

Relazione Scientifica

Angela Perrone

Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale (IMAA)

Consiglio Nazionale delle Ricerche(CNR)

Titolo del programma:

Use of electromagnetic data in numerical models

Dipartimento di afferenza:

Scienze del sistema terra e tecnologie per l'ambiente

Istituto ospitante:

Department of Civil and Environmental Engineering of the Universitat Politècnica de Catalunya Barcelona-Tech

Durata:

21 giorni, 11/05/2019–01/06/2019

Introduzione

Negli ultimi anni, tra i metodi di prospezione geofisica per l'investigazione e il monitoraggio di aree ad elevato rischio idrogeologico, la Tomografia di Resistività Elettrica (ERT) ad alta risoluzione superficiale e profonda ha assunto un ruolo sempre più importante (Perrone et al., 2014). Tale tecnica, assolutamente non-invasiva, ha il pregio di associare un basso costo di esplorazione ed un'elevata risoluzione nella caratterizzazione dell'assetto geologico-strutturale del sottosuolo investigato, mediante l'individuazione di contrasti di resistività spesso ascrivibili a contatti litologici e alla presenza di strutture e superfici sepolte. Nelle aree in frana tale tecnica è spesso applicata successivamente al verificarsi di un evento con lo scopo di individuare la superficie di scivolamento, definire lo spessore del materiale coinvolto nel movimento, localizzare aree caratterizzate da un maggior contenuto di acqua e quindi potenzialmente instabili. L'esperienza maturata dalla comunità scientifica in questo ambito e lo sviluppo di sistemi multicanali che consentono di acquisire la resistività elettrica in continuo (time lapse ERT – 'tl-ERT') ha portato alla consapevolezza di sperimentare e testare l'utilizzo della ERT anche durante le fasi di monitoraggio di un'area instabile. Infatti, tra i fattori che possono influenzare i valori di resistività elettrica vi è anche il contenuto di acqua che, come è ben noto, gioca spesso un ruolo determinante nell'innescio di una frana. Tipicamente il contenuto di acqua nel suolo viene misurato utilizzando sensori puntuali che possono essere installati a diverse profondità oppure distribuiti spazialmente su una determinata area. In tal caso, i costi del sistema di monitoraggio diventano elevati, non riuscendo comunque a superare il carattere puntuale delle misure ottenute. L'utilizzo di una tecnica indiretta come la ERT, mediante la realizzazione di immagini del sottosuolo 2D e 3D nel tempo, consente invece di studiare un volume di materiale maggiore utilizzando sensori non invasivi e a basso costo, contenendo così i costi del sistema di monitoraggio proposto. Sebbene esistano già delle correlazioni tra la resistività elettrica e il contenuto di acqua (Archie, 1942; Waxman and Smits, 1968), la comunità scientifica è attualmente molto interessata alla definizione di correlazioni quantitative che siano rappresentative dei diversi materiali presenti in natura e potenzialmente coinvolti in un movimento di massa, con particolare attenzione rivolta alla definizione di soglie di allerta per la resistività. La definizione di tali correlazioni e l'impostazione delle possibili soglie, anche grazie al confronto con dati derivanti da altra strumentazione (stazioni meteo, sensori per la stima dell'umidità del suolo, piezometri), porterebbe a considerare la tomografia elettrica in modalità time-lapse (ossia con acquisizioni continue nel tempo) quale valido strumento di monitoraggio di aree interessate da fenomeni di dissesto idrogeologico.

Per raggiungere tale scopo è necessario partire da un modello geologico e geotecnico del sottosuolo che consenta di considerare le caratteristiche meccaniche, idrauliche e termiche dei terreni che lo caratterizzano. I ricercatori della Divisione di Geotecnica del Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università Politecnica di Catalunya hanno maturato una comprovata esperienza nello sviluppo e nell'applicazione di metodi numerici avanzati per lo studio della stabilità dei pendii. In particolare hanno sviluppato il Code_Bright, un programma agli Elementi Finiti in grado di eseguire analisi termo-idro-meccaniche nei mezzi geologici, che considera come dati di input solo le caratteristiche geomeccaniche dei terreni.

L'attività svolta dalla dott.ssa Perrone durante il periodo di STM si è concentrata nel testare la sensibilità del modello ottenuto da Code-Bright alla variazione della resistività elettrica partendo dai dati acquisiti in un caso reale di frana verificatasi in regione Basilicata e sulla quale, per un periodo di tempo di circa 2 anni, sono stati acquisiti in continuo valori di resistività elettrica, valori di contenuto di acqua e informazioni meteo (pioggia, temperatura, ecc.).

L'attività, che ha avuto inizio nel 2017 durante una prima visita della dott.ssa Perrone presso l'UPC di Barcellona, si è sviluppata come segue:

- Training sull'utilizzo del Code Bright mediante lo studio e la realizzazione di esempi riportati nei manuali del programma;
- Creazione nel Code Bright di un modello di sottosuolo che corrispondesse al caso di studio della Basilicata (in cui sono stati acquisiti i dati) mediante la definizione delle caratteristiche geo-meccaniche ed idrauliche dei terreni affioranti nell'area;
- Valutazione della significatività del modello mediante il confronto tra i dati di umidità del suolo acquisiti in campo e i dati di umidità del suolo ottenuti dal modello;
- Implementazione del Code Bright con dati di input geofisici e, in particolare, con l'introduzione della Formula di Archie nel programma del modello;
- Validazione del modello mediante il confronto tra i dati di resistività misurati in campo e i dati di resistività restituiti dal modello.

Code Bright: principi di funzionamento

Il Code Bright è uno strumento progettato per la modellizzazione dei processi termo-idro-meccanici (THM) che si verificano in modo accoppiato nei mezzi geologici. L'approccio teorico consiste in un insieme di equazioni governative, un insieme di leggi costitutive e uno speciale approccio computazionale. Il codice, scritto in FORTRAN e composto da diverse subroutine, non usa librerie esterne e utilizza il sistema GiD per la preelaborazione e la post-elaborazione.

GiD è un'interfaccia utente grafica interattiva, sviluppata dall'International Center for Numeric Methods in Engineering (CIMNE), che viene utilizzata per la definizione, preparazione e visualizzazione di tutti i dati relativi alle simulazioni numeriche. Questi dati includono la definizione della geometria, dei materiali, delle condizioni, delle informazioni sulla soluzione e altri parametri. Il programma può anche generare la mesh di elementi finiti e scrivere le informazioni per un programma di simulazione numerica nel suo formato adeguato per il Code Bright. È anche possibile eseguire la simulazione numerica direttamente dal sistema e visualizzare le informazioni risultanti senza trasferimento di file. Per la definizione della geometria, il programma funziona come un sistema CAD (Computer Aided Design). La differenza più importante è che la geometria è sviluppata in modo gerarchico. Ciò significa che un'entità di livello superiore (ad esempio un volume) è costruita su entità di livello inferiore (ad esempio una superficie); due entità adiacenti (ad esempio due volumi) condivideranno quindi la stessa entità di livello inferiore (ad esempio una superficie). Tutti i materiali, le condizioni e i parametri della soluzione possono anche essere definiti sulla geometria senza che l'utente abbia alcuna conoscenza della mesh. La mesh viene eseguita una volta che il problema è stato completamente definito. I vantaggi che ne derivano sono che, utilizzando strutture di dati associativi, possono essere apportate modifiche alla geometria e tutte le altre informazioni verranno aggiornate automaticamente. La visualizzazione grafica completa della

geometria, della mesh e delle condizioni è disponibile per il controllo completo del modello prima dell'inizio dell'analisi.

Attività svolta

Come già specificato nell'introduzione, la collaborazione tra la dott.ssa Perrone e gli ingegneri geotecnici del Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università Politecnica di Catalunya ha avuto inizio nel 2017. Nel corso della sua prima visita presso l'UPC, durata due mesi, la dott.ssa Perrone ha effettuato il training per l'utilizzo del Code Bright con lo scopo di ricostruire il modello idro-termo-meccanico di un'area in frana ubicata nella regione Basilicata e da lei investigata utilizzando tecniche geofisiche.

La frana investigata è uno scivolamento traslazionale evoluto in colata che si è verificato in località Monte li Foi di Picerno (Basilicata) nel 2006 a seguito di eventi meteorici significativi. Su tale frana (fig.1), oltre alla realizzazione di tomografie geoelettriche per la caratterizzazione della sua geometria, è stato installato un sistema di acquisizione di dati di resistività elettrica in continuo (tl-ERT), quattro sensori TDR a diversa profondità per la stima del contenuto di acqua, 10 sensori per la misura del potenziale spontaneo, una stazione pluviometrica e sono stati predisposti due fori per le misure piezometriche. Si è trattato di uno dei primi esperimenti di monitoraggio della resistività elettrica in continuo, integrata con altri dati, su un'area in frana per un periodo di circa 2 anni.

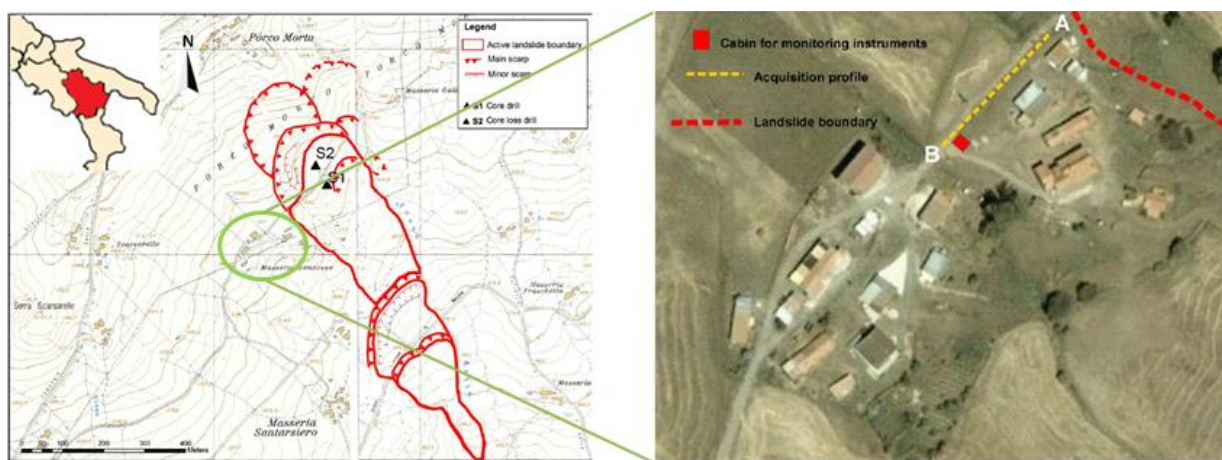


Figura 1 – A sinistra si riporta l'impronta della frana di Monte Li Foi (Picerno, Basilicata) con l'individuazione dell'area in cui è stato installato il sistema di monitoraggio (cerchio verde); a destra si riporta il profilo lungo cui sono state acquisite le tomografie di resistività elettrica in continuo (linea tratteggiata gialla), la posizione di tale profilo rispetto al limite laterale della frana e l'ubicazione della cabina di acquisizione (quadrato rosso).

Una volta definito il modello (fig.2), per valutarne la significatività sono stati effettuati ripetuti confronti tra i dati di umidità del suolo generati dal Code Bright e relativi al periodo di monitoraggio e i dati di umidità del suolo misurati in campo.

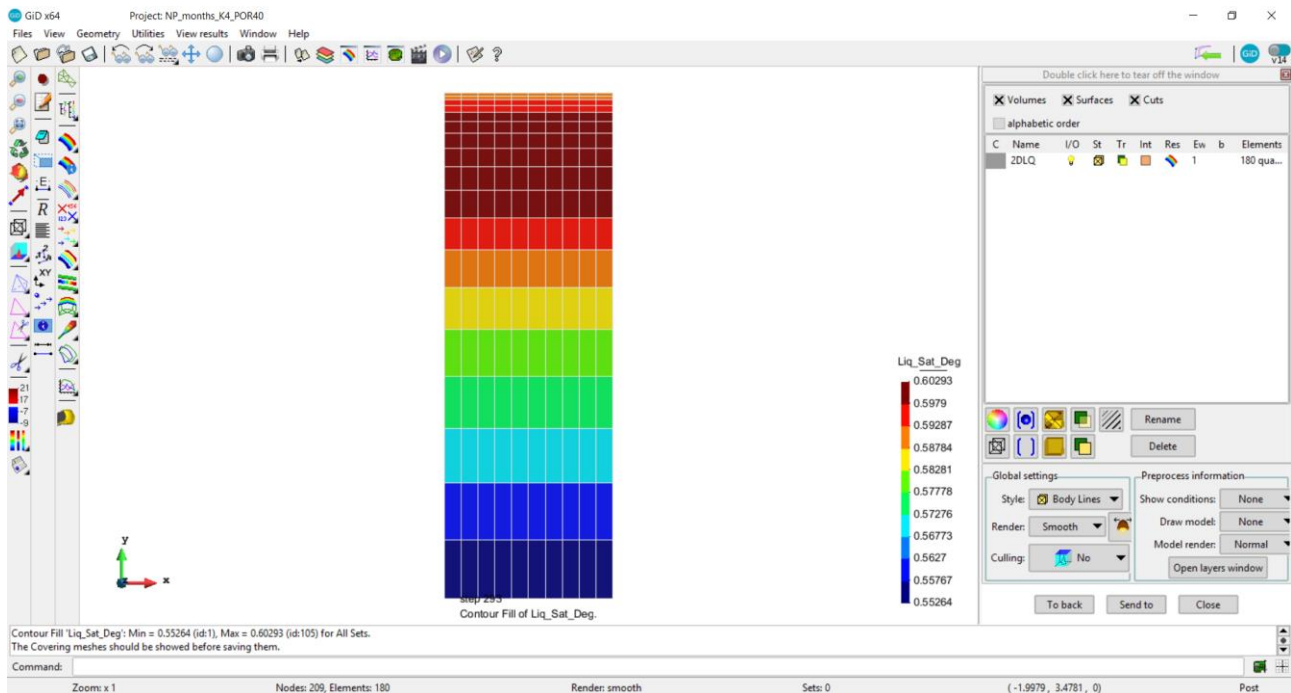


Figura 2 - Esempio di modello del sottosuolo relativo alla distribuzione del grado di saturazione ottenuto con il Code Bright.

Sulla base di tali confronti il modello è stato modificato, variando alcuni specifici parametri (porosità, permeabilità, curva di ritenzione idrica), fino al raggiungimento di un fit soddisfacente tra la curva di contenuto di acqua sperimentale e quella calcolata. Le figure 3 e 4 mostrano i risultati ottenuti in corrispondenza di due sonde TDR posizionate rispettivamente ad una profondità di 1m e 1.5m nella porzione di sottosuolo investigato.

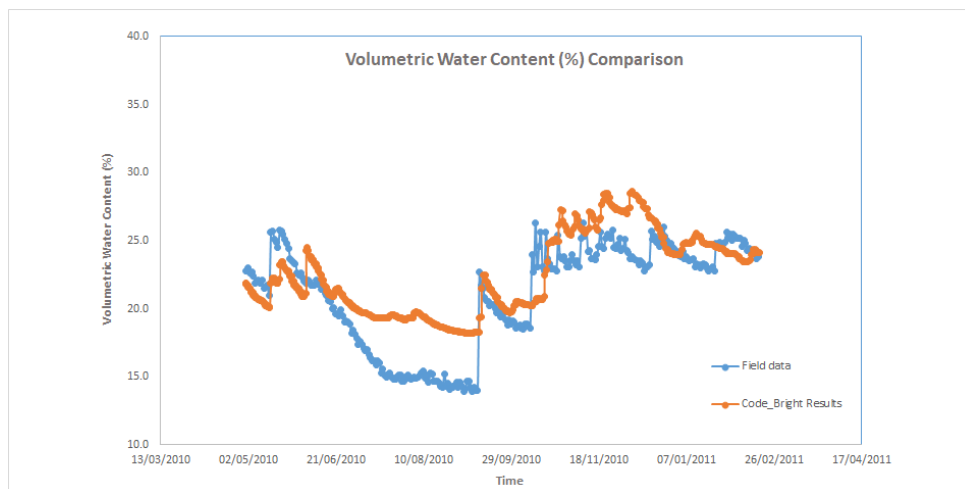


Figura 3 - Confronto tra i dati di contenuto di acqua misurati in campagna (celeste) dalla sonda TDR posizionata ad 1m di profondità e i dati di contenuto di acqua generati dal Code Bright (arancione) in corrispondenza della stessa porzione di sottosuolo.

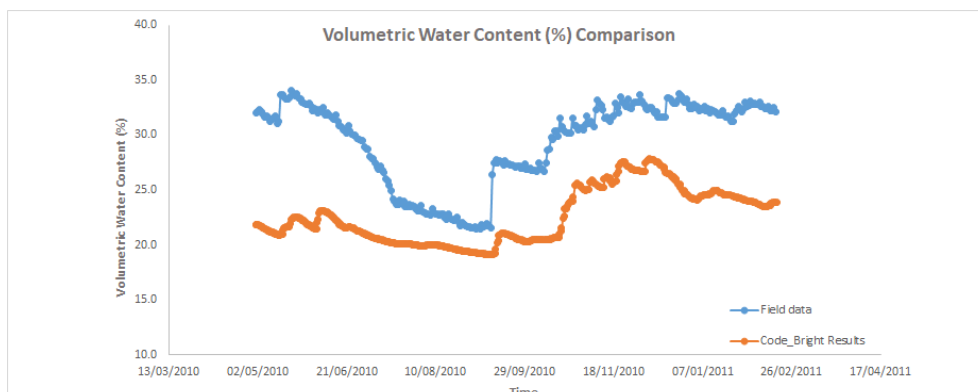


Figura 4 - Confronto tra i dati di contenuto di acqua misurati in campagna (celeste) dalla sonda TDR posizionata a 1.5m di profondità e i dati di contenuto di acqua generati dal Code Bright (arancione) in corrispondenza della stessa porzione di sottosuolo.

Definito il modello si è cominciato a valutare la possibilità di implementarlo inserendo come dati di input anche la resistività elettrica. In particolare, sulla base di quanto riportato in letteratura scientifica, si è proceduto alla valutazione della migliore o più adeguata relazione esistente tra resistività elettrica, grado di saturazione e porosità, da poter implementare nel codice.

Inizialmente si è scelto di introdurre la formula di Archie senza considerare gli effetti della temperatura sui valori di resistività. I risultati ottenuti hanno però subito rivelato un fit non soddisfacente tra i dati di resistività misurati in campagna e quelli generati dal Code Bright.

In particolare, il confronto tra le due curve (figg.5 e 6) ha evidenziato che pur mostrando lo stesso trend, nel periodo estivo e in quello invernale vi è uno shift consistente, il che fa presupporre una influenza significativa delle variazioni di temperatura sui valori di resistività soprattutto se misurati nei primissimi livelli del sottosuolo.

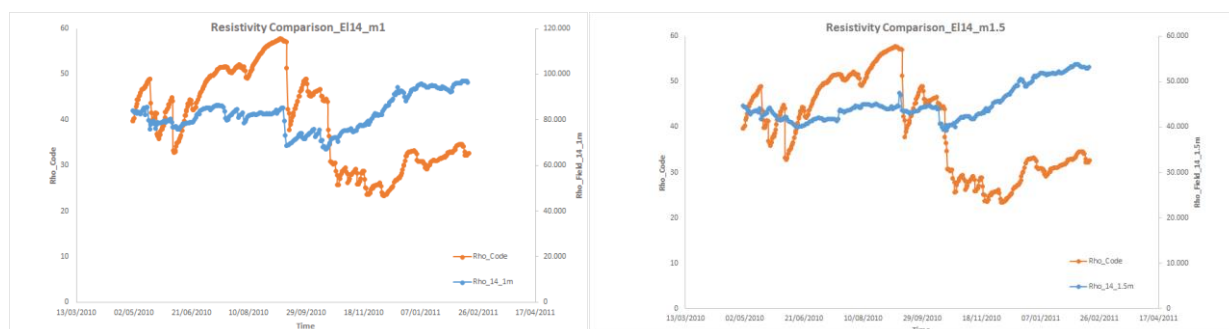


Figura 5 - Confronto tra i dati di resistività elettrica misurati in campagna (linea azzurra) in corrispondenza dell'elettrodo n.14 rispettivamente ad 1 m (a sinistra) e ad 1.5 m (a destra) di profondità e i dati generati dal Code Bright (linea arancione) nella stessa porzione di sottosuolo dopo l'implementazione con la formula di Archie.

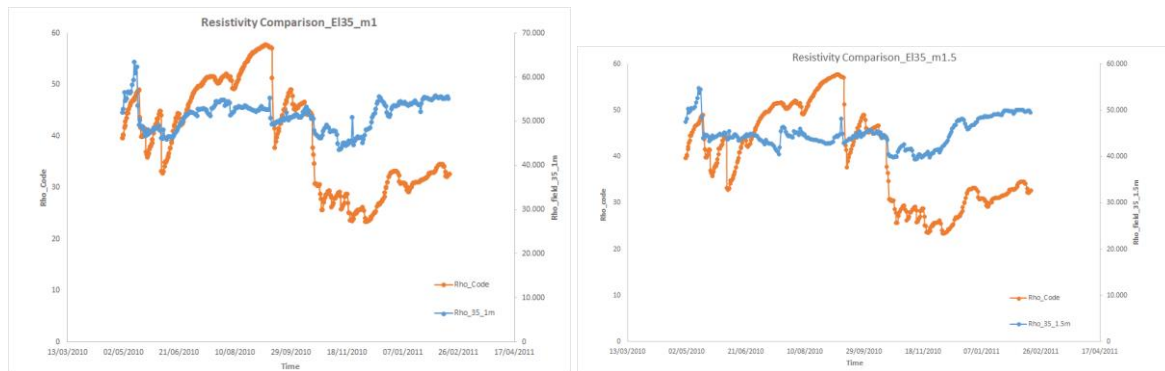


Figura 6- Confronto tra i dati di resistività elettrica misurati in campagna (linea azzurra) in corrispondenza dell'elettrodo n.35 rispettivamente ad 1 m (a sinistra) e ad 1.5 m (a destra) di profondità e i dati generati dal Code Bright (linea arancione) nella stessa porzione di sottosuolo dopo l'implementazione con la formula di Archie.

L'attività svolta nel periodo della STM ha riguardato proprio la scelta di una legge geofisica, da implementare nel Code Bright, che oltre alle relazioni esistenti tra resistività, saturazione e porosità, tenesse conto anche delle variazioni di temperatura. In bibliografia sono riportate molte relazioni geofisiche in tal senso, quindi è stato necessario scegliere quella che meglio rispecchiava le caratteristiche di suolo e sottosuolo investigato. Per fare ciò è stato necessario eseguire una serie di simulazioni e di calcoli considerando le diverse leggi e modificando i parametri o gli indici in esse inseriti. I risultati di tali simulazioni hanno evidenziato come la legge di Archie, comprensiva del fattore di correzione della temperatura partendo dai dati misurati dalla stazione pluviometrica installata nell'area di indagine, fosse la più adatta al caso di studio considerato.

I valori di resistività calcolati utilizzando tale legge sono stati confrontati con i dati misurati in campagna, restituendo un fit più soddisfacente rispetto ai test precedenti come è possibile osservare nei grafici successivi (figg. 7, 8, 9 e 10).

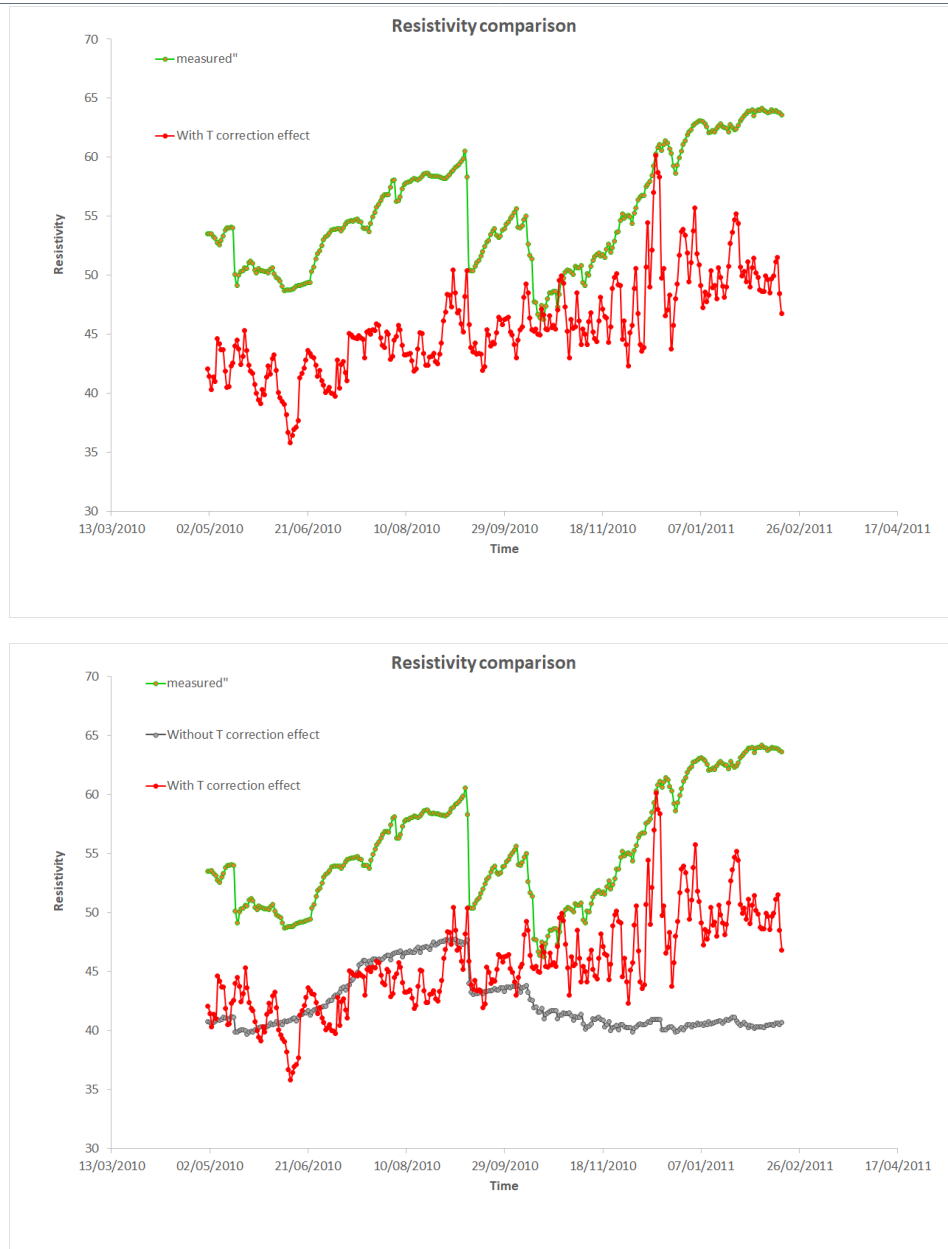


Figura 7 – In alto si riporta il confronto tra i dati di resistività elettrica misurati in campagna (linea verde) in corrispondenza dell'elettrodo n.14 ad una profondità di 1m e i dati calcolati (linea rossa) utilizzando la legge di Archie comprensiva del fattore di correzione della temperatura. Il grafico in basso oltre al confronto precedente, mostra anche la resistività calcolata utilizzando la legge di Archie senza fattore di correzione per la temperatura (linea grigia).

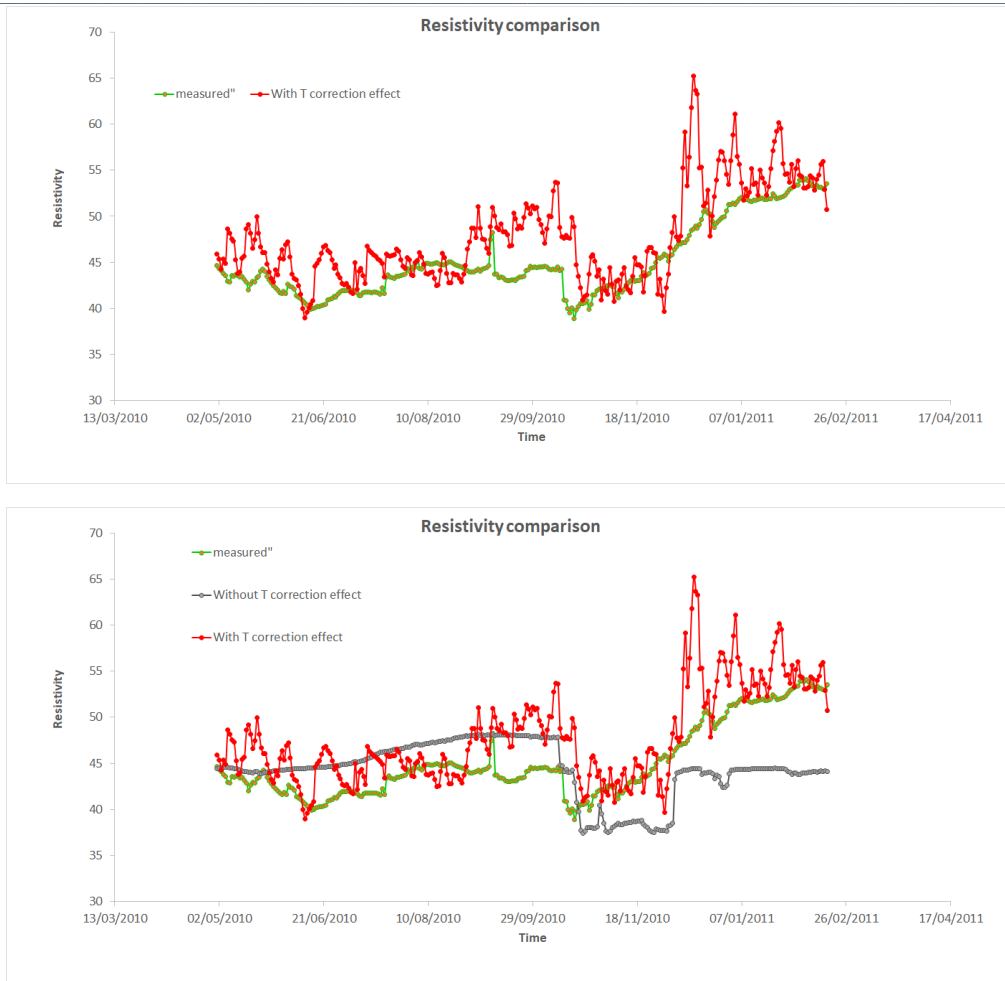


Figura 8 - In alto si riporta il confronto tra i dati di resistività elettrica misurati in campagna (linea verde) in corrispondenza dell'elettrodo n.14 ad una profondità di 1.5m e i dati calcolati (linea rossa) utilizzando la legge di Archie comprensiva del fattore di correzione della temperatura. Il grafico in basso oltre al confronto precedente, mostra anche la resistività calcolata utilizzando la legge di Archie senza fattore di correzione per la temperatura (linea grigia).

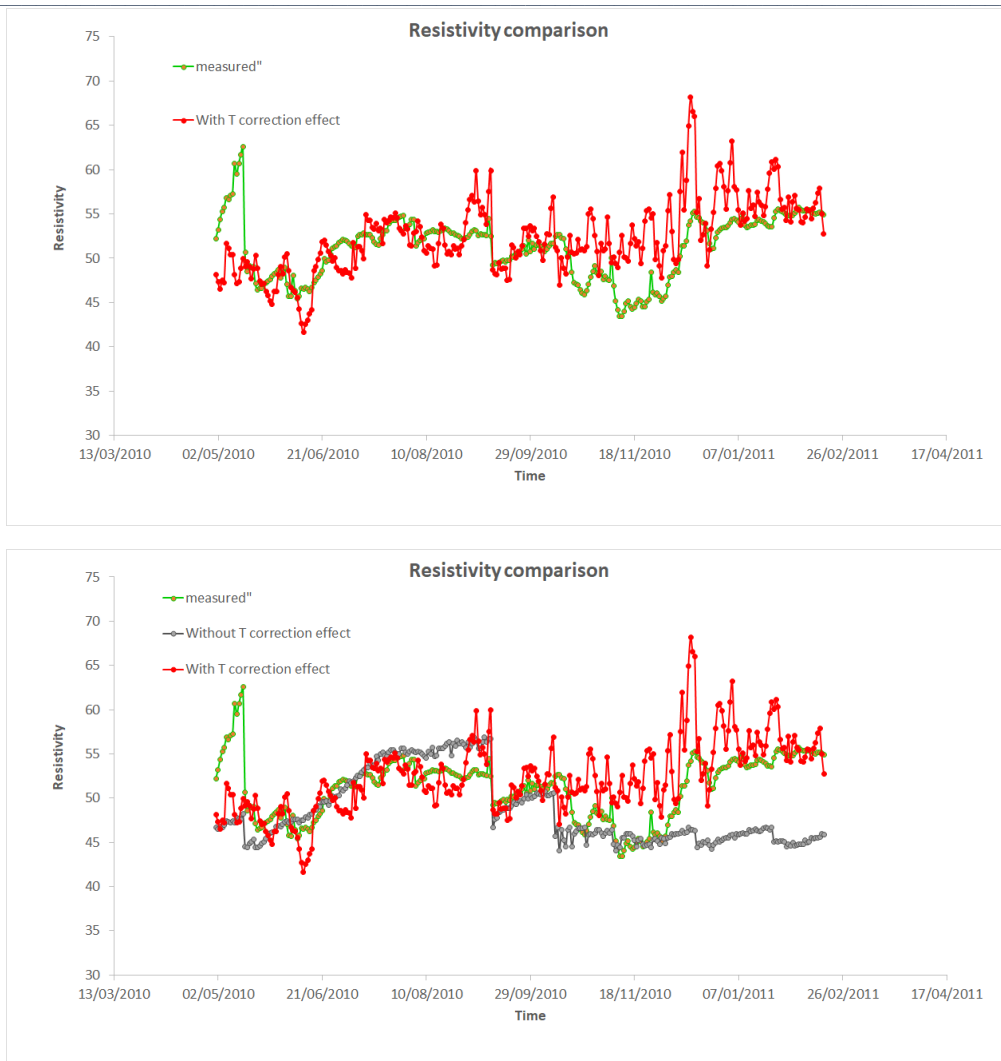


Figura 9 - In alto si riporta il confronto tra i dati di resistività elettrica misurati in campagna (linea verde) in corrispondenza dell'elettrodo n.35 ad una profondità di 1m e i dati calcolati (linea rossa) utilizzando la legge di Archie comprensiva del fattore di correzione della temperatura. Il grafico in basso oltre al confronto precedente, mostra anche la resistività calcolata utilizzando la legge di Archie senza fattore di correzione per la temperatura (linea grigia).

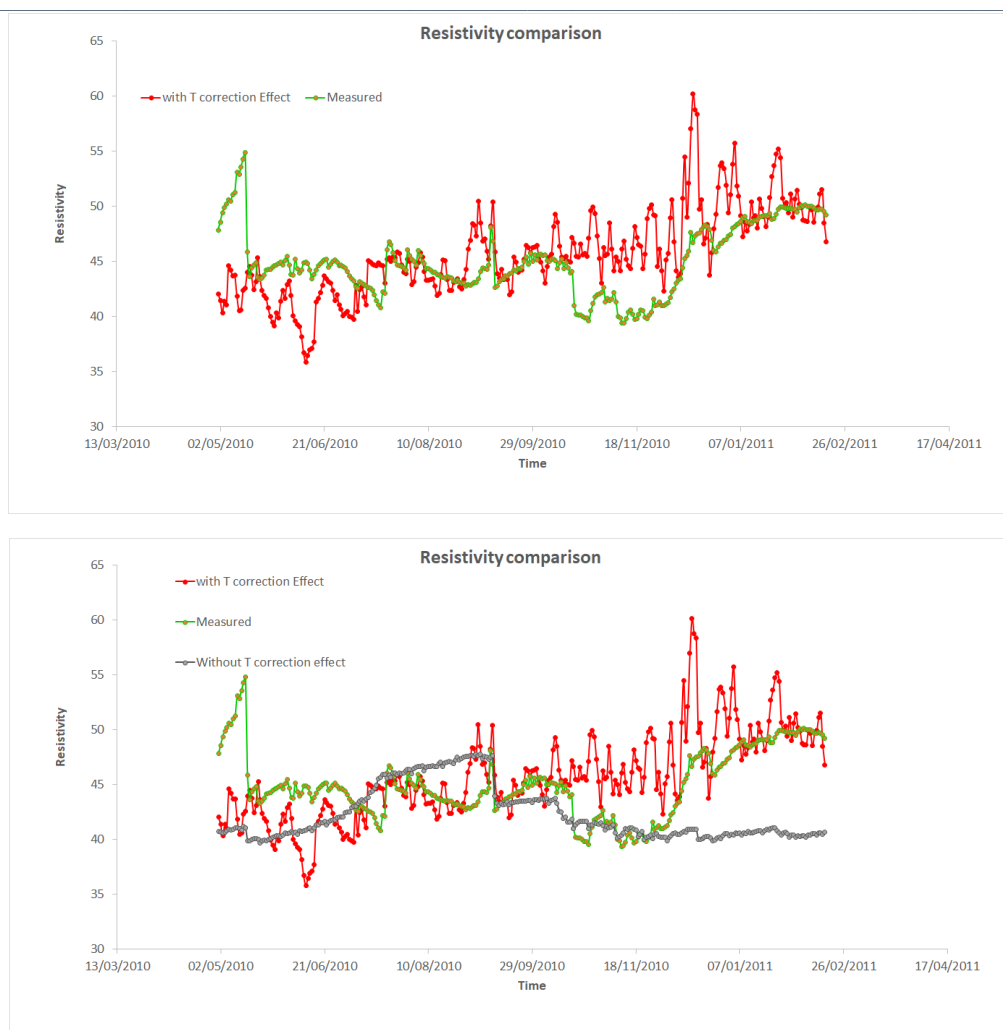


Figura 10 - In alto si riporta il confronto tra i dati di resistività elettrica misurati in campagna (linea verde) in corrispondenza dell'elettrodo n.35 ad una profondità di 1.5m e i dati calcolati (linea rossa) utilizzando la legge di Archie comprensiva del fattore di correzione della temperatura. Il grafico in basso oltre al confronto precedente, mostra anche la resistività calcolata utilizzando la legge di Archie senza fattore di correzione per la temperatura (linea grigia).

Osservando i grafici e i confronti in essi riportati si nota come i valori di resistività calcolati utilizzando la legge di Archie comprensiva del fattore di correzione per la temperatura siano molto più prossimi ai valori di resistività misurati in campagna, rispetto a quelli calcolati utilizzando la legge di Archie priva del fattore di correzione.

Sebbene il fit non sia eccellente si ritiene comunque soddisfacente per gli scopi iniziali dell'attività di ricerca svolta.

Attività future

Considerati i risultati raggiunti e la possibilità di migliorarli ulteriormente, il passo successivo riguarderà un ulteriore affinamento del modello, anche mediante la realizzazione di campionamenti di suolo nell'area di indagine. Questa azione consentirà di verificare con maggior dettaglio le caratteristiche geotecniche ed idrauliche dei terreni che caratterizzano il sottosuolo investigato diminuendo l'incertezza del modello.

Allo stesso tempo i colleghi dell'UPC provvederanno ad implementare il Code Bright con la legge geofisica scelta e verificata.

A seguito di ciò si procederà a valutare come utilizzare i dati di resistività in input al Code Bright per ottenere informazioni di tipo geotecnico (porosità, saturazione, ecc.) sui terreni investigati.