

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA
FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI



**Corso di Laurea Specialistica in
Geofisica di Esplorazione ed Applicata**



Anno Accademico 2009/2010

Candidato **Pietro Parisi**
Laurea triennale in: **Fisica**

Titolo della tesi

Modelling e Inversione di dati ERT 3D per lo studio delle fondazioni di un ponte ferroviario

Relatore **Adriano Ribolini, Simone Sartini**
Correlatore **Alfredo Mazzotti**

Controrelatore: **Gilberto Saccorotti**

Riassunto esteso

Le applicazioni delle tecniche geofisiche all'ingegneria civile sono in continuo aumento e riflettono le potenzialità e il costante ampliamento di orizzonti della moderna geofisica applicata. In questo ultimo ventennio gran parte delle innovazioni che hanno riguardato i metodi geofisici sono attribuibili ai numerosi progressi introdotti dall'elettronica e dall'informatica i quali hanno rivoluzionato i sistemi di misura, di acquisizione ed elaborazione dei dati geofisici e, al tempo stesso, favorito lo sviluppo di nuove tecniche d'indagine. In questo processo di evoluzione dei metodi geofisici, un ruolo fondamentale è stato svolto dal progresso dei modelli fisico-matematici utilizzati per l'interpretazione dei risultati sperimentali nonché di quello degli algoritmi numerici che li hanno implementati.

Le innovazioni introdotte nei sistemi di misura e di interpretazione dei dati in campo geofisico, hanno reso possibile lo sviluppo di sofisticate tecniche d'indagine. Per quel che concerne le applicazioni in campo ingegneristico-geotecnico, accanto alle tradizionali prove sismiche si sono affiancati, in tempi più recenti, metodi d'indagine più moderni ed innovativi come tomografia elettrica 3D. Le indagini geoelettriche 3D rappresentano un'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.

Accanto alle consuete geometrie che utilizzano profili 2D, griglie 3D di elettrodi superficiali, sistemi di elettrodi in foro, innovative geometrie 3D trovano oggi applicazione in diversi contesti, quali l'ingegneria civile e geotecnica, le indagini a scopo ambientale, l'archeologia. Tra queste geometrie si devono menzionare, in particolare, le configurazioni superficiali che fanno uso di disposizioni elettrodiche a forma di L, U o anulari (*loop* di elettrodi).

Le ragioni che portano a scegliere queste configurazioni elettrodiche sono molte, ma la più comune è il superamento dei vincoli che il contesto urbano pone all'indagine. Molto spesso, infatti, è necessario investigare terreni e strutture al di sotto di edifici o manufatti che non sarebbero altrimenti raggiungibili se non utilizzando tecniche costose e invasive.

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).

In questo lavoro di tesi, svolto grazie alla SOGET.s.n.c. per conto della Provincia di Pisa, è stata effettuata un'indagine di "Tomografia elettrica 3-D" sui dei pilastri del ponte ferroviario sito sul canale scolmatore tra Pisa e Livorno.

L'acquisizione dei dati è avvenuta attraverso un georesistivimetro SYSCAL Pro 10 canali a 72 elettrodi della IRIS Instruments, con un totale di 73 elettrodi di cui un polo remoto, in configurazione di dispositivo Polo-Dipolo. Data la particolare situazione logistica, si è proceduto con una configurazione elettrodica superficiale in galleggiamento a forma di U

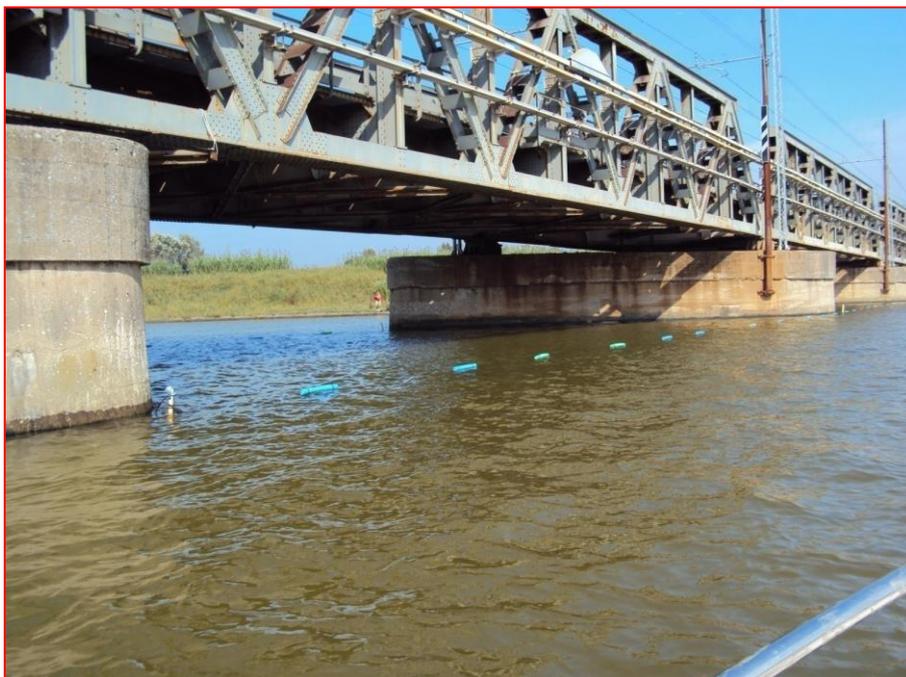


Fig. 1 - Ponte ferroviario canale scolmatore Pisa Livorno



Fig. 2- Configurazione elettrodica con polo remoto

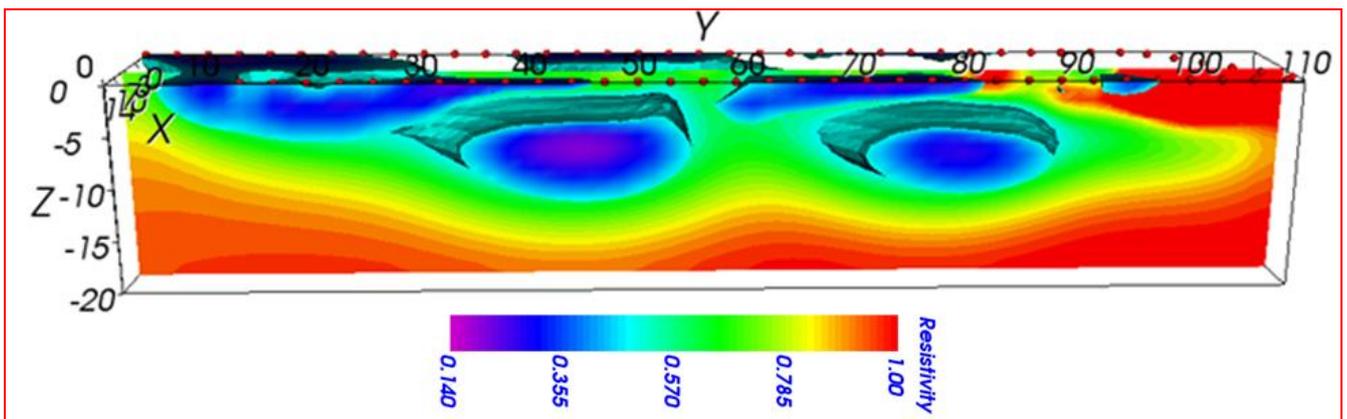


Fig. 3- Inversione dati reali

I risultati dell'inversione hanno evidenziato delle anomalie altamente conduttive in corrispondenza dei pilastri con un diametro e una profondità di una decina di metri.

Tali anomalie conduttive inattese, visto il comportamento altamente resistivo del calcestruzzo fornitoci dalla letteratura, hanno spinto al modelling per tentare una chiarificazione nonché una spiegazione di queste ultime.

In questo lavoro di tesi sono stati costruiti tre modelli di resistività partendo dalla stessa configurazione elettrodica, stessi quadropoli e stessa mesh usati per i dati reali:

- **Modello 1: Acqua salata, fondale argilloso**

Il primo modello costruito è a due strati resistivi. Un primo strato è caratterizzato da un valore di resistività tipico dell'acqua salata $\rho=0.2 \Omega\cdot m$ nei primi tre metri di profondità ed un secondo strato nei metri successivi caratterizzato da un valore di resistività $\rho= 2\Omega\cdot m$ rappresentativo del fondale del canale.

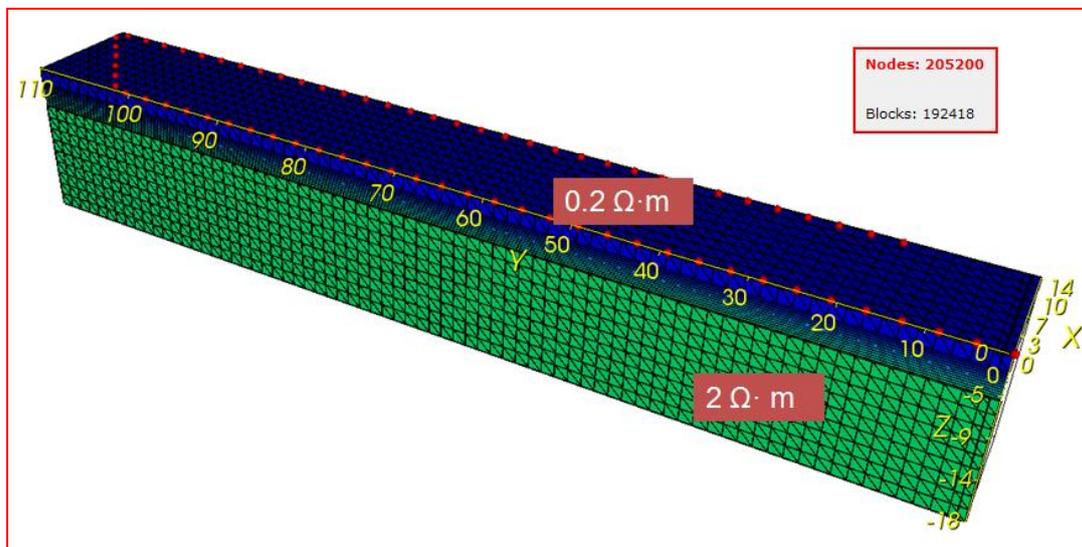


Fig. 4 - Modello 1

- **Modello 2: Acqua salata, fondale argilloso + pilastri resistivi (4000 $\Omega\cdot m$)**

Successivamente è stato costruito un secondo modello nel quale sono state inserite delle anomalie rispetto al modello precedente rappresentanti i due plinti indagati nell'indagine. Tali anomalie di dimensioni 13m x 10m x 9m sono state caratterizzate da valori di resistività tipici del calcestruzzo fornitici dalla letteratura, quindi $\rho= 4000 \Omega\cdot m$.

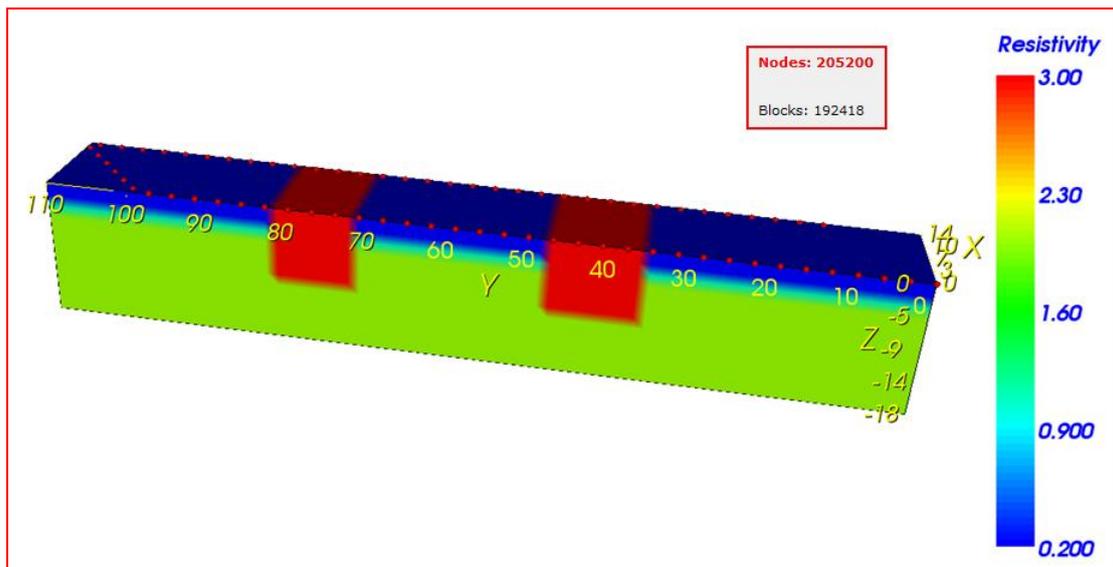


Fig. 5 - Modello 2

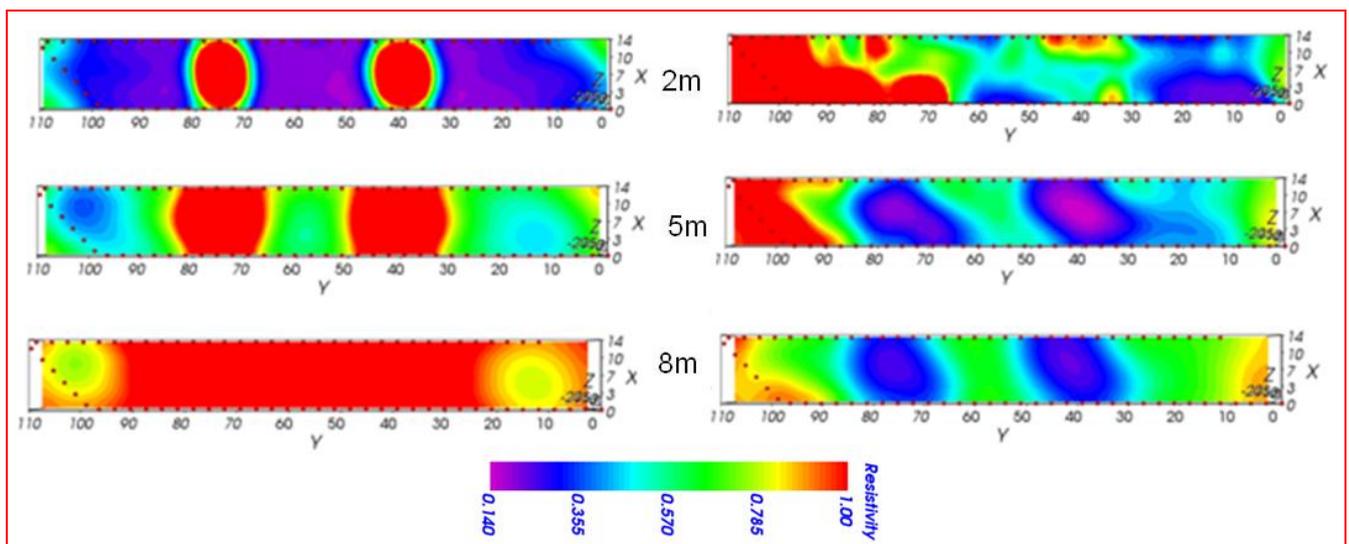


Fig. 6 - Inversione Modello 2 vs Inversione dati reali alle profondità di 2m, 5m, 8m

Il confronto tra l'inversione del Modello 2 e i dati reali non riesce a spigare le anomalie conduttive evidenziate, questo dovuto probabilmente alla presenza di ferri dell'armatura non ricoperti dal calcestruzzo. Tale motivazione ha spinto quindi a creare un Modello 3.

- **Modello 3: Acqua salata, fondale argilloso + pilastri resistivi + camiciatura conduttiva (0.0001 $\Omega\cdot m$)**

Infine, è stato costruito un terzo modello considerando la presenza di materiali fortemente conduttivi attorno ai due pilastri. Per tale motivo è stato inserito, lungo il perimetro dei due pilastri, un corpo di spessore di circa 30cm con valori di resistività 0.0001 $\Omega\cdot m$

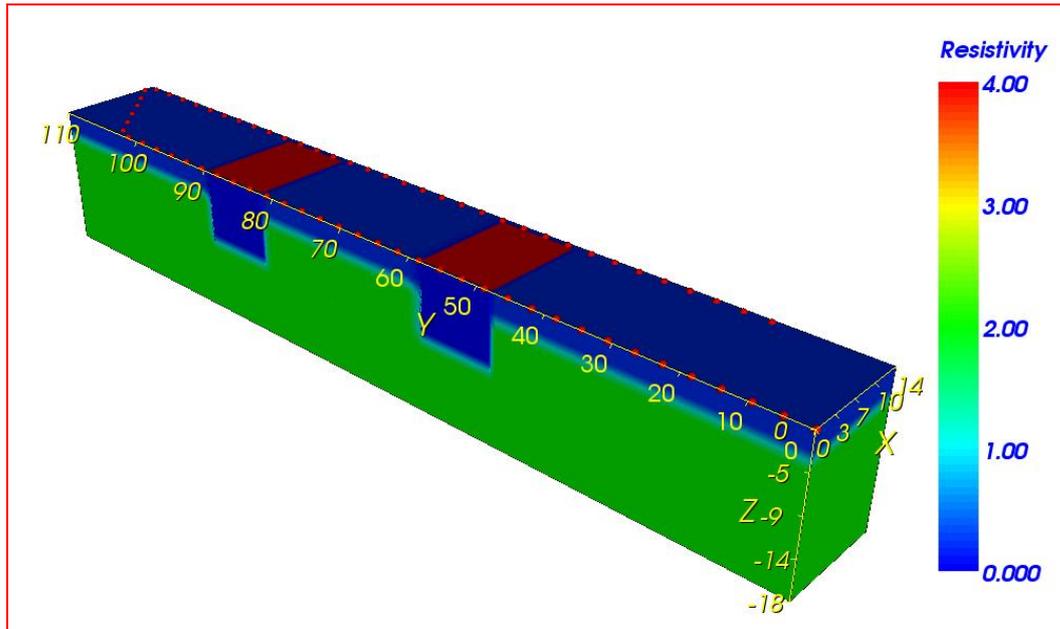


Fig. 7 - Modello 3

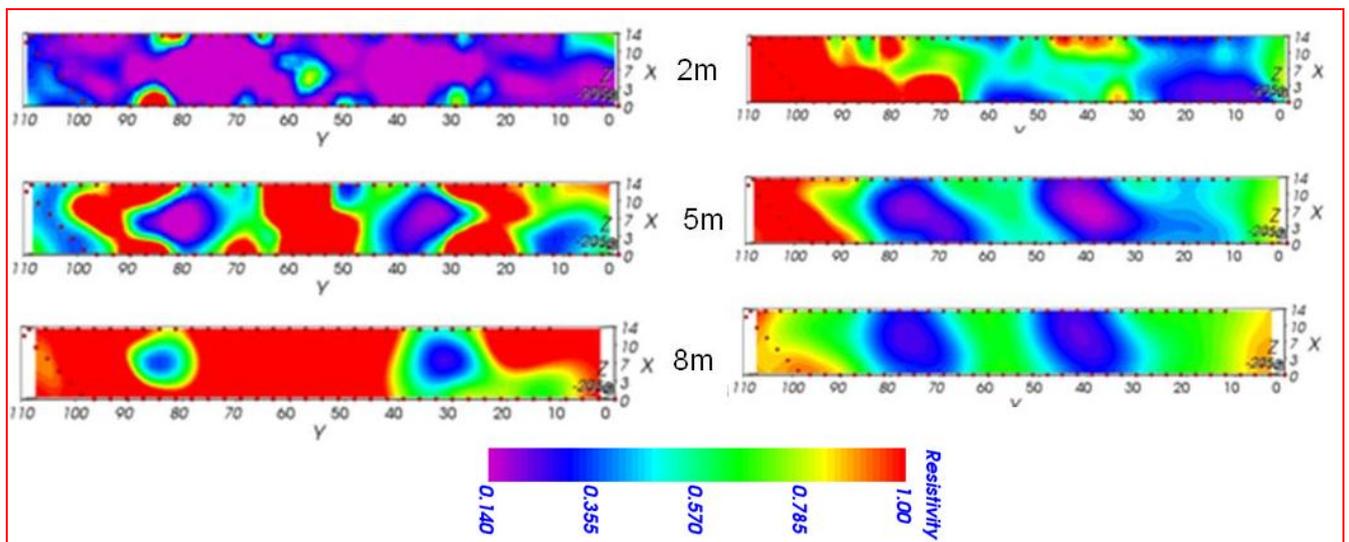


Fig. 8 - Inversione Modello 3 vs Inversione dati reali alle profondità di 2m, 5m, 8m

Concludendo, il confronto tra l'inversione del Modello 3 e i dati reali giustifica la presenza delle anomalie conduttive e mette in evidenza un fenomeno di schermatura del pilastro causato dalla sua armatura metallica la quale costituisce una vera e propria "Gabbia di Faraday".