

WORKSHOP
RESEARCH CENTER FOR ECO-ENVIRONMENTAL SCIENCES (RCEES)
and
UNIVERSITY OF PISA DEPUTATION
October 24, 2005

Beijing, China

**INNOVATIVE APPLICATIONS OF GEOPHYSICAL
TECNOLOGIES FOR THE CULTURAL HERITAGE,
URBAN PLANNING, SUBSOIL POLLUTION AND
RISK ASSESMENT STUDIES**



Prof. Mario Marchisio

University of Pisa, Department of Civil Engineering,
Laboratory of Applied Geophysics

OBIETTIVI

- indicare le metodologie geofisiche più efficienti per risolvere i problemi di *Monumenti Storici, Progettazione urbanistica, inquinamento del sottosuolo e Studi della Valutazione del rischio*
- dare alcuni criteri per affrontare singole situazioni a secondo della natura del problema, dell'estensione dell'area indagata, della risoluzione richiesta e della profondità di indagine.



I METODI GEOFISICI PER L'ESPLORAZIONE DEL SOTTOSUOLO

METHODI GEOELETTRICI

- CLASSICI: VES (Sondaggi elettrici verticali); PROFILI
- PSEUDOSEZIONI → TOMOGRAFIE GEOELETTRICI
- POLARIZZAZIONE INDOTTA

METODI ELETTROMAGNETICI

- RIFLESSIONE AD ALTA FREQUENZA: GEORADAR (GPR)
- INDUZIONE A BASSA FREQUENZA: GEM300, EM-PROFILING

METODI SISMICI

- SISMICA A RIFLESSIONE
- SISMICA A RIFRAZIONE
- ONDE DIRETTE → TOMOGRAFIE SISMICHE

METODI MAGNETICI

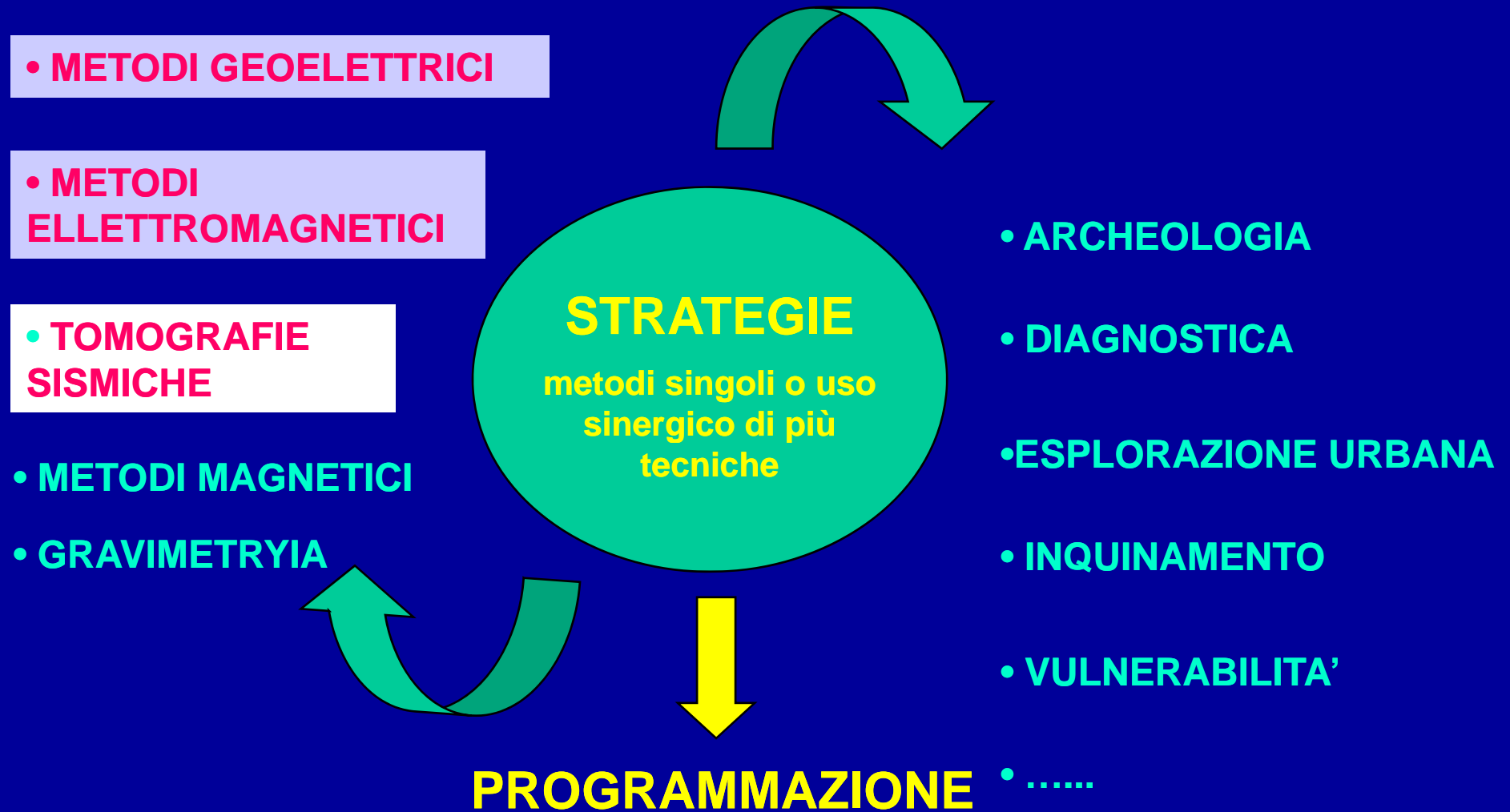
METODI GRAVIMETRICI



ALCUNI PROBLEMI TIPICI

- **INDIVIDUAZIONE E PROTEZIONE DI SITI ARCHEOLOGICI SCONOSCIUTI**
- **DIAGNOSTICHE NON DISTRUTTIVE DELLE STRUTTURE IN MATTONI, DEI MONUMENTI STORICI, DEI PONTI, ECC...**
- **ESPLORAZIONE URBANA: INDIVIDUAZIONE DEI SOTTOSERVIZI (TUBAZIONI, CAVI, FOGNATURE, ECC...)**
- **INQUINAMENTO E VULNERABILITA' DEL SOTTOSUOLO – SPECIALMENTE GLI ACQUIFERI**
-





PROGETTAZIONE DI UN'INDAGINE GEOFISICA E' LA FASE PIU' DELICATA

Differenti metodologie possono essere scelte per individuare gli obiettivi dell'indagine basando su:

- la natura delle rocce del sottosuolo
- le condizioni idrogeologiche: acque superficiali, acquiferi, la loro vulnerabilità
- la natura di possibili inquinanti
- la fase dello studio:
 - studi preliminari a livello progettuale
 - indagini per la determinazione di possibili problemi di inquinamento
 - progetto dettagliato per interventi di bonifica nell'area inquinata
- risoluzione richiesta e profondità d'indagine



PROGRAMMARE UN'INDAGINE GEOFISICA E' LA FASE PIU' DELICATA

- **TARGET**

I TARGET DELL'INDAGINE POSSONO ESSERE RICERCATI BASANDO SU ALCUNE PROPRIETA' FISICHE AVVERTIBILI DALLA SUPERFICIE IN CONTRASTO CON I CORPI CIRCOSTANTI

- **PROFONDITA' DI INDAGINE**

I DIFFERENTI METODI HANNO VARI LIMITI DI PROFONDITA' DI INDAGINE: PUO' VARIARE DA POCHI METRI (GPR) A Km (SISMICA A RIFLESSIONE PER LA RICERCA DEL PETROLIO)

- **RISOLUZIONE**

LA CAPACITA' DI DISCERNERE PICCOLI TARGET (AD ES. STRATIGRAFIE PICCOLE, PICCOLI MANUFATTI, ...) HA DIFFERENTI LIMITI A SECONDO DELLA TECNICA UTILIZZATA

- **SCALA DI APPLICAZIONE**

LE INDAGINI POSSONO VARIARE DA UNA SCALA DI POCHE DECINE DI m² A PARECCHI Km²: LA PROGRAMMAZIONE DI UNA INDAGINE DIPENDE FORTEMENTE DA CIO'

- **COSTI**

I COSTI ACCETTABILI DIPENDONO DAL **VALORE** DEL TARGET. UN APPROCCIO PROBABILISTICO PUO' ESSERE FATTO QUANDO SI PENSA AL VALORE ECONOMICO DELL'INFORMAZIONE CHE SI OTTIENE DA UN'INDAGINE GEOFISICA



GEOELETTRICA

I **METODI GEOELETTRICI** SONO BASATI SULLA MISURA DELLE RESISTIVITA' DI UN "CORPO" NEL SOTTOSUOLO.

I TIPICI RISULTATI POSSONO ESSERE:

- **MAPPE DI RESISTIVITA'**
- **TOMOGRAFIE DI RESISTIVITA'** PER ES. LA DISTRIBUZIONE DELLA RESISTIVITA' IN SEZIONI VERICALI

CON LA TECNICA DELLA **POLARIZZAZIONE INDOTTA (I.P.)** UN'ALTRA QUANTITA' PUO' ESSERE MISURATA: LA **CARICABILITA'** O **L'EFFETTO I.P.**
I.P. E' UNO STRUMENTO UTILE PER EVIDENZIARE SITUAZIONI ANOMALI NEL SOTTOSUOLO.



GEOELETTRICA

IL NUOVO STRUMENTO MULTI-ELETTRODO PERMETTE DI COLLEGARE SIMULTANEAMENTE MOLTI ELETTRODI (24 48 .. 256 ..) CON CAVI OPPORTUNI. IL TEMPO DELLA MISURA DECRESCe DA GIORNI A 1-2 ORE.

L'ULTIMO STRUMENTO MULTICANALE MULTIELETTRODO RIDUCE IL TEMPO DI MISURE A POCHI MINUTI.

I STRUMENTI MIGLIORI PERMETTONO ANCHE DI MISURARE L'EFFETTO I.P.: SICCOME E' UN EFFETTO DEL SECONDO ORDINE, SI HA BISOGNA DI UNO STRUMENTO DI OTTIMA QUALITA'.



GEORADAR

IL RADAR **RIS/MF** COSTRUITA DALL'IDS (ITALIA) E' UNO STRUMENTO **MULTICANALE** CHE PUO' USARE PIU' ANTENNE SIMULTANEAMENTE.

LE ANTENNE POSSONO VARIARE DA FREQUENZE MOLTO BASSE: 50 MHz (ALTA PROFONDITA' DI INDAGINE MA BASSA RISOLUZIONE) A FREQUENZE MOLTO ALTE: 2 GHz (ALTISSIMA RISOLUZIONE MA BASSA PROFONDITA' DI INDAGINE)



SISMICA

SUI NUOVI SISMOGRAFI AD ALTA QUALITA' IL CONVERTITORE ANALOGICO DIGITALE E' SENSIBILMENTE MIGLIORATO ARRIVANDO FINO A 21-23 BIT.

CIO' PERMETTE DI POTERE REGISTARE DA SEGNALI DEBOLISSIMI A QUESTI FORTI. ANCHE LA BANDA PASSANTE E' MOLTO ALTA (IL NOSTRO STRUMENTO A 24-CANALI **SUMMIT HA UNA BANDA PASSANTE DI 20 kHz).**

QUESTE PRESTAZIONI DERIVANTI DALL'INDUSTRIA PETROLIFERA, HANNO PERMESSO DI POTERE LAVORARE IN CAMPI CHE FINO A POCHI ANNI FA ERA IMPOSSIBILE O DIFFICILMENTE RAGGIUNGIBILE.



ALCUNI ESEMPI

DI APPLICAZIONE DELLE DIFFERENTI METODOLOGIE GEOFISICHE

ARCHEOLOGIA NON PERVASIVA
DIAGNOSTICA NON DISTRUTTIVA
ESPLORAZIONE URBANA
INQUINAMENTO E VULNERABILITA'

ooooo

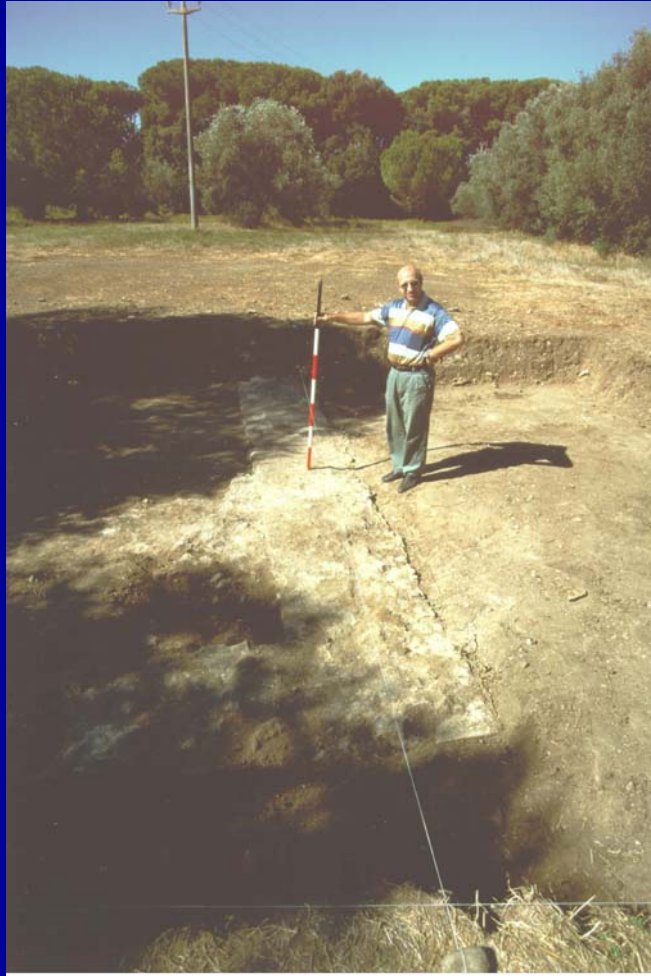
LE SCALE DI COLORI

SICCOME GLI OUTPUT NUMERICI DELLE INDAGINI GEOFISICHE AD ALTA RISOLUZIONE SONO TROPPI PER UNA FACILE COMPrensIONE, I DATI VENGONO CONVERTITI IN IMAGINI (MAPPE, TOMOGRAFIE VERTICALI) USANDO IN UNA SCALA DI FALSI COLORI

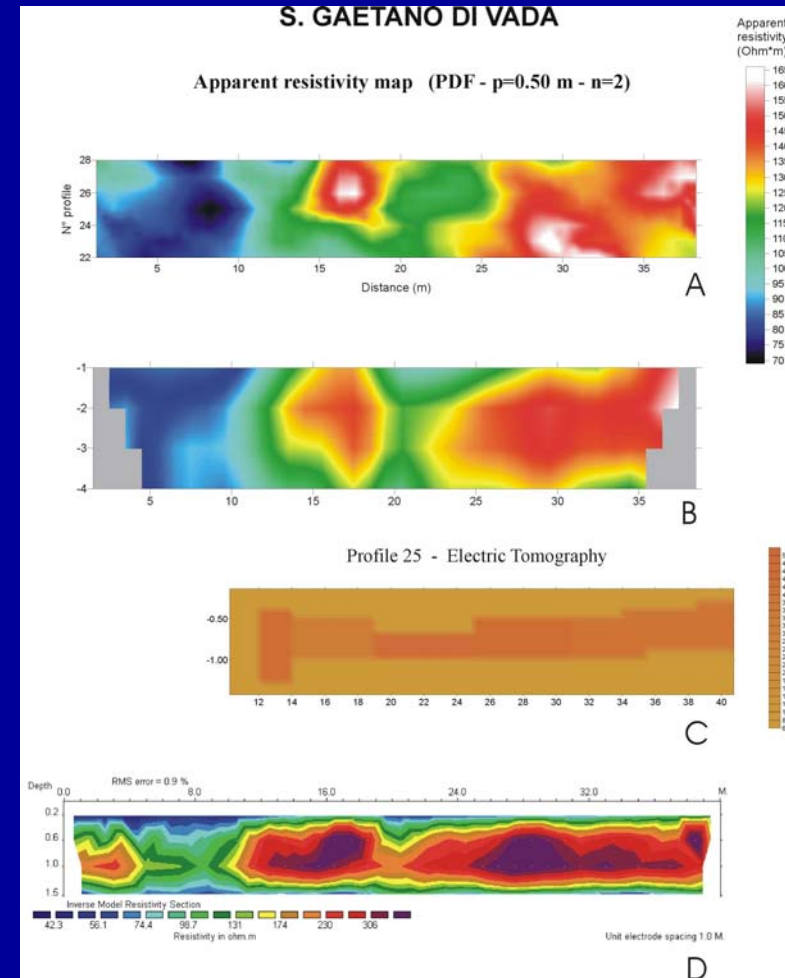


ARCHEOLOGIA

1. TOMOGRAFIA ELETTRICA



Vada Volaterrana

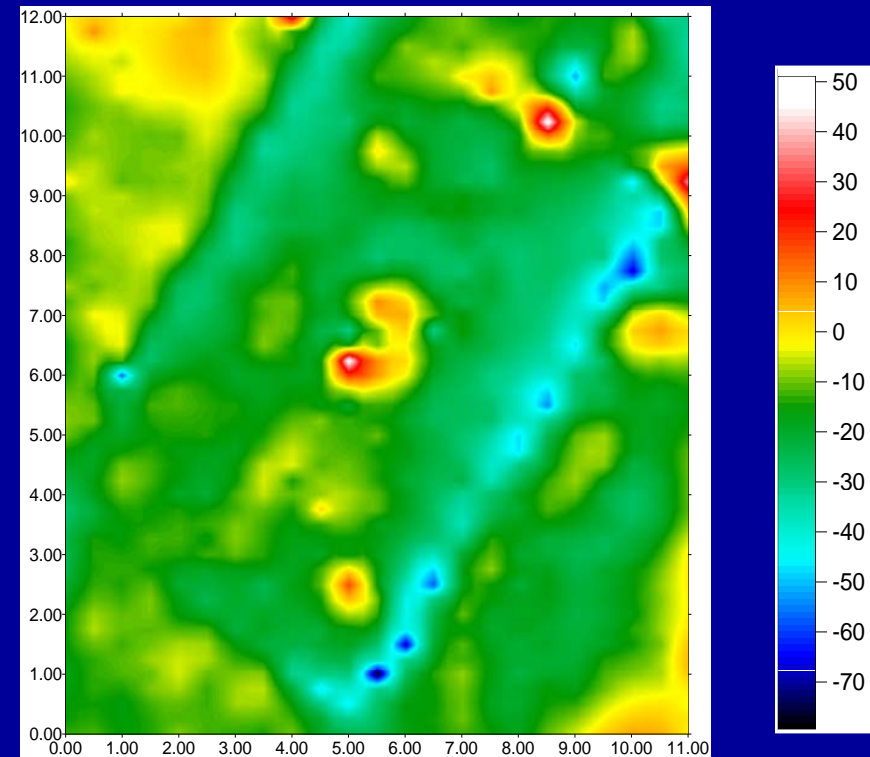


ARCHEOLOGIA

2. MAGNETOMETRIA



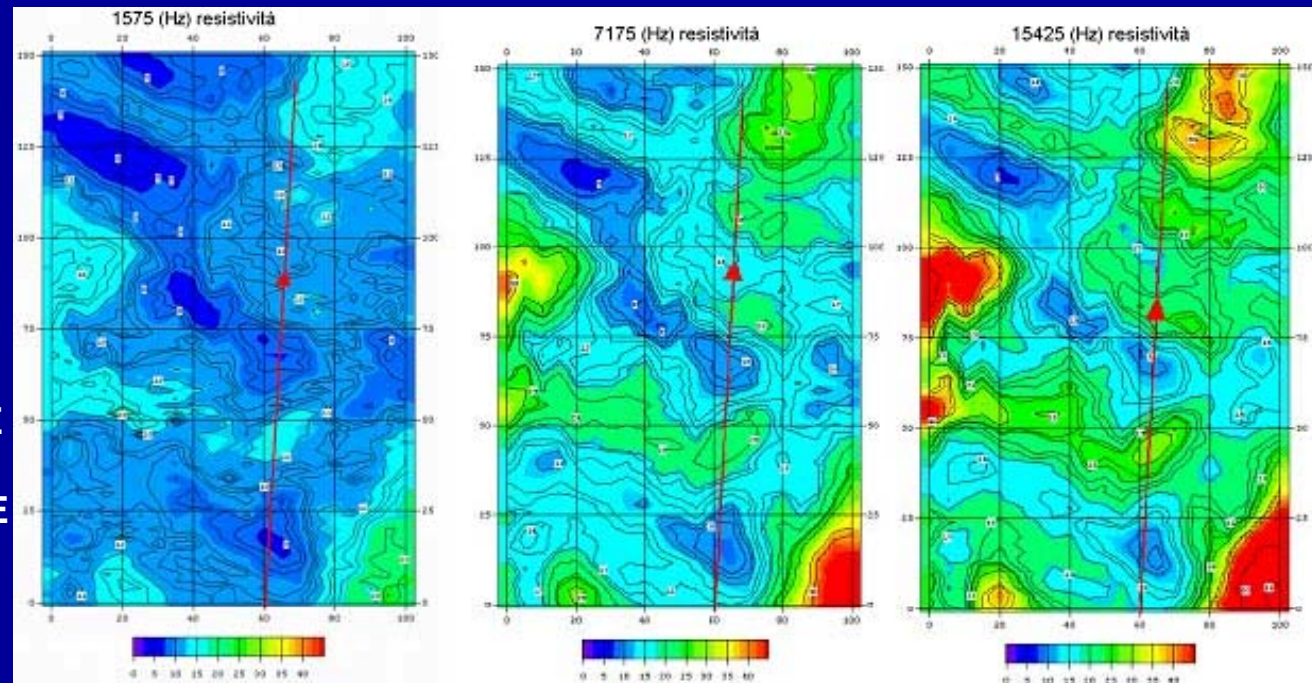
Coltano (PI)





ESEMPIO 18 – INDAGINE SPEDITIVA

UN ESEMPIO DI INDAGINE SPEDITIVA OTTENUTO CON UN STRUMENTO **ELETTROMAGNETICO MULTICANALE LEGGERO (GEM 300)**: 15000 METRI QUADRI VENGONO INDAGATI IN UN GIORNO DA UNA PERSONA. LE MAPPE MOSTRANO LA PRESENZA DI UNA FORMAZIONE DI CIOTTOLI (IN ROSSO) E UNA FORMAZIONE DI ARGILLA (BLU E ROSSO). LE AEREE IN VERDE MOSTRANO LA PRESENZA DI UNA FORMAZIONE ANOMALA DI ARGILLA RICCA DI OSSIDI DI FERRO.

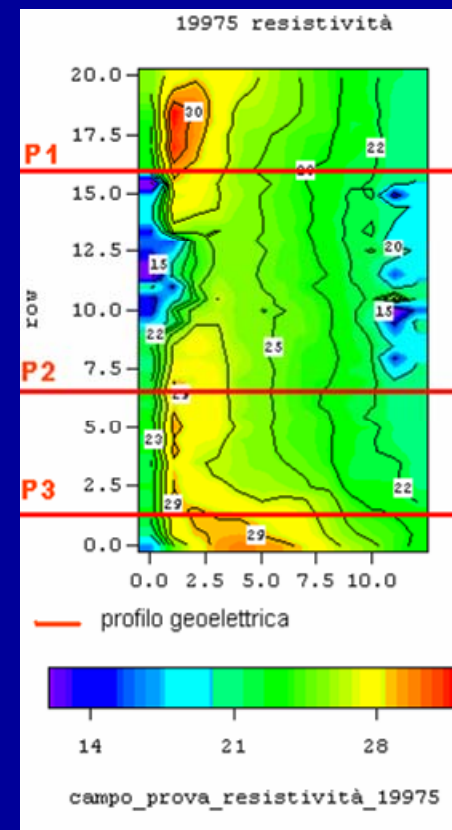
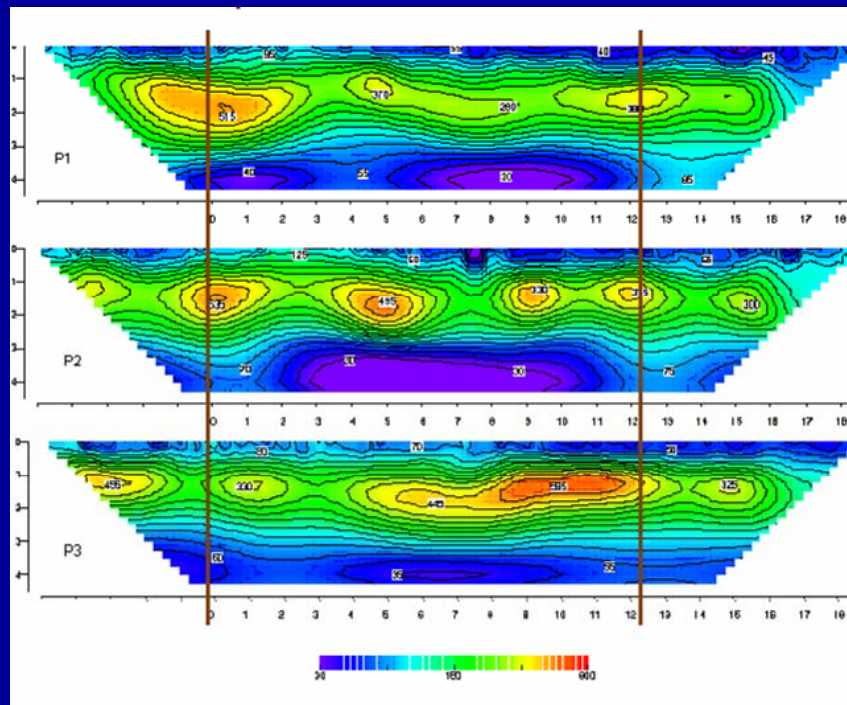


QUESTO METODO E' STATO TESTATO CON SUCCESSO ANCHE PER INDAGINI PRELIMINARI SU SITI ARCHEOLOGICI.



• University of Pisa, Department of Civil Engineering, Laboratory of Applied Geophysics

TOMOGRAFIE GEOELETTRICHE - GEM 300 -



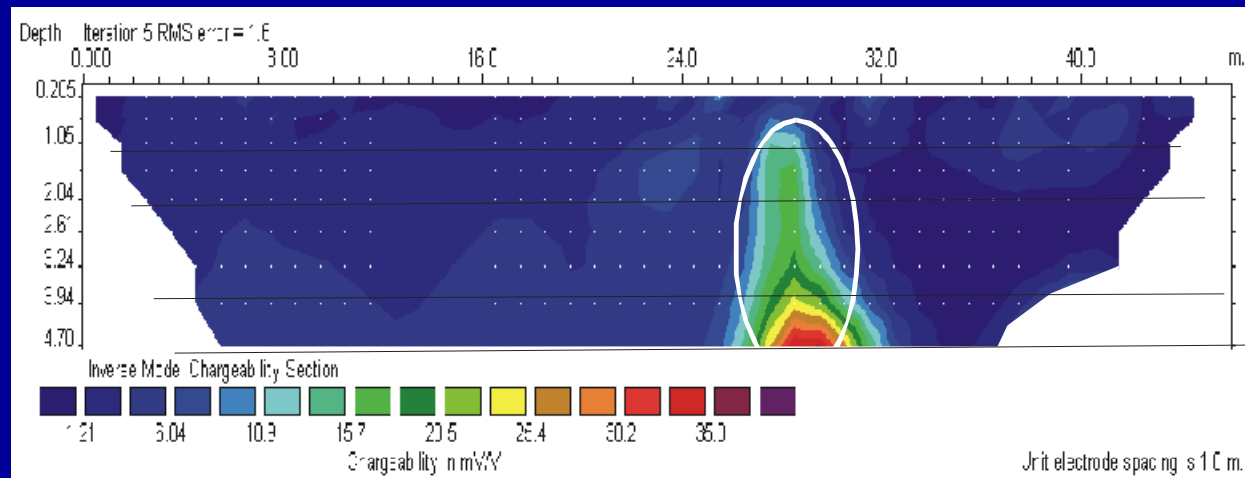
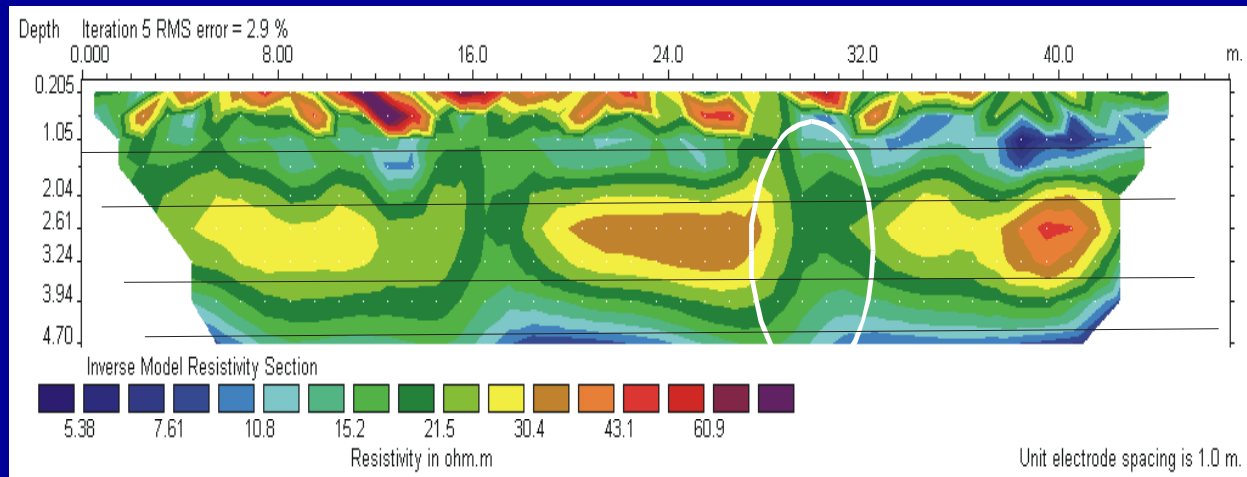
CONCLUSIONI:

profondità del muro 1 m. circa
dal piano campagna
larghezza 70 - 80 cm. circa



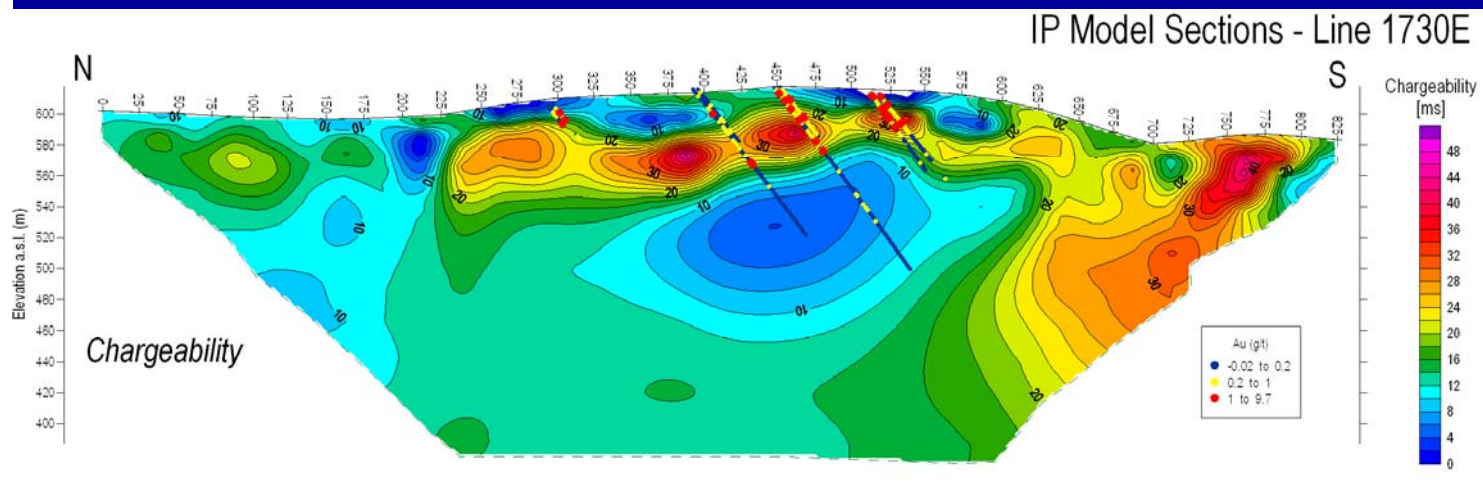
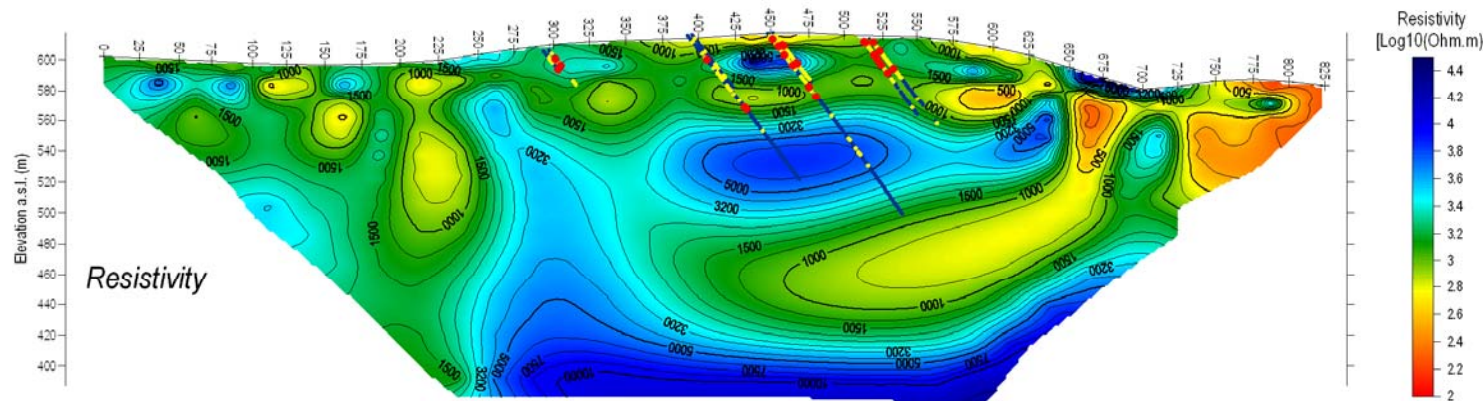
ARCHEOLOGIA

3. TOMOGRAFIA ELETTRICA CON CARICABILITA'



Ponsacco (PI)

ESEMPIO 19 – EFFETTO I.P.

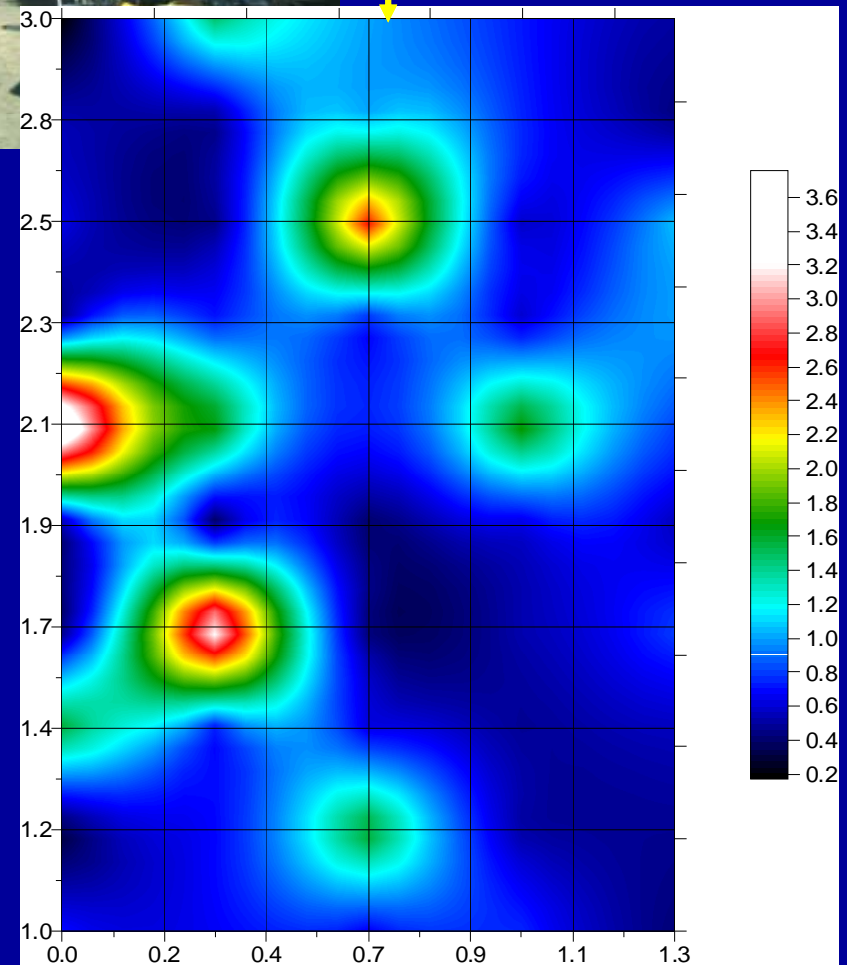
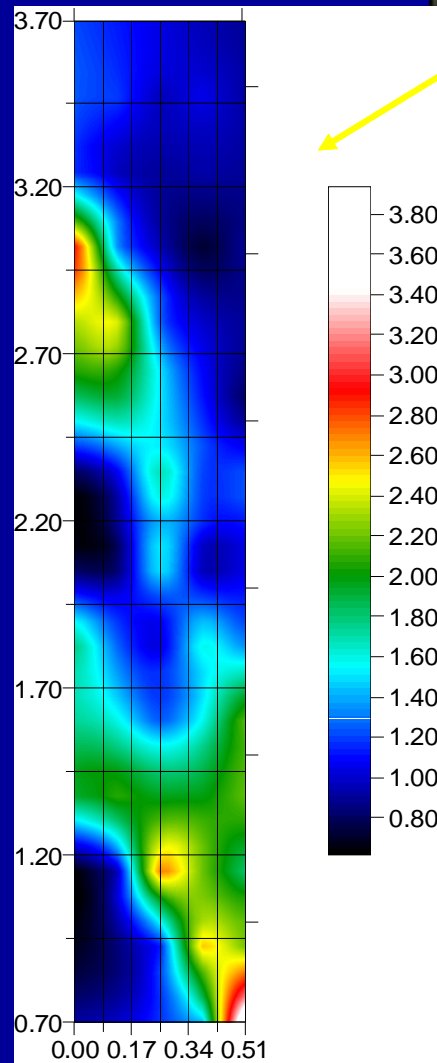
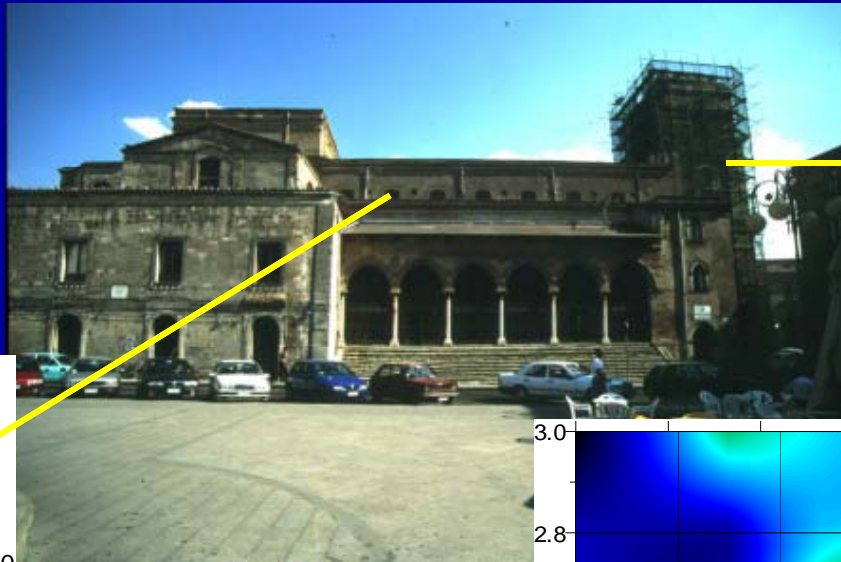


UN ESEMPIO DELL'EFFICIENZA DEL **METODO I.P.** PER EVIDENZIARE LA PRESENZA DI SOSTANZE ANOMALE (MINERALIZZAZIONI INFILTRATI IN QUESTO CASO) ANCHE IN PICCOLISSIME QUANTITA'.



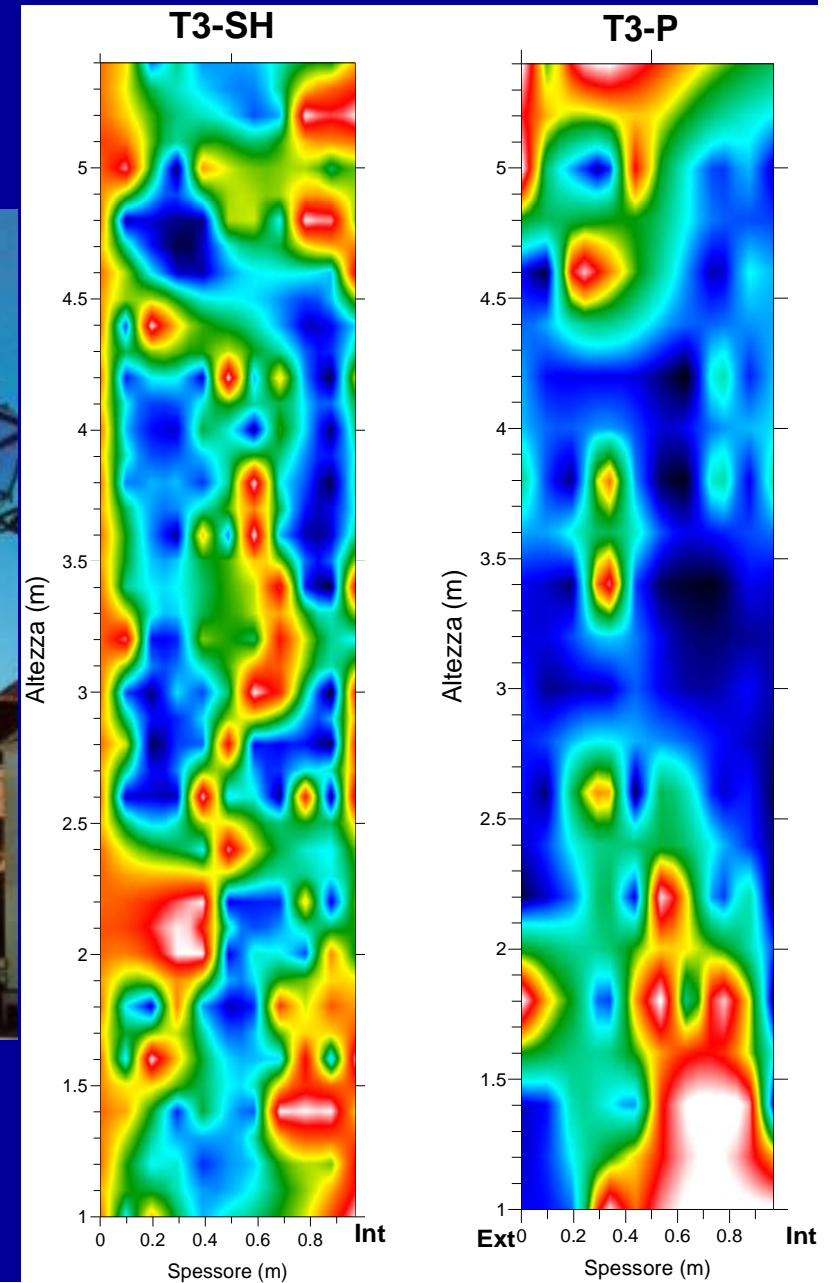
•University of Pisa, Department of Civil Engineering, Laboratory of Applied Geophysics

TOMOGRAFIA 2D



ESEMPIO: CATTEDRALE DI LUCCA

Tomografia onde-S





**TEATRO ROSSI (Pisa):
lavori di restauro**

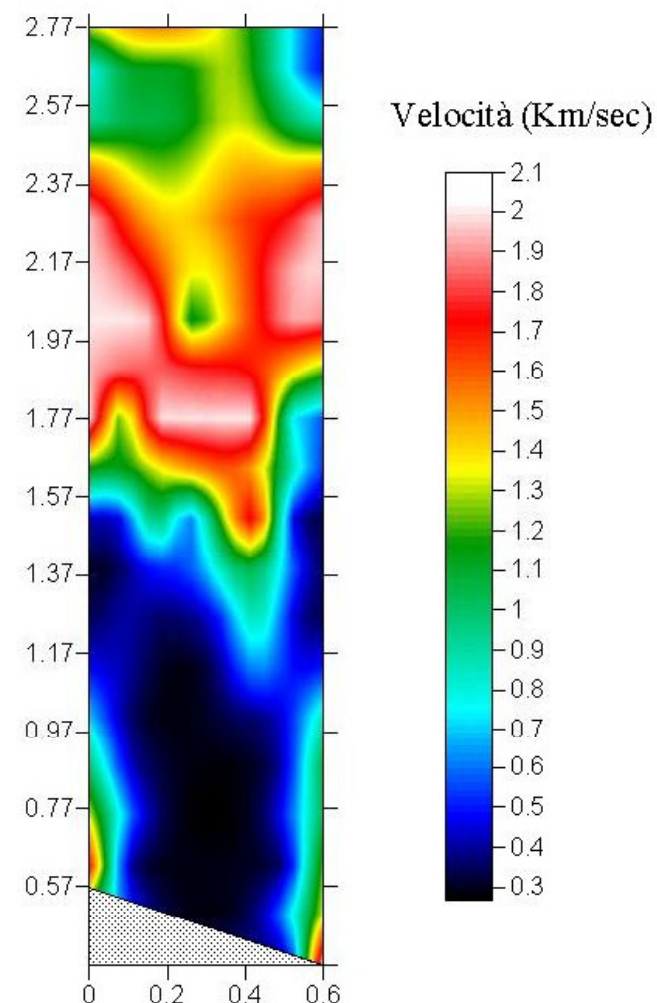


TEATRO ROSSI (PISA)



La tomografia sismica mostra la presenza di un arco di scarico (zona rossa) Il vuoto sotto l'arco (zona in basso) viene evidenziato. E' costruita con due paretine di mattoni.

Teatro Rossi - Tomografia T1



ESEMPIO: CATTEDRALE DI LUCCA

I primi esperimenti sono stati eseguiti sulla sezione danneggiata del transeto della Cattedrale di Lucca, sullo stesso muro dove sono state le tomografie sismiche.

Siccome il muro esterno in pietra è molto compatto e la resistenza di contatto sarebbe stata elevatissima, la tomografia elettrica per impedenza è stata eseguita all'interno.

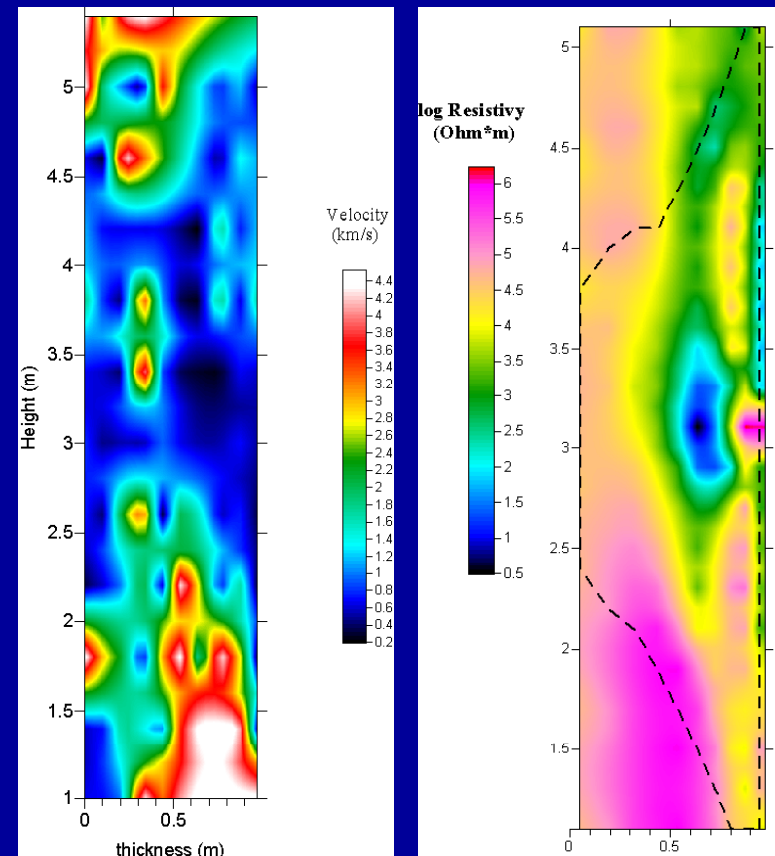
L'impedenza di contatto è stata misurata su tutte le coppie di elettrodi ed era dell'ordine di 5-10 k Ω , compatibile con

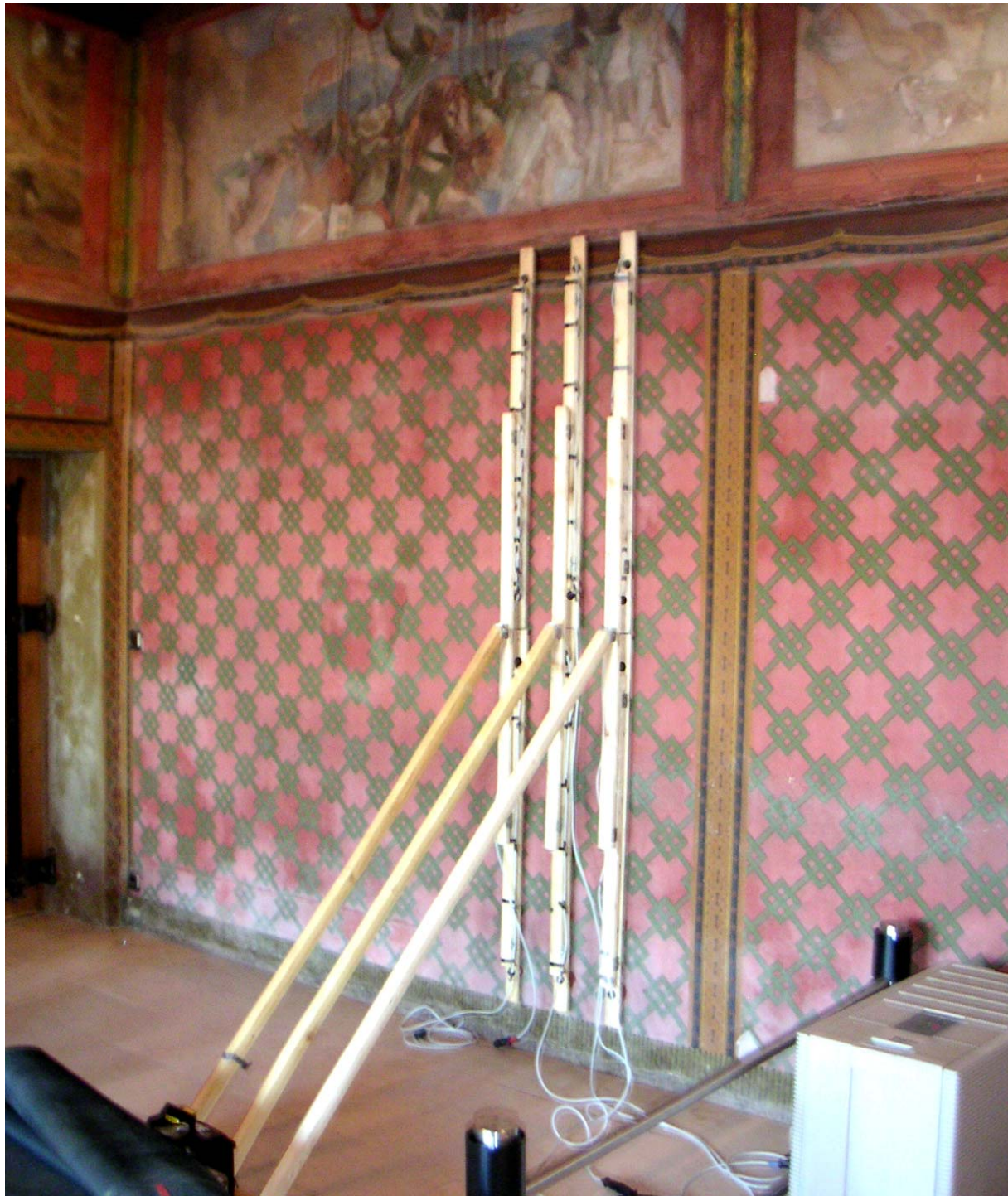
l'impedenza d'ingresso dello strumento.

Sono state usate le configurazioni Polo-Dipolo e Dipolo-Dipolo.

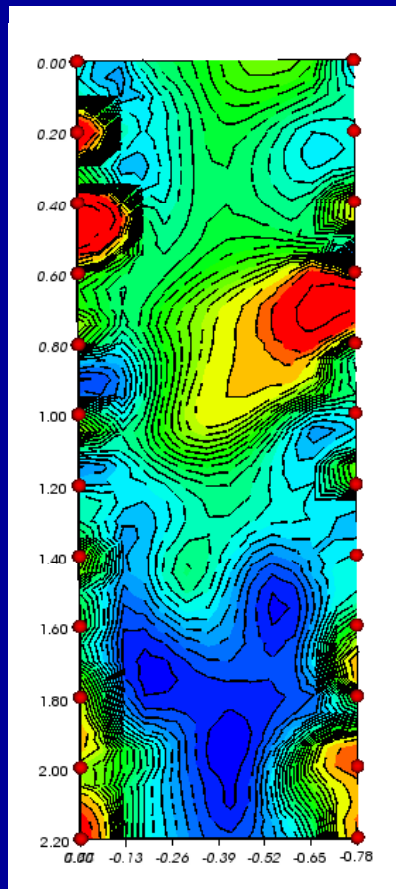
La presenza di zone a bassa resistività mette in evidenza il danno dovuto alle infiltrazioni d'acqua.

L'andamento generale di queste anomalie è piuttosto simile alla distribuzione delle zone a bassa velocità nelle tomografie sismiche.

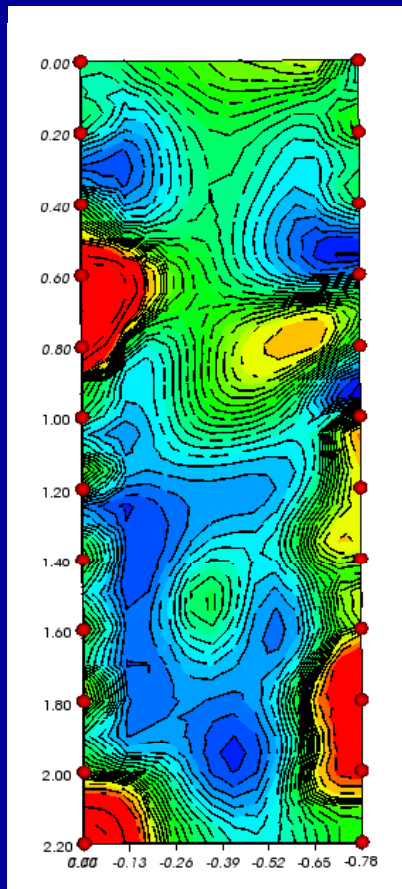




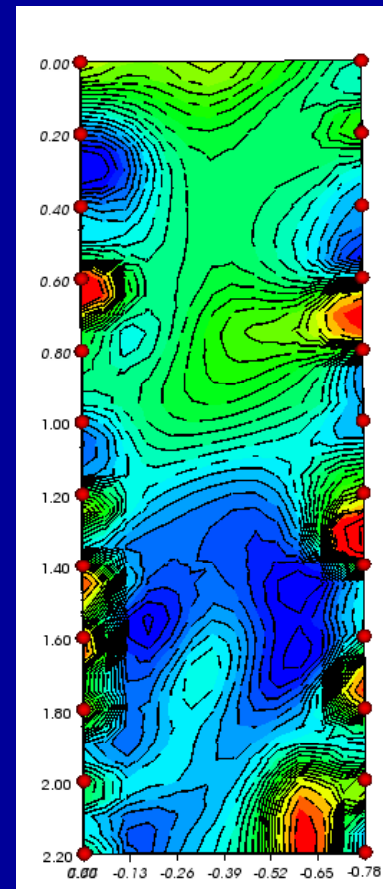
Sezioni normali al muro – 4 celle x intervallo



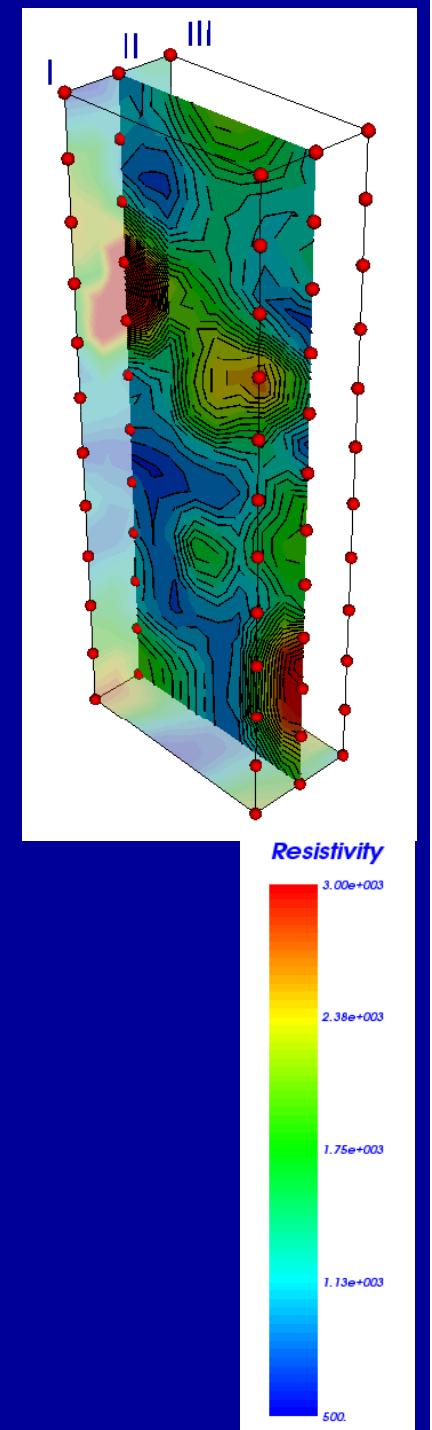
Sezione I



Sezione II



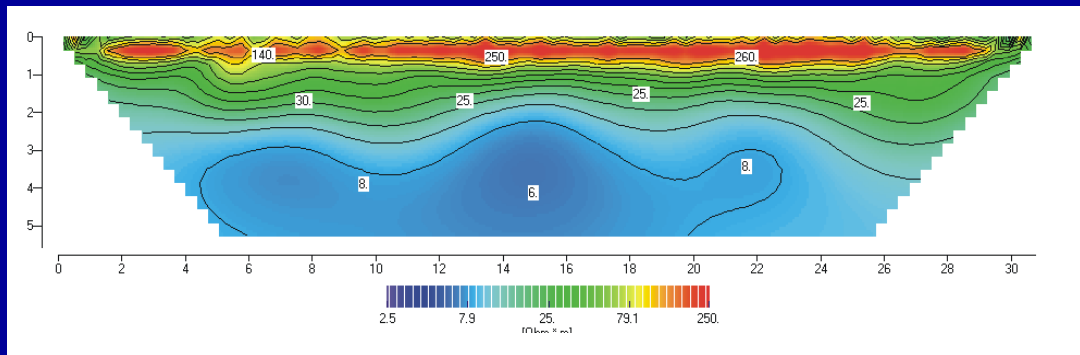
Sezione III



ESEMPIO: FONDAZIONE

Stima delle profondità delle fondazioni di antiche costruzioni : è naturalmente un dato importante per lo studio strutturale per eventuali interventi.

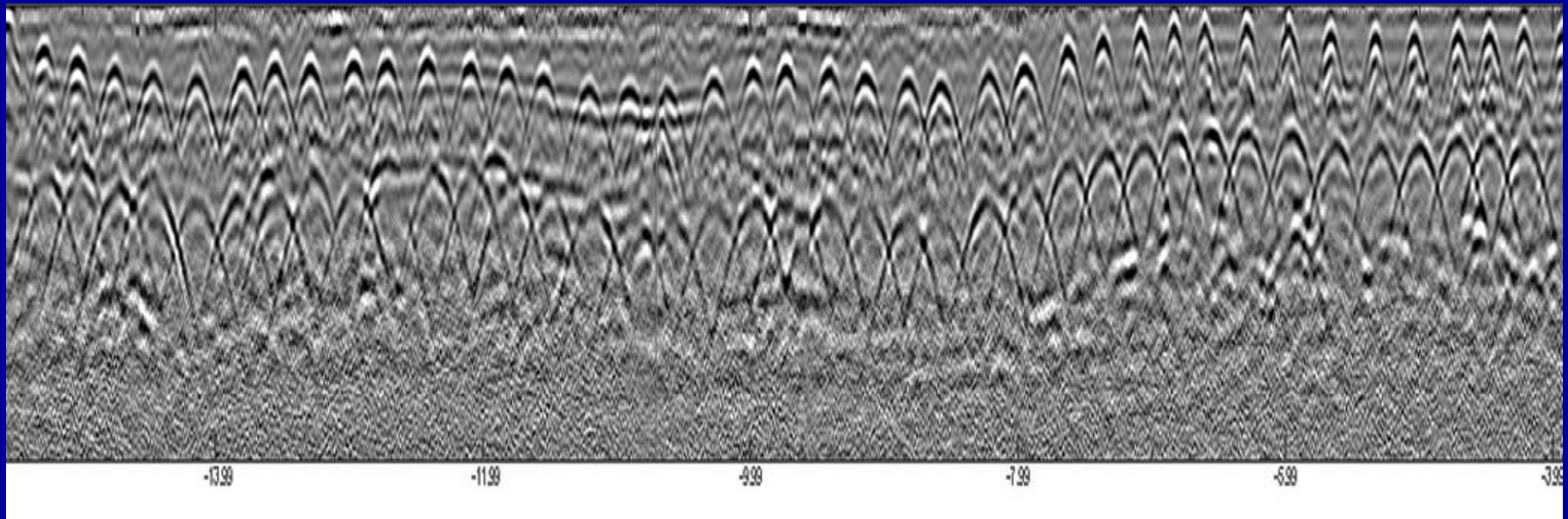
La chiesa di Santa Cecilia (Pisa) – La tomografia elettrica mostra chiaramente l'effetto omogeneo delle fondazioni adiacenti.



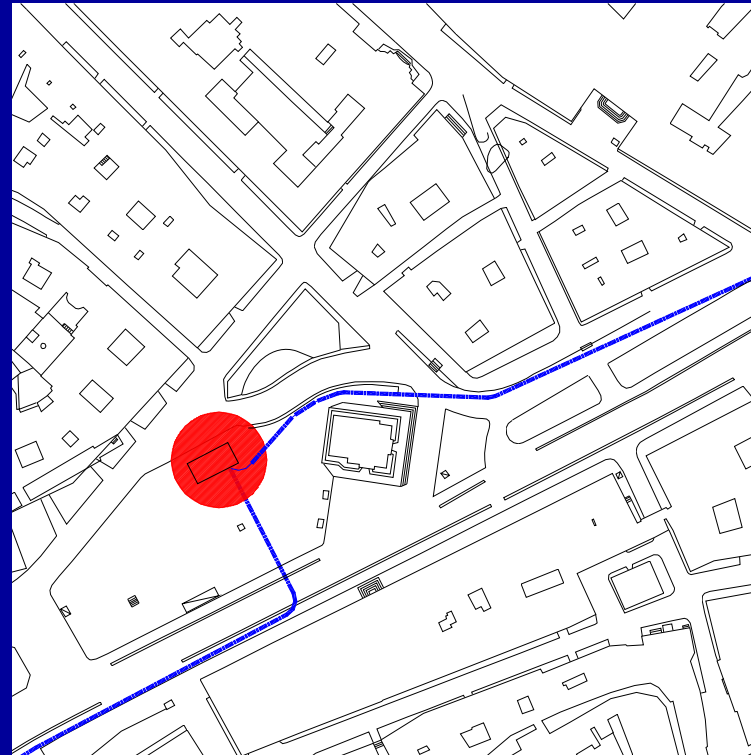
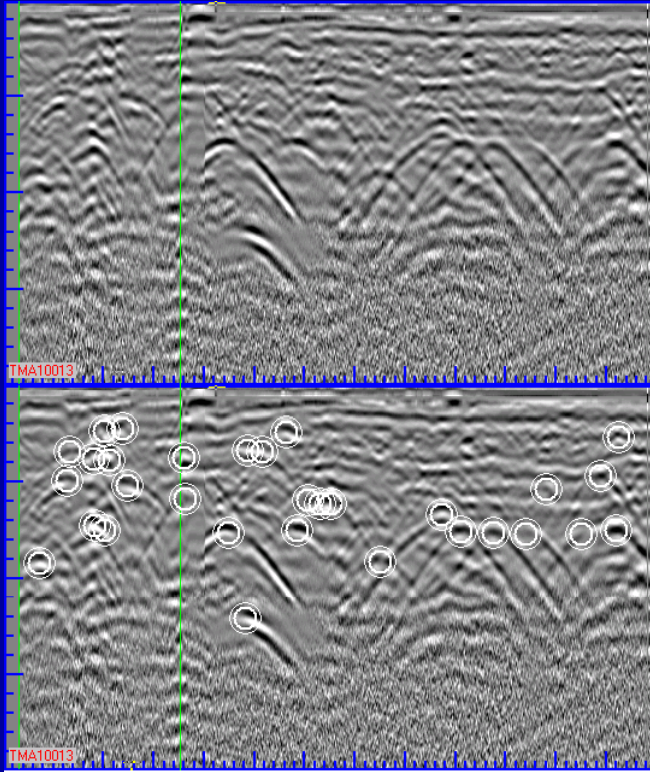
ROSIGNANO (LI)

Questo radargramma è stato effettuato con un antenna di 1600 MHz (altissima frequenza cioè ad altissima risoluzione).

Sono evidenziati i ferri dell'armatura (anche la seconda fila) e lo spessore di un muro di sostegno.



ESEMPIO 20 – ESPLORAZIONE URBANA



PROFILO GEORADAR PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE TUBAZIONI DELLA POSTA PNEUMATICA E GLI ALTRI SOTTOSERVIZI NEL SOTTOSUOLO (NAPOLI)

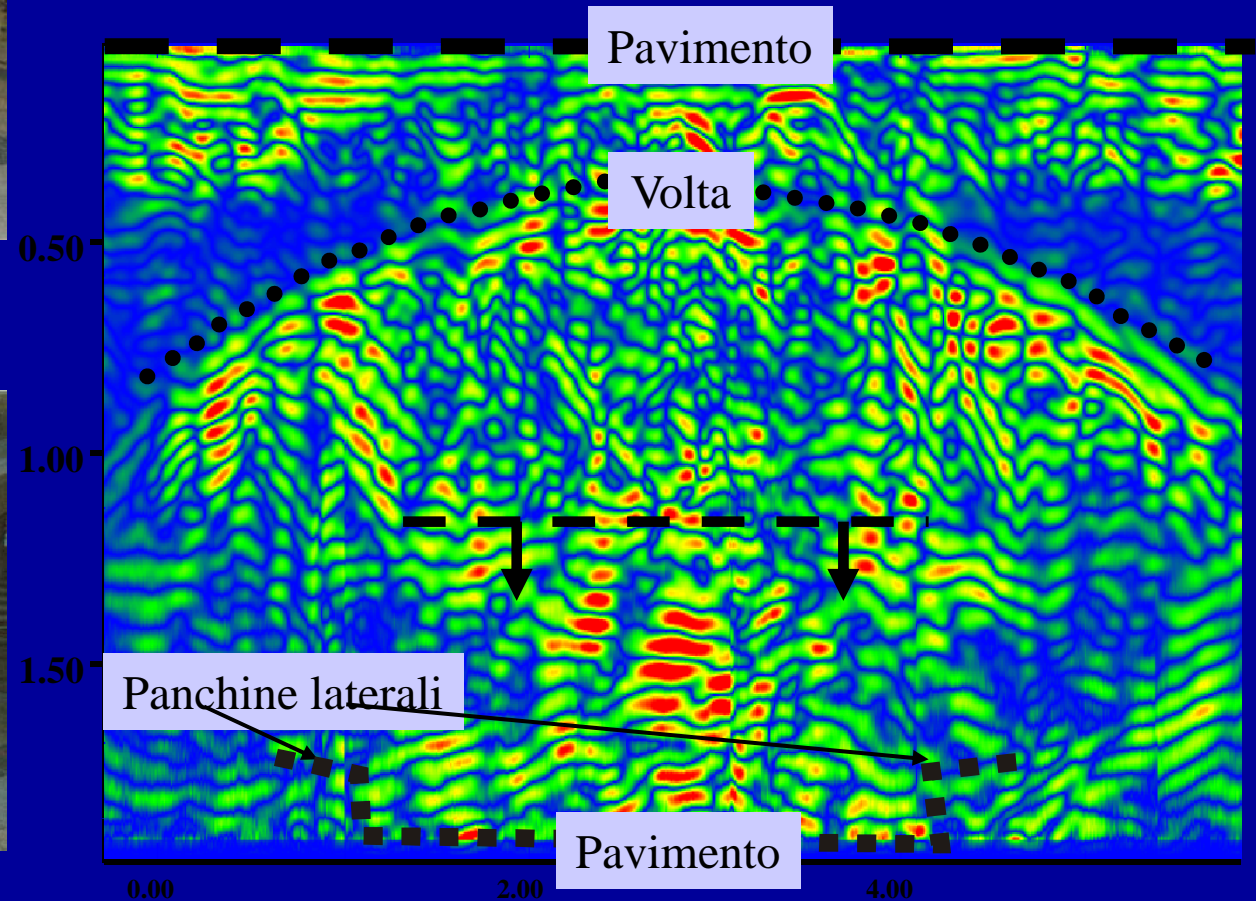


University of Pisa, Department of Civil Engineering, Laboratory of Applied Geophysics

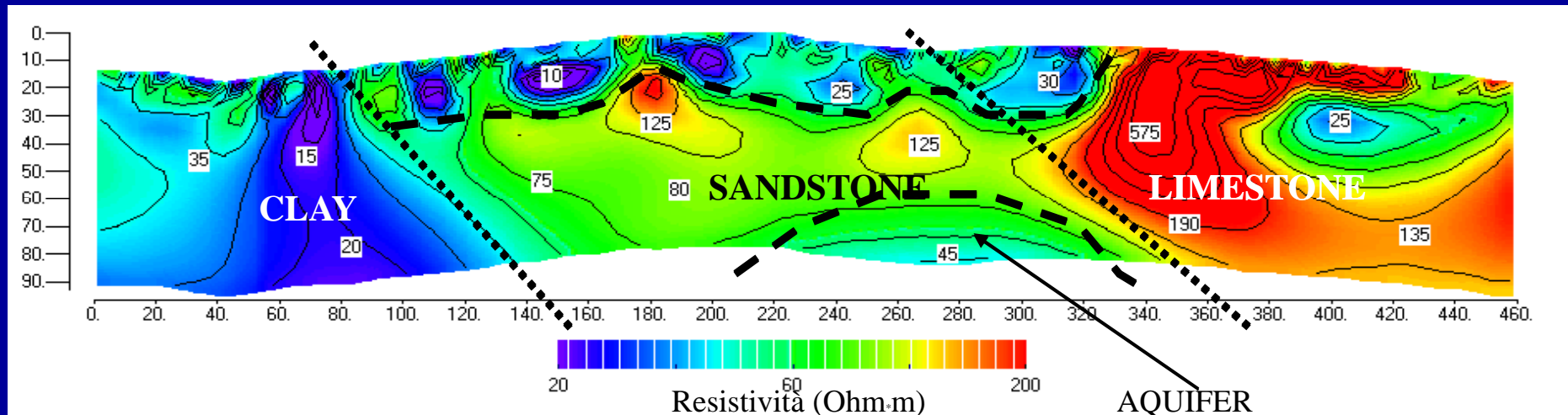
CAPPELLE MEDICEE (FI)

Indagine nelle Cappelle Medicee a Firenze per la ricerca di eventuale cripte contenenti sepolture dei Granduchi dei Medici.

La sezione georadar mostra chiaramente la cripta contenente le spoglie di Gian Gastone dei Medici.



ESEMPIO 3 – RISORSE D'ACQUA



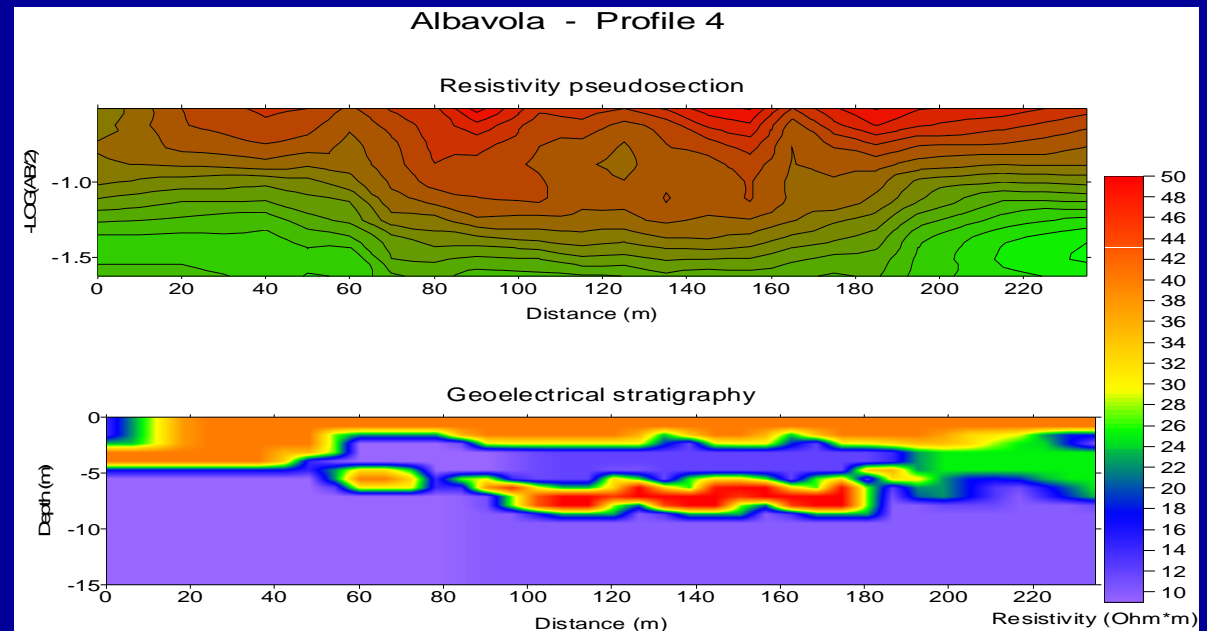
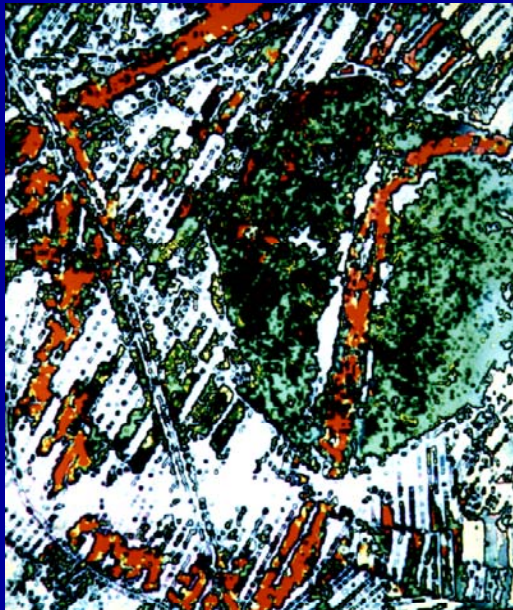
UNA TOMOGRAFIA ELETTRICA DESCRIVE LE STRUTTURE GEOLOGICHE E MOSTRA UN ACQUIFERO IN ROCCIA



University of Pisa, Department of Civil Engineering, Laboratory of Applied Geophysics

ESEMPIO 4 – RISORSE D'ACQUA – VULNERABILITA'

ALCUNI TRACCE MOLTO DEBOLI DI PALEOALVEI DI VECCHI FIUMI NELLA PIANA DI PISA (FIUME SERCHIO) SONO STATI MESSI IN EVIDENZA CON UNA IMAGE A FALSI COLORI
UNA PSEUDOSEZIONE QUALITATIVA DI RESISTIVITA' E UNA TOMOGRAFIA GEOELETTRICA QUANTITATIVA VENGONO MOSTRATE

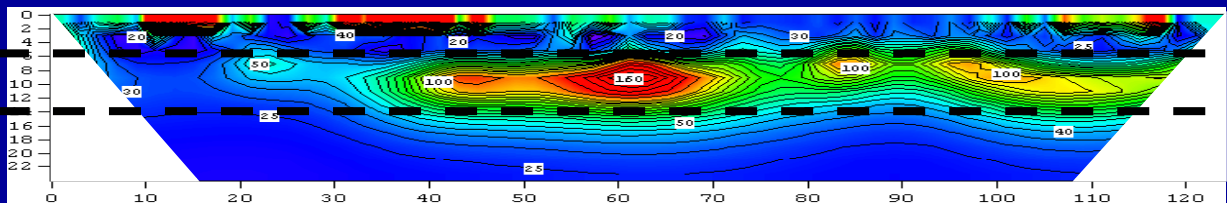
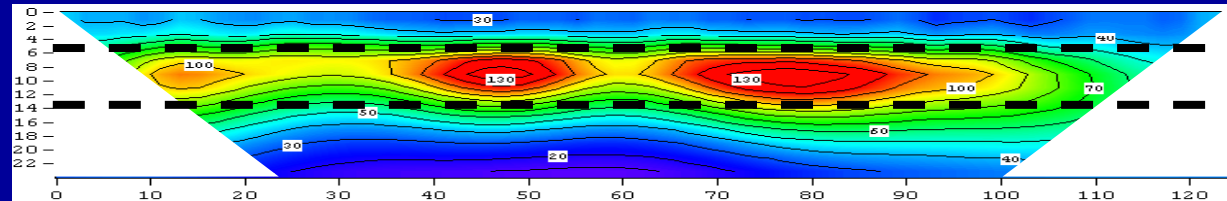
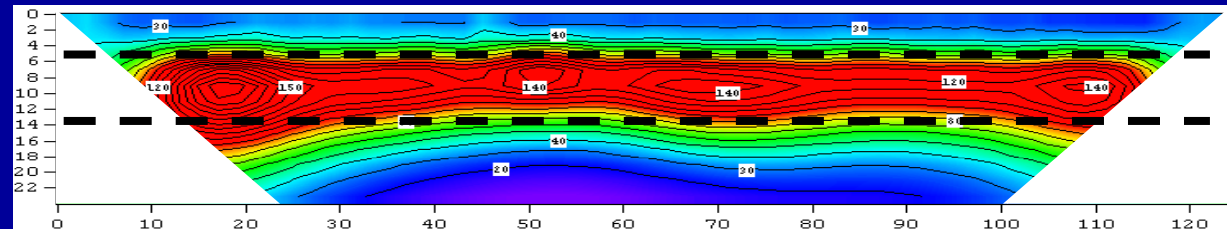
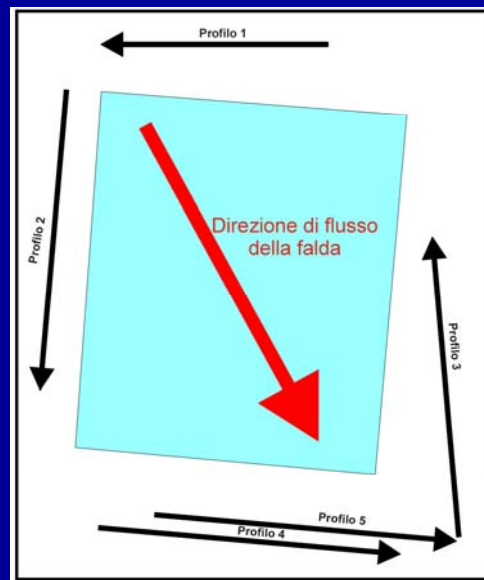


QUESTI PALEOALVEI MODIFICANO IL SISTEMA ACQUIFERO E POSSONO ESSERE UNA FALLA NELLA PROTEZIONE DEGLI ACQUIFERI PROFONDI



University of Pisa, Department of Civil Engineering, Laboratory of Applied Geophysics

ESEMPIO 6 - INQUINAMENTO



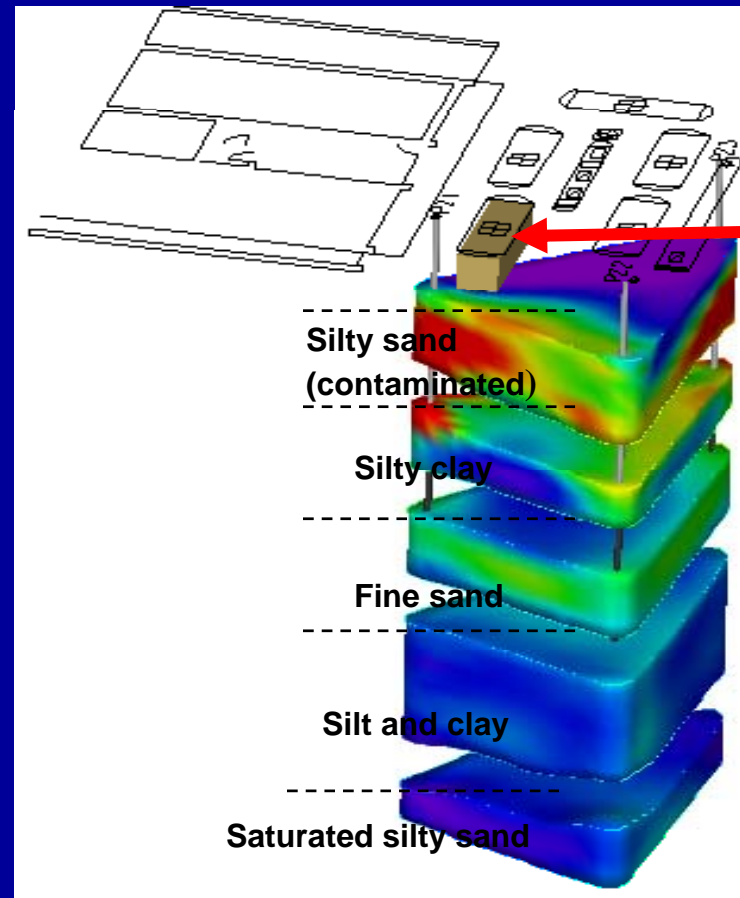
EFFETTI DELL'INQUINAMENTO DI UN ACQUIFERO ATTRAVERSO UN INSEDIAMENTO INDUSTRIALE (SALANETTI)



University of Pisa, Department of Civil Engineering, Laboratory of Applied Geophysics

ESEMPIO 7 - INQUINAMENTO

ERT:
cross-hole
resistivity
tomography



**PERDITA DI UNA
CISTERNA**

LOCALIZZAZIONE DELL'INQUINANTE DA UNA PERDITA IN UN'AREA DI SERVIZIO



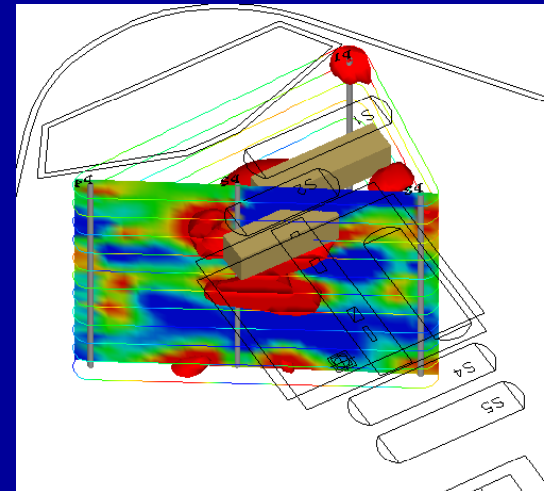
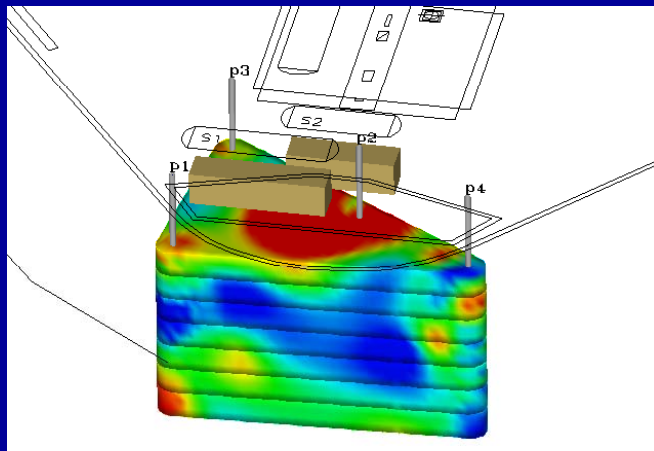
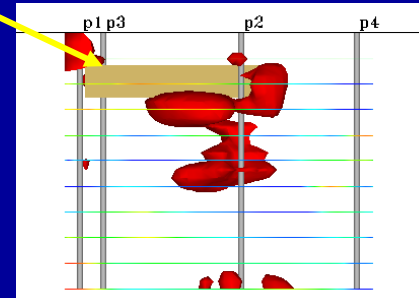
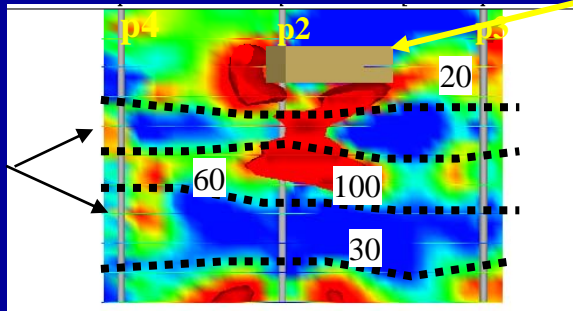
University of Pisa, Department of Civil Engineering, Laboratory of Applied Geophysics

ESEMPIO 7 - INQUINAMENTO

CISTERNE DEL GASOLIO

Resistivity > 150 Ohm*m

Clay lenses

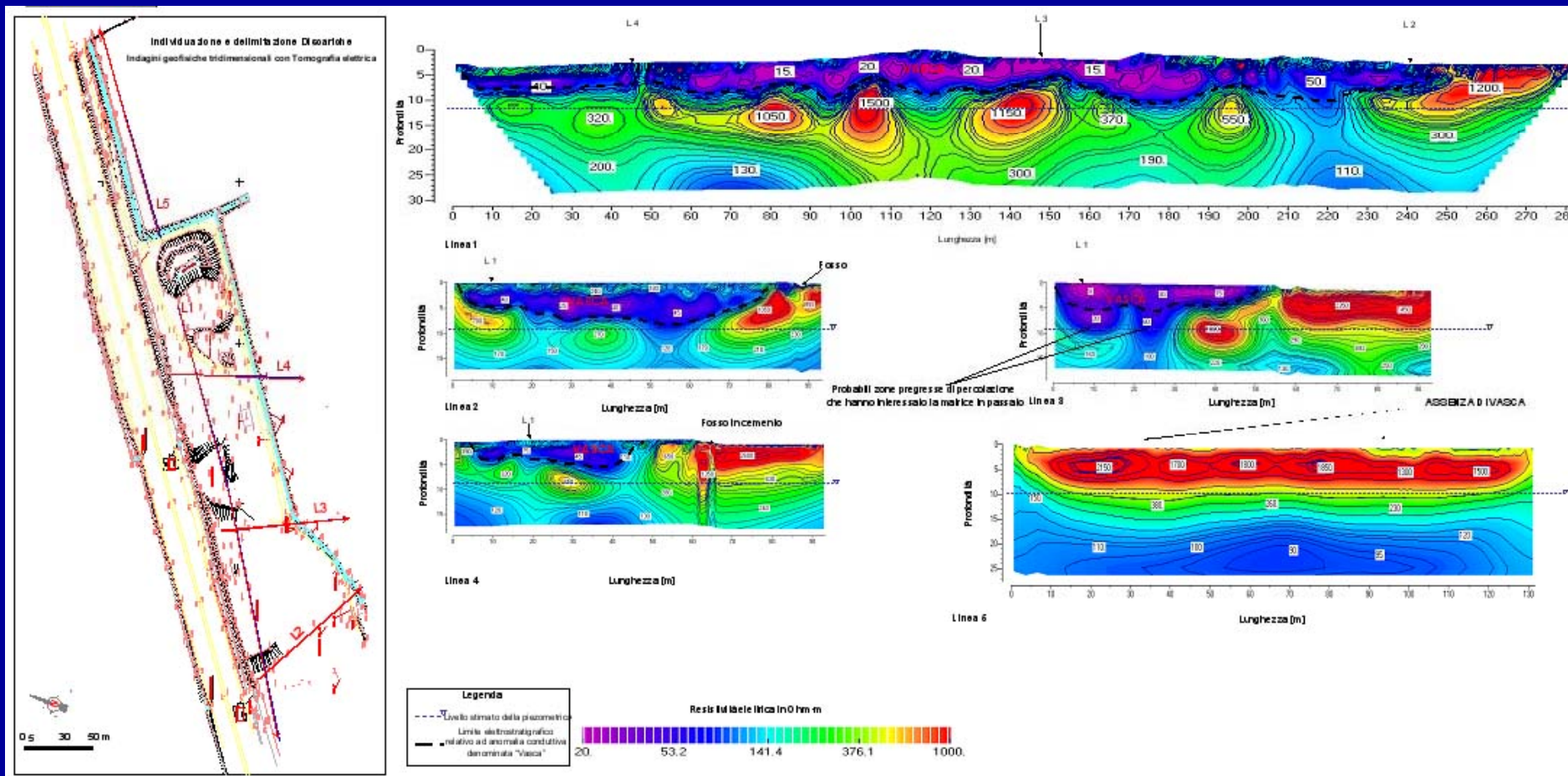


LOCALIZZAZIONE DELL'INQUINANTE DA UNA PERDITA IN UN'AREA DI SERVIZIO



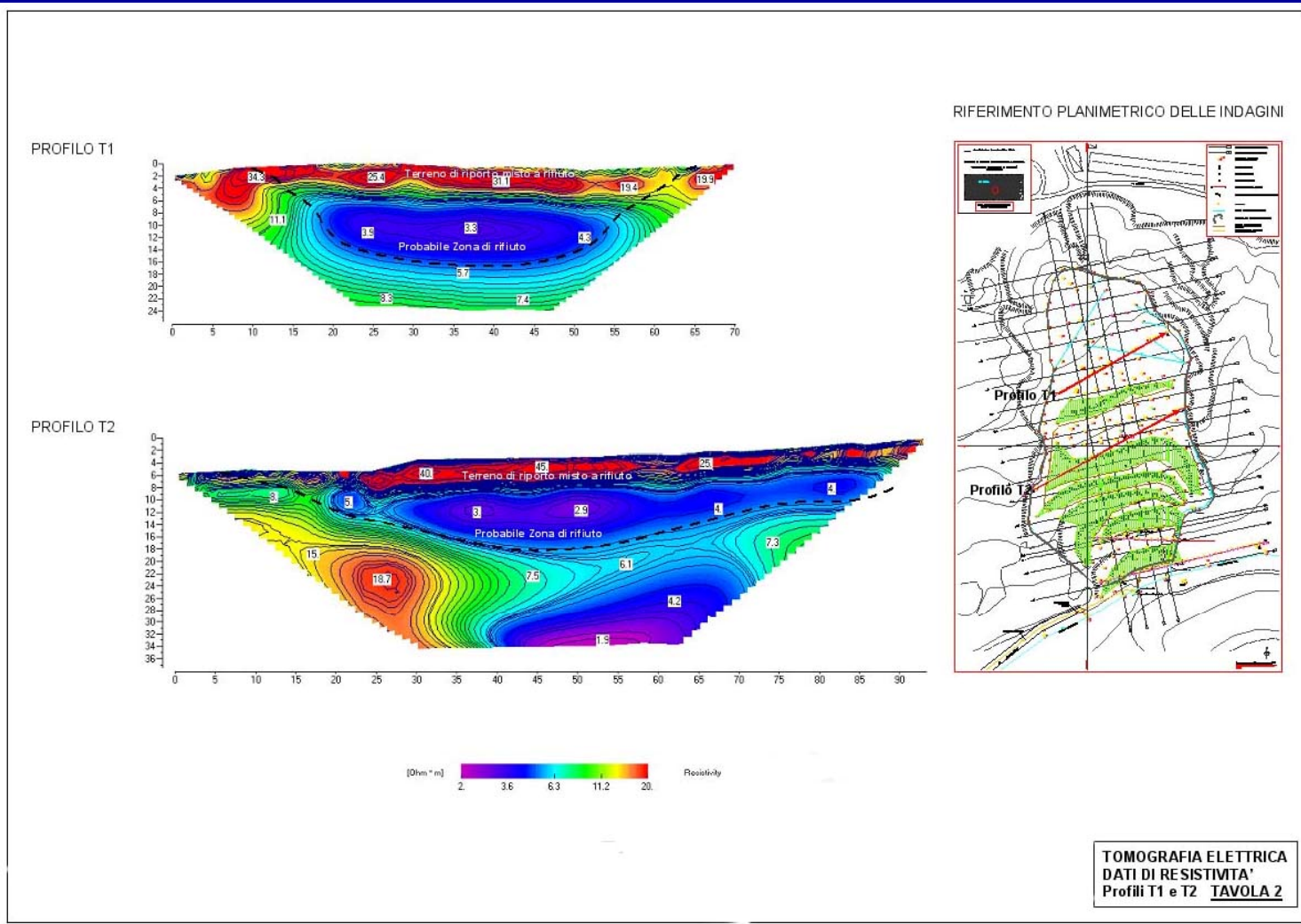
University of Pisa, Department of Civil Engineering, Laboratory of Applied Geophysics

ESEMPIO 8 - INQUINAMENTO



RICERCA PER DISCARICHE ABUSIVE O RIFIUTI SCONOSCIUTI

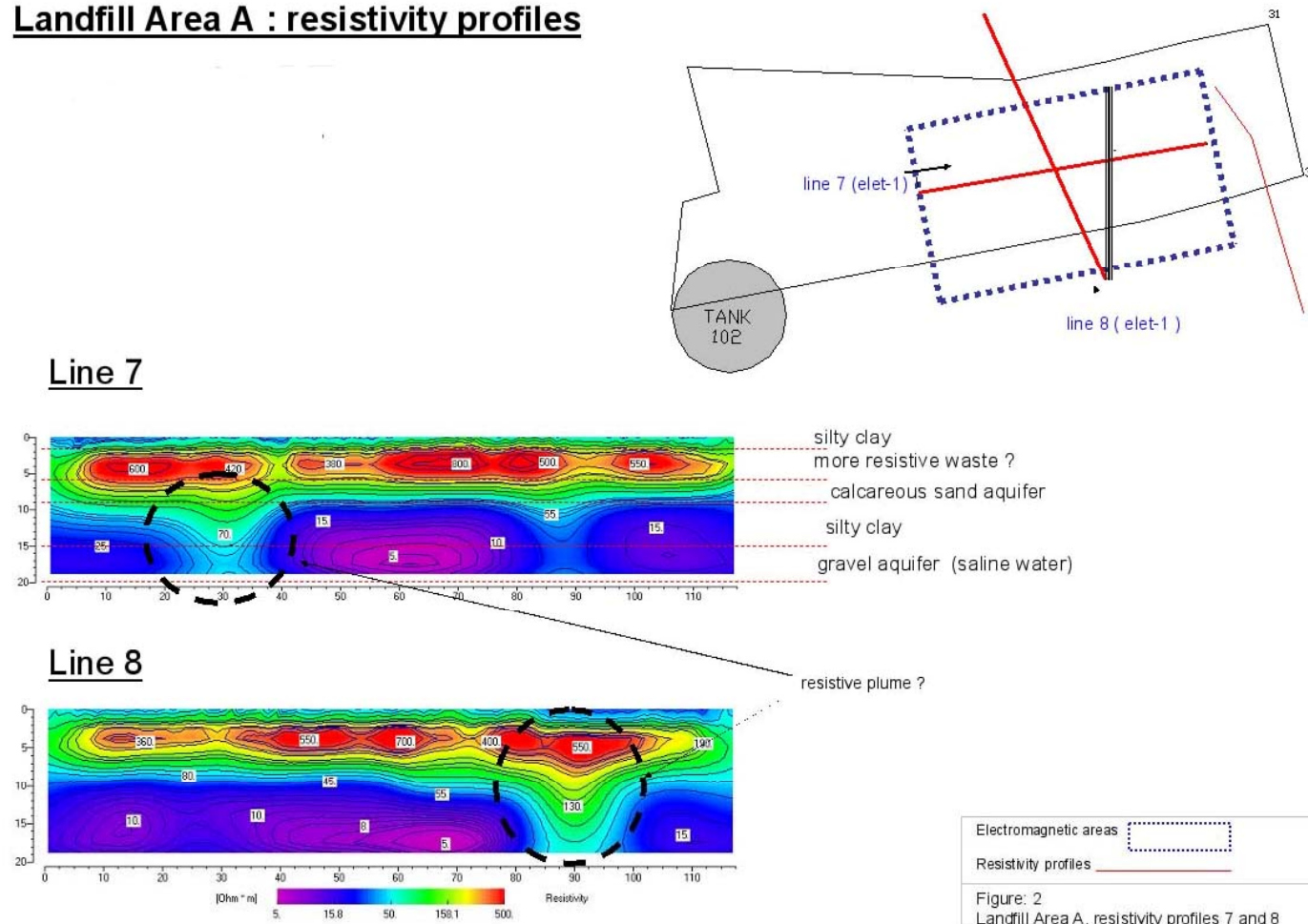
ESEMPIO 9 - INQUINAMENTO



**DUE TOMOGRAFIE
ELETTRICHE
ATTRAVERSO UNO
SCARICO DI
“TOUT-VENANT”
PRESSO UNA
MINIERA DI SALE
IN TOSCANA**

ESEMPIO 10 - INQUINAMENTO

Landfill Area A : resistivity profiles



INDAGINE PER
INQUINAMENTO DA
IDROCARBURI IN
UNA ZONA
INDUSTRIALE.

I VOLUMI DEGLI
INQUINANTI
VENGONO VISTI
COME ANOMALIE
RESISTIVE.

ESEMPIO 11 - INQUINAMENTO

Landfill Area A : electromagnetic induction maps

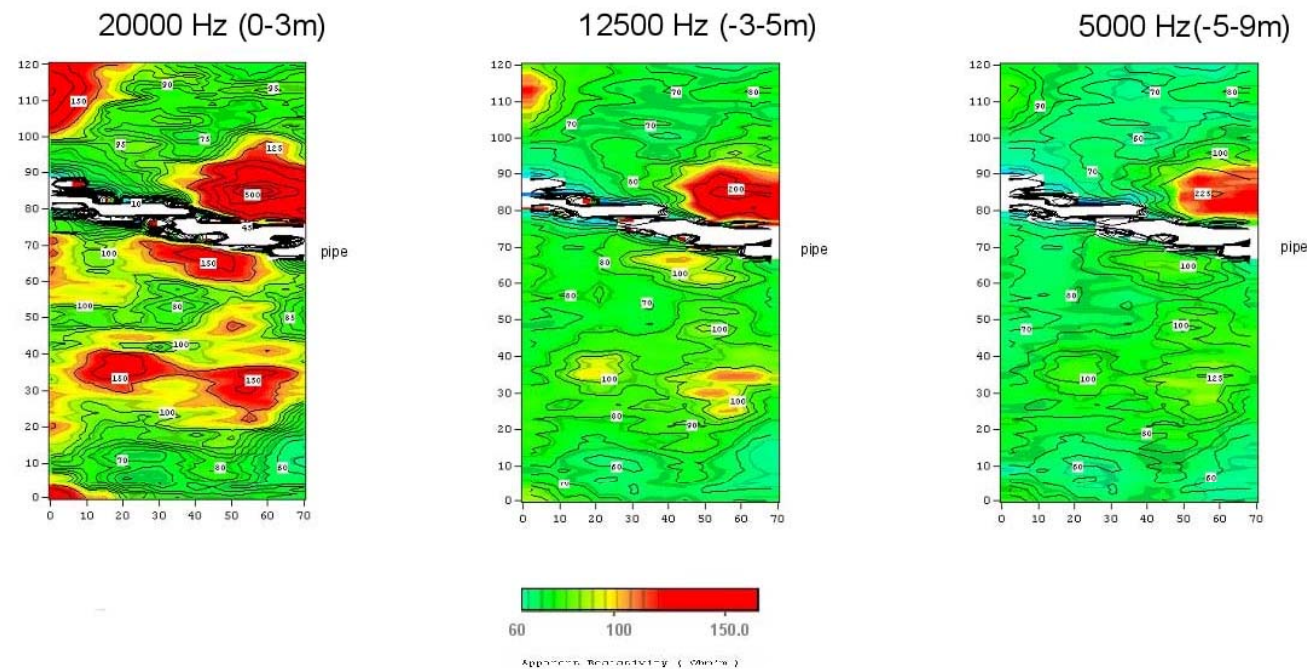
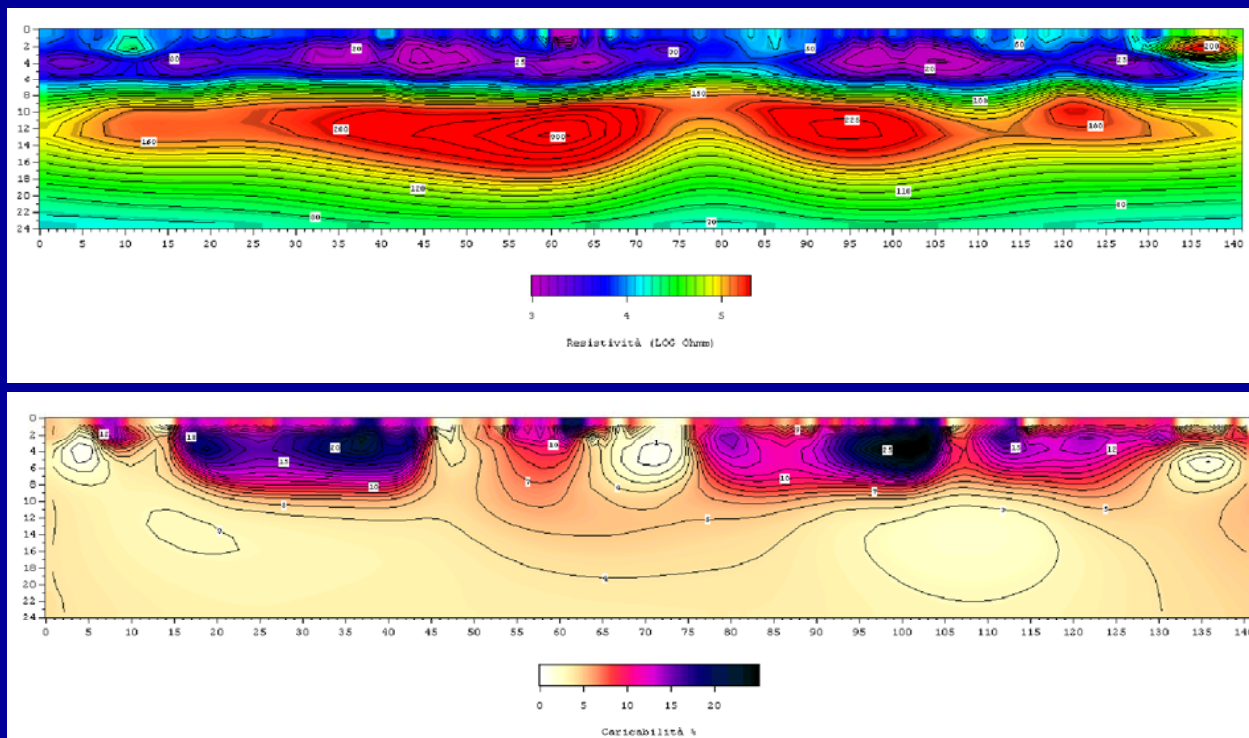


Figure: 3
Landfill Area A, electromagnetic induction maps

QUESTE 3 MAPPE
SONO OTTENUTE CON
UNO STRUMENTO
ELETTROMAGNETICO
MULTIFREQUENZE
(**GEM 300**)

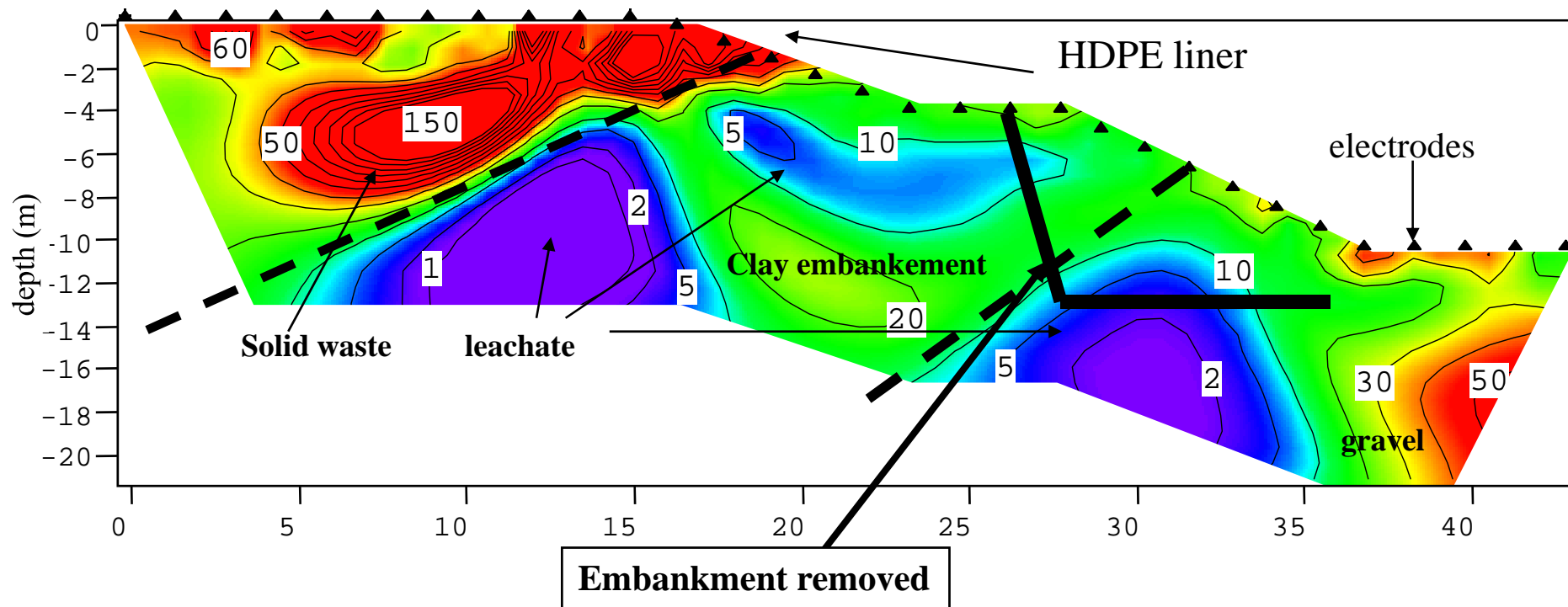
LA PRESENZA DI TUBI
METALLICI SPOLTI E'
BEN EVIDENZIATA. LE
ZONE ROSSE
INDICANO LA
PRESENZA DI
INQUINANTI A
DIFFERENTI
PROFONDITA'

ESEMPIO 12 – DISCARICHE MSW



CONFRONTO TRA TOMOGRAFIE DI RESISTIVITA' E CARICABILITA' IN UNA DISCARICA MSW A PARMA. LA SECONDA (EFFETTO I.P.) PERMETTE DI DISTINGUERE I RIFIUTI DAL MATERIALE NATURALE

ESEMPIO 13 – DISCARICHE MSW



DISCARICA COMUNALE

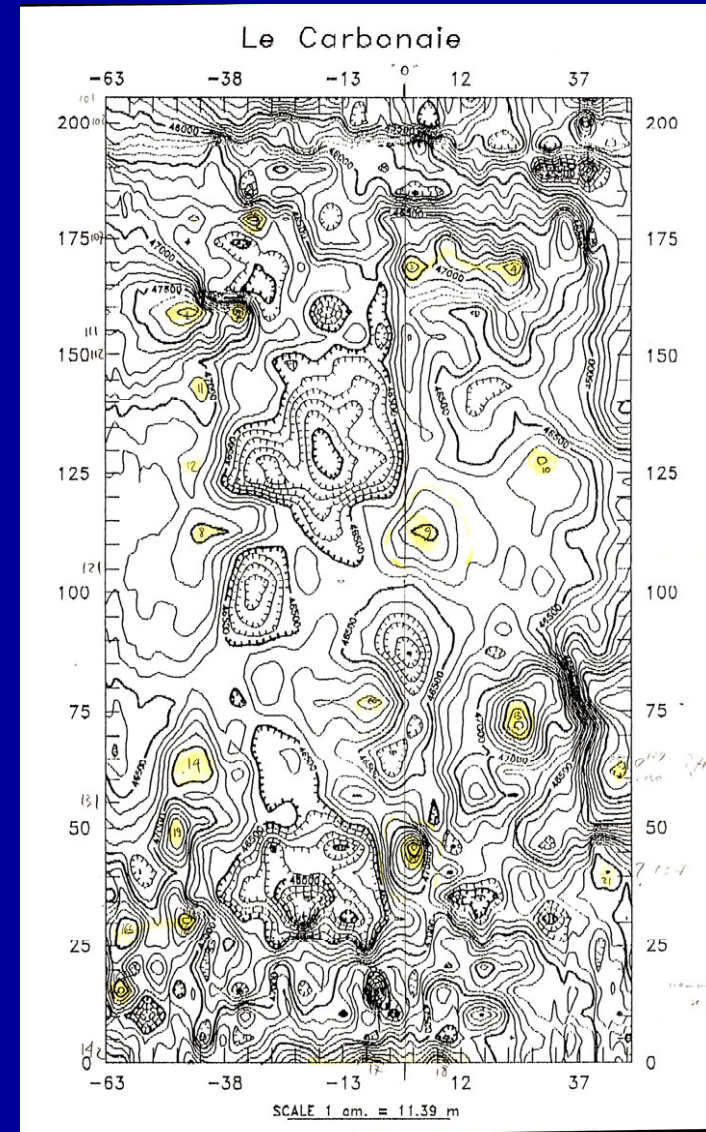


University of Pisa, Department of Civil Engineering, Laboratory of Applied Geophysics

ESEMPIO 14 – DISCARICHE MSW

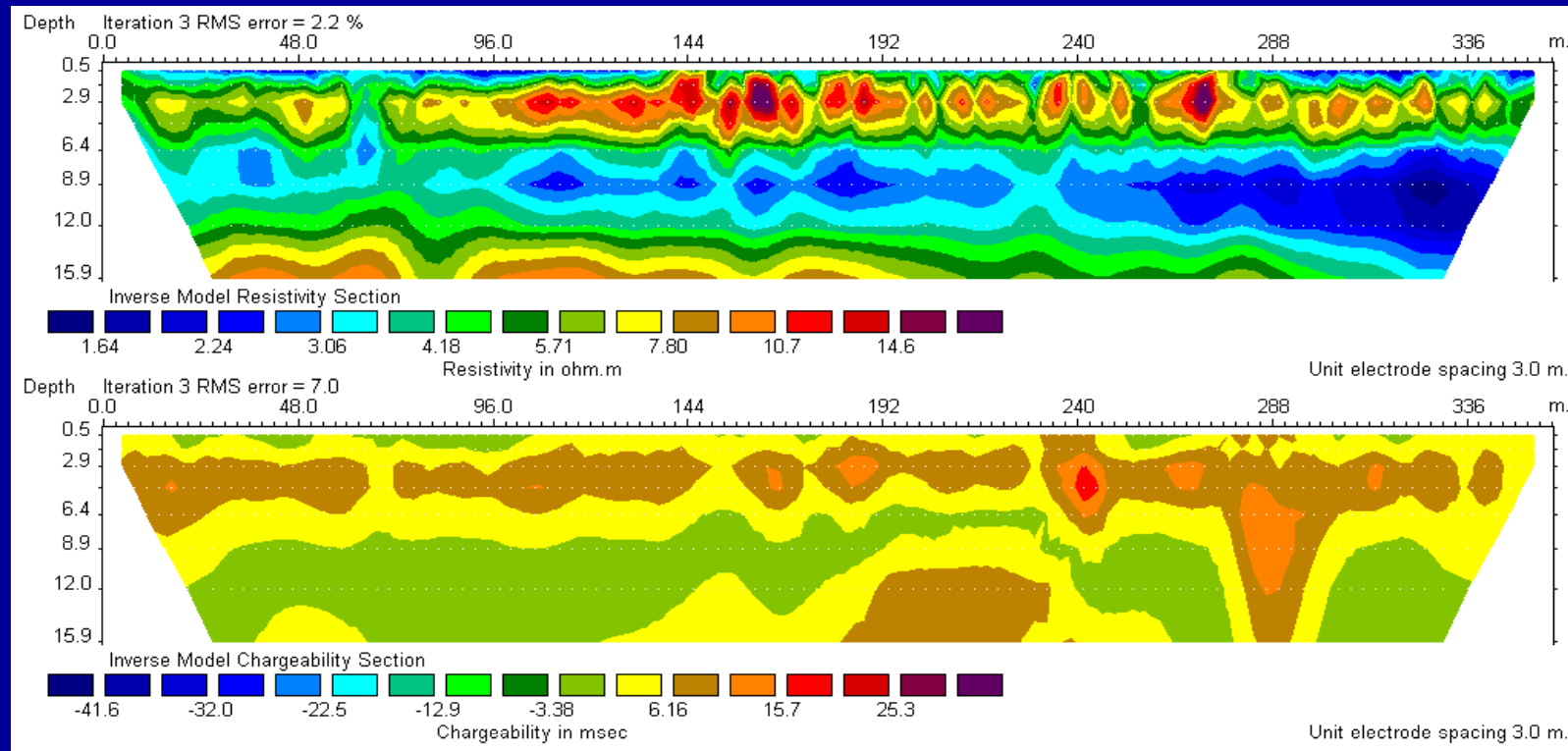
**INDAGINE MAGNETICA A ALTA
RISOLUZIONE IN UNA DISCARICA IN
TOSCANA:**

RIFIUTI FERROSI SONO MESI IN EVIDENZA



•University of Pisa, Department of Civil Engineering, Laboratory of Applied Geophysics

ESEMPIO 15 – DISCARICHE MSW



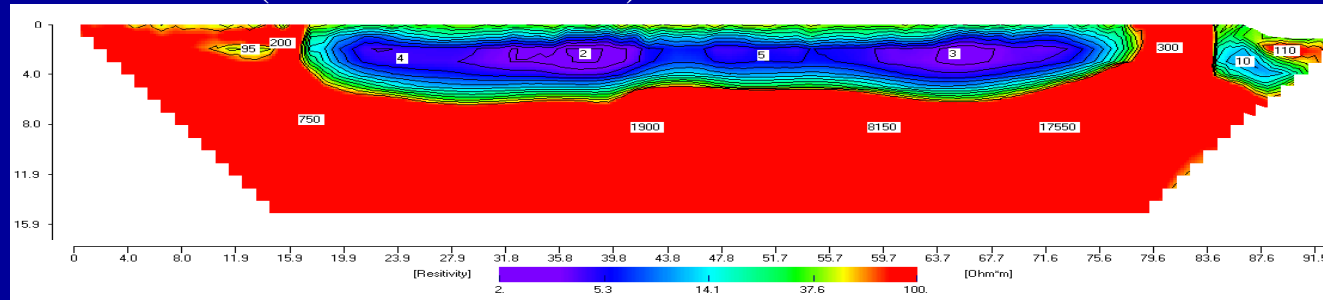
QUESTO SEMPIO SI RIFERISCE A UNA DISCARICA **MSW** PIUTTOSTO AMPIA.
I RIFIUTI SONO ACCUMULATI SOPRA UNA **FORMAZIONE NATURALE DI ARGILLA**.
QUANDO SI PROGETTO' LA BONIFICA DEL SITO SI RICHIESE QUESTA INDAGINE:
LA SITUAZIONE ERA REGOLARE PER QUASI TUTTA L'AREA MA IN ALCUNI PUNTI SI EVIDENZIO'
DELLE **DISCONTINUITA'** DEL BASAMENTO D'ARGILLA PERMETTENDO COSI' LA DISPERSIONE DI
INQUINANTE NEGLI STRATI PERMEABILI SOTTOSTANTI



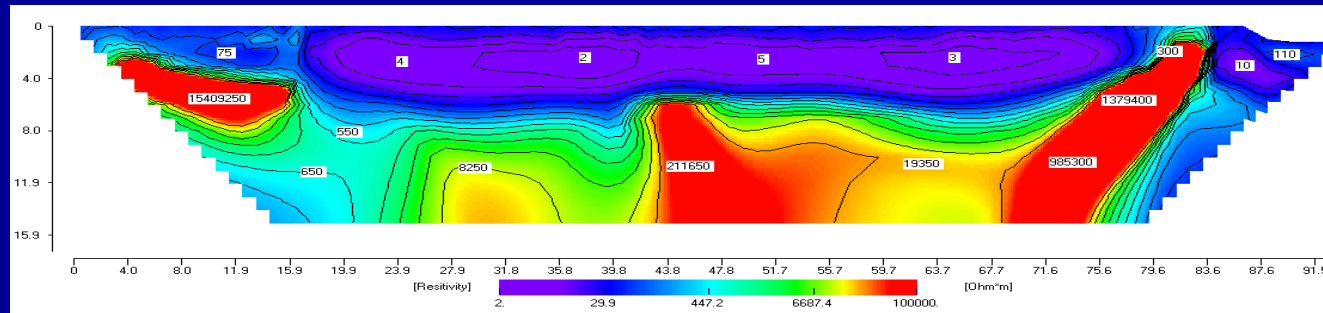
•University of Pisa, Department of Civil Engineering, Laboratory of Applied Geophysics

ESEMPIO 16 – TOMOGRAFIE ELETTRICHE ATTRAVERSO DISCARICHE MSW

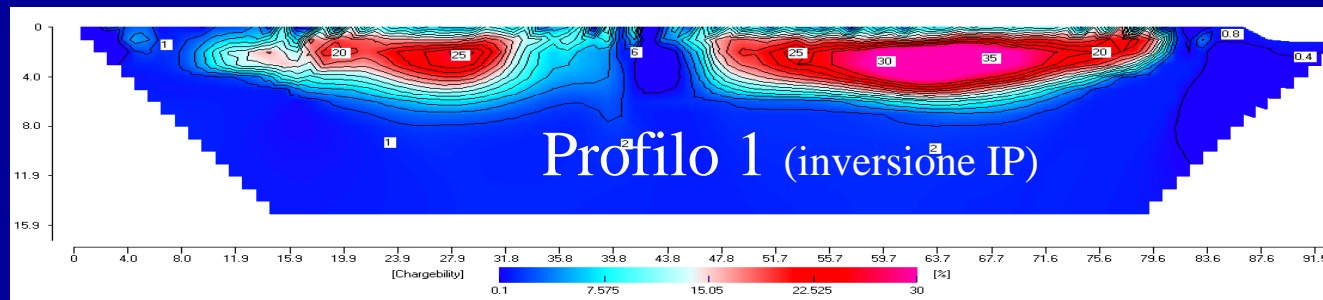
Profilo 1 (inversione resistività)



IL CORPO RIFIUTI
SOPRA UN
RIVESTIMENTO
ISOLANTE



IL SOTTOSUOLO
PRESSO E SOTTO IL
CORPO RIFIUTI



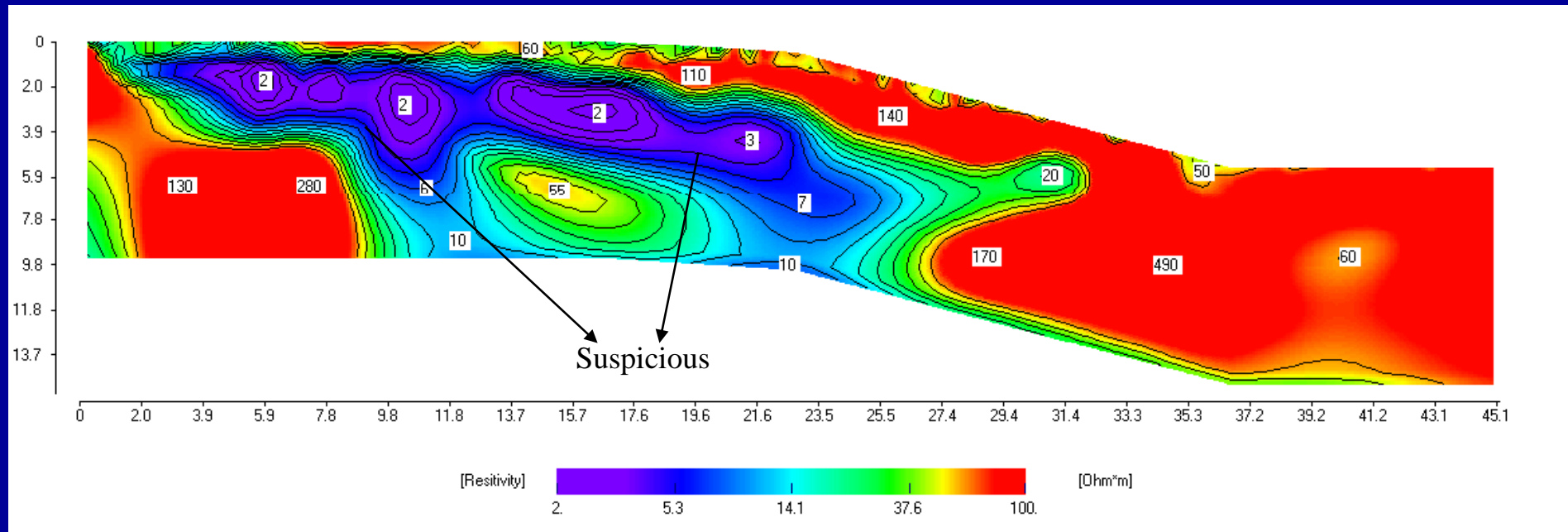
EFFETTO I.P.



•University of Pisa, Department of Civil Engineering, Laboratory of Applied Geophysics

ESEMPIO 17 - TOMOGRAFIE ELETTRICHE ATTRAVERSO DISCARICHE MSW

Profilo 2 (inversione congiunta forward+reverse)



**UNA TOMOGRAFIA LONGITUDINALE ATTRAVERSO LA STESSA DISCARICA:
SONO EVIDENZIATE DUE ZONE MOLTO SOSPETTE DI INQUINAMENTO**



• University of Pisa, Department of Civil Engineering, Laboratory of Applied Geophysics

CONCLUSIONI

LE MODERNE TECNOLOGIE GEOFISICHE AD ALTA RISOLUZIONE PERMETTONO DI AFRONTARE I PROBLEMI DI INQUINAMENTO ED AMBIENTALI CON GRANDE EFFICIENZA

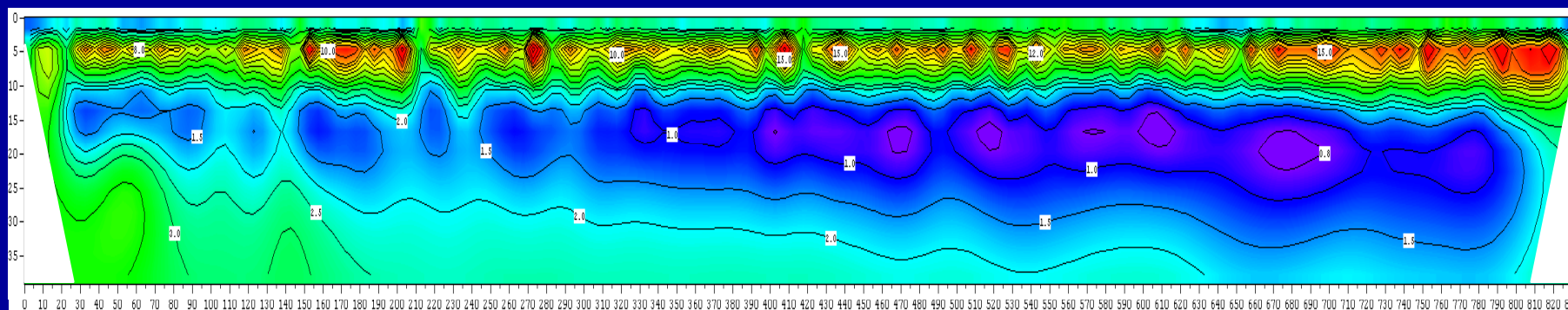
UNA ACCURATA SCELTA DELLE MIGLIORI STRATEGIE E UNA BUONA PROGRAMMAZIONE DELLE INDAGINI SONO NECESSARI

I METODI GEOFISICI PERMETTONO DI OTTENERE INFORMAZIONI CON BASSI COSTI E IN POCO TEMPO: QUESTO PUO' ESSERE CRITICO IN MOLTE SITUAZIONI

GLI INDAGINI GEOFISICI SONO NON-INVASIVE: NIENTE SCAVI O POZZI

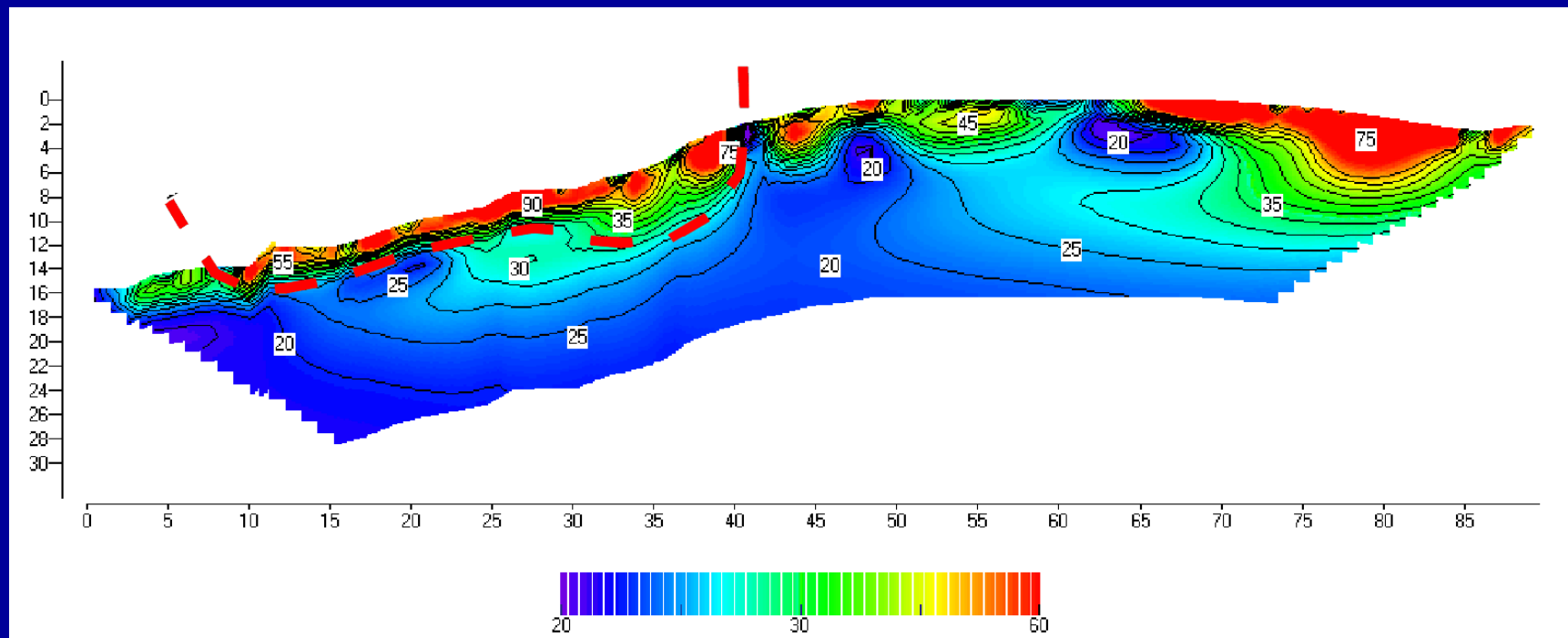


ESEMPIO 15 A – DISCARICHE MSW



•University of Pisa, Department of Civil Engineering, Laboratory of Applied Geophysics

ESEMPIO 13 – STABILITA' DEI VERSANTI

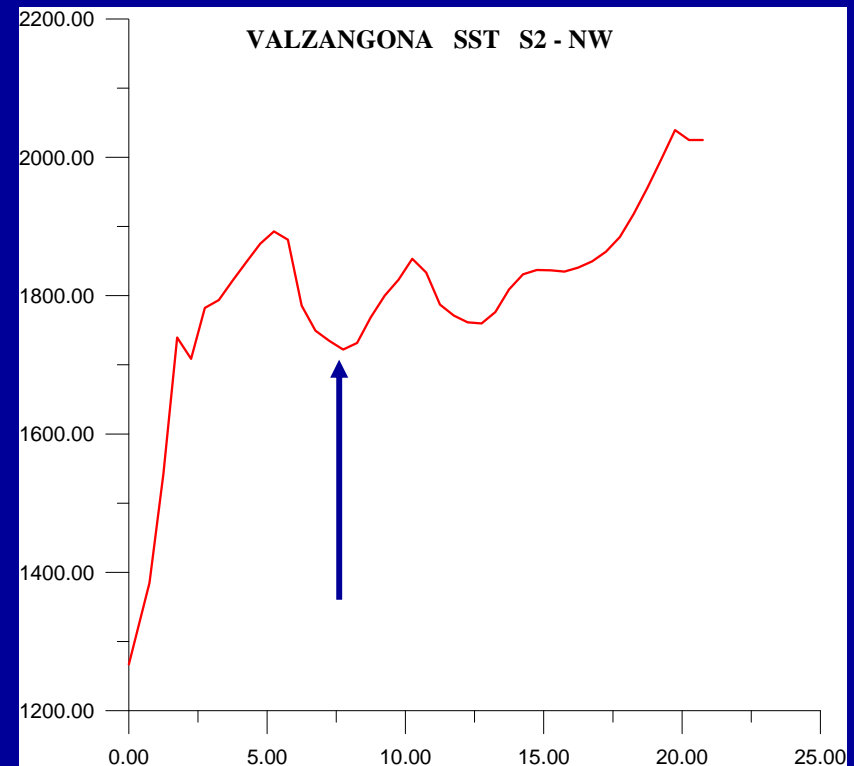
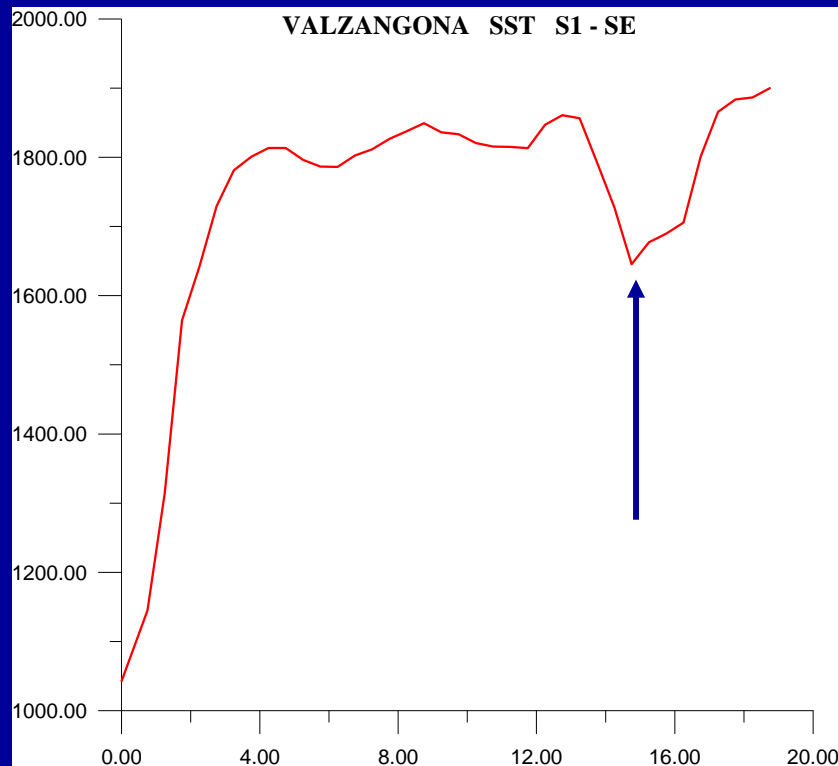


LA TOMOGRAFIA ELETTRICA MOSTRA CHIARAMENTE UN CROLLO SVILUPPATA IN UNA FRANA



University of Pisa, Department of Civil Engineering, Laboratory of Applied Geophysics

ESEMPIO 14 – STABILITA' DEI VERSANTI



SST-PROFILI SISMICI VERTICALI INDICANO LA PROFONDITA' DELLE SUPERFICI DI SCORRIMENTO DI UNA FRANA IN AMMASSI ARGILLOSI



University of Pisa, Department of Civil Engineering, Laboratory of Applied Geophysics

