# Diagnostica 3D di fondazioni antiche



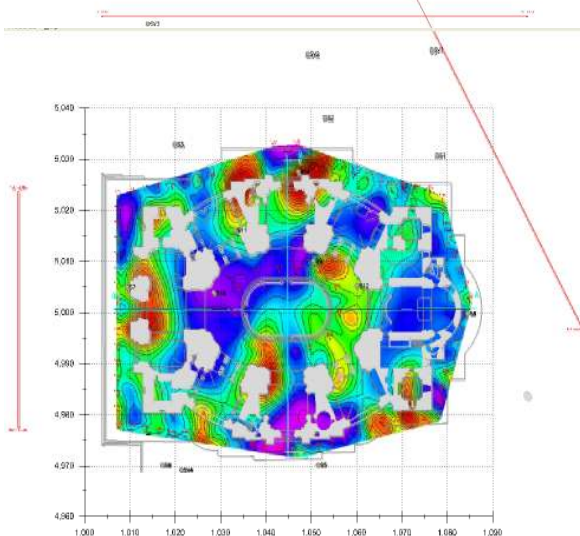
# Diagnostica 3D di fondazioni antiche



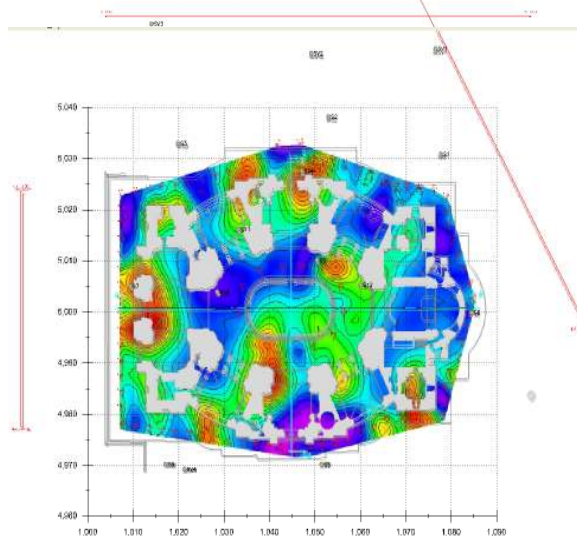


# Diagnostica 3D di fondazioni antiche

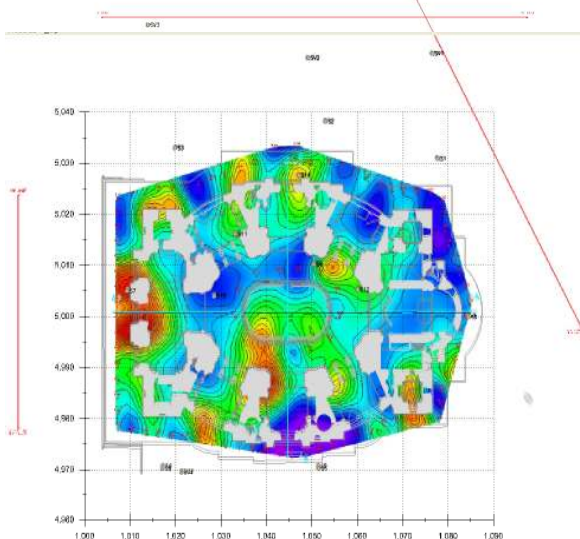
Piano di Resistività XY – 3.0m dal p.c.



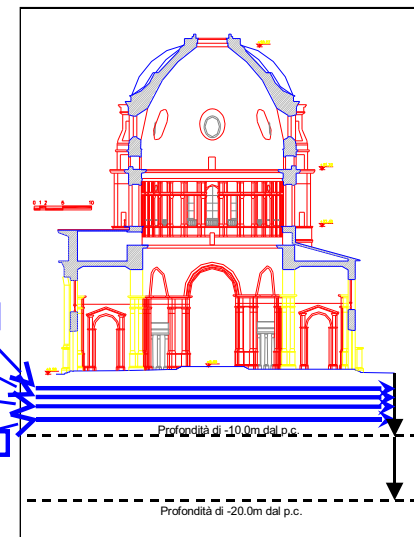
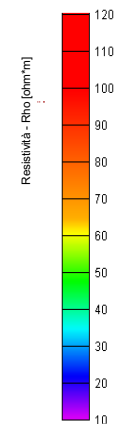
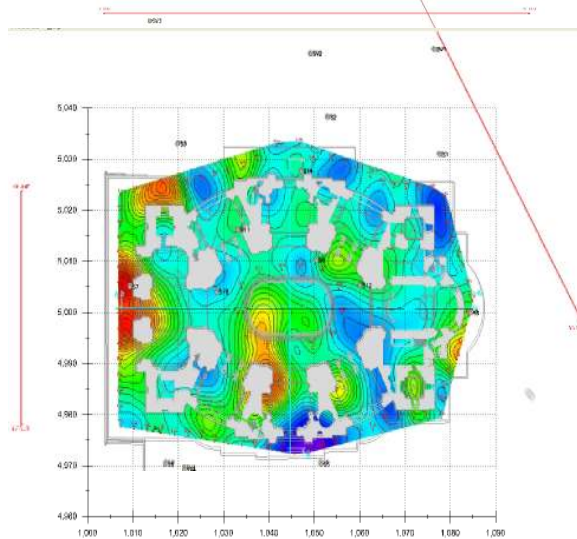
Piano di Resistività XY – 4.0m dal p.c.



Piano di Resistività XY – 5.0m dal p.c.

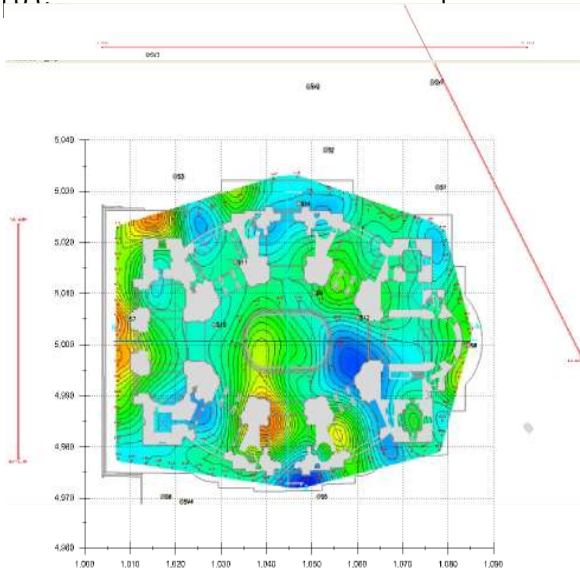


Piano di Resistività XY – 7.0m dal p.c.

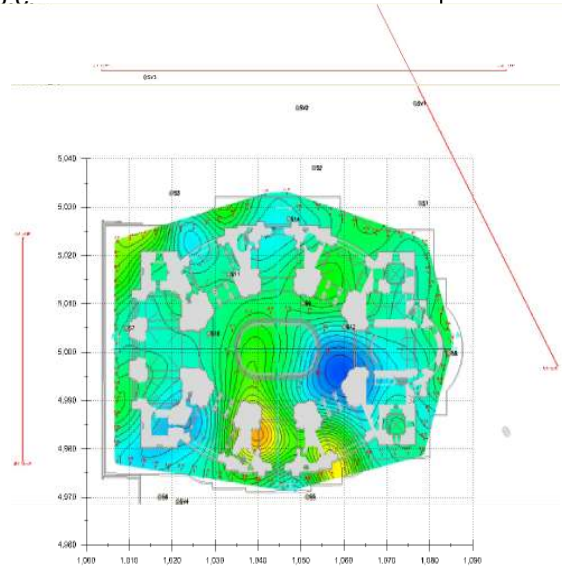


# Diagnostica 3D di fondazioni antiche

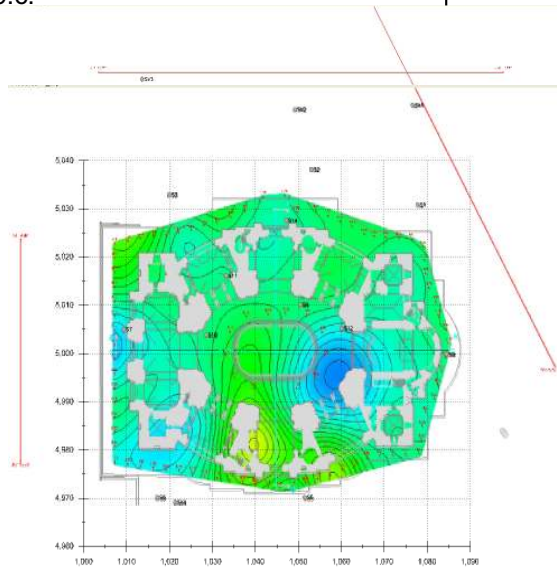
Piano di Resistività XY – 9.0m dal p.c.



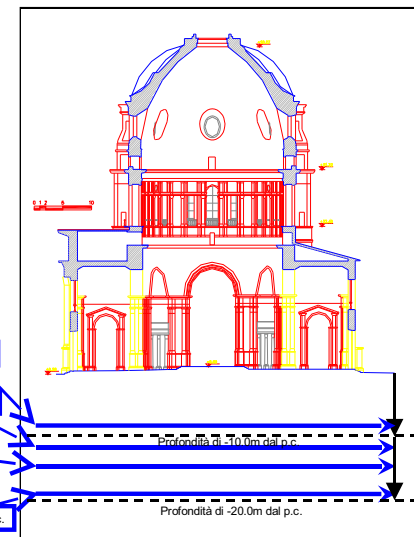
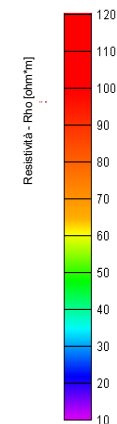
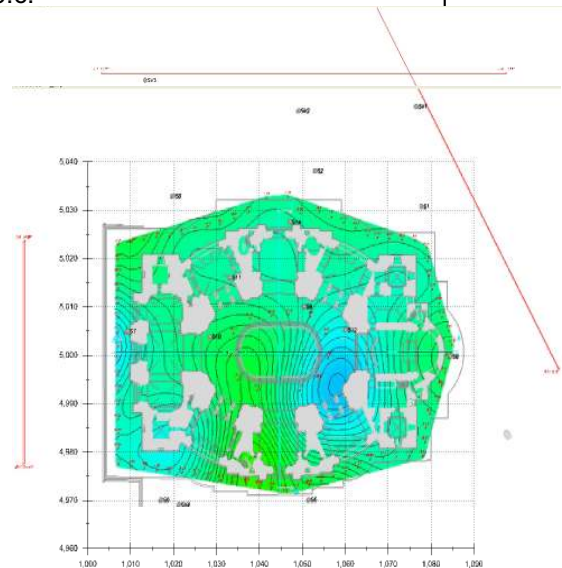
Piano di Resistività XY – 12.0m dal p.c.



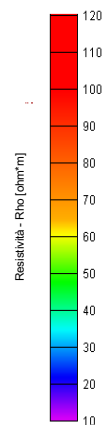
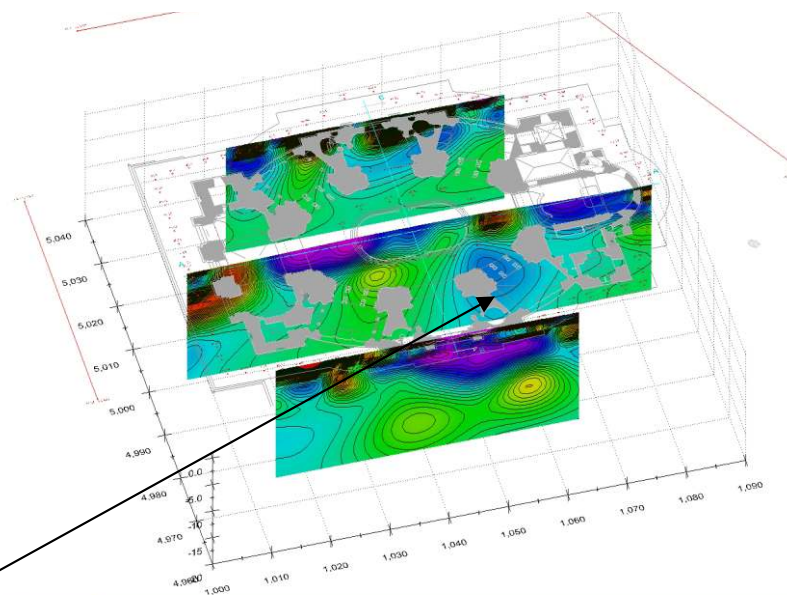
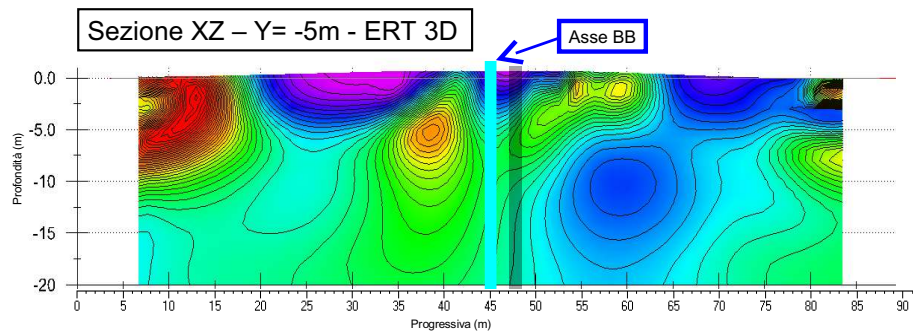
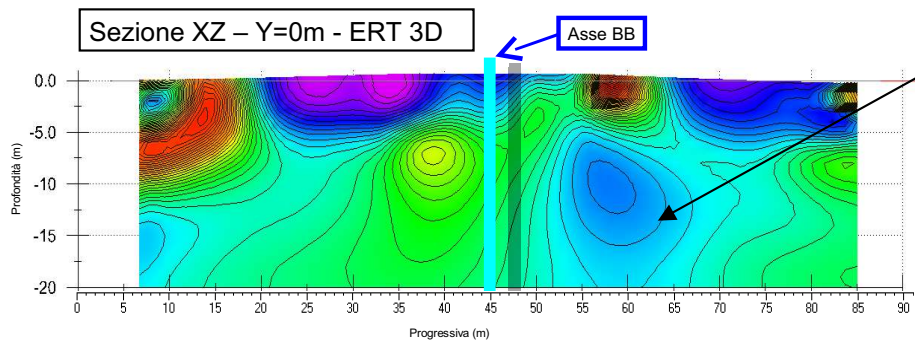
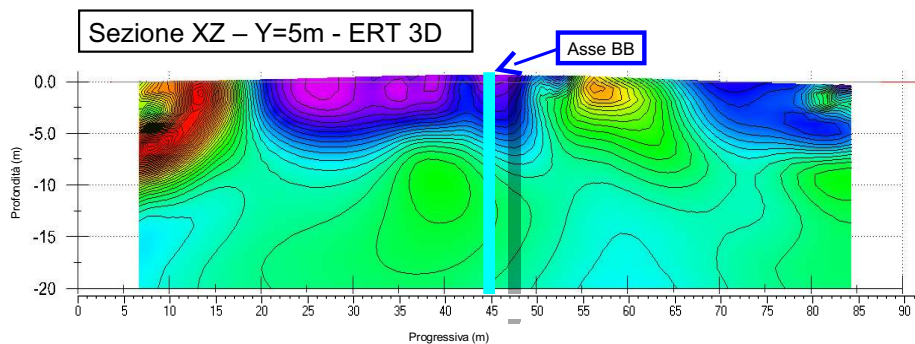
Piano di Resistività XY – 15.0m dal p.c.



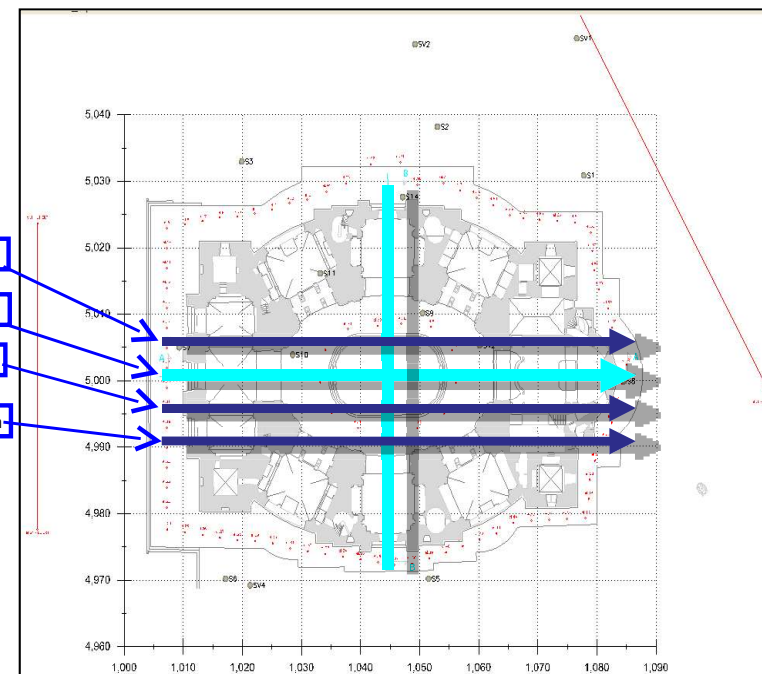
Piano di Resistività XY – 19.0m dal p.c.



# Diagnostica 3D di fondazioni antiche

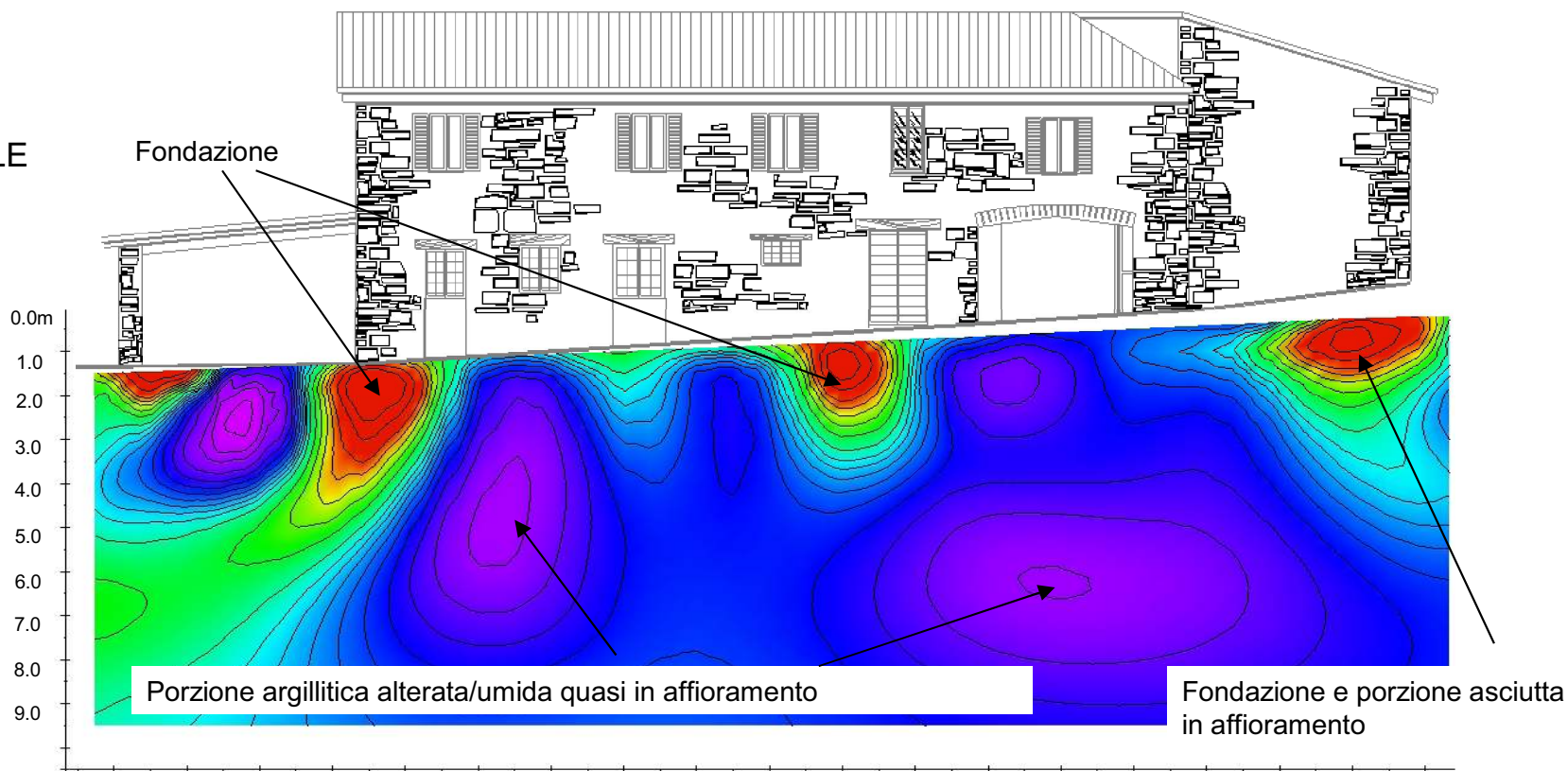


- Sez.XZ - Y=5m
- Sez.XZ - Y=0m
- Sez.XZ - Y=-5m
- Sez.XZ - Y=-10m

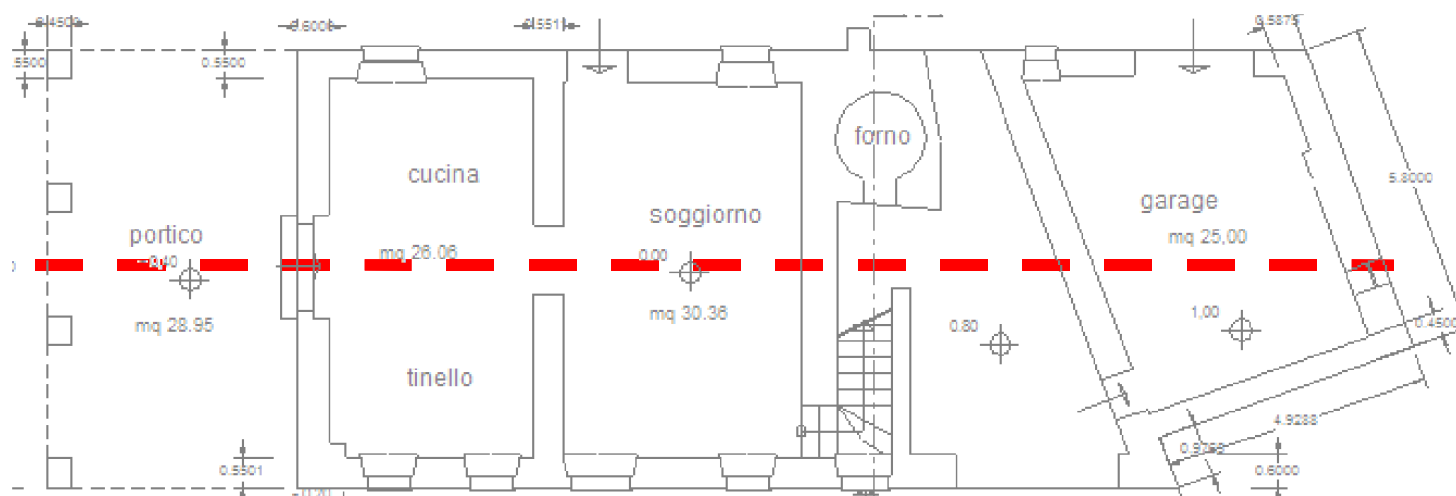


# Diagnostica 3D di fondazioni di piccoli edifici

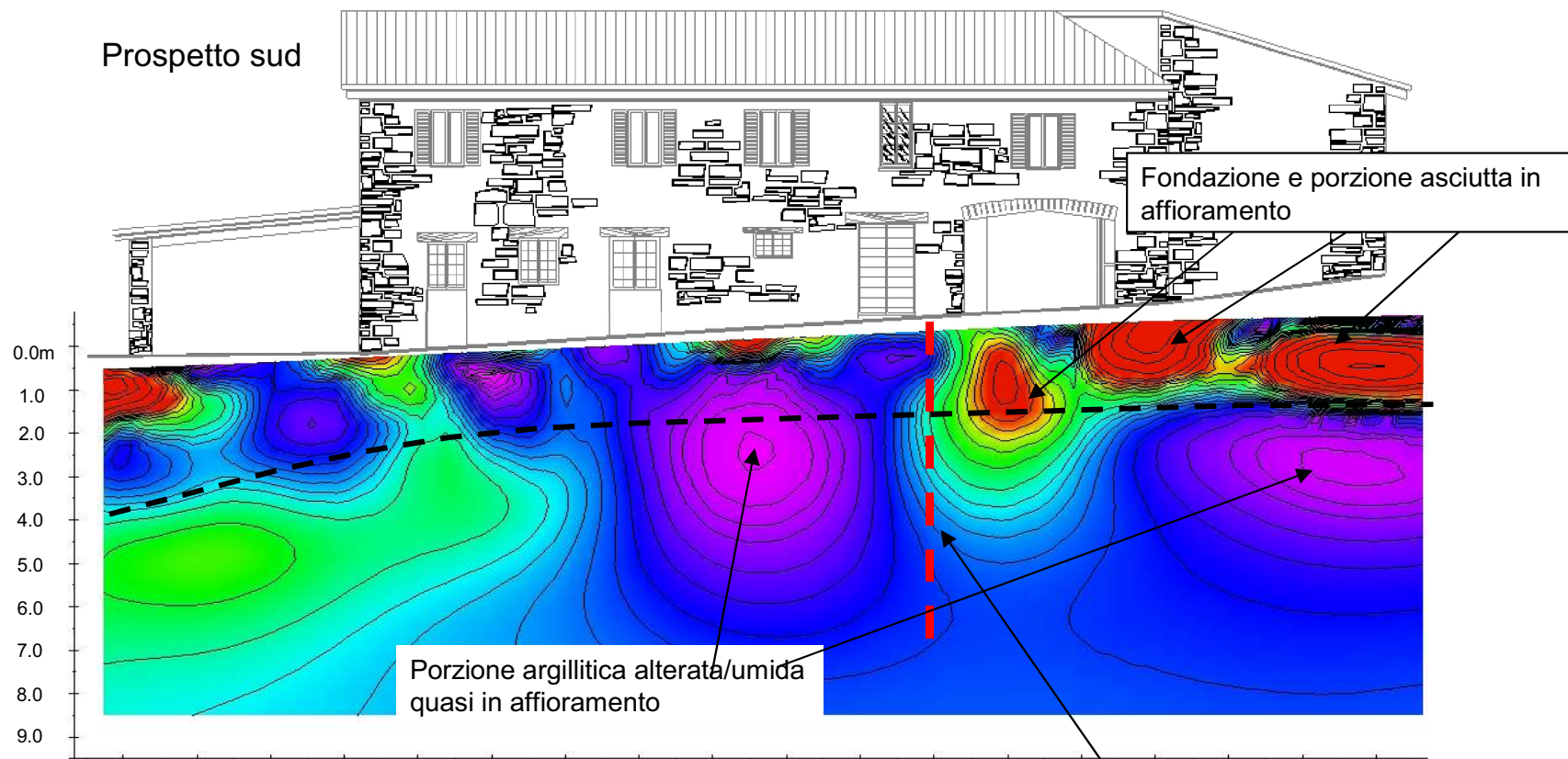
ASSE CENTRALE



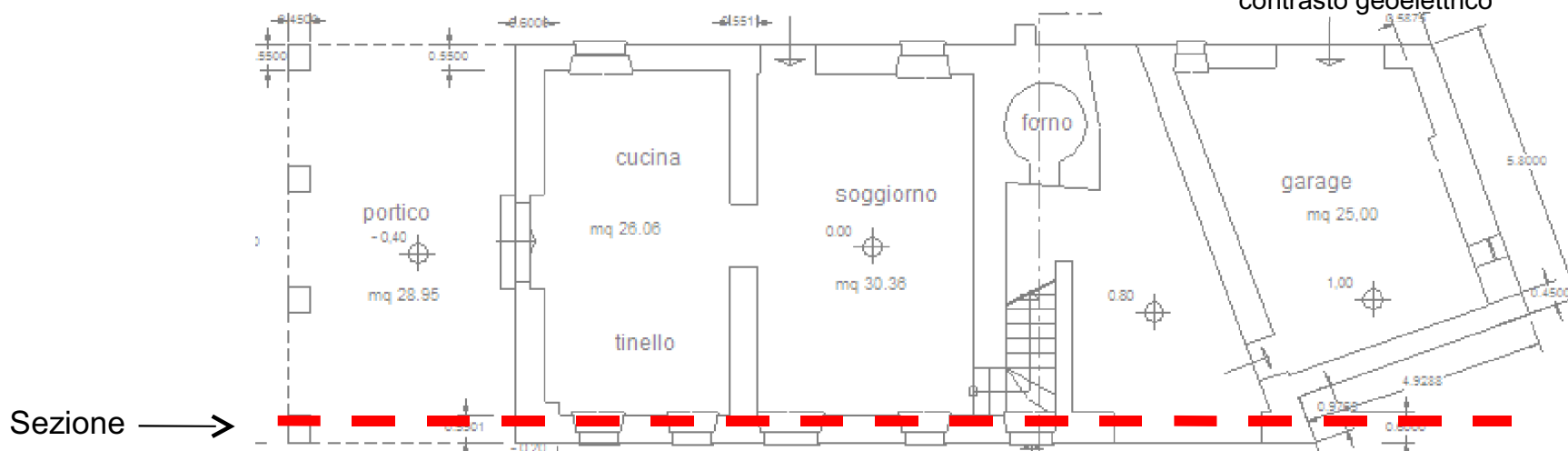
Sezione →



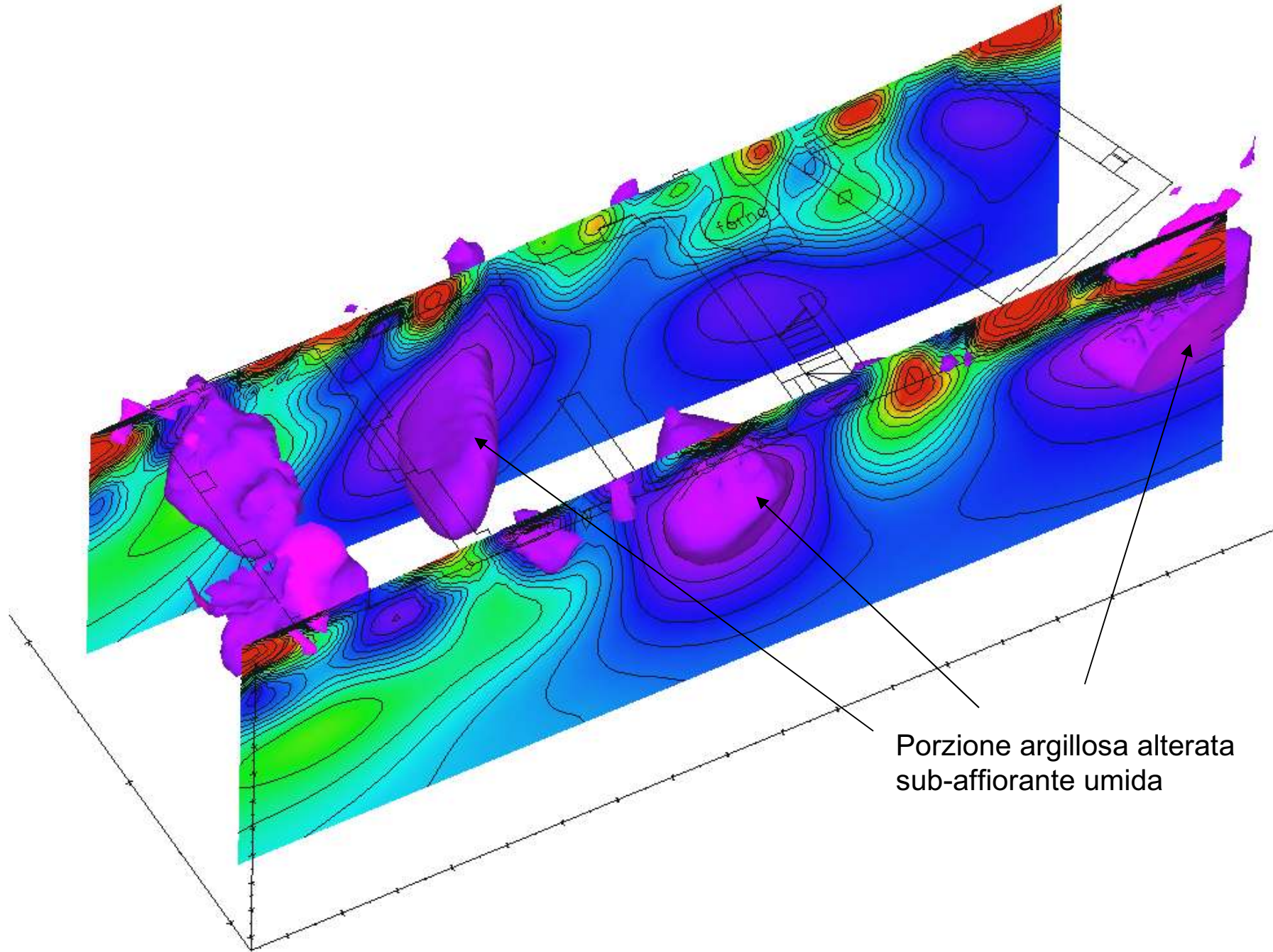
# Diagnostica 3D di fondazioni di piccoli edifici



Interfaccia tra porzioni a forte contrasto geoelettrico

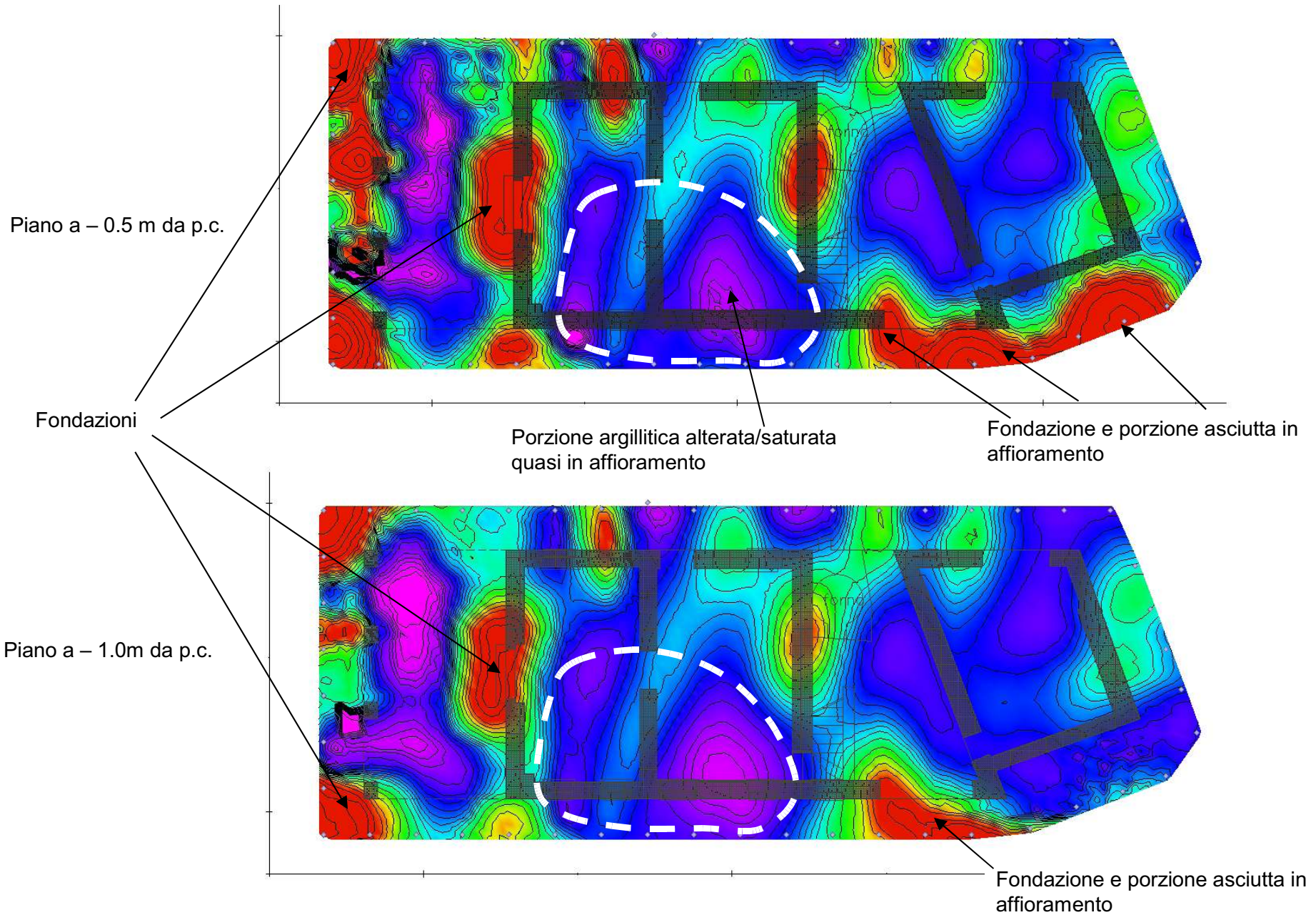


# Diagnostica 3D di fondazioni di piccoli edifici



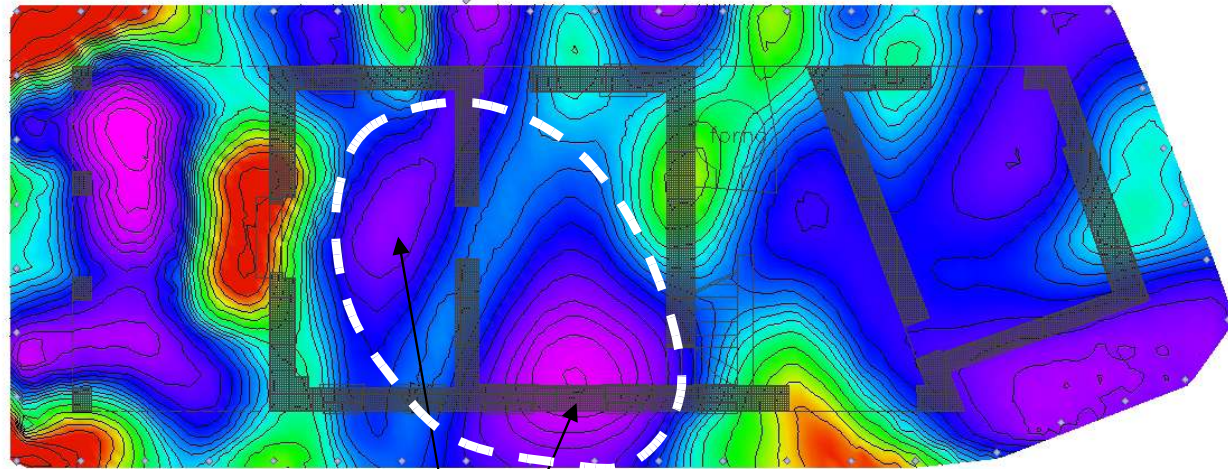
Porzione argillosa alterata  
sub-affiorante umida

# Diagnostica 3D di fondazioni di piccoli edifici



# Diagnostica 3D di fondazioni di piccoli edifici

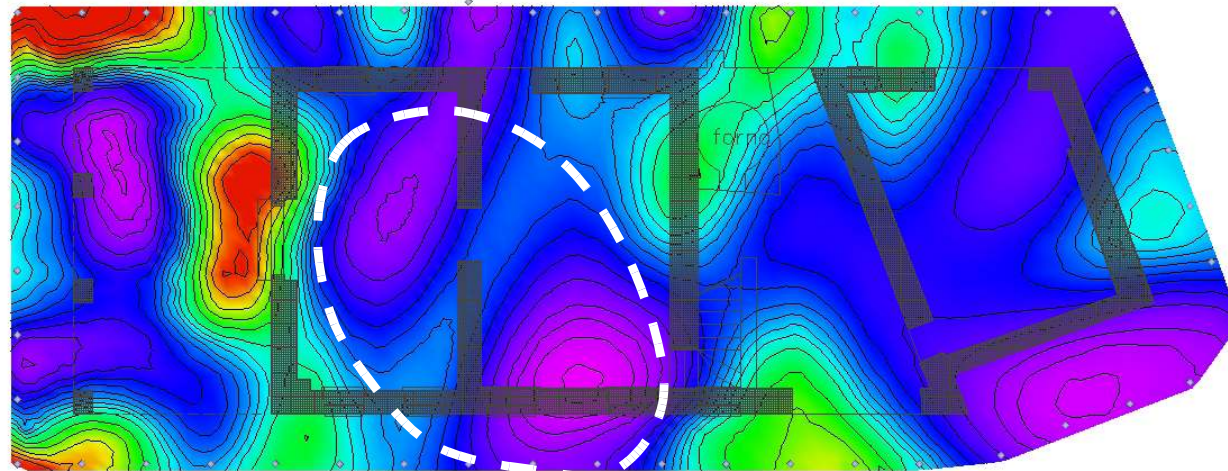
Piano a -1.5 m da p.c.



Porzioni potenzialmente instabili

Porzione argillitica alterata/umida quasi in affioramento

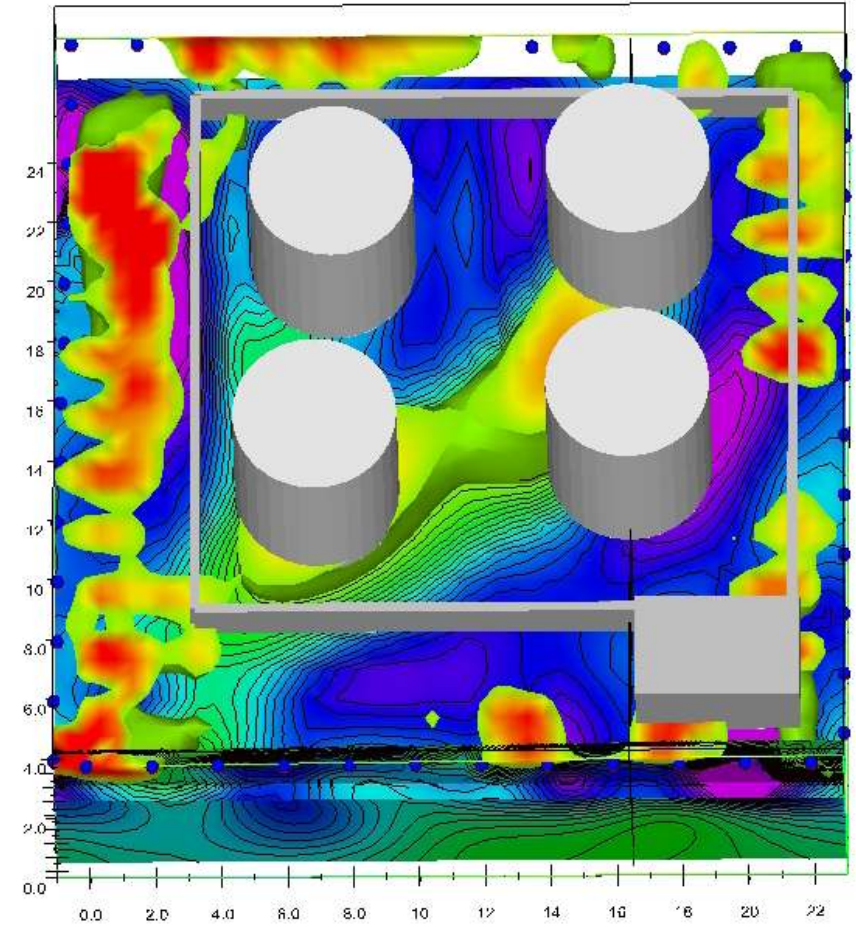
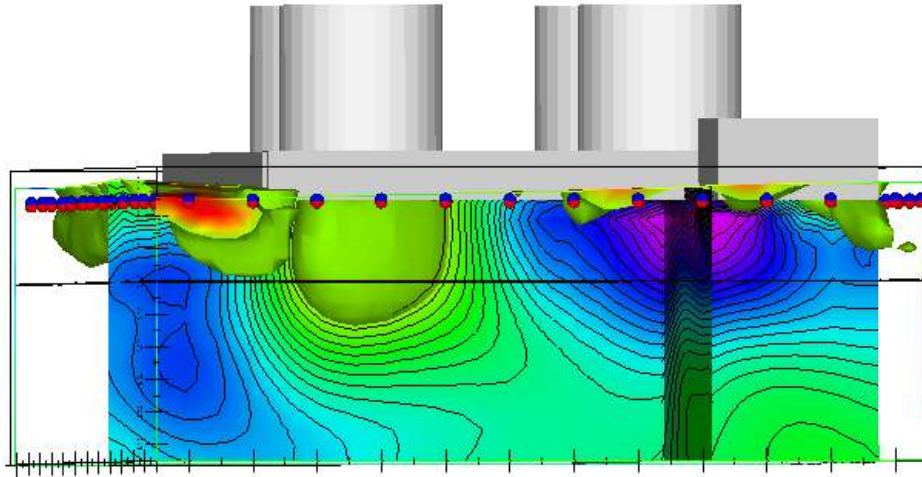
Piano a -2.0m da p.c.







# Diagnostica 3D di fondazioni di serbatoi

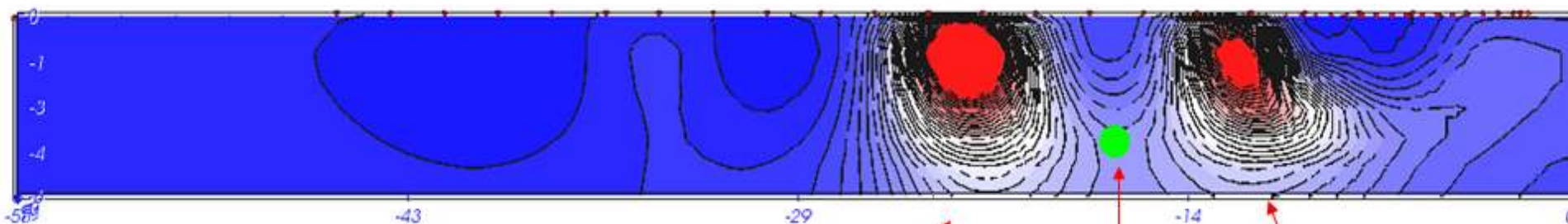
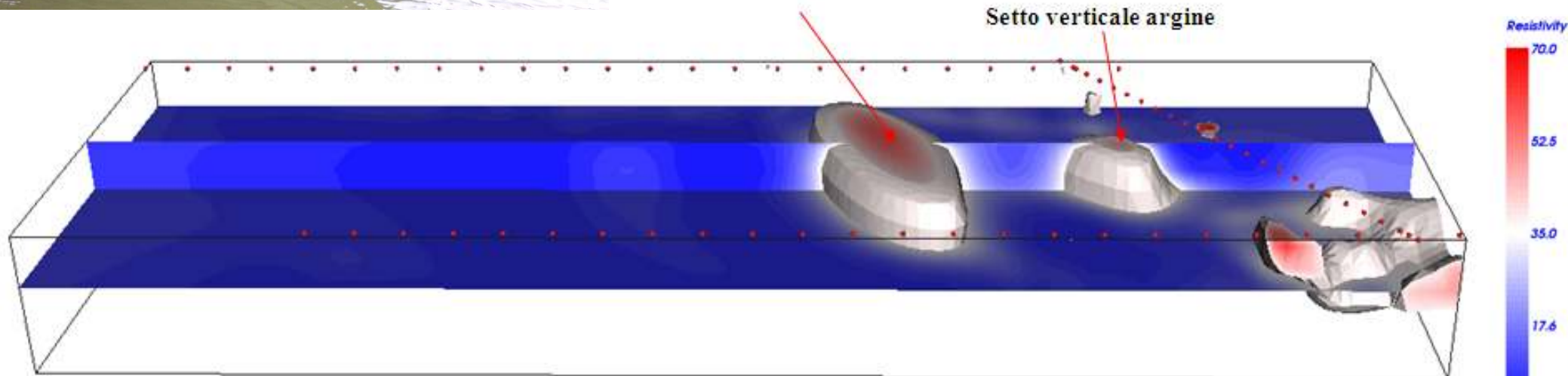


# Diagnostica 3D di fondazioni di ponti ( cort. lic. GeoEcho – Poggibonsi)



Pilone Ponte

Setto verticale argine



# Diagnostica 3D di fondazioni di ponti ( cort. lic. GeoEcho – Poggibonsi)

