



**GESTIONE TERRITORIO E AMBIENTE**



**sasol**  
*reachina new frontiers*

## **RELAZIONE TECNICA INDAGINI TOMOGRAFICHE 2D-3D**



**Committente: Sasol Italy S.p.A.**

**Località: Stabilimento Sasol Italy**

**C.da Marcellino – Augusta (SR)**

**FEBBRAIO 2021**

**Rev. 00**

**SSL/01/21**

**Getea Italia S.r.l.**



## I N D I C E

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA ESAMINATA .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Polarizzazione Indotta .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2 Elaborazione.....</b>	<b>11</b>
<b>4. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....</b>	<b>12</b>
<b>5. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI IN TOMOGRAFIA 2D .....</b>	<b>13</b>
<b>6. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI IN TOMOGRAFIA 3D .....</b>	<b>58</b>
<b>5.1 Inversione dei dati – algoritmo di Loke and Barker .....</b>	<b>59</b>
<b>7. CONCLUSIONI.....</b>	<b>105</b>

## Indice delle figure

Figura 1: Stralcio carta geologica, foglio 641 Augusta, scala 1: 50.000.....	6
Figura 2: Stralcio Legenda, foglio 641 Augusta, scala 1: 50.000 .....	7
Figura 3: Dispositivo di misura dipolo-dipolo.....	8
Figura 4: Valori indicativi della resistività e conduttività elettrica per vari tipi di terreno.....	9
Figura 5: Schema di misurazione in polarizzazione indotta (caricabilità) .....	10
Figura 6: Valori indicativi delle resistività e polarizzazione indotta (M) in vari tipi di terreno e sostanze.....	11
Figura 7: Planimetria con indicazione delle aree in cui sono stati realizzati gli stendimenti tomografici.....	12
Figura 8: Profili tomografici n.1-2-3 .....	15
Figura 9: Profili tomografici n. 4-5 .....	17
Figura 10: Profili tomografici n. 6-7-8-9 .....	18
Figura 11: Profili tomografici n. 10-11 .....	20
Figura 12: Profili tomografici n. 13 e 12 .....	21
Figura 13: Profili tomografici n. 14-15 .....	22
Figura 14: Profili tomografici n. 16-17-18 .....	23
Figura 15: Profili tomografici n. 20-19 .....	24
Figura 16: Profili tomografici n. 21-22 .....	25
Figura 17: Profili tomografici n. 24-23 .....	26
Figura 18: Profili tomografici n. 25-26 .....	27
Figura 19: Profili tomografici n. 27-28 .....	28
Figura 20: Profili tomografici n. 29-30 .....	29
Figura 21: Profili tomografici n. 31-32-33 .....	31
Figura 22: Profili tomografici n. 34-35-36 .....	34
Figura 23: Profili tomografici n. 37-38-39-40 .....	35
Figura 24: Profili tomografici n. 41-42 .....	37
Figura 25: Profili tomografici n. 43-44 .....	38
Figura 26: Profili tomografici n. 45-46-47-48 .....	41
Figura 27: Profili tomografici n. 49-50-51 .....	43
Figura 28: Ubicazione dei piezometri analizzati.....	43
Figura 29: Profili tomografici n. 52.....	44
Figura 30: Profili tomografici n. 54.....	45
Figura 31: Profili tomografici n. 55.....	46
Figura 32: Profili tomografici n. 56.....	47
Figura 33: Profili tomografici n. 57.....	48
Figura 34: Profili tomografici n. 58.....	49
Figura 35: Profili tomografici n. 59.....	50
Figura 36: Profili tomografici n. 60.....	51
Figura 37: Profili tomografici n. 61.....	52
Figura 38: Visione prospettica profili 54-55-56.....	53
Figura 39: Profili tomografici n. 62, 63, 64, 65.....	57
Figura 40: Schema di acquisizione 3D su griglie regolari .....	58
Figura 41: Schema di acquisizione 3D disponendo gli elettrodi lungo una L. ripetendo l'acquisizione due volte si circoscrive il serbatoio. ....	59
Figura 42: Tre possibili schemi di suddivisione del sottosuolo a) modello primario b) modello in cui i primi strati sono divisi sia lungo il piano orizzontale che verticale c) modello in cui i primi strati sono divisi solo secondo il piano orizzontale.....	60
Figura 43: Particolare della pavimentazione in cemento del bacino di contenimento .....	61
Figura 44: Piani di resistività e caricabilità a varie profondità dei Serbatoi 8035-8036.....	64
Figura 45: Modelli volumetrici di resistività e polarizzazione indotta – Serbatoio 8035-8036.....	66
Figura 46: Piani di resistività e caricabilità a varie profondità Serbatoio 8049.....	68
Figura 47: Modelli volumetrici di resistività e polarizzazione indotta – Serbatoio 8049 .....	70
Figura 48: Visualizzazione tridimensionale dei dati acquisiti a ridosso del serbatoio 8001.....	71
Figura 49: Piani di resistività e caricabilità a varie profondità Serbatoio 8002 .....	73
Figura 50: Modelli volumetrici di resistività e polarizzazione indotta – Serbatoio 8002 .....	75
Figura 51: Piani di resistività e caricabilità a varie profondità Serbatoio 8046.....	78
Figura 52: Modelli volumetrici di resistività e polarizzazione indotta – Serbatoio 8046 .....	80
Figura 53: Piani di resistività e caricabilità a varie profondità Serbatoio 805-806.....	83

Figura 54: Modelli volumetrici di resistività e polarizzazione indotta Serbatoi 805 e 806 .....	85
Figura 55: Modelli volumetrici di resistività e polarizzazione indotta Serbatoi 816, 820 e 830 .....	88
Figura 56: Piani di resistività e caricabilità a varie profondità Serbatoio 816-820-830 .....	90
Figura 57: Modelli volumetrici di resistività e polarizzazione indotta Serbatoi 816, 820 e 830 .....	92
Figura 58: Piani di resistività e caricabilità a varie profondità Serbatoio 821-822-823-824-832-833-834-835 .....	94
Figura 59: Piani di resistività e caricabilità a varie profondità Serbatoio 849 .....	97
Figura 60: Modelli volumetrici di resistività e polarizzazione indotta - Serbatoio 849 .....	99
Figura 61: Ubicazione stendimenti .....	101
Figura 62: Piani di resistività e caricabilità a varie profondità Serbatoi 5001-5002-5003-5005-5005 .....	102
Figura 63: Modelli volumetrici di resistività e polarizzazione indotta .....	104

## 1. PREMESSA

A seguito del formale incarico ricevuto dalla società Sasol Italy S.p.A. la scrivente, nel mese di gennaio 2021, è intervenuta presso lo stabilimento Sasol Italy, sito in C. da Marcellino nel comune di Augusta (SR), al fine di effettuare delle indagini tomografiche nei settori Nord e Sud dello stabilimento.

L'obiettivo delle indagini è stato quello di definire l'assetto litostratigrafico e, soprattutto, quello di indagare su possibili condizioni di inquinamento da idrocarburi e suoi derivati che possano avere interessato il suolo e le falde acquifere in prossimità dei serbatoi di stoccaggio presenti all'interno delle aree investigate. Con tali obiettivi, sono state realizzate **63** prospezioni multi elettrodeiche bidimensionali, ubicate nell'intorno dei serbatoi, potenziali sorgenti di inquinamento, allo scopo di avere indizi, sia pure indiretti, sulla possibile presenza di inquinanti nell'immediato sottosuolo. Ulteriori **n.43** prospezioni 3D sono state ubicate in prossimità dei serbatoi, all'interno dei recinti murari, utilizzando geometrie a cavi incrociati secondo due allineamenti tra loro trasversali (*L-shape*) in numero di due per ogni serbatoio, con la misura dei valori di resistività e polarizzazione indotta sul volume di terreno sottostante i serbatoi stessi.

Tale documento ha lo scopo di relazionare in merito alle attività svolte e, confrontare i risultati ottenuti con quelli elaborati nelle precedenti campagne di indagine.

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA ESAMINATA

L'area di interesse ricade nell'immediato entroterra della costa della Città di Augusta, all'interno dell'Impianto industriale Sasol Italy S.p.A., ubicato nella fascia costiera interessata dal porto di Augusta ed in prossimità di contrada Marcellino confinante a sud con il tratto finale del Fiume Marcellino.

Il settore investigato è impostato su una superficie morfologicamente terrazzata, a quote comprese tra 22 e 23 m.s.l.m., geneticamente appartenente a un terrazzo marino di età medio-pleistocenica. I terreni (*Panchina*) sono costituiti da sabbie e calcareniti grossolane a debole cementazione. La formazione poggia su argille e argille siltose da massive a stratificate nella quale si intercalano lenti e orizzonti più grossolani, sabbiosi e sabbioso-siltosi. Al contatto tra la formazione terrazzata grossolana molto permeabile e il substrato argilloso impermeabile, è diffusa la presenza di una falda freatica.

Le formazioni geologiche che affiorano nell'area vasta, sono caratterizzate da sequenze prevalentemente carbonatiche di età Cretaceo-Miocene, cui si intercalano due orizzonti di vulcaniti basiche. Sopra il substrato miocenico si rilevano vulcaniti plioceniche spesso lacunose formate da lave a pillow e superiormente da colate sub-aeree. Al di sopra si rilevano bio calcareniti tenere, giallastre, discordanti sul substrato miocenico o sulle vulcaniti plioceniche che passano verso l'alto e lateralmente ad argille grigio-azzurre. Le argille pleistoceniche, in corrispondenza delle strutture più depresse

raggiungono spessori considerevoli. La parte sommitale, infine, è rappresentata dalla Panchina crotoniana (di tipo calcarenitico) che ricopre in discordanza termini di varia età con alla base un paleosuolo originatosi nel periodo della Regressione Romana.

L'area si può suddividere in due settori caratterizzanti, nella parte alta della sequenza da un diverso assetto litostratigrafico. Si rileva un settore ubicato a Nord-Ovest ed un settore ubicato a Sud Est dalla scarpata localizzata nella porzione centrale dello Stabilimento:

**Settore Nord-Ovest:** la sequenza stratigrafica è caratterizzata dalla presenza di calcareniti e sabbie calcarenitiche con intercalazioni di lenti di argilla limosa, poggianti sulle argille di colore grigio (Argille grigio-azzurre). In alcuni punti di indagine (S45, S54, S61, S73, S99, S102 e S104), ubicati nella parte centro-meridionale di questo settore sono stati inoltre identificati alcuni orizzonti riferibili ad antichi depositi fluviali, costituiti da una ghiaia in matrice sabbioso-limosa di colore grigio, contenente clasti di natura calcarea e vulcanica. Tali orizzonti risultano spesso ubicati tra le calcareniti e le argille gialle;

**Settore Sud-Est:** al di sotto della coltre di terreno riportato, è presente una sequenza di depositi alluvionali costituiti da limi argillosi, argille limose e limi sabbioso-argillosi di colore marrone-nerastro il cui spessore tende progressivamente ad aumentare in direzione del fiume Marcellino. Tali sedimenti poggiano direttamente sulle Argille grigio-azzurre.

Il diverso assetto litostratigrafico osservato nei due settori dello Stabilimento è legato al fatto che le Calcareniti si sono depositate in corrispondenza di una zona relativamente elevata (settore Nord-Ovest), in ambiente litorale e circa-litorale, mentre le Argille si sono depositate in corrispondenza di una zona più depressa (Graben), in ambiente bacinale (settore Sud-Est). Nella parte alta della sequenza sedimentaria il passaggio fra le Calcareniti e le Argille grigio-azzurre è di natura eteropica. La natura eteropica del contatto fra le due formazioni è sottolineata dalla presenza, all'interno delle Calcareniti, di lenti argilloso-limose con sabbia e clasti calcarenitici. Il Graben, localizzato lungo la depressione morfologica attualmente occupata dal fiume Marcellino, è delimitato da una discontinuità tettonica orientata NW-SE che ha dislocato i depositi calcarei miocenici ribassando il settore di Sud-Est rispetto al settore di Nord-Ovest dell'area. Le Argille grigio-azzurre si sono successivamente deposte sul "gradino morfologico" creato nei calcari dalla discontinuità tettonica con spessori via via decrescenti verso il limite della depressione a favore della formazione delle Calcareniti.

L'evidenza morfologica della presenza di tale discontinuità tettonica sepolta è rappresentata dalla scarpata che raccorda i due settori dello Stabilimento, posti a quote topografiche differenti. Il settore di Nord-Ovest presenta una quota compresa fra 22 e 30 m s.l.m., mentre il settore di Sud-Est si trova mediamente ad una quota compresa fra 3 e 6 m s.l.m.

L'assetto idrogeologico dell'area dello Stabilimento è determinato, naturalmente, dall'assetto geologico del sottosuolo. Sono stati rinvenuti due acquiferi separati ospitanti falde libere, corrispondenti ai due

settori dello Stabilimento: un settore di Nord-Ovest e un settore di Sud-Est tra i quali non vi è continuità laterale. Inoltre, in corrispondenza della scarpata morfologica che delimita i due settori (di Nord-Ovest e di Sud-Est) e i relativi due acquiferi, è presente nella parte Est dello Stabilimento, un muro di sostegno, realizzato per ragioni di stabilità del pendio, che determina il drenaggio della porzione occidentale e meridionale dell'acquifero di Nord-Ovest. Laddove il muro si interrompe (presso il confine Est dello Stabilimento), in corrispondenza della scarpata è stata individuata la presenza di una sorgente naturale di affioramento delle acque sotterranee dell'acquifero di Nord-Ovest. Il passaggio laterale fra la formazione delle Calcareniti, permeabili per porosità primaria e per fratturazione, e la formazione delle Argille grigio-azzurre, a bassissima permeabilità, costituisce il limite idrogeologico dell'acquifero di Nord-Ovest.

Si riporta di seguito lo stralcio della carta geologica, foglio 641 Augusta, scala 1: 50.000.

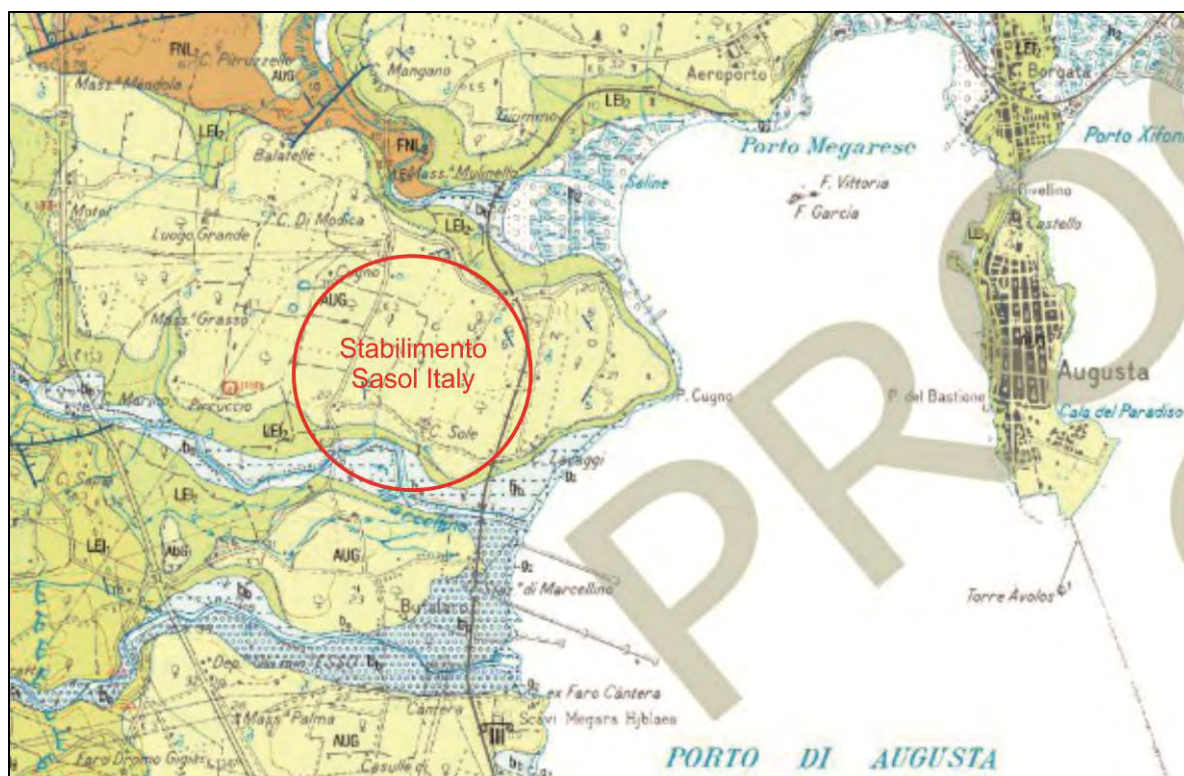


Figura 1: Stralcio carta geologica, foglio 641 Augusta, scala 1: 50.000

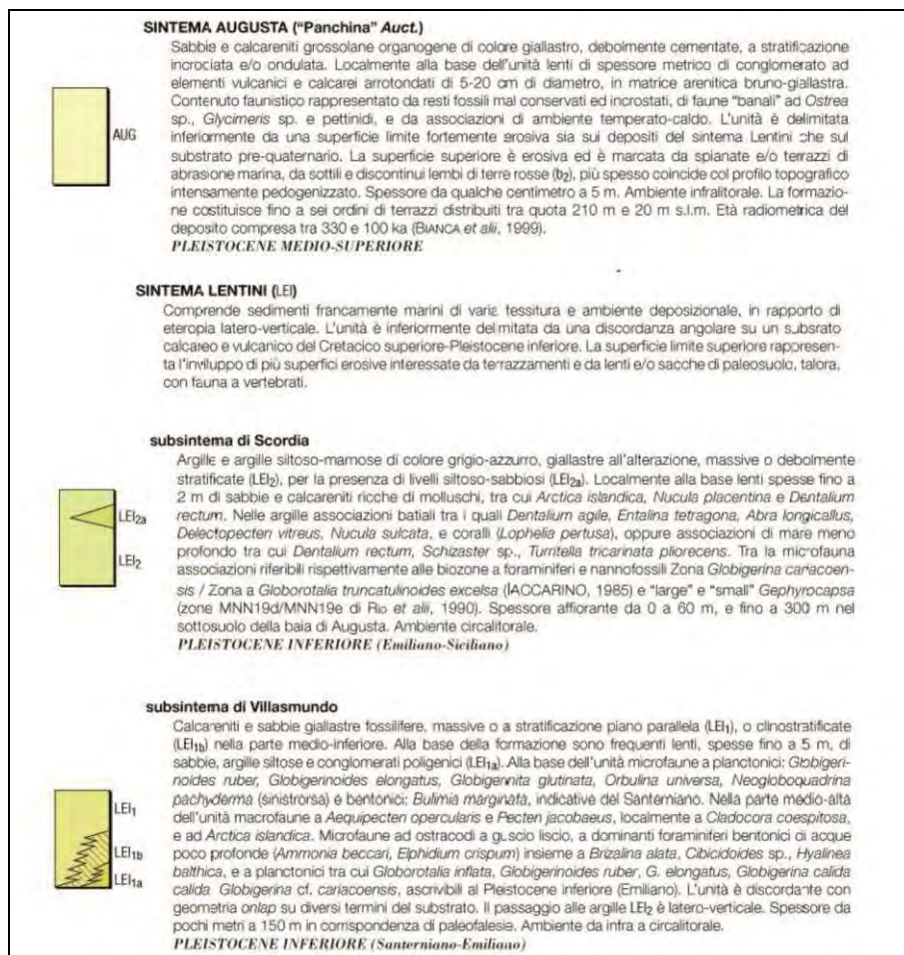


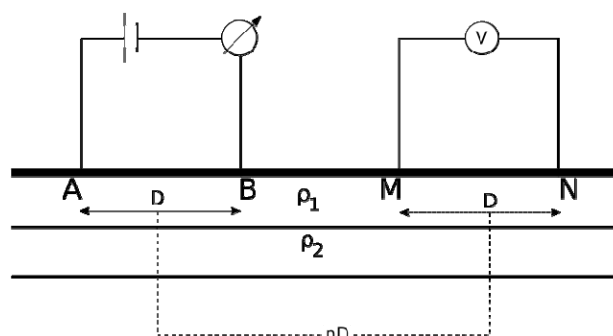
Figura 2: Stralcio Legenda, foglio 641 Augusta, scala 1: 50.000

### 3. TOMOGRAFIE ELETTRICHE

Il metodo geoelettrico con misura di resistività si basa sulla misura della resistenza elettrica opposta dal terreno al passaggio di una corrente elettrica appositamente prodotta mediante l'ausilio di un apparato energizzante che invia corrente con una certa potenza ad appositi elettrodi infissi nel terreno. Il potenziale elettrico generato dal campo così prodotto, viene misurato utilizzando altre coppie di elettrodi mediante l'uso di un potenziometro di alta precisione. Conoscendo la posizione degli elettrodi di corrente rispetto a quelli in cui viene misurata la differenza di potenziale (elettrodi di potenziale) sarà possibile calcolare la resistività apparente del terreno. Nel metodo multielettrodo si dispone di un adeguato numero di elettrodi che vengono alternativamente utilizzati sia come elettrodi di corrente che come elettrodi di potenziale, in maniera da ottenere un elevato numero di misure di resistività disposte lungo un allineamento in varie posizioni e profondità, in maniera da ottenete dei profili di resistività apparenti. Nel nostro caso, sono state realizzate stese elettrodiche costituite da un numero di elettrodi tale da coprire le distanze da indagare, con distanza elettrodica pari a 2.0 m. Per tutte le stese



elettrodiche realizzate sono stati utilizzati quattro canali di acquisizione simultanea dei valori di potenziale, energizzando su due elettrodi di corrente ed effettuando ogni lettura di potenziale generato su quattro coppie di elettrodi con dispositivo *dipolo-dipolo*, dove le coppie di elettrodo (corrente e potenziale) sono tra loro latitanti, con il punto di misura posto sul centro simmetrico tra le coppie di misura. Questo dispositivo è particolarmente sensibile al rilievo delle variazioni laterali di resistività.



**Figura 3: Dispositivo di misura dipolo-dipolo**

Le misure di campagna sono state realizzate in maniera automatica, ma con il costante controllo dei dati che venivano acquisiti. Il valore della corrente immessa è variato tra i 100 e 600 mA, solo localmente, la presenza di terreno di riporto grossolano o di roccia affiorante della corrente immessa raramente ha superato i 200 mA, con un degrado della qualità dei dati, soprattutto delle misure di polarizzazione indotta. Altre condizioni di degrado qualitativo dei dati è stata la presenza di condotte metalliche parallele alle stese elettrodiche e/o strutture presenti ai lati, quali le fondazioni dei muri perimetrali dei serbatoi.

La disposizione multi elettrodica utilizzata ha permesso, in fase di elaborazione, di operare a software al fine del calcolo delle resistività reali di ogni singola stesa elettrodica (inversione 2D), tale da fornire informazioni sulle resistività reali dei terreni per modelli bi-dimensionali (tomografie di resistività) per le misure eseguite in linea agli stendimenti. Nelle misure "a cavi incrociati" eseguite nell'intorno dei serbatoi è stata possibile una inversione volumetrica dei dati di resistività e polarizzazione indotta, tale da avere un modello tridimensionale (inversione 3D).

Nel contesto litologico in esame i valori di resistività saranno fortemente legati alla presenza di sedimenti fini all'interno del terreno. In particolare la presenza dell'argilla determina una rapida diminuzione della resistività, causata dalla conduzione delle cariche elettriche sulle superfici dei fillosilicati. In misura minore si riscontra anche per i limi, mentre in corrispondenza dei sedimenti grossolani (sabbie, ghiaie e calcarenite) c'è da aspettarsi valori di resistenza elettrica specifica nettamente più elevate, in genere superiori ai 200  $\Omega\text{m}$ , quando anidre. In realtà, in quasi tutti i siti investigati, è da prevedere la totale saturazione del terreno a breve profondità; condizione, la presenza di acqua, che comporta la netta riduzione della resistività elettrica a valori in genere inferiori a 100  $\Omega\text{m}$  a

causa della conduzione delle cariche elettriche da parte degli elettroliti disciolti nelle acque di falda. Da tale punto di vista, una contaminazione della falda dovuta a sali o metalli immessi nell'acquifero da eventuali sorgenti inquinanti, determina una rapida diminuzione del valore della resistenza elettrica specifica del sistema. Mentre se la contaminazione ci si aspetta che possa avvenire da parte di idrocarburi (materiali ad alta resistività), come nel nostro caso, l'effetto atteso è un aumento della resistività rispetto ad un acquifero non contaminato e/o a terreni argillo-sabbiosi.

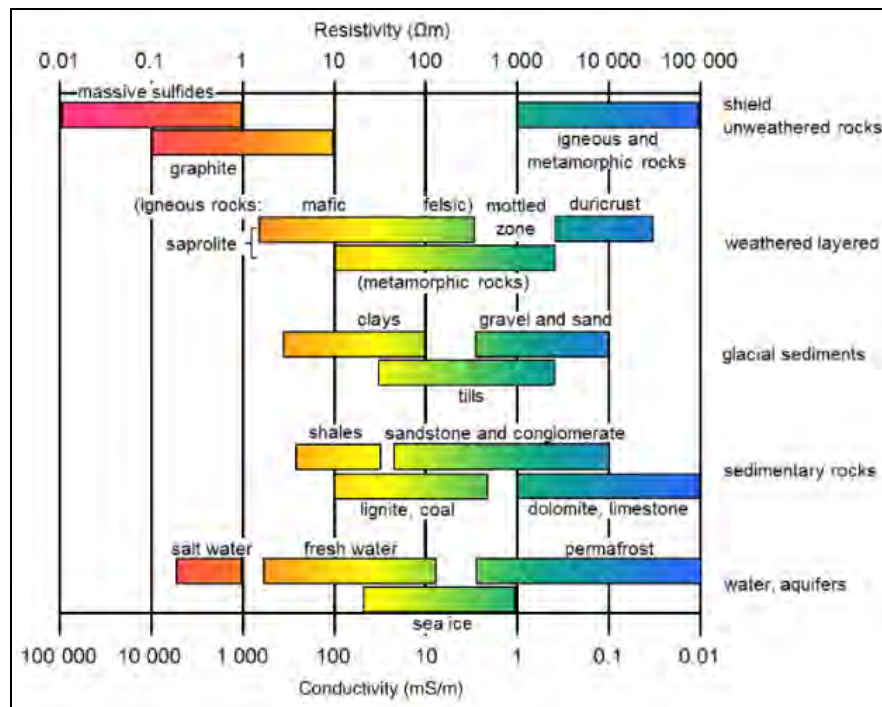


Figura 4: Valori indicativi della resistività e conduttività elettrica per vari tipi di terreno

### 3.1 POLARIZZAZIONE INDOTTA

Negli stessi dispositivi di misura visti per le indagini di resistività elettrica, sono state realizzate misure di polarizzazione indotta. Questa rappresenta l'attitudine di un determinato materiale ad accumulare cariche elettriche di polarità opposta (caricarsi come un condensatore elettrico) lungo la superficie di discontinuità tra mezzi a resistività diversa, durante l'invio di corrente nel sottosuolo, e a permettere la scarica negli istanti immediatamente successivi all'interruzione della corrente stessa. Terreni con maggior effetto capacitivo (cioè con elevata caricabilità) sono quelli in cui si ha la contemporanea presenza di parti molto conduttive, affiancate ad altre molto resistenti, senza che si verifichi una marcata continuità delle prime. La polarizzazione indotta è un fenomeno generato dalla stimolazione di una corrente elettrica che viene osservata dopo l'applicazione di una tensione nel terreno. In linea generale si osserva una curva di decadimento del potenziale, susseguentemente all'interruzione della corrente immessa. Le sorgenti di polarizzazione indotta possono essere:

- processi ossido-riduttivi lungo l'interfaccia tra grani metallici e fluidi interstiziali (polarizzazione di elettrodo)
- accumuli ionici in elettroliti in movimento a seguito di variazioni di mobilità lungo il percorso (polarizzazione elettrocinetica). Per avere polarizzazione elettrocinetica ci devono essere minerali silicatici fibrosi o lamellari carichi negativamente in superficie che attraggono cationi.

Nei terreni naturali è in particolare l'argilla a determinare capacità polarizzanti, valore anormalmente elevati possono essere provocati dalla presenza di inquinanti, quali metalli, percolato e idrocarburi. La misura della polarizzazione indotta viene realizzata energizzando il terreno con lo stesso dispositivo visto per le misure di resistività. In questo caso però l'obiettivo della misura è quello di determinare i caratteri di decadimento del potenziale elettrico dopo che sia stata eseguita una adeguata energizzazione mediante la generazione di un campo elettrico. Più il potenziale permane nel tempo, maggiore sarà la caricabilità del terreno, legata alla presenza quindi di minerali o sostanze elettricamente "polarizzabili". Operativamente le misure vengono eseguite energizzando sugli elettrodi di corrente per un certo tempo, nel nostro caso tra 0.8 e 1.0 sec; quindi si interrompe l'energizzazione e dopo un certo periodo ( $T_0$ ) si eseguono delle misure di potenziale a varie finestre temporali ( $M$  - nel nostro caso 7 finestre a vari passi temporali di campionamento).

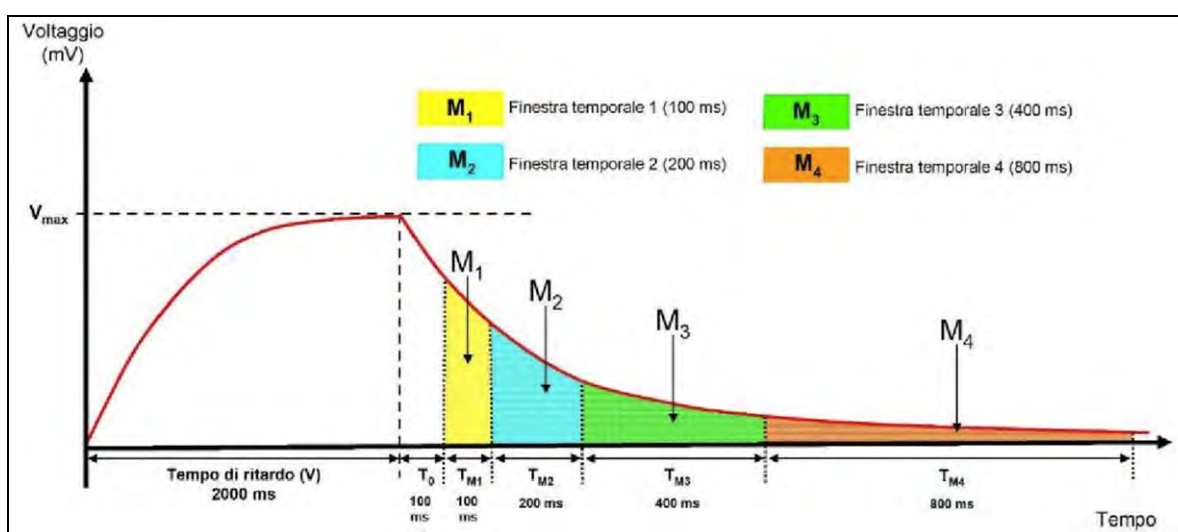


Figura 5: Schema di misurazione in polarizzazione indotta (caricabilità)

Il valore della caricabilità è espresso in msec (o mV/V) ed è calcolato come rapporto tra il potenziale iniziale ( $V_0$ ) e l'integrale del potenziale misurato nel tempo, nelle varie finestre temporali ( $M_n$ ).

Mezzo	Resistività $\Omega m$
Sabbie e terreni alluvionali	100 – 1000
Argille	1 – 100
Acqua dolce	10 – 100
Rifiuti domestici	12 -30
Fanghi domestici	40 – 200
Olio esausto	150 – 700
Acqua salmastra	Circa 1

Materiale	M (ms)
Argille degradate*	1 – 10
Marne**	100 – 500
Arenarie**	500 – 1000 ms
Acque sotterranee**	0

Figura 6: Valori indicativi delle resistività e polarizzazione indotta (M) in vari tipi di terreno e sostanze

### 3.2 ELABORAZIONE

Il passaggio dai valori di resistività apparente, misurati in campagna, a modelli bi-dimensionali di resistività e caricabilità reale del terreno, è stato eseguito tramite l'inversione dei dati utilizzando un apposito software (*RES2DINV* e *RES3DINV*). L'inversione consiste nel produrre dei modelli di resistività e caricabilità reale ipotetici su cui vengono calcolati dei valori sintetici di resistività apparenti in relazione al tipo di array utilizzato. I valori calcolati sono confrontati, in cicli iterativi, con quelli misurati, fino a che l'errore può essere considerato minimo. Quindi, i modelli finali di resistività e caricabilità reale, saranno quelle che producono valori apparenti calcolati che più si avvicinano a quelli misurati. Più le sezioni apparenti calcolate si avvicinano a quelle misurate, migliore sarà l'attendibilità dei modelli di resistività e caricabilità reali finali. Il processo di inversione non ha comunque soluzioni univoche. Al fine di migliorarne il risultato è opportuno tenere conto del contesto di indagine, adottando dei vincoli che l'algoritmo può supportare al fine di ridurre l'incertezza del processo di elaborazione.

Nel nostro caso si è scelto di adottare processi di inversione che prevedano variazioni graduali di resistività, in maniera da tenere conto e rilevare le variazioni litologiche nei terreni che, come visto, sono caratterizzati da una notevole variazione sia laterale che verticale, soprattutto nella presenza della componente pelitica, che influisce molto sui caratteri di conducibilità e caricabilità elettrica. Tale soluzione è scaturita da alcuni tentativi di elaborazione, che in prima analisi sono stati effettuati con un metodo di inversione "*robust*" (passaggi di resistività netti), ma i modelli risultanti erano caratterizzati da una eccessiva omogeneità. Per cui si è preferito elaborare i modelli 2D, attraverso l'ausilio di algoritmi che prevedano passaggi graduali di resistività (I2 norm).

L'ubicazione degli stendimenti, nonché la lunghezza degli stessi è stata essenzialmente scelta in funzione delle difficoltà logistiche presenti nella zona di indagine.

Si riporta di seguito, lo stralcio dell'area investigata con il posizionamento degli stendimenti 2D e 3D realizzati, mentre in allegato n.1 si riporta l'intera planimetria.



Figura 7: Planimetria con indicazione delle aree in cui sono stati realizzati gli stendimenti tomografici

#### 4. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le misure di resistività apparenti in campagna sono state realizzate mediante un georesistivimetro, a quattro canali con isolamento galvanico, di costruzione ABEM modello *Terrameter LS*, avente numero di serie 218090483, per misure di resistività, polarizzazione indotta e potenziale spontaneo, con le seguenti caratteristiche:

- *Selezione automatica o manuale della corrente immessa: da 0.20 fino a 2500 mA;*
- *Energizzazione con tensione max: 600 V (1200 V peak-peak);*
- *Potenza max: 250 W;*
- *Accuratezza della trasmissione di corrente: 0.4 %;*
- *Lunghezza dell'impulso di corrente: 0.1 %;*
- *Impedenza: 30 MΩ, min;*
- *Risoluzione: 3 nV;*
- *Accuratezza dV/I: 0.2 %;*
- *Precisione dV/I: 0.1 %.*

Si riporta in allegato n.2 il certificato di calibrazione della strumentazione utilizzata.

Per eseguire le misure in configurazione multielettrodica il sistema è fornito di un selettore automatico, capace della gestione contemporanea di 81 elettrodi. Gli elettrodi infissi nel terreno, in acciaio inox, sono stati connessi al selettore tramite cavi multicore.

## 5. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI IN TOMOGRAFIA 2D

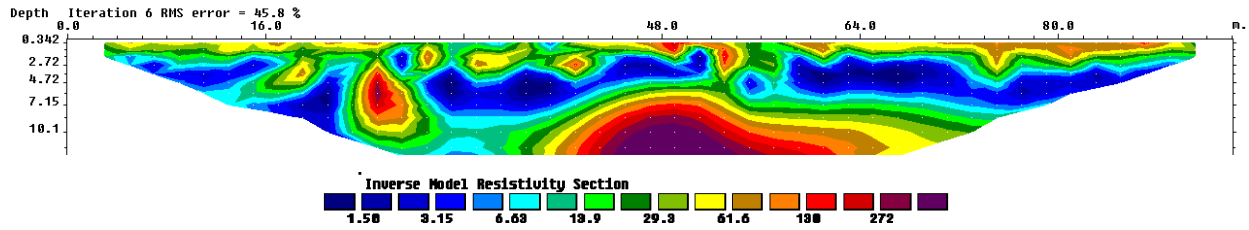
### SERBATOI 8043-8044 (Tomo 1 - Tomo 2 - Tomo 3)

Le stese elettrodiche si sviluppano a Est (T1 e T2) e appena a Ovest (T3) dell'allineamento dei due serbatoi. Come già riscontrato nelle precedenti campagne di monitoraggio, sul modello di resistività elettrica T2 è ben riconoscibile un primo orizzonte più resistivo (valori compresi tra 10 e oltre 100  $\Omega\text{m}$ ) con spessore di circa 7-8 m, litologicamente attribuibile alle calcareniti affioranti sulla sommità del terrazzo pleistocenico. La variabilità laterale dei valori di resistività è dovuta al variare della componente di matrice fine. L'elettro strato sottostante, che si segue fino alla base del modello (17 m circa), è caratterizzato da valori della resistenza elettrica specifica molto bassi, inferiori a 10  $\Omega\text{m}$ , associabili ad argille leggermente limose. Il nucleo basso resistivo presente, sempre al di sotto dell'orizzonte calcarenitico, tra 55 e 70 m di progressiva, con valori di  $\rho$  inferiori a 5  $\Omega\text{m}$  è attribuibile ad un ulteriore aumento della componente argillosa, a scapito di quella limosa. Nel modello di polarizzazione indotta si osservano valori di caricabilità generalmente compresi tra 5 e 200 msec, che sembrano essere nella norma in considerazione delle litologie presenti. Alcuni valori leggermente più elevati, non si associano a variazioni sostanziali di resistività attribuibili a fenomeni di contaminazione. Un nucleo superficiale a bassa resistività e alta caricabilità alla progressiva 60 m è dovuto ad una tubazione metallica. Nel modello della prospezione T3, si osservano spessori del primo orizzonte basso-resistivo minori, da 2 a 3 m circa, poggiante sull'orizzonte basso-resistivo (valori inferiori a 10  $\Omega\text{m}$ ), da prevedere a prevalente componente limo-argillosa. Tra le profondità di 6 e 15 m circa, nei tratti iniziali e terminali del modello si osservano i valori di resistività elettrica tendono leggermente ad aumentare, fino 25  $\Omega\text{m}$ , da associare ad un aumento della componente sabbiosa nel terreno (limi sabbiosi).

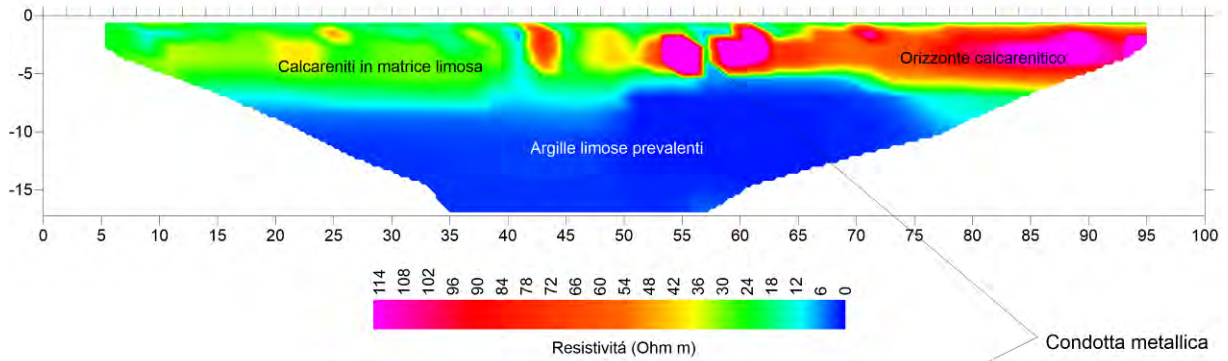
I modelli risultanti dall'elaborazione sono del tutto simili a quelli acquisiti nelle precedenti campagne di indagini (Febbraio e Dicembre 2019), non riscontrando anomalie associabili a possibili fenomeni di contaminazioni da idrocarburi.

Inoltre rispetto alle indagini precedentemente eseguite, è stato rilevato che il fondo dei bacini dei serbatoi 8043 e 8044, sono stati ricoperti, al fine di non contaminare il sottosuolo da un eventuale fuoriuscita accidentale di prodotto stoccato nei serbatoi sopra indicati, da un potente strato di cemento.

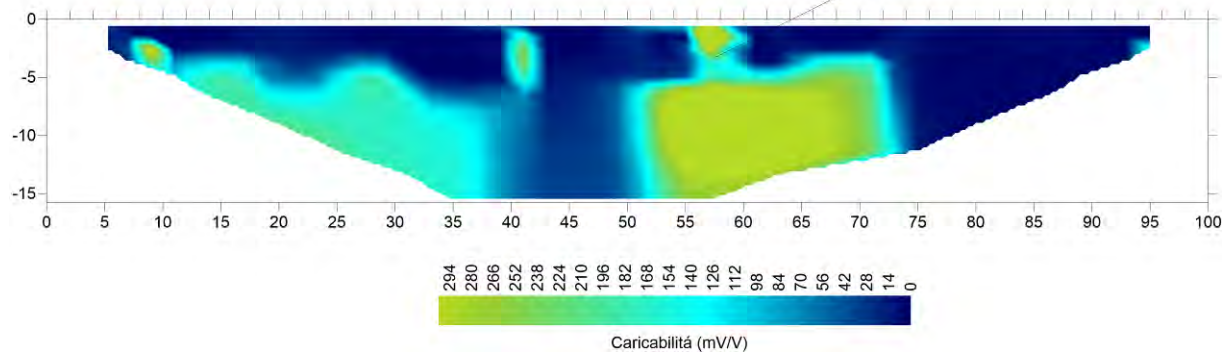
TOMOGRAFIA DI RESISTIVITA' -T1

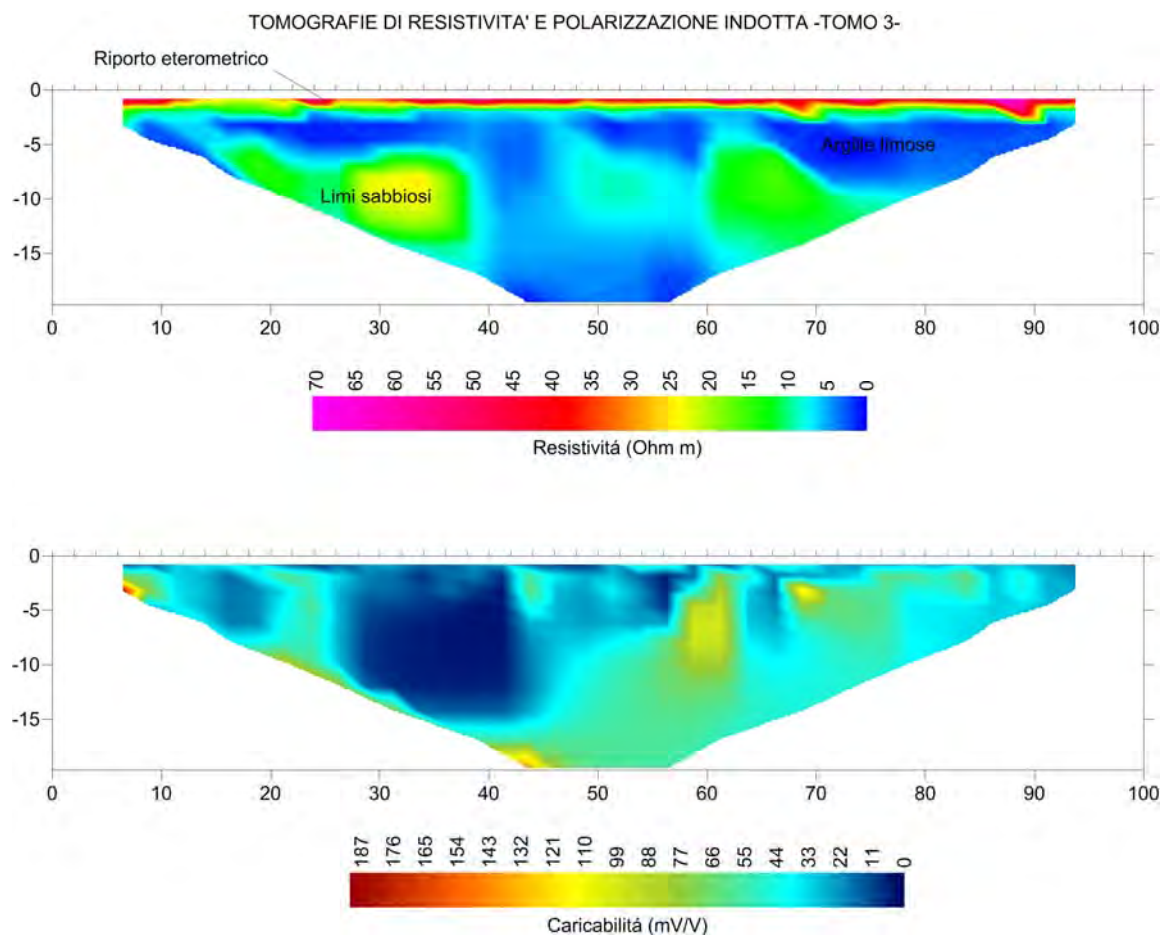


TOMOGRAFIE DI RESISTIVITA' E POLARIZZAZIONE INDOTTA -T2-



Condotta metallica





**Figura 8: Profili tomografici n.1-2-3**

### SERBATOI 8035-8036 (Tomo 4-Tomo 5)

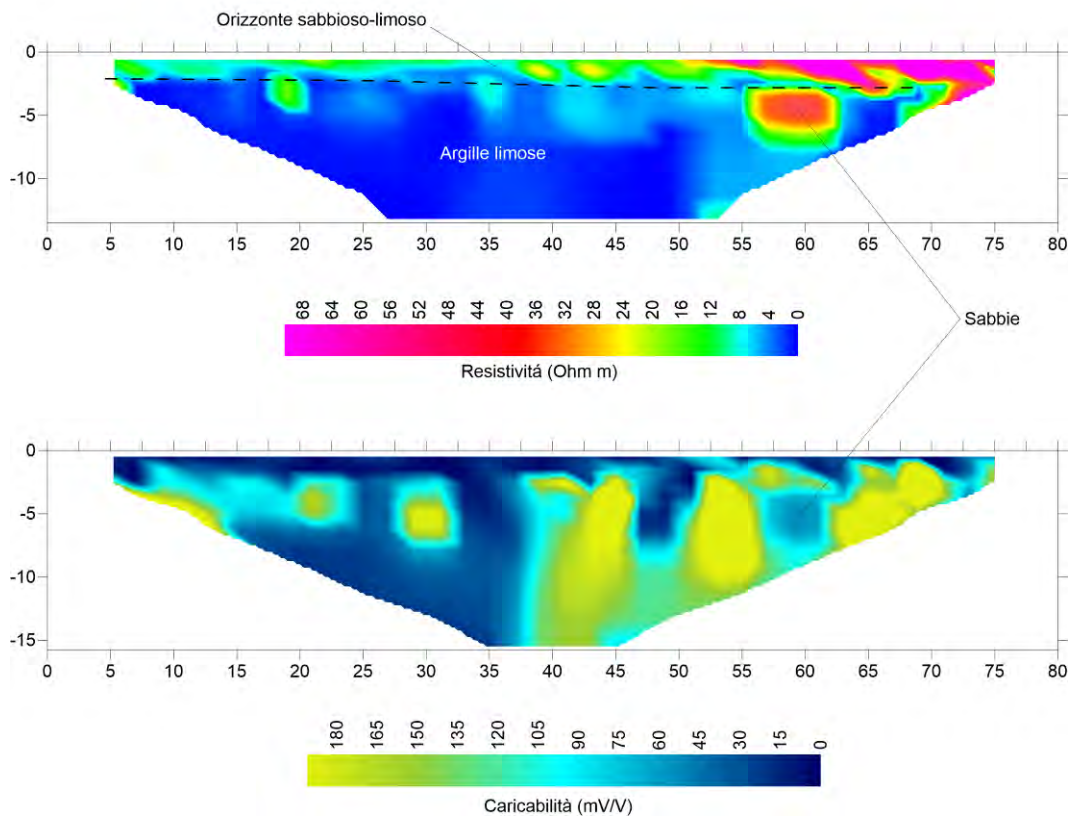
La prospezione T4 è stata inficiata in qualità, soprattutto nei valori di polarizzazione indotta, a causa dalla presenza di alcuni pozzetti e tubazioni metalliche lungo la stesa elettrodica. I modelli risultanti dall'elaborazione, comunque, mostrano una buona continuità laterale, soprattutto nei modelli di resistività; si riconosce un primo orizzonte superficiale, con spessore compreso tra 2 e 4 m, con caratteri di resistività relativamente alta e bassa caricabilità elettrica, associabile litologicamente alle calcareniti sommitali o una coltre a litologia sabbiosa. Il substrato elettrico è caratterizzato da valori di resistività bassi, inferiori a 10  $\Omega$ m, attribuibili alle argille leggermente limose del Pleistocene Sup.

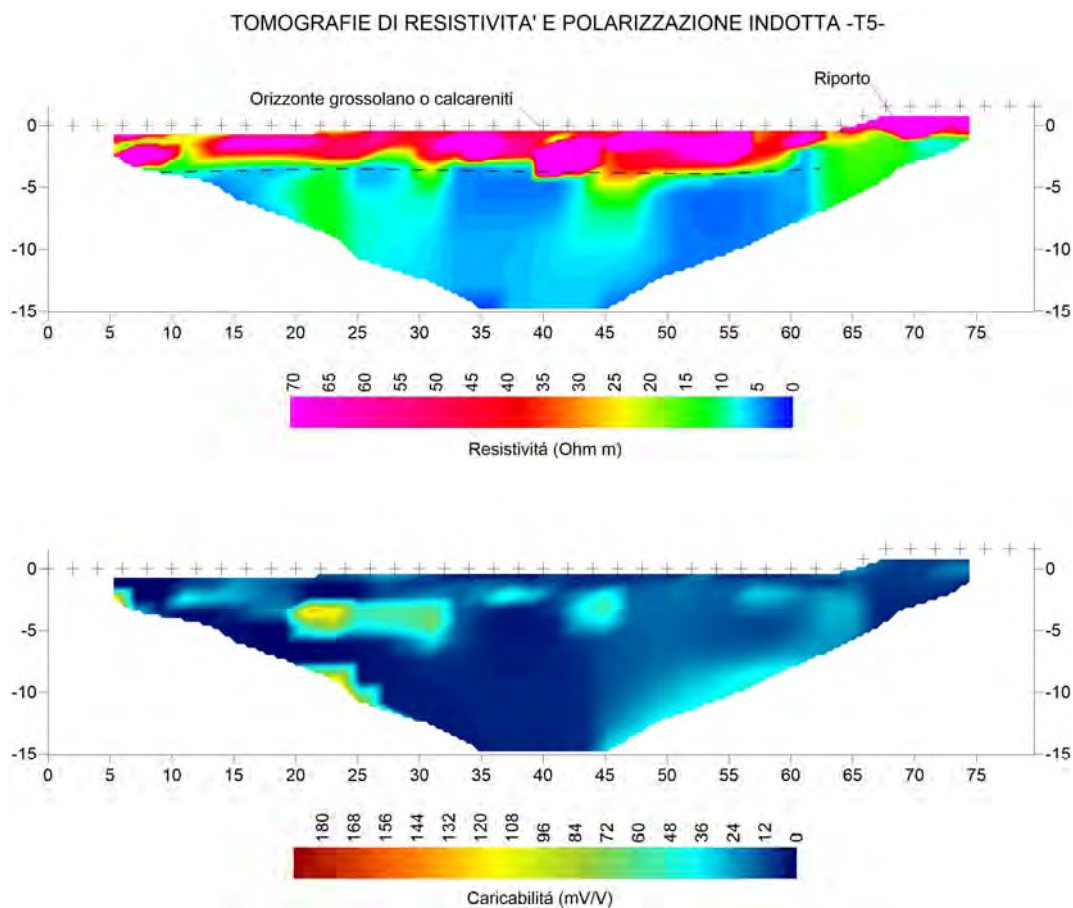
La stesa elettrodica T05, ricade sul lato opposto dell'allineamento dei serbatoi 8035-8036, verso Est. Il modello ha uno sviluppo elettro stratigrafico ben correlabile con il precedente, con un primo orizzonte alto-resistivo (30-100  $\Omega$ m) spesso dai 4 a 5 m, attribuibile in parte a terreno di riporto grossolano, in parte alle calcareniti affioranti. Il substrato mostra, come nel precedente modello, una certa variabilità laterale dei valori della resistenza elettrica specifica, tra 0.5 e 20  $\Omega$ m, correlabili a litologie comunque pelitiche, dalle argille ai limi argillosi.



In entrambe le prospezioni l'aumento dei valori di caricabilità tende a correlarsi con la diminuzione dei valori di resistività elettrica (aumento della componente argillosa), per cui si possono escludere fenomeni di contaminazione. I modelli risultano correlabili a quelli elaborati nelle precedenti campagne di monitoraggio.

TOMOGRAFIE DI RESISTIVITA' E POLARIZZAZIONE INDOTTA -T4-





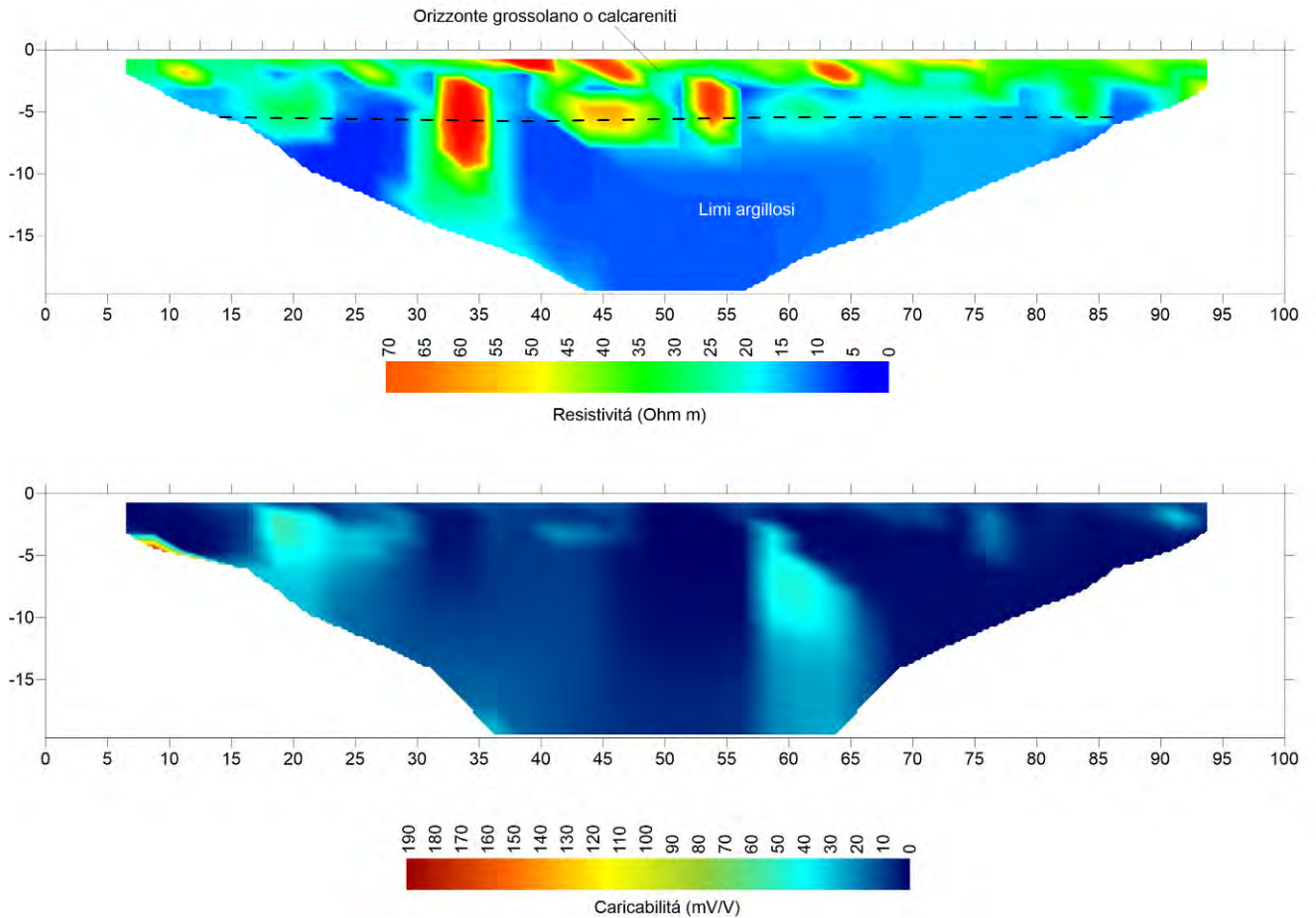
**Figura 9: Profili tomografici n. 4-5**

### SERBATOI 8041-8042-8052 (Tomo 6- Tomo 7- Tomo 8 - Tomo 9)

La tomo 9 e la tomo 8 sono state eseguiti a monte dei serbatoi 8041-8042-8052 mentre le tomo 7 e 6 a valle degli stessi. Il pattern generale della distribuzione dei valori di resistività, è sempre caratterizzato dalla presenza di valori di medio-elevati (30-200  $\Omega$ m) in superficie, in un elettro strato che ha spessori compresi tra 4 e 5 m e riferibili a terreno di riporto a granulometria medio-grossolana e/o a litotipi calcarenitici a vario contenuto in matrice fine. Al di sotto, il substrato pelitico assume caratteri elettrici generalmente a bassa resistività (argille più o meno limose), con nuclei leggermente più resistivi (limi argillosi/sabbiosi). I dati stratigrafici dei sondaggi S12, S13, S21-e 25 effettuati nel passato, hanno permesso di tarare le tomografie discusse e correlare l'elettro strato identificato dalla iso-resistiva verde alla profondità di 3.50 m dal piano compagna con la falda, mentre a profondità maggiori, come si osserva con lo stendimento n°9 l'andamento delle iso-resistive di colore blu è da correlarsi con le argille grigio azzurre. Le anomalie evidenziate nelle Tomo 8 e 9 sia nelle precedenti indagini e riconfermate in questa, e delimitate dall'ellisse, circoscrivono delle forme molto regolari presenti solo a monte per cui sono da correlarsi a strutture di tipo antropico.

I modelli ottenuti ben si correlano con i modelli ottenuti nelle campagne di monitoraggio del febbraio e dicembre 2019, non contenendo variazioni elettriche significative.

TOMOGRAFIA DI RESISITIVITA' E POLARIZZAZIONE INDOTTA-T6-T7



TOMOGRAFIA DI RESISITIVITA'-T9-T8

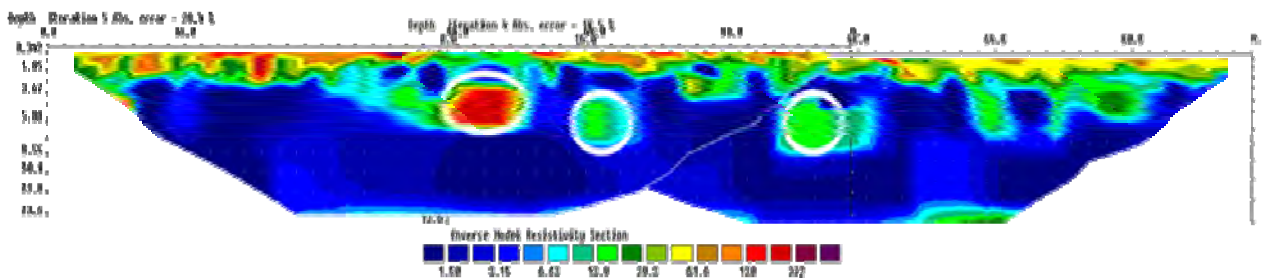


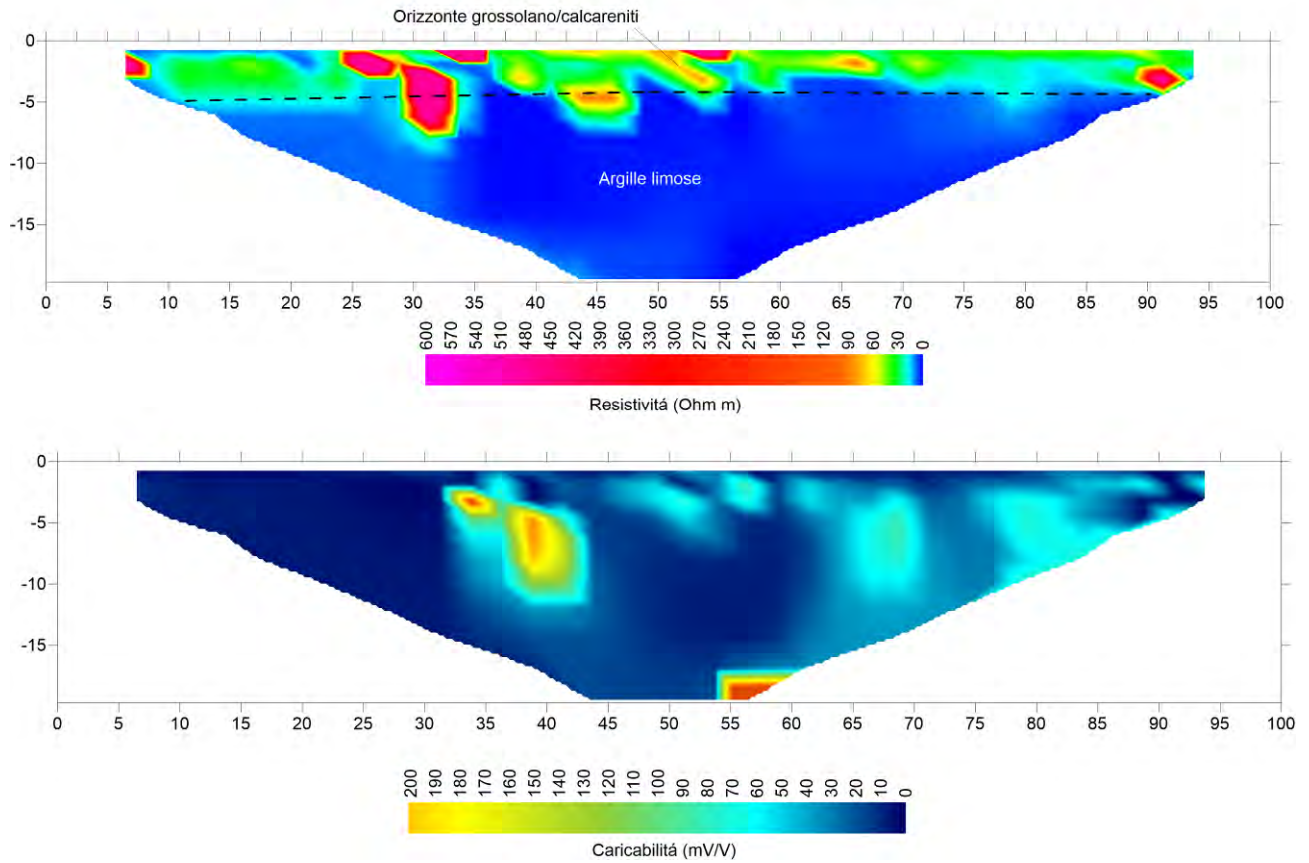
Figura 10: Profili tomografici n. 6-7-8-9

**SERBATOI 8010-8011-8016-8017-8051 (Tomo 10 - Tomo 11)**

La tomo 11 è stato eseguito a monte dei serbatoi 8010-8011-8016-8017-8051 mentre la tomo 10 a valle. La distribuzione dei parametri elettrici non si discosta in maniera significativa da quella acquisita sulla stessa linea nel dicembre 2017 e del dicembre 2019. I valori di resistività sono sempre caratterizzati da un orizzonte superficiale a resistività molto variabile lateralmente, ma sempre al di sopra dei 60  $\Omega\text{m}$ , quindi da attribuire a terreni medio-grossolani e/o calcareniti a matrice limosa più o meno abbondante. Il substrato elettrico è caratterizzato da valori di resistività molto bassi, inferiori a 5  $\Omega\text{m}$ , attribuibili alle argille leggermente limose del Pleistocene Sup. L'aumento dei valori della resistenza elettrica specifica nella parte iniziale e profonda del modello, è da attribuire ad un leggero aumento della componente limosa. Nei S26 e S28 sondaggi realizzati in passato, si rinvengono limi sabbiosi e sabbie limose: il maggior contenuto in sabbie piuttosto che della componente limosa rende le litologie relativamente più resistive. Anche i valori di caricabilità per polarizzazione indotta sono compatibili con le litologie descritte. Sia i nuclei leggermente alto-resistivi presenti nei depositi calcarenitici, che l'aumento citato della resistività al substrato, non si correlano con l'aumento della caricabilità, per cui si possono escludere fenomeni di contaminazione.

La distribuzione dei parametri elettrici non si discosta in maniera significativa da quella acquisita sulla stessa linea nel dicembre 2017 e del dicembre 2019.

TOMOGRAFIE DI RESISTIVITA' E POLARIZZAZIONE INDOTTA -T10-



TOMOGRAFIA DI RESISTIVITA' - T11

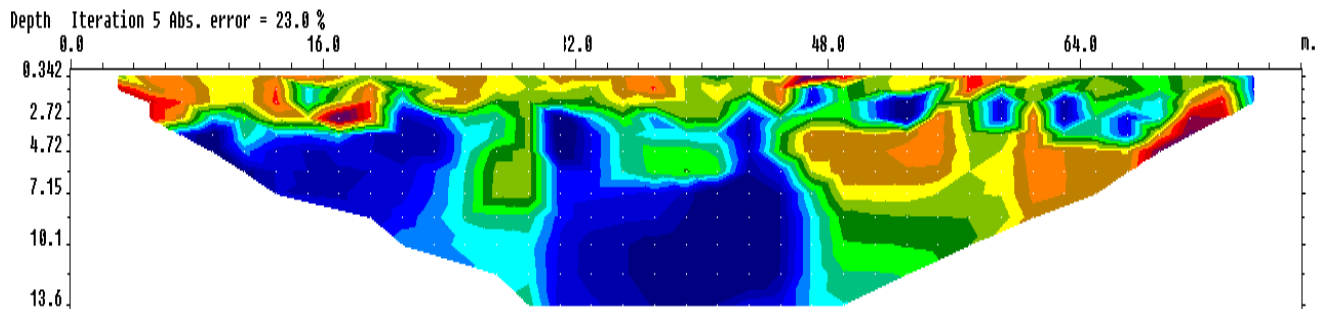


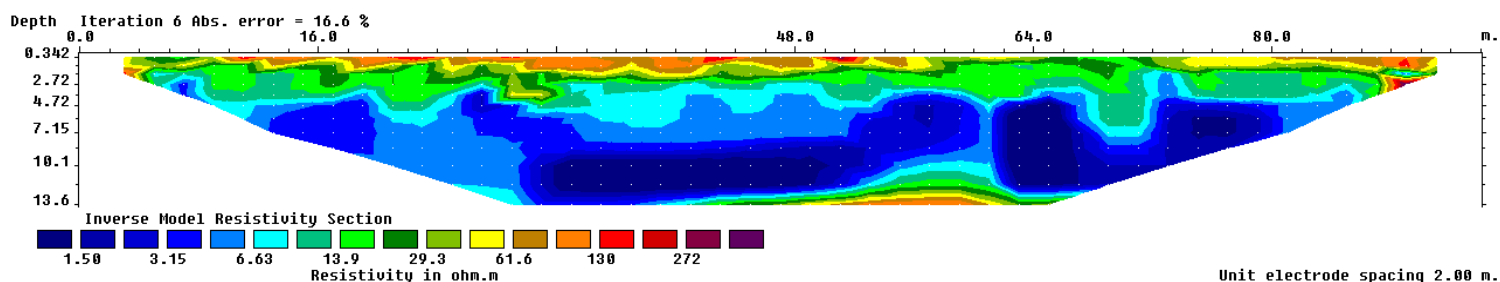
Figura 11: Profili tomografici n. 10-11

**SERBATOI 8028-8029-8030-8031-8032 (Tomo 12 - Tomo 13)**

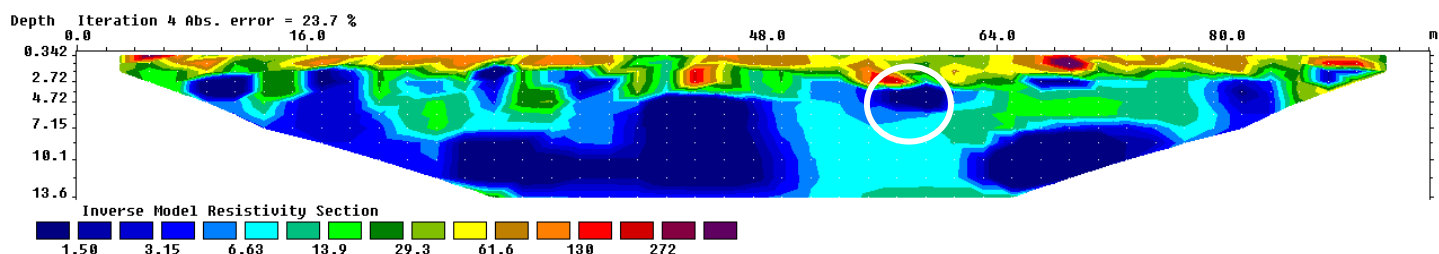
La Tomo 13 è stata eseguita a monte dei serbatoi 8028-8029-8030-8031-8032 mentre la Tomo 12 a valle. Considerando i sondaggi S29 e S30 e la morfologia piuttosto regolare degli elettro strati sia a monte che a valle, è possibile correlare gli elettro strati più conduttivi evidenziati già a partire da 2.0 m dal piano campagna con le variazioni litologiche in quanto a questa profondità è identificata la falda e le argille grigio azzurre. Si osserva nella zona a valle, un'anomalia resistiva circoscritta da un'ellissi bianca, che è associabile alla presenza delle calcareniti in situ che modificano localmente il livello di falda e l'andamento degli elettro strati rispetto a quanto evidenziato a monte. Le variazioni degli andamenti di resistività monte valle sono correlabili a variazioni litologiche.

La distribuzione degli isostrati non si discosta in maniera significativa da quella acquisita sulla stessa linea nel dicembre 2017 e del dicembre 2019.

TOMOGRAFIA DI RESISITIVITA' T13



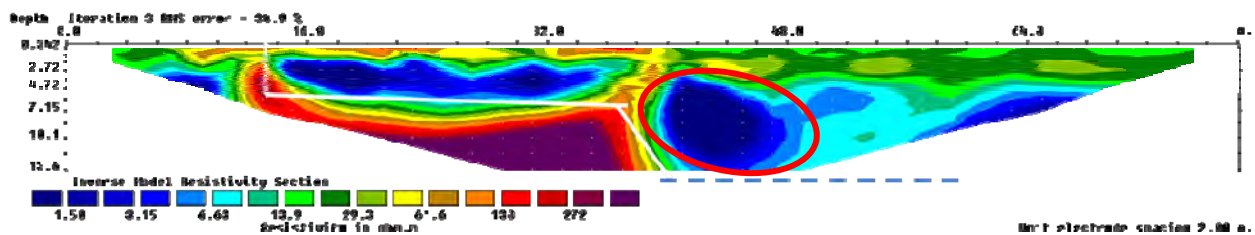
TOMOGRAFIA DI RESISITIVITA'-T12

**Figura 12: Profili tomografici n. 13 e 12**

**SERBATOI 8045-8047-8049 (Tomo 14 - Tomo 15)**

La tomo 14 è stata eseguita a monte dei serbatoi 8045-8047-8049 mentre la tomo 15 a valle. La struttura a gradoni evidenziata sul modello elettro stratigrafico tomo 14, dalle linee bianche e che potrebbe continuare anche lateralmente lungo la linea tratteggiata in blu, è da correlarsi o ad uno scavo eseguito in tempi passati oppure al “gradino morfologico” creato nei calcari dalla discontinuità tettonica come descritto nell’inquadramento geologico. Infatti, i valori di resistività più conduttivi (secondo quando riportato nei sondaggi S29 e S30), sono da correlarsi alle Argille grigio-azzurre che si sono successivamente deposte con spessori via via decrescenti verso il limite della depressione a favore della formazione delle Calcareni che sono da correlare alle litologie più resistenti presenti a monte. L’anomalia evidenziata anche quest’anno dall’ellissi di color rosso, è presente solo a monte e potrebbe essere correlata ad un maggior contenuto di acqua. La stratificazione piano parallela di valle consente di asserire che in questa specifica area non vi sono problemi di inquinanti. Non si osservavano variazioni sostanziali nelle tomografie realizzate nel 2021 con quelle del 2019.

TOMOGRAFIA DI RESISITIVITA'- T14



TOMOGRAFIA DI RESISITIVITA'- T15

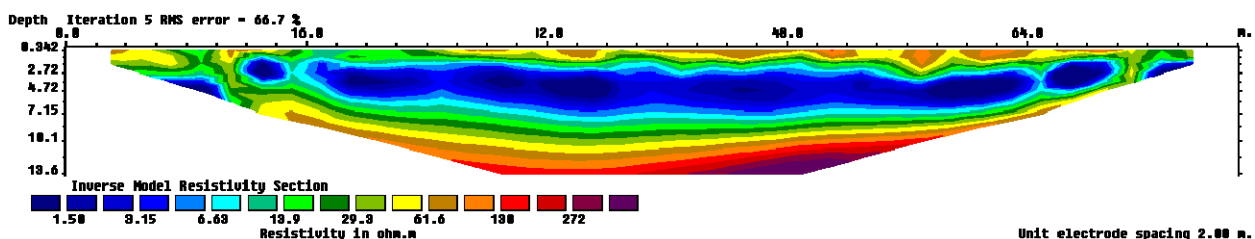


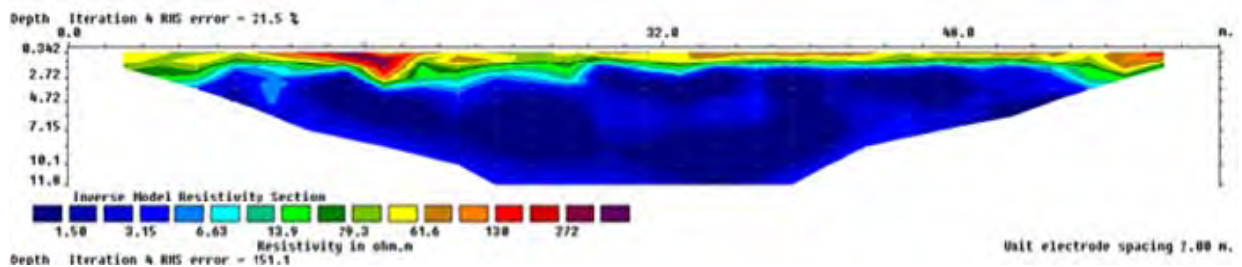
Figura 13: Profili tomografici n. 14-15

**SERBATOI 8006-8007-TX8071/A TX8071/B (Tomo 16-17-18)**

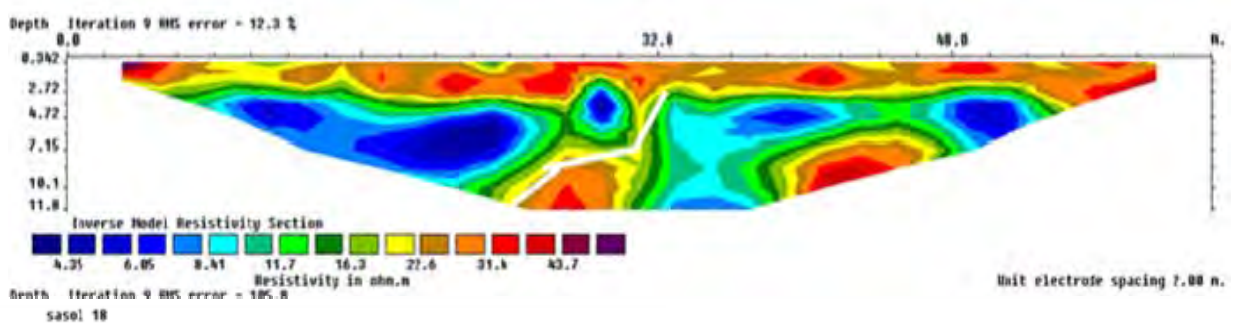
La tomo 16 è stato eseguito a monte dei serbatoi 8006-8007, la tomo 17 a valle dei serbatoi 8006 e 8007 mentre la tomo 18 è a valle dei serbatoi di cui sopra e di quelli siglati come TX8071/A TX8071/B. La struttura a gradoni evidenziata sul modello elettro stratigrafico della tomo 17 e tomo 18, dalle linee bianche, è da correlarsi, come detto in precedenza, ad uno scavo eseguito in tempi passati oppure al “gradino morfologico” creato nei calcari dalla discontinuità tettonica meglio descritta precedentemente. Si evidenzia una sacca a valle, delimitata da un’ellissi rossa la quale è da correlarsi a materiale di riporto ubicato all’interno dello scavo e/o ad un’area in cui il ristagno maggiore di acqua determina più conduttive.

Sostanzialmente i modelli elettrodi elaborati non risultano modificati rispetto agli anni precedenti.

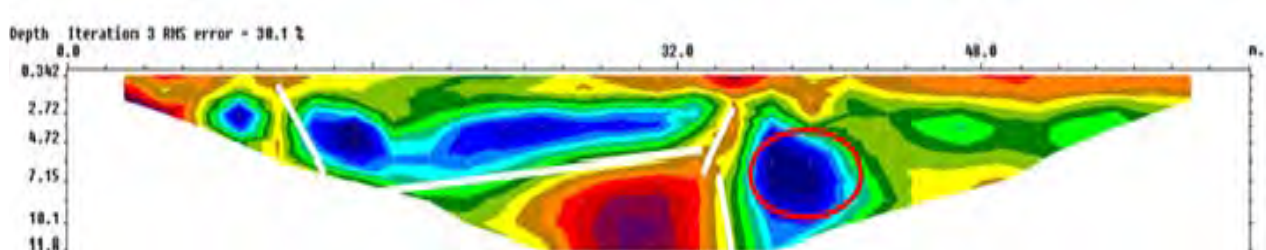
TOMOGRAFIA DI RESISITIVITA'- T16



TOMOGRAFIA DI RESISITIVITA'- T17



TOMOGRAFIA DI RESISITIVITA'- T18



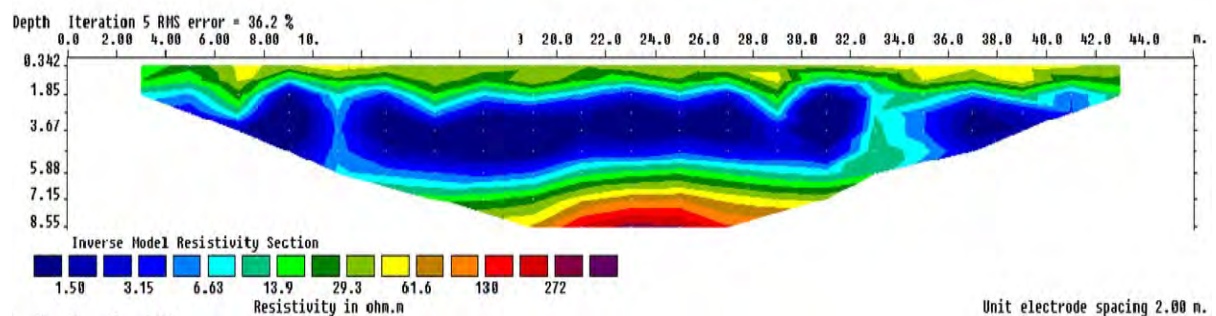
**Figura 14: Profili tomografici n. 16-17-18**



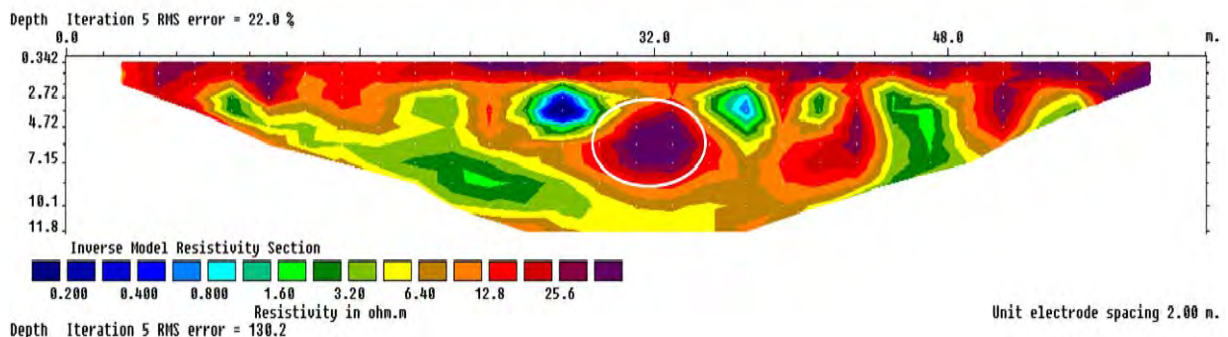
**SERBATOI 8001-8002-8003-8004-8005 (Tomo 20-19)**

La tomo 20 è stata eseguita o monte dei serbatoi mentre la tomo 19 a valle. A monte è presente una stratificazione piano parallela piuttosto regolare tanto da poter correlare la iso resistiva verde (20 Ohm \*m) alla profondità di 7 m rispetto al piano campagna con il livello di falda discriminato in questa specifica area. La stessa stratificazione non è più presente a valle dove anche in questa indagine, per meglio evidenziare i contrasti, è stata utilizzata una diversa scala cromatica che ha consentito di discriminare alla profondità di 4.50 m e al centro dello stendimento (evidenziato dall'ellissi di colore bianco) una particolare forma di anomalia. In questa zona e, specificamente per i serbatoi 8001 e 8002, è stata eseguita anche una acquisizione 3D che dettaglierà di seguito, l'anomalia identificata. Sostanzialmente non si osservano nessuna modifica sostanziale rispetto agli anni precedenti con le nuove elaborazioni tomografiche resistive.

TOMOGRAFIA DI RESISITIVITA'- T20



TOMOGRAFIA DI RESISITIVITA'- T19



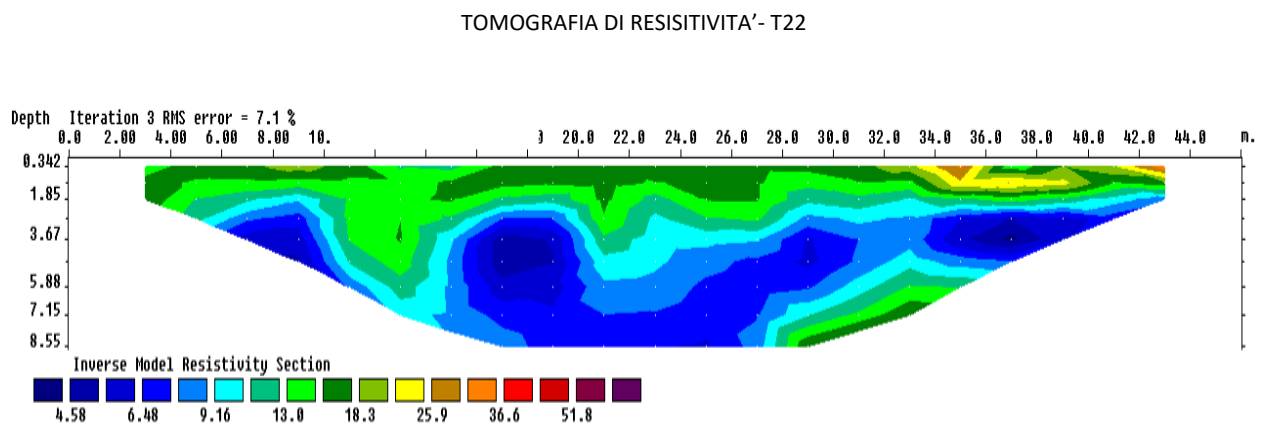
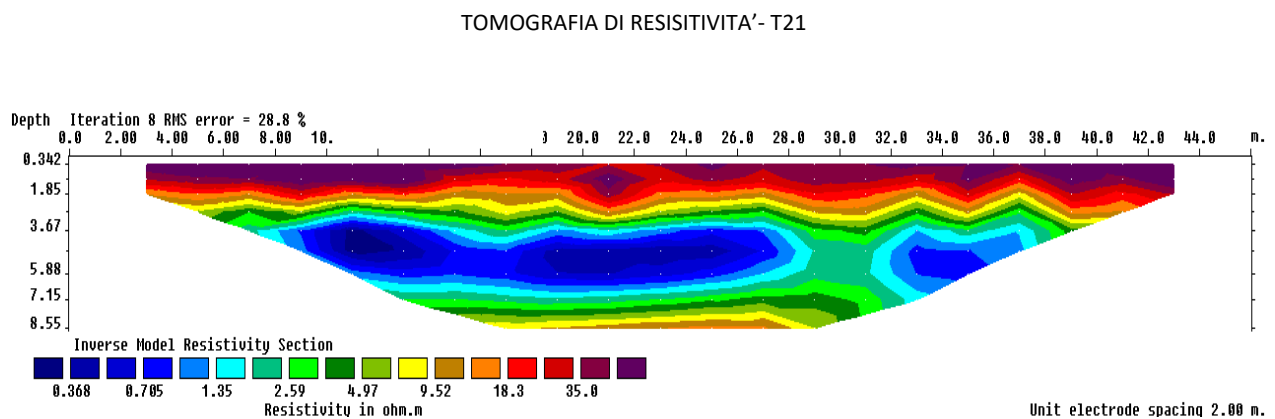
**Figura 15: Profili tomografici n. 20-19**

**SERBATOI 8012-8013-8014-8015-8024-8033 (Tomo 21-22)**

La tomo 21 è stata eseguita sempre a monte dei serbatoi 8012-8013-8014-8015-8024-8033 mentre la tomo 22 è stata eseguita valle dei serbatoi di cui sopra. Si osservano delle stratificazioni piano parallela degli elettro strati ricostruiti sia a monte che a valle che consentono di escludere l'ipotesi di eventuale presenza di inquinanti.

Non sono presenti aree anomale di particolare importanza.

La rappresentazione dei modelli resistivi è simile alle elaborazioni tomografiche realizzate in quelle realizzate nel 2019.

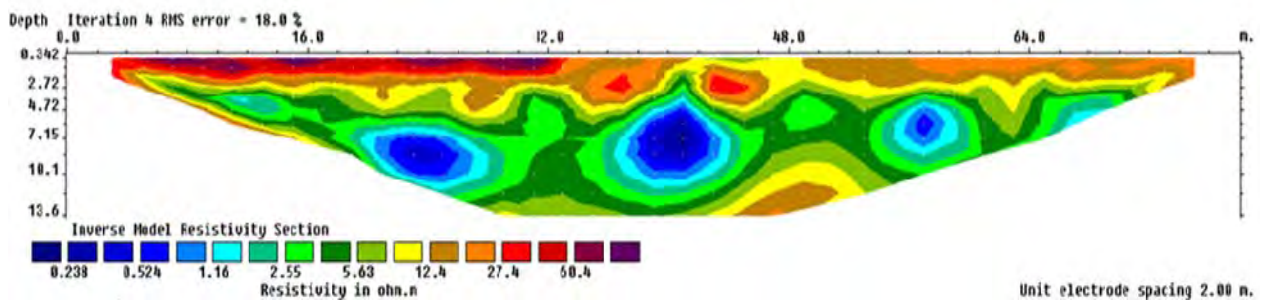


**Figura 16: Profili tomografici n. 21-22**

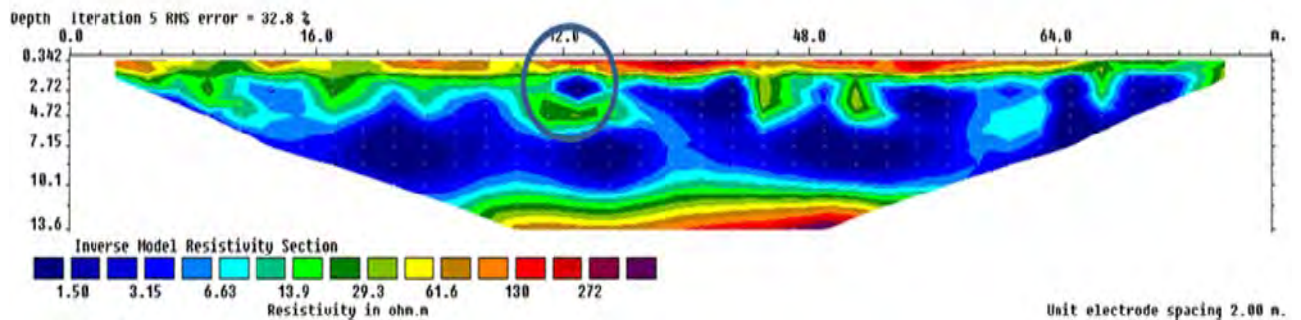
**SERBATOI 8019-8020-8021-8022-8023 (Tomo 23-24)**

Lo stendimento n.24 è stato eseguito a monte dei serbatoi 8019-8020-8021-8022-8023 mentre la tomo 23 a valle dei serbatoi precedentemente indicati. La stratificazione piano parallela degli elettro strati ricostruiti sia a monte che a valle consente di escludere l'ipotesi di eventuale presenza di inquinanti. I sondaggi consultati S47- S49, consentono di correlare le sacche più conduttive presenti a monte i terreni limi sabbiosi. L'anomalia nell'isostrato nella tomografia T23, evidenziata da un'ellisse di color blu, è assimilabile di una vasca in cemento, anche precedentemente individuata nelle tomografie elaborate negli anni passati.

TOMOGRAFIA DI RESISITIVITA' - T24



TOMOGRAFIA DI RESISITIVITA' - T23

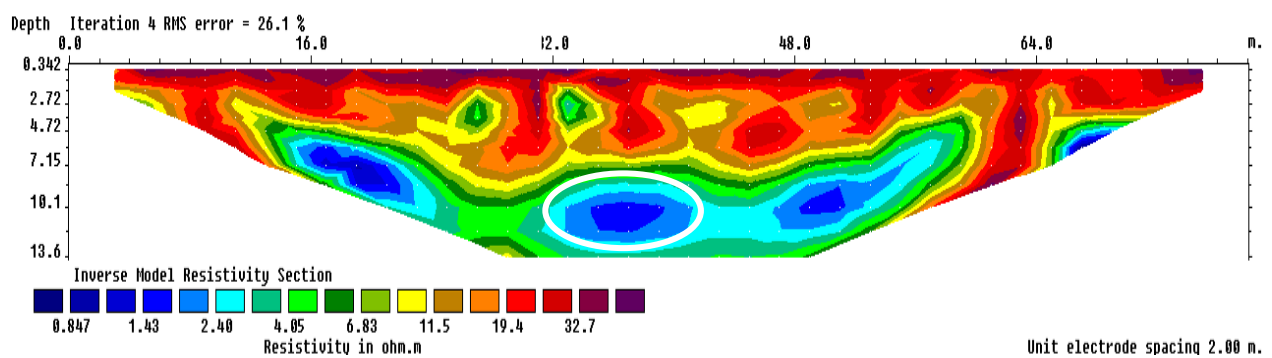


**Figura 17: Profili tomografici n. 24-23**

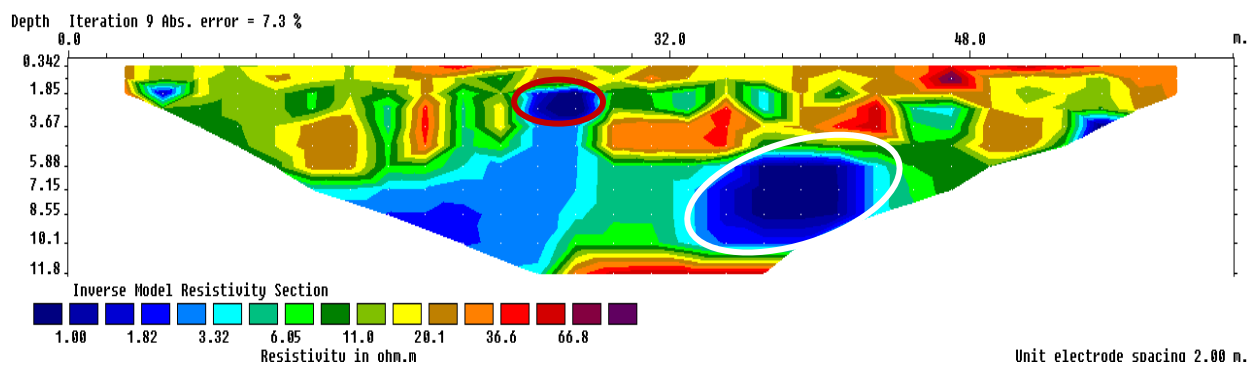
**SERBATOI 8064-8065-8066-8067 (Tomo 25-26)**

Lo stendimento tomo 25 è stato eseguito a monte dei serbatoi 8064-8065-8066-8067 mentre la tomo 26 a valle degli stessi. Come già riscontrato negli anni precedenti, si osserva una stratificazione piano parallela degli elettro strati sia a monte che a valle che consente di escludere l'ipotesi di eventuale presenza di inquinanti. Si può pertanto osservare La sacca più conduttiva a valle evidenziata dall'ellisse rossa che è correlabile ad un attraversamento fognario mentre quella evidenziata da un'ellisse bianca è correlabile ai terreni in calcarenitici.

TOMOGRAFIA DI RESISITIVITA' - T25



TOMOGRAFIA DI RESISITIVITA' - T26

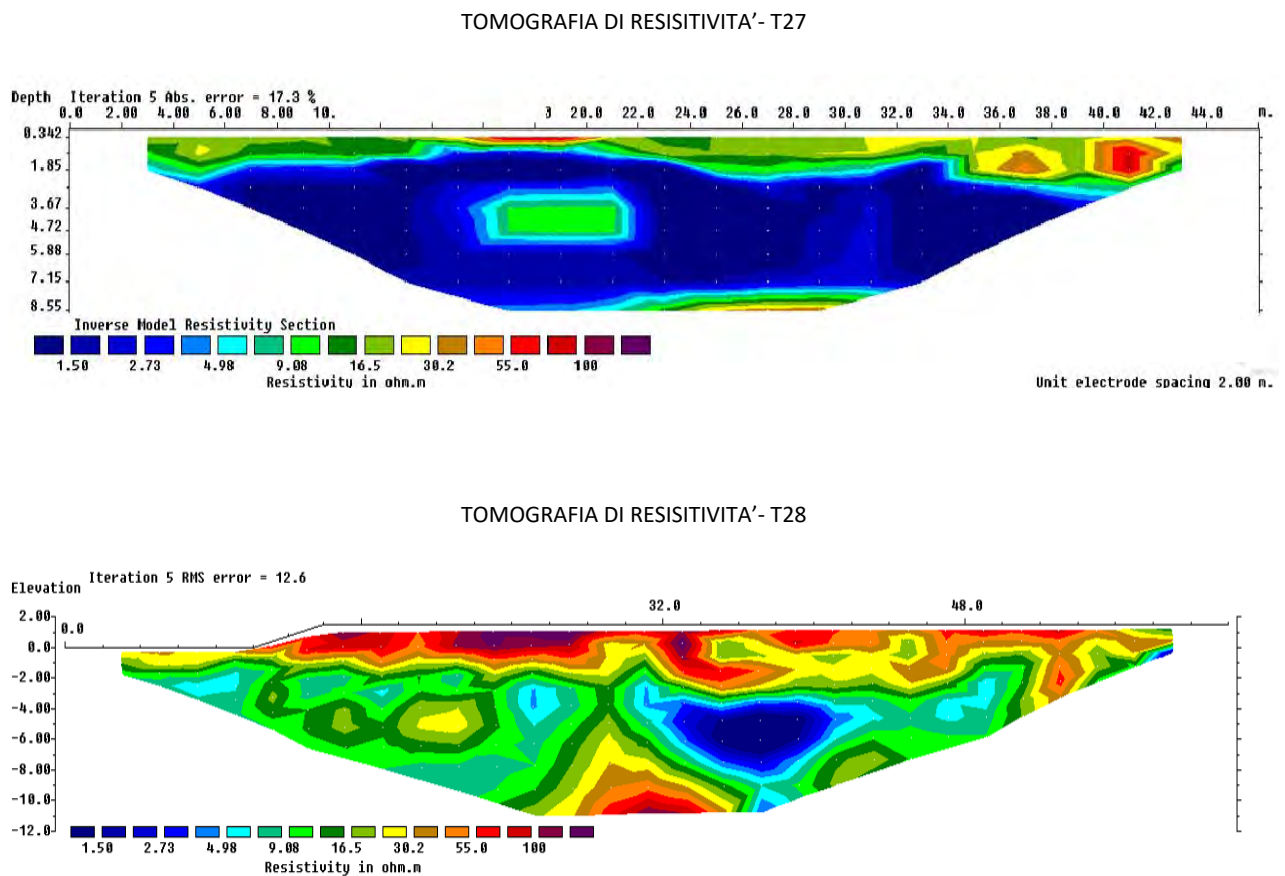


**Figura 18:Profili tomografici n. 25-26**

**SERBATOI 8034-8048-8072 (Tomo 27 -28)**

La tomo 27 è stata eseguita a monte dei serbatoi 8034-8048-8072, mentre la tomo 28 a valle degli stessi.

Anche in queste elaborazioni tomografiche, come quelle prodotte nel 2012/9, si osservano delle stratificazioni piano parallela degli elettro strati ricostruiti a monte che non si evidenziano a valle. Infatti, a valle dei serbatoi gli elettro strati sono mediamente molto più resistivi di quelli di monte per cui non sono presenti aree correlabili a problemi di inquinanti.



**Figura 19: Profili tomografici n. 27-28**

### SERBATOI 8060-8061-8062-8063-8068 (Tomo 29 -30)

La tomo 30 è stato eseguito a monte dei serbatoi 8060-8061-8062-8063-8068- mentre la tomo 29 a valle.

Le elettro stratigrafie sono state elaborate considerando i sondaggi 61-56 con i quali è stato possibile asserire che le aree più conduttive di monte sono rappresentata dai limi sabbiosi poggianti sulle argille giallo oca. Tale sovrapposizione è ben evidente nella stratigrafia di monte mentre a valle è rinvenuto uno strato meno competente di limi sabbiosi e uno spessore maggiore di argilla. Non si evidenziano aree correlabili a perdite di contaminanti.

Le elaborazioni sono in linea con le tomografie realizzate negli anni precedenti.

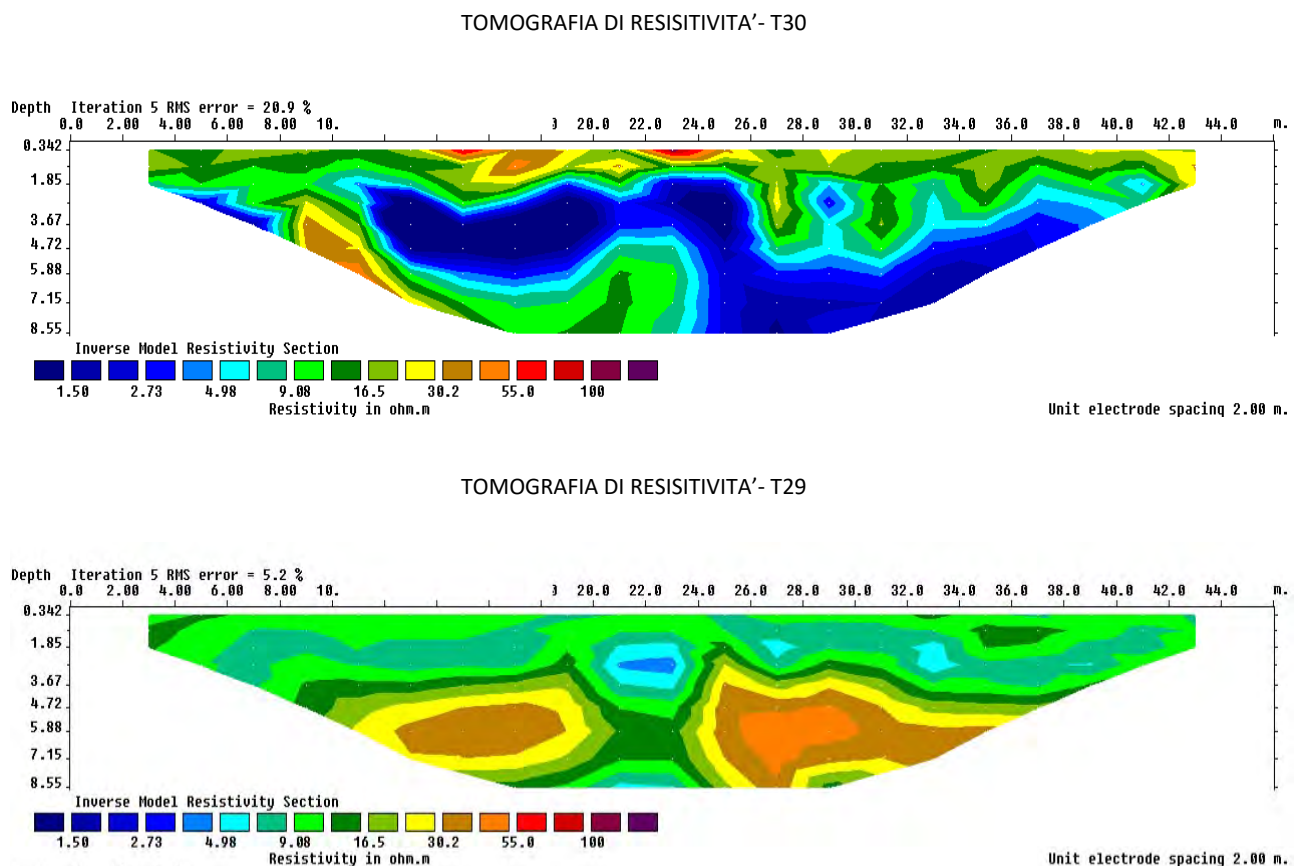


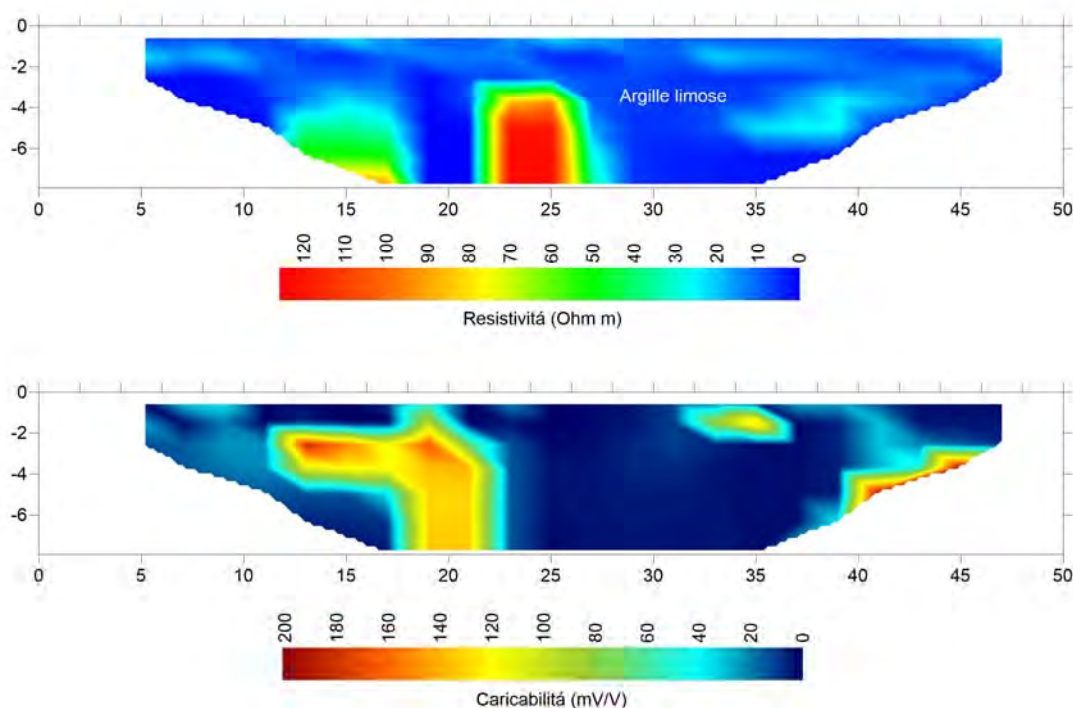
Figura 20: Profili tomografici n. 29-30

**SERBATOI 8046-8050 (Tomo 31 -32- 33)**

La stesa elettroica realizzata per l'acquisizione dei dati relativi alla prospezione T31, con lunghezza di 50 m e distanza elettroica pari a 2.0 m, ricade tra il bacino del serbatoio 8046 e la strada perimetrale che decorre appena a Est. Il modello di resistività mostra valori della resistenza elettrica specifica compresi tra 2 e 20  $\Omega\text{m}$ , attribuibili a litologie prevalentemente pelitiche (argille più o meno siltose), con probabili intercalazioni di lenti leggermente più grossolane, sabbioso-limose, dove le resistività localmente aumentano fino a 25-30  $\Omega\text{m}$ . Si osservano poi delle anomalie più resistive nella parte iniziale e centrale del modello, cui non si associano aumenti del valore della caricabilità elettrica. Infatti quest'ultima tende ad aumentare in corrispondenza della diminuzione della resistività, per cui essa è controllata da fattori litologici piuttosto che da fenomeni di contaminazione.

Confrontando le tomografie ottenute con quelle degli anni precedenti, non si osservano anomalie attribuibili a fenomeni di inquinamento da idrocarburi.

TOMOGRAFIE DI RESISTIVITA' E POLARIZZAZIONE INDOTTA -T31-



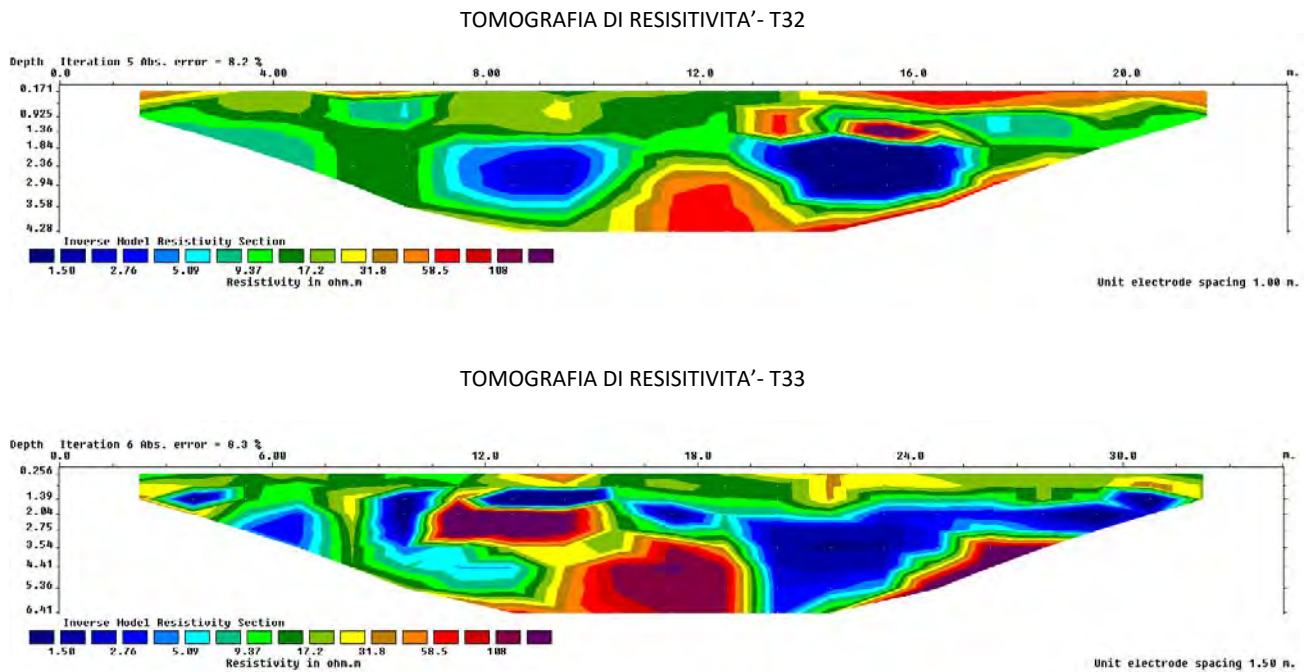


Figura 21: Profili tomografici n. 31-32-33

### SERBATOI 740-720A e 722/A (Tomo 34 -35- 36)

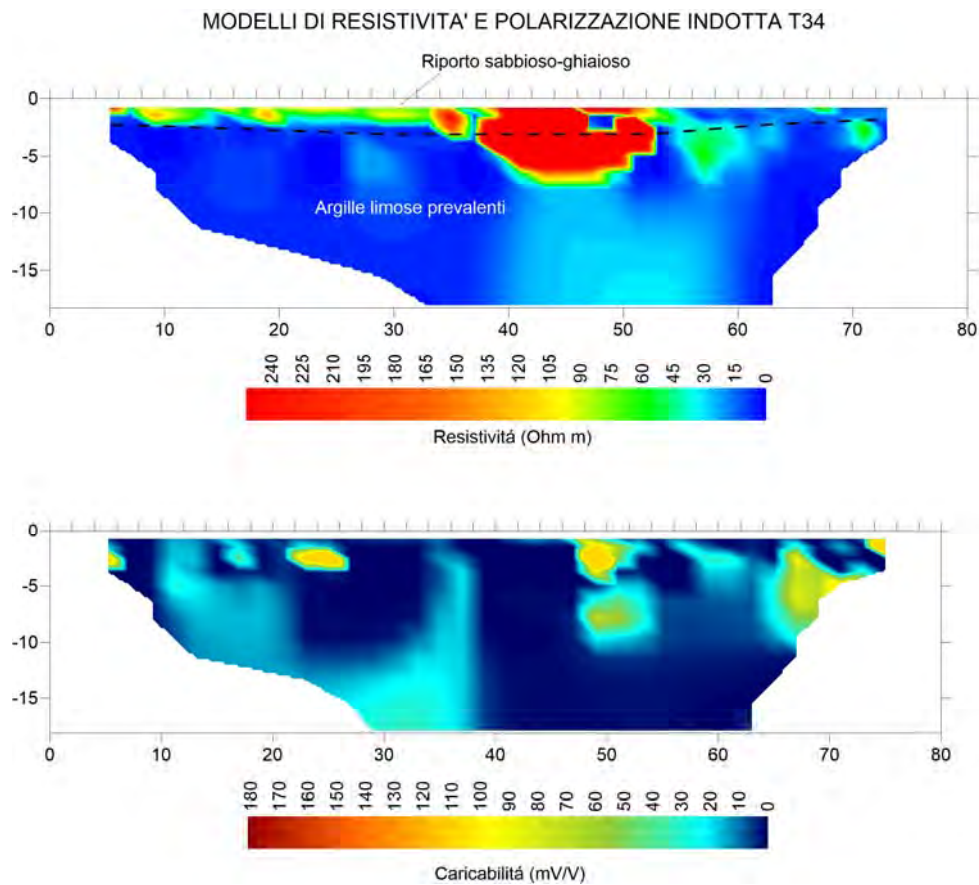
Le prospezioni in oggetto ricadono nel settore di fondovalle (meridionale) dell'impianto, appena a lato del Fiume Marcellino. Le tre linee di rilievo si sviluppano su tre lati di un bacino contenente 19 serbatoi di varie dimensioni.

Il modello di resistività relativo alla linea T34 mostra un orizzonte superficiale, con spessore di 1.0-1.5 m, a media resistività (40-100  $\Omega$ m), discontinuo, attribuibile a terreno di riporto etero metrico. Al di sotto di questo si osserva un brusco calo di resistività, che passa a valori inferiori a 10  $\Omega$ m, con nuclei leggermente più resistivi. Tali valori sono attribuibili a limi e limi argillosi, con componente sabbiosa (in falda) dove si osserva il lieve aumento di resistività. Come già visto nelle precedenti campagne di misura (2017 e 2019), la presenza di condotte determina la nascita di un'anomalia alto-resistiva compresa tra le progressive 40 e 50 m; tra l'altro in questo settore i valori di caricabilità per polarizzazione indotta tendono a ridursi, per cui non vi si riconoscono indizi della presenza di condizioni di contaminazione da idrocarburi. I modelli T35 e T36 ricalcano la distribuzione dei parametri elettrici visti per la prospezione T34. Con un primo orizzonte superficiale di riporto, per poi passare a depositi medio-fini in falda a breve profondità, caratterizzati da valori di resistività medio-basse, con nuclei leggermente più resistivi. Anche la distribuzione dei valori di caricabilità non mostra particolari anomalie: in genere aumenta in corrispondenza delle zone elettricamente più conduttive (per la presenza dell'argilla); alcuni nuclei

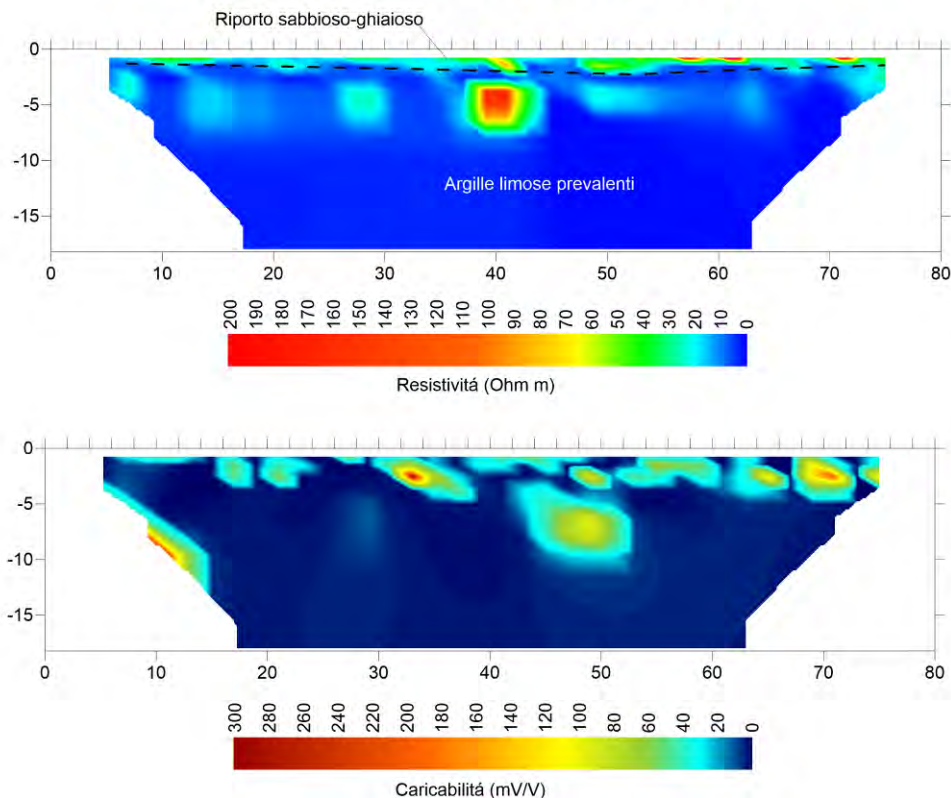


anomali sono riconducibili ad artefatti causati dalla scarsa qualità dei dati, quando il valore della corrente immessa è stato troppo basso a causa della presenza di una coltre superficiale grossolana o a pavimentazioni in cemento.

Come è stato evidenziato nelle precedenti campagne di indagine non si evidenziano particolari aree da correlare a sacche di potenziali inquinanti



MODELLI DI RESISTIVITA' E POLARIZZAZIONE INDOTTA T35



## MODELLI DI RESISTIVITA' E POLARIZZAZIONE INDOTTA T36

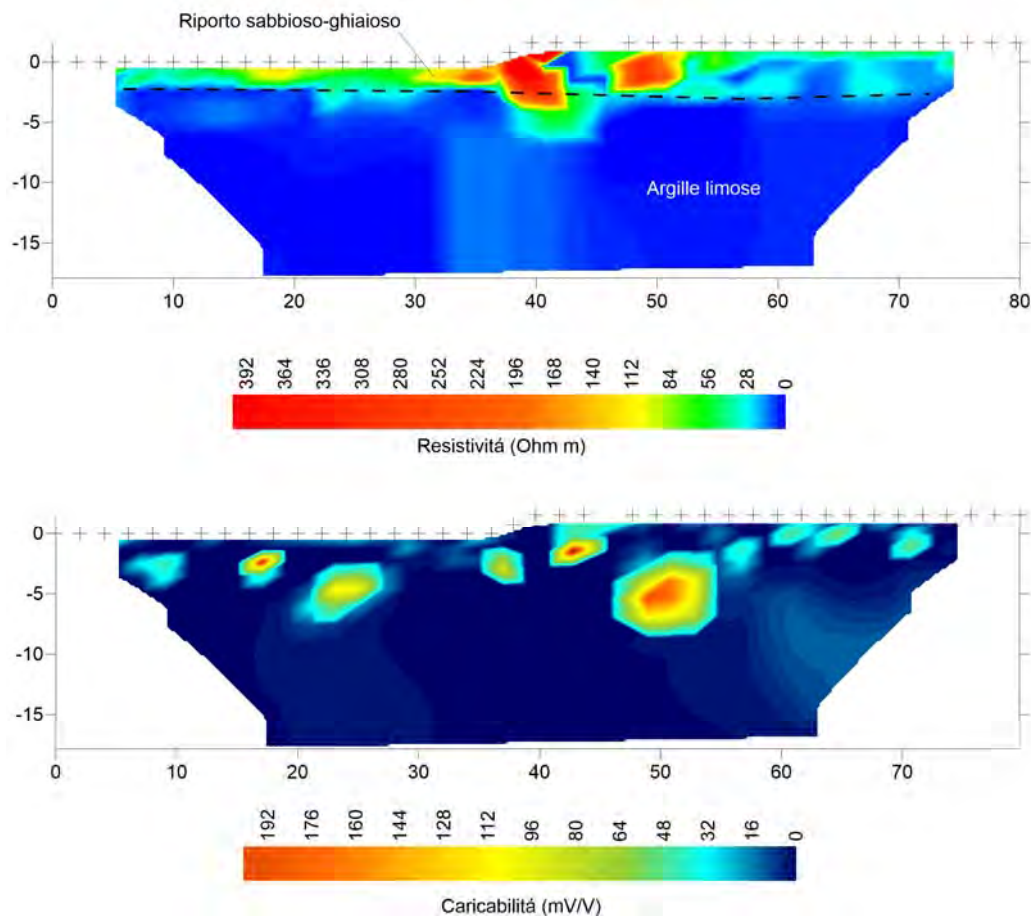


Figura 22: Profili tomografici n. 34-35-36

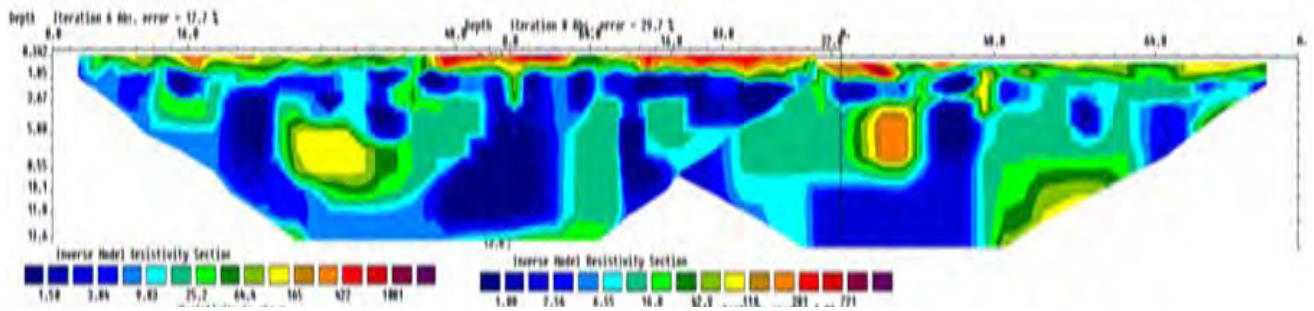
**SERBATOI 801-803- 807 802-804-808-847 (Tomo 37 -38- 39 -40)**

Le tomo 37 e 38 sono state eseguite lungo la strada n. 4 e a monte dei serbatoi 801-803- 807 mentre gli le tomo 39 e 40 sono stati eseguiti lungo la strada n.5 e a valle dei serbatoi 802-804-808-847.

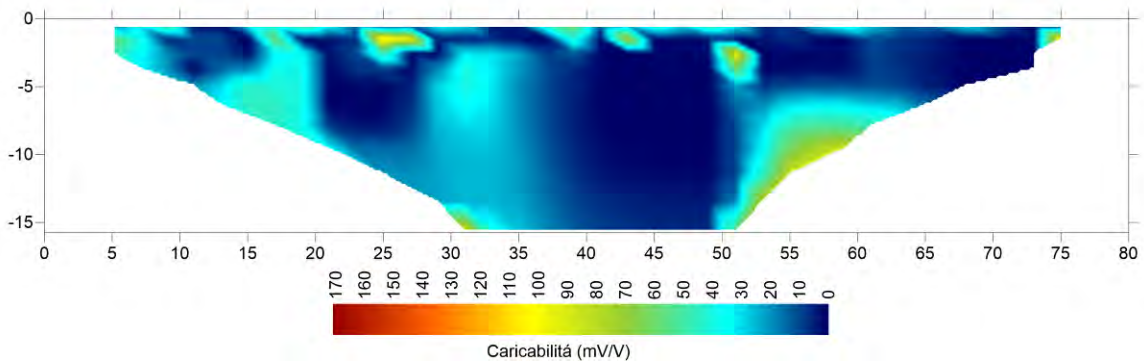
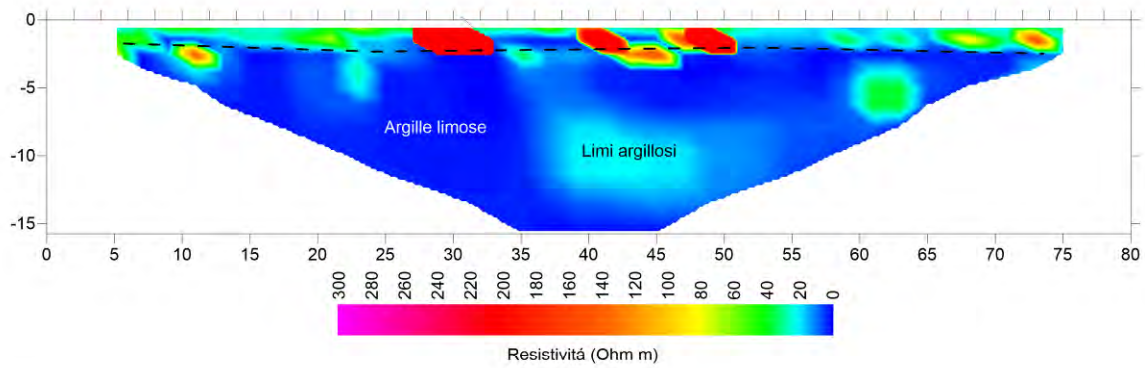
A monte lo strato superficiale è più spesso e più resistivo perché i profili sono stati realizzati lungo la strada mentre a valle sono realizzati all'interno dei bacini.

Anche quest' anno, rispetto all' elaborazione eseguita gli anni precedenti i profili sono caratterizzati da un fondo conduttivo, intervallati da forme discontinue ed irregolari resistive che possono essere attribuite a scavi e rinterri di natura antropica e/o a interferenza con sotto servizi.

TOMOGRAFIE DI RESISTIVITA' - T37-38



MODELLI DI RESISTIVITA' E POLARIZZAZIONE INDOTTA T39



TOMOGRAFIE DI RESISTIVITA' - T40

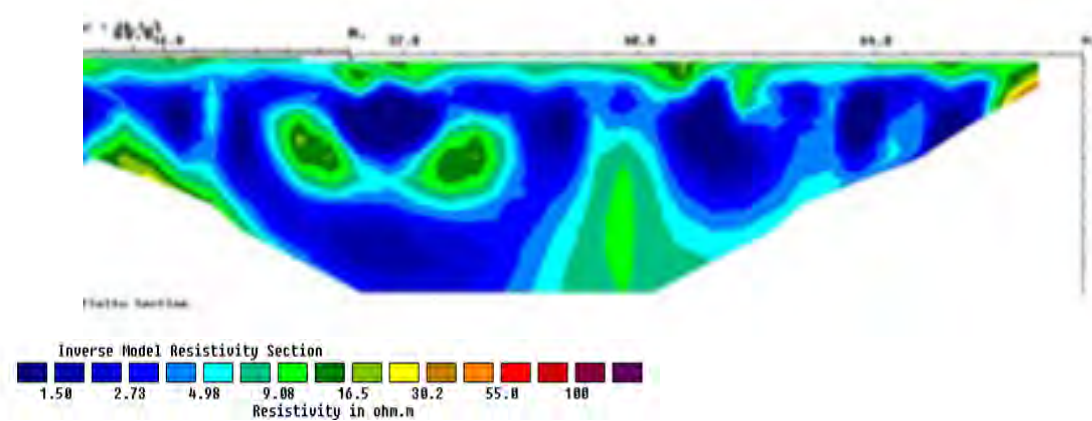
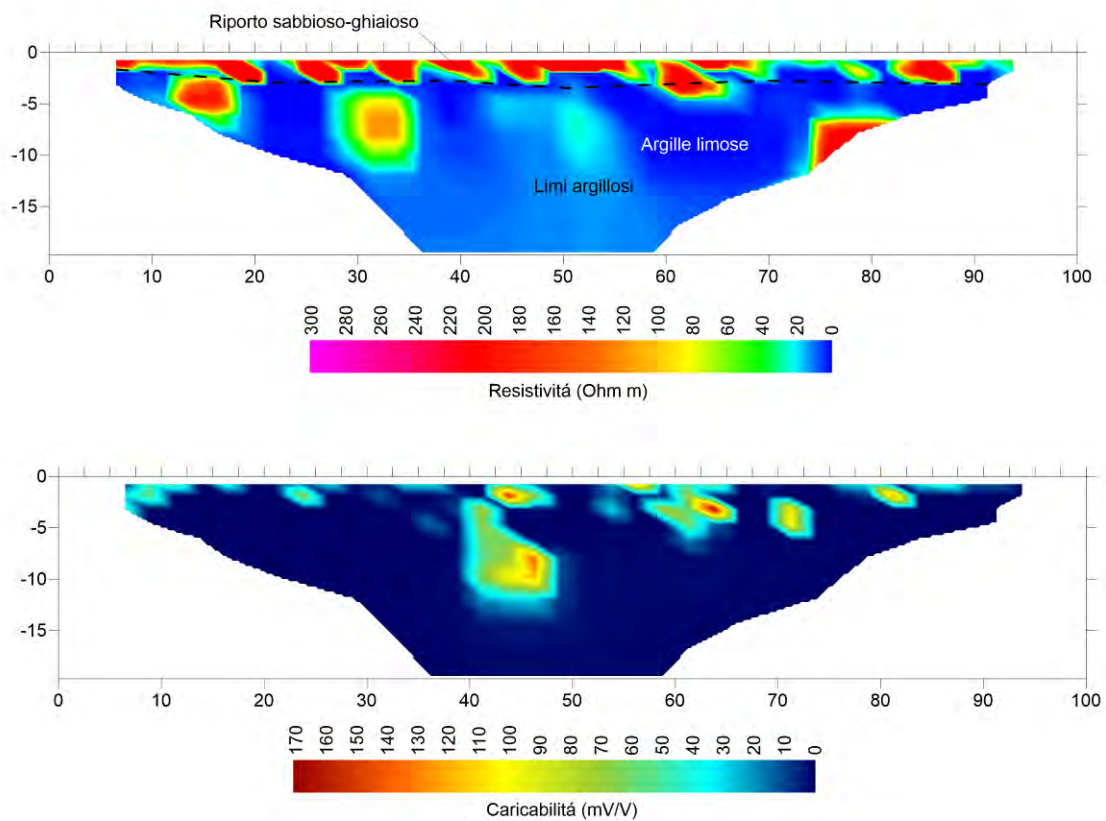


Figura 23: Profili tomografici n. 37-38-39-40

**SERBATOI 825-826-827-828-829-831 (Tomo 41-42)**

La tomo 41 è stato eseguito a monte dei serbatoi 825-827-829, mentre la tomo 42 è stato eseguito a valle dei serbatoi 826-828-831. La correlazione con i sondaggi S116-117-118 ha consentito di imputare le forme di anomalie rinvenute a variazioni di tipo litologico. Il modello di resistività è caratterizzato da un esiguo orizzonte superficiale, con spessore compreso tra 1.0 e 1.5 m circa, con resistività medie (12-50  $\Omega$ m) attribuibile a terreno di riporto in prevalenza sabbioso-limoso. Quindi, al di sotto, si rilevano valori di resistività più bassi, compresi tra 1.0 e 8  $\Omega$ m, evidentemente dovuti ad una compagine prevalentemente pelitica (argilloso-limoso), con nuclei a resistività leggermente più elevata (8-12  $\Omega$ m), riconducibili a limi e limi sabbiosi. I valori della polarizzazione indotta in superficie sono compresi tra 0.5 e 30 mV/V, mentre in profondità, al di sotto dei 5.0 m, aumentano fino a 60 mV/V, con nuclei che assumono valori fino a oltre 80 mV/V. Come le tomografie realizzate nell'anno 2019 non si riconoscono valori anomali riconducibili a fenomeni di inquinamento da idrocarburi.

MODELLI DI RESISTIVITA' E POLARIZZAZIONE INDOTTA T41



## TOMOGRAFIE DI RESISTIVITA' - T42

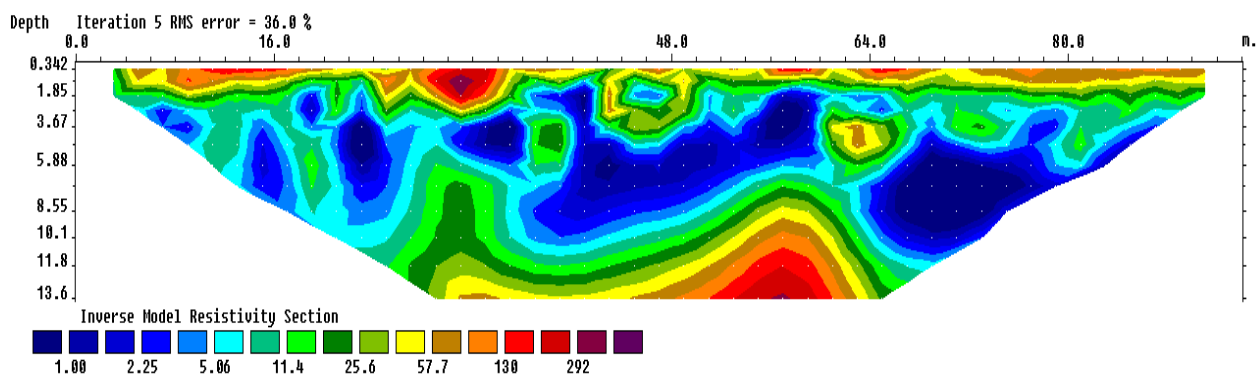
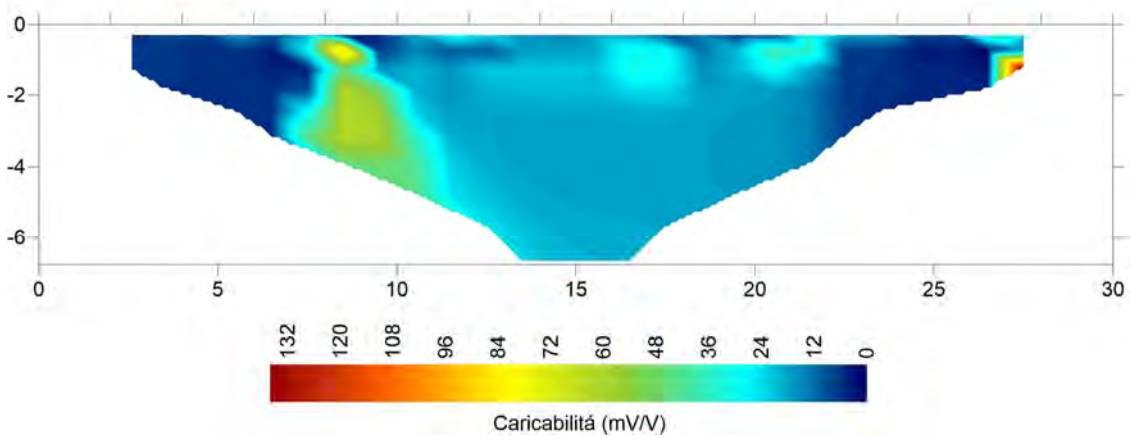
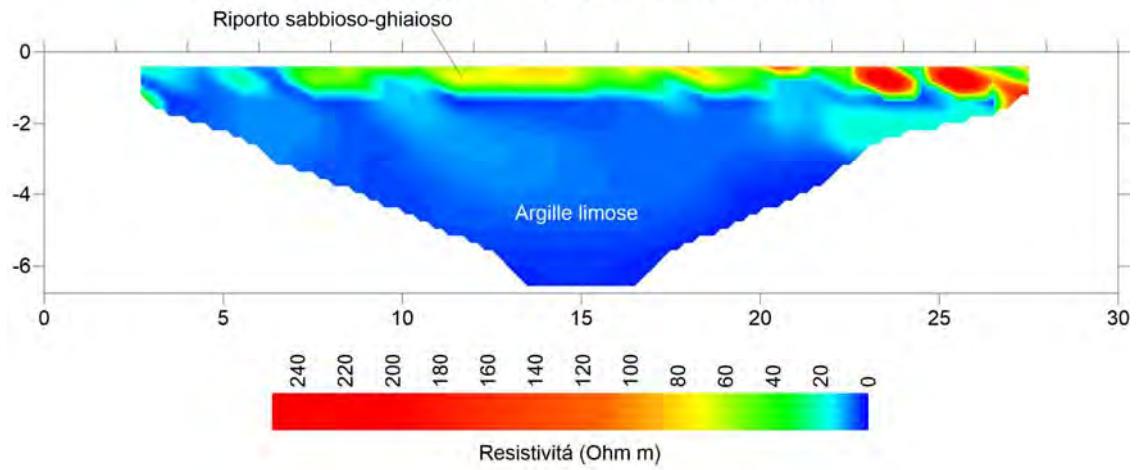


Figura 24: Profili tomografici n. 41-42

**SERBATOI 851-852 -853-854-846 (Tomo 43-44)**

Le linee di rilievo T43 e T44, ricadono rispettivamente a Nord e a Sud del bacino contenente i serbatoi 851 e 852. La linea T44 (lunga 50 m) si estende anche a lato del bacino dei serbatoi 853, 846 e 854. Entrambi i modelli di resistività sono caratterizzati da un esiguo orizzonte superficiale, con spessore compreso tra 1.0 e 2.0 m circa, con resistività medie (20-60  $\Omega$ m) attribuibile a terreno di riporto in prevalenza sabbioso-limoso. Quindi, al di sotto, si rilevano valori di resistività più bassi, compresi tra 1.0 e 20  $\Omega$ m, evidentemente dovuti ad una compagine prevalentemente pelitica (argilloso-limoso). I valori della polarizzazione indotta sono generalmente compresi tra 0.5 e 15 mV/V, con nuclei che assumono valori fino a oltre 50 mV/V, con la tendenza all'aumento di questo parametro, dove i valori di resistività diminuiscono. Non si riconoscono valori anomali riconducibili a fenomeni di inquinamento da idrocarburi. Il modello T44, assume valori e distribuzione delle resistività e caricabilità, del tutto simili a quelli risultanti dai precedenti cicli di misura (2019).

### MODELLI DI RESISTIVITA' E POLARIZZAZIONE INDOTTA T43



### MODELLI DI RESISTIVITA' E POLARIZZAZIONE INDOTTA T44

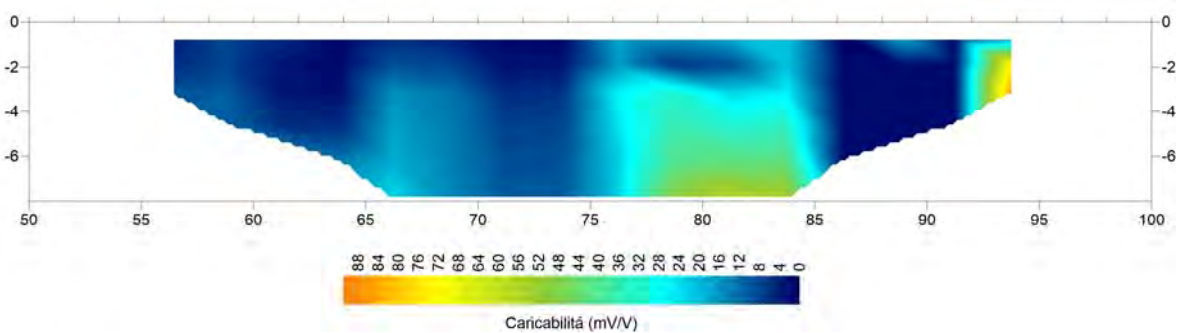
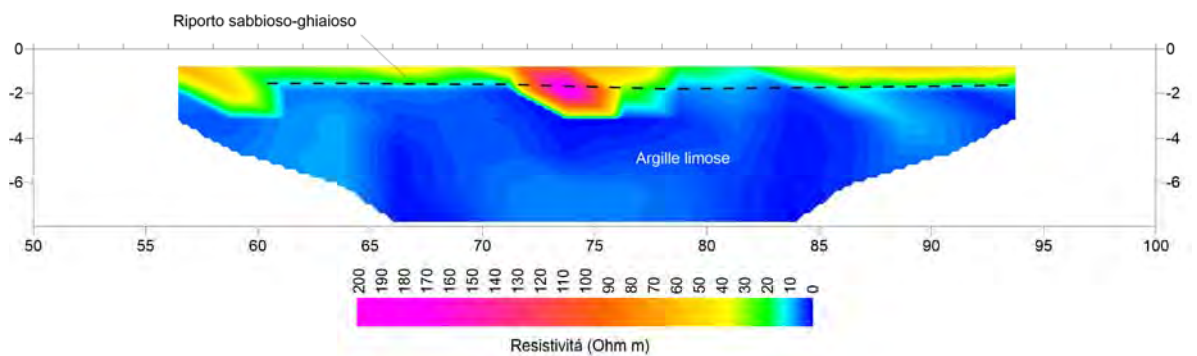
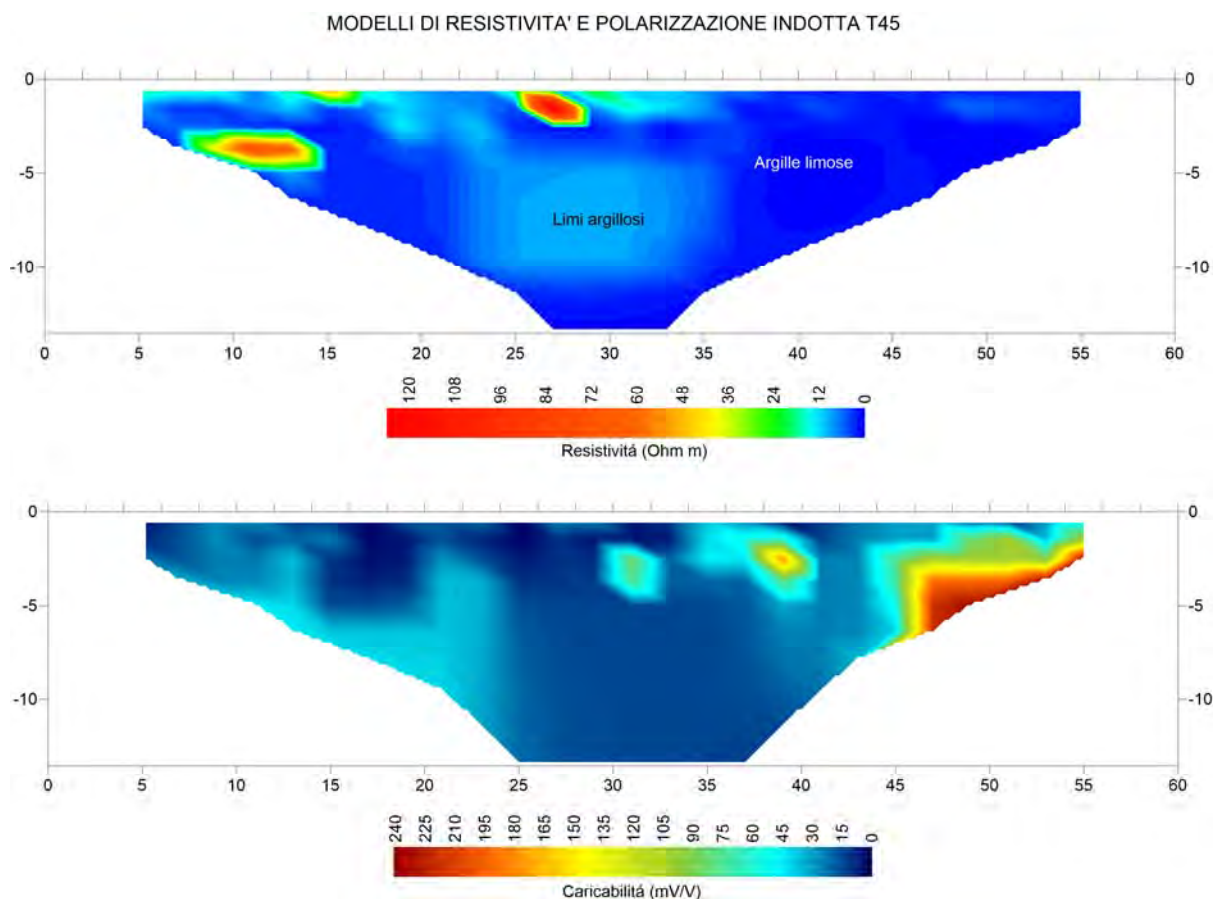


Figura 25: Profili tomografici n. 43-44

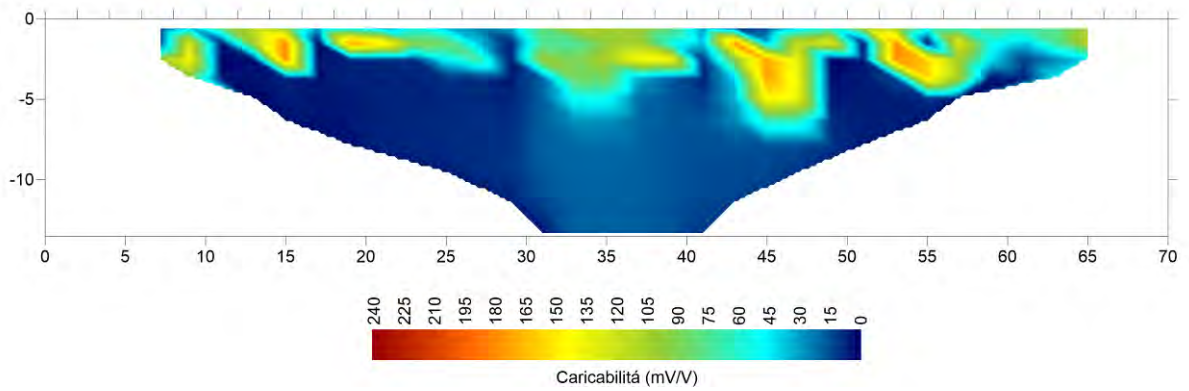
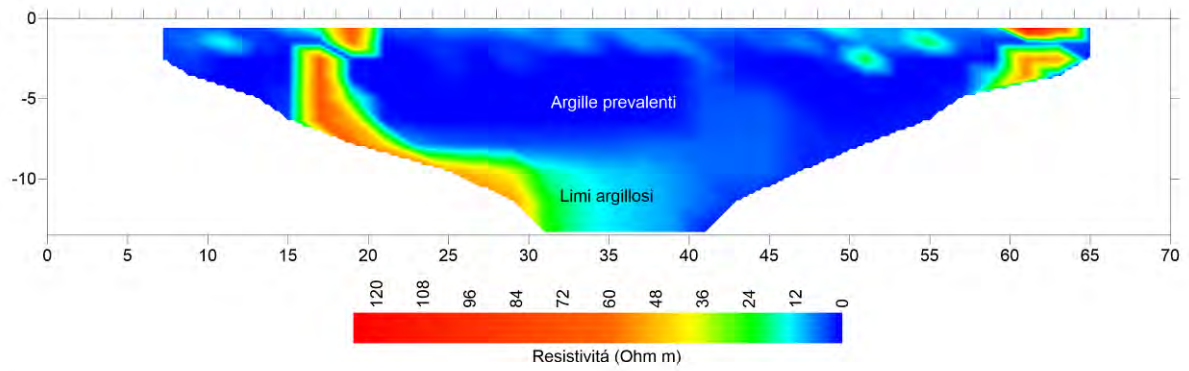
**SERBATOI 817-818-813-814-805-806 (Tomo 45-46-47-48)**

Le tomo 45 e 46 sono state eseguite a monte dei serbatoi 817-818-813-814-805-806, mentre le tomo 48 e 47 a valle degli stessi. I valori di resistività elettrica si mostrano molto bassi, in genere inferiori a 15  $\Omega\text{m}$ , indicativi di litologie argillo-limose. Fa eccezione il modello T48, dove è presente un orizzonte alto-resistivo superficiale, attribuibile a terreno di riporto grossolano. Si riconoscono poi alcuni nuclei alto-resistivi superficiali, riconducibili a disturbi localizzati (pozzetti e condotte), cui non si associano valori elevati della caricabilità per polarizzazione indotta. In generale si osserva che dove aumenta la caricabilità, il valore della resistività elettrica tende a diminuire, indicando un controllo litologico sulla distribuzione dei due parametri elettrici. Non si rinvergono quindi indizi sulla presenza di condizioni di contaminazione da idrocarburi, a conferma di quanto individuato nelle precedenti indagini geofisiche.

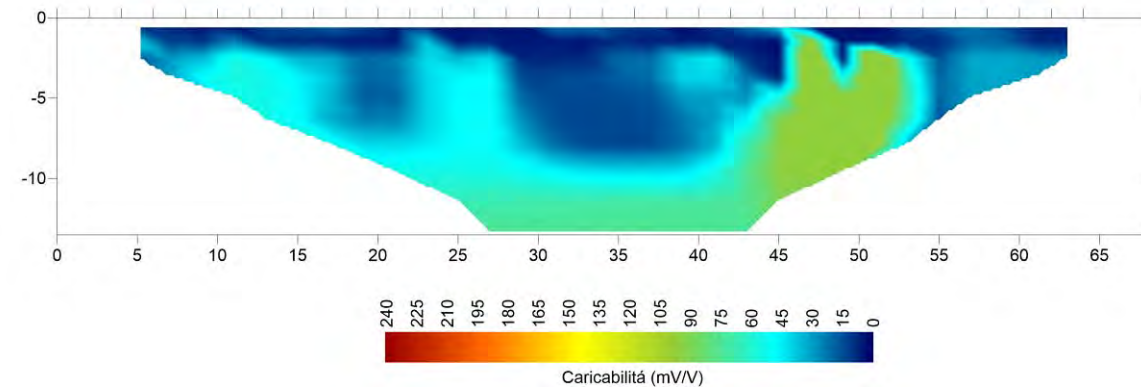
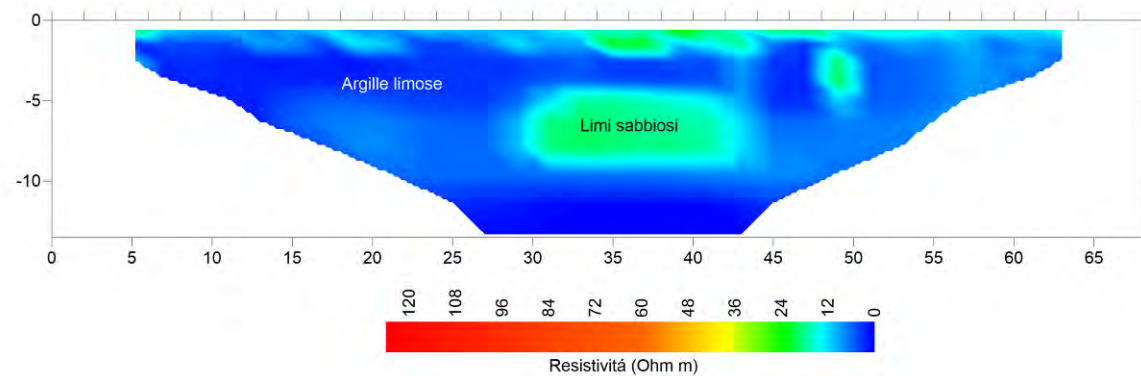




MODELLI DI RESISTIVITA' E POLARIZZAZIONE INDOTTA T46



MODELLI DI RESISTIVITA' E POLARIZZAZIONE INDOTTA T47



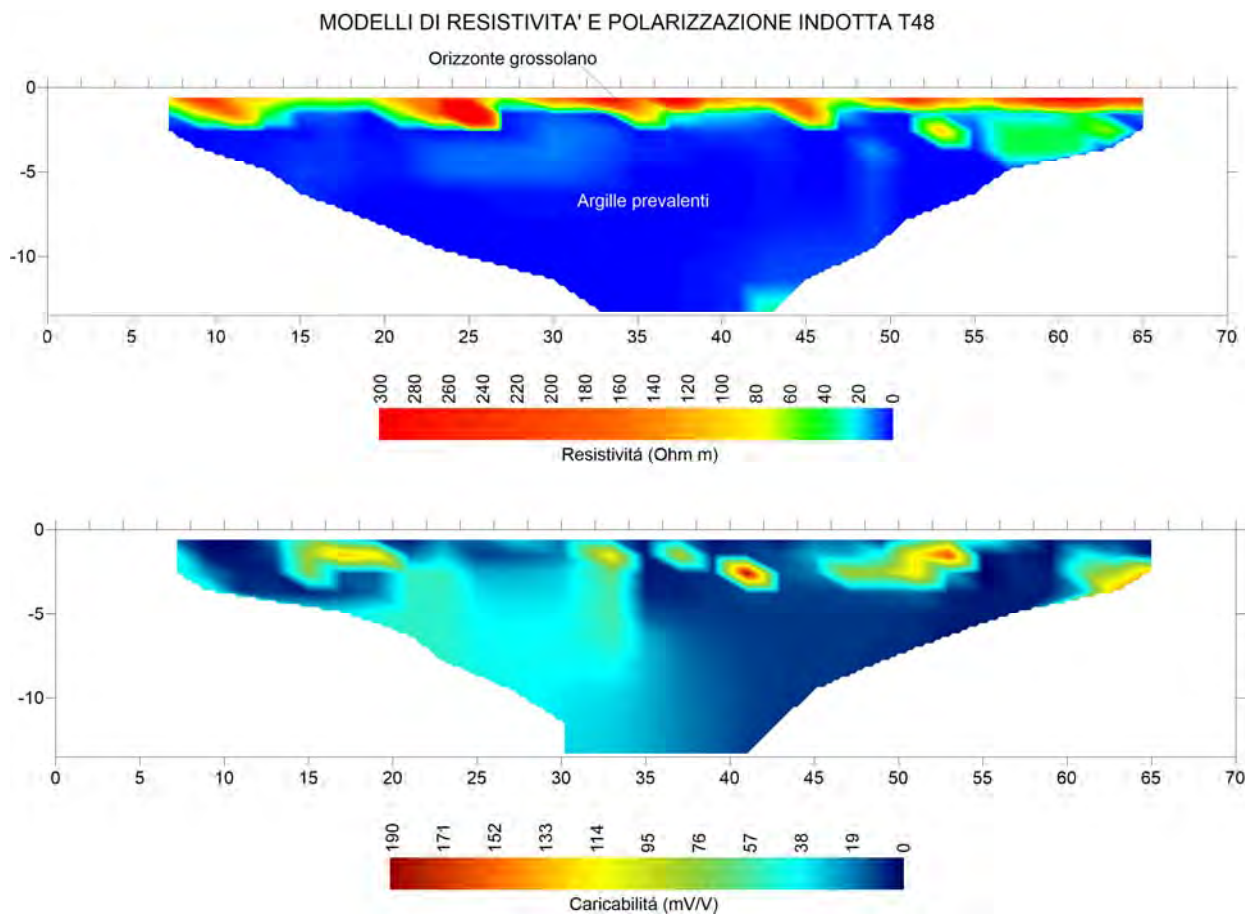


Figura 26: Profili tomografici n. 45-46-47-48

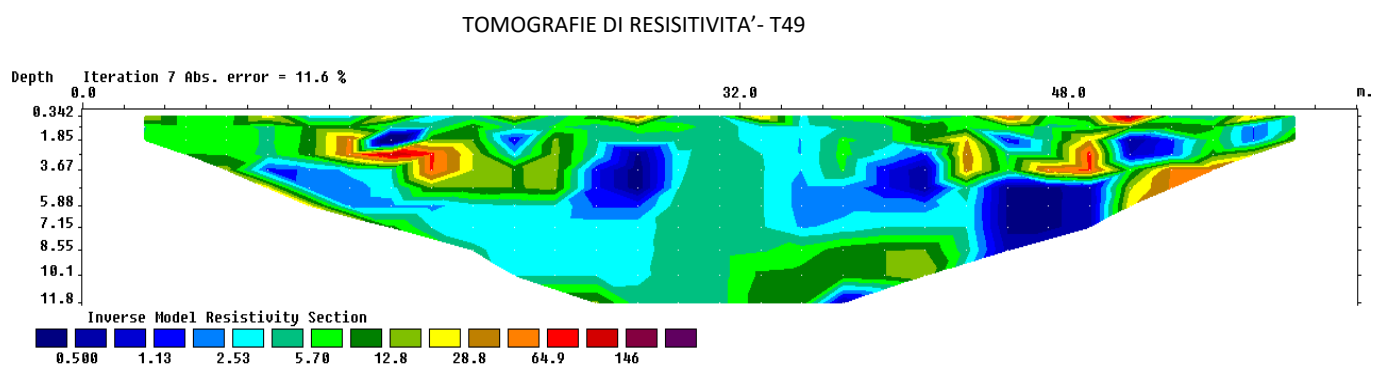
**SERBATOI 815-819-816-820-830-821-822-823-824-832-833-834-835 (Tomo 49-50-51)**

La tomo 49 è stato eseguito a monte dei serbatoi 815-819-816-820-830-821-822-823-824-832-833-834-835 mentre le tomo 50 e 51 sono state eseguite a valle degli stessi.

Nella Tomo 49 i valori di resistività individuati sono correlati a litologie in situ, come anche descritto nelle precedenti campagne di indagine.

Nelle tomo 50-51 eseguite a valle dei serbatoi e sulla strada a ridosso del fiume san Marcellino, il modello di resistività restituito è caratterizzato da un esiguo orizzonte superficiale, con spessore compreso tra 1.0 e 2.5 m circa, con resistività medio-alta (30-220  $\Omega$ m) attribuibile a terreno di riporto in prevalenza sabbioso-ciottoloso. Quindi, al di sotto, si rilevano valori di resistività nettamente più bassi, compresi tra 1.5 e 15  $\Omega$ m, dovuti ad una compagine prevalentemente pelitica (argilloso-limosa), con locali intercalazioni sabbiose, in corrispondenza dei nuclei più resistivi (15-30  $\Omega$ m). I valori della polarizzazione indotta sono generalmente compresi tra 0.5 e 15 mV/V, con nuclei localizzati che assumono valori di picco fino a oltre 200 mV/V. Da tener conto della scarsa intensità di corrente immessa a causa della presenza del terreno grossolano presente nel sottofondo stradale, che è stata motivo di degrado della qualità dei dati di misura della polarizzazione indotta, che localmente ha causato la nascita di possibili artefatti. Nei modelli risultanti dall'elaborazione delle misure realizzate nel dicembre 2019, era stata individuata un'anomalia (tra le progressive 95 e 105 m) caratterizzata da alta resistività e caricabilità, quale possibile indizio di contaminazione. Questa zona anomala permane, meno intensa, nel modello di resistività, mentre viene meno nel modello di polarizzazione indotta. È stata individuata nella fascia tra 2 e 8 m di profondità, una modesta anomalia, con valori di resistività e caricabilità lievemente più elevate rispetto al contesto. Al fine di verificare se tale anomalia derivasse da fenomeni di contaminazione, sono stati consultati i dati relativi alle analisi chimiche derivanti dai campionamenti di gennaio/febbraio 2021 delle acque di falda presenti nei piezometri denominati P23, P2 e P47) posti nelle immediate vicinanze (vedasi fig. 28).

Da tale confronto si è evinto che i risultati analitici sui campioni di acqua prelevati, sono tutti al di sotto dei limiti normativi; pertanto si presume che tali anomalie non siano dovute a fenomeni di contaminazione.



MODELLI DI RESISTIVITA' E POLARIZZAZIONE INDOTTA T50-51

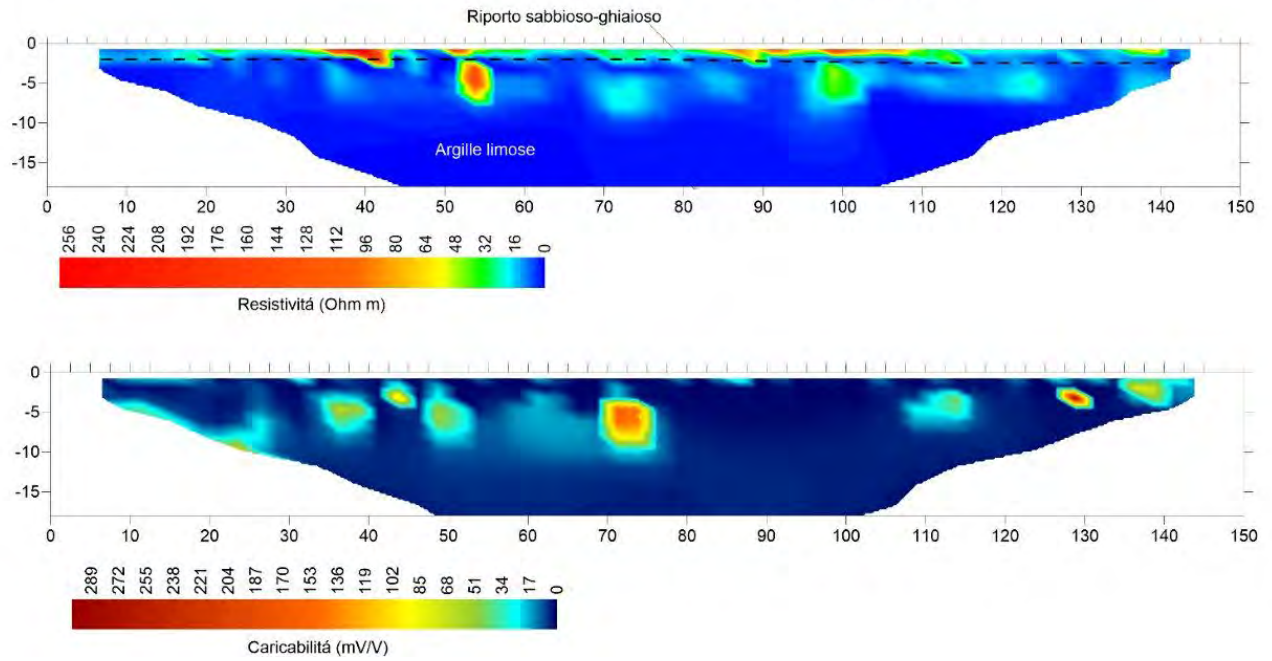


Figura 27: Profili tomografici n. 49-50-51

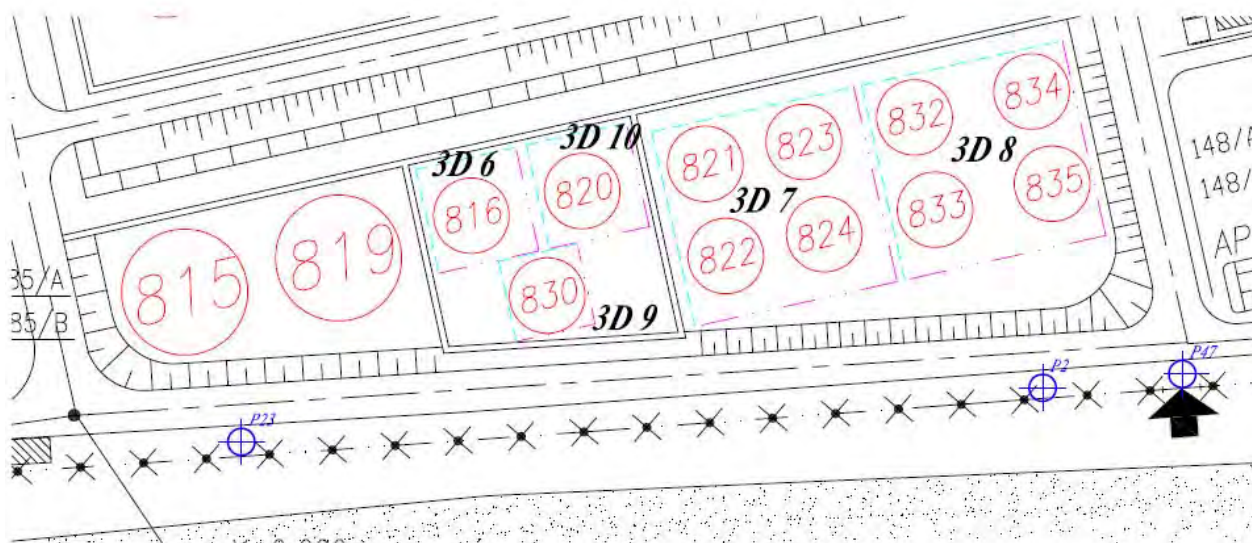
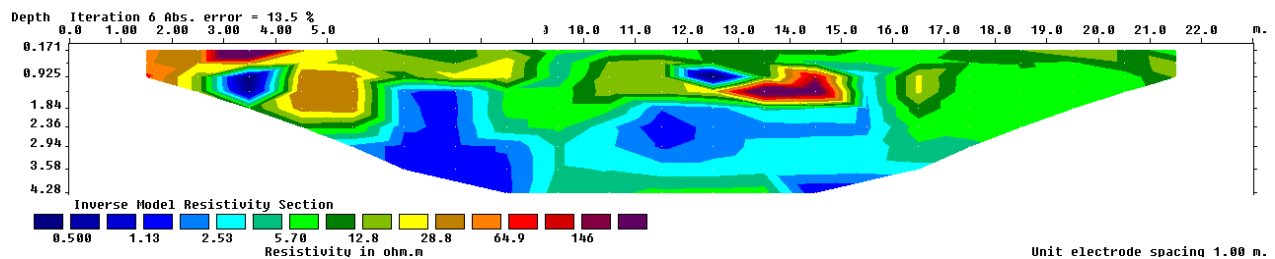
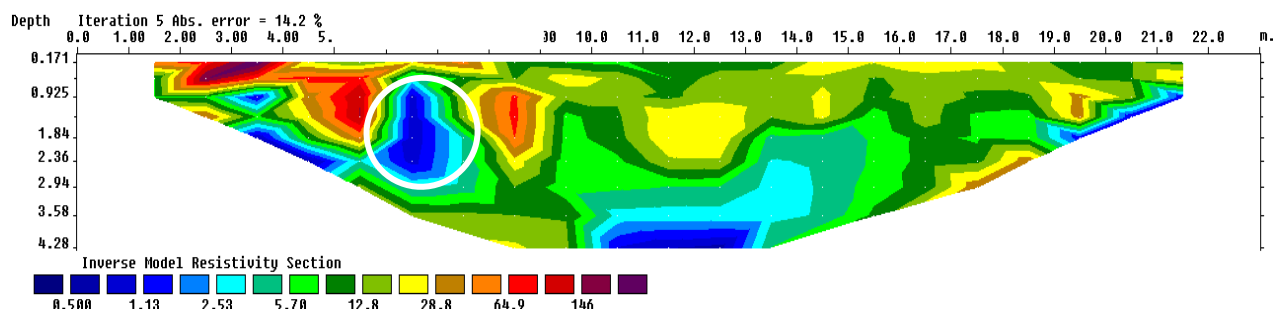


Figura 28: Ubicazione dei piezometri analizzati

**SERBATOI 849 (Tomo 52-53)**

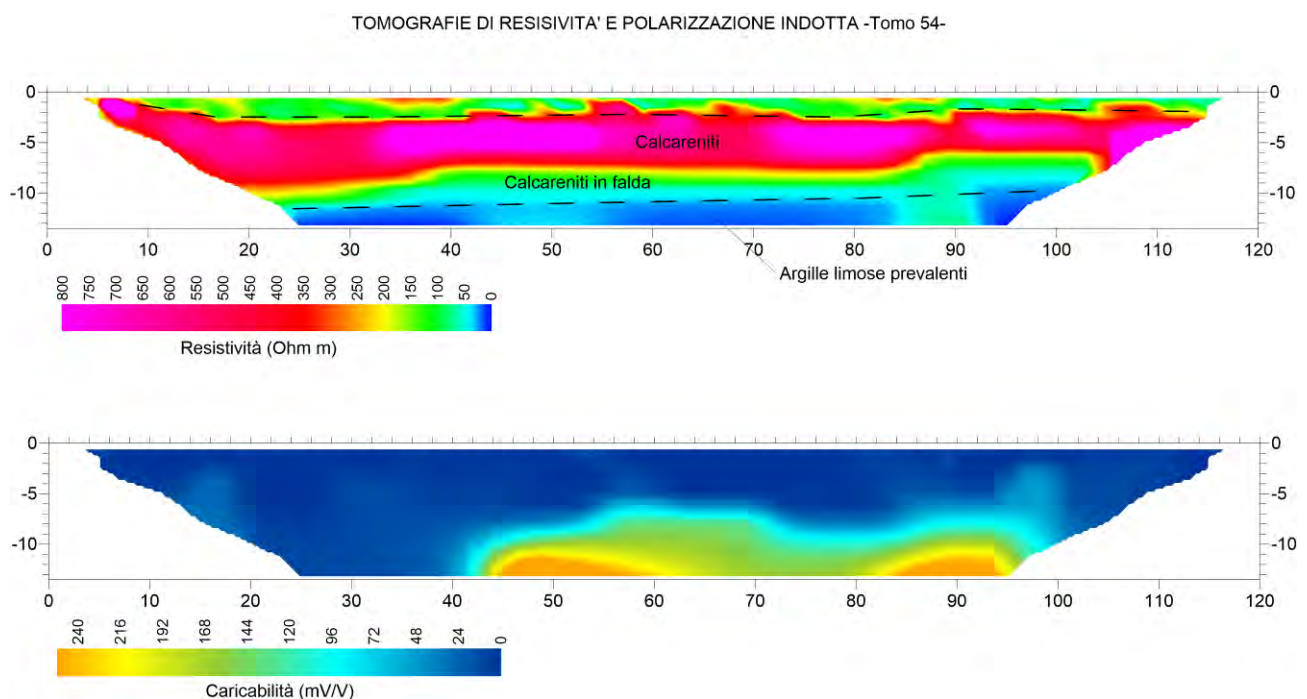
La tomografia 52 è stata eseguita a monte del serbatoio 849, mentre la tomo 53 a valle dello stesso.

Le correlazioni con i sondaggi S119 e S14, hanno consentito di mettere in relazione le variazioni di resistività con le variazioni litologiche. Come anche individuato nelle precedenti indagini non sono state individuate anomalie riscontrate imputabili a contaminazioni di origine idrocarburica: l'ellisse bianca circonda un'area anomala correlabile alla presenza di un sotto servizio.

**TOMOGRAFIE DI RESISTIVITA' - T52****TOMOGRAFIE DI RESISTIVITA' - T53****Figura 29: Profili tomografici n. 52**

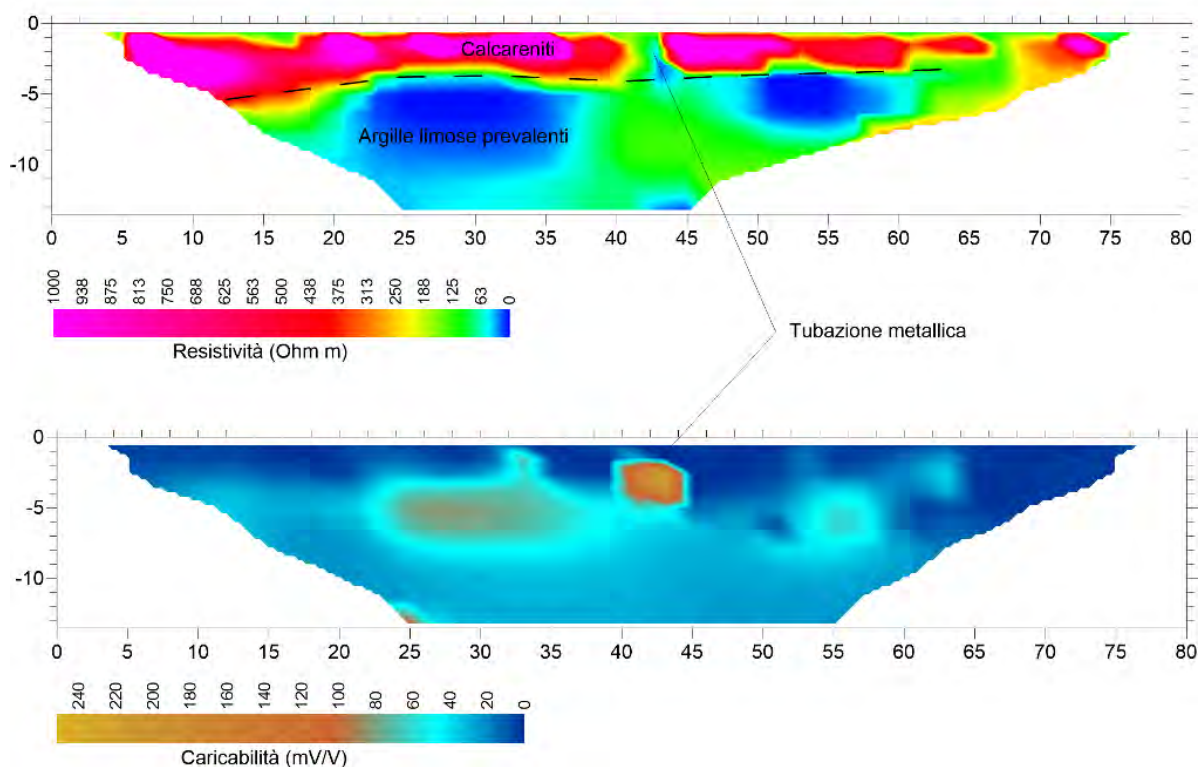
**SERBATOI 5001-5002-5005-5003-5004 (Tomo 54)**

La prospezione Tomo54 ricade sul lato orientale (valle) dell'allineamento dei serbatoi. L'indagine era stata eseguita anche nell'aprile 2018. Complessivamente non si riscontrano variazioni significative sui caratteri elettro stratigrafici rispetto alle misure già eseguite. Vi si osserva una spiccata continuità laterale degli orizzonti elettrici. Sul modello di resistività è ben riconoscibile un primo orizzonte alto-resistivo (valori compresi tra 150 e oltre 500  $\Omega\text{m}$ ) con spessore tra 7 e 8 m, litologicamente attribuibile alle calcareniti affioranti sulla sommità del terrazzo pleistocenico, nella parte più superficiale leggermente più basso-resistivo, forse a causa di processi di alterazione a suolo. L'elettro strato sottostante, che si segue fino alla profondità di 12-13 m, è caratterizzato da valori della resistenza elettrica specifica più bassi, compresi tra 20 e poco oltre 100  $\Omega\text{m}$ , associabili a sabbie limose e argillose e a una probabile totale saturazione del terreno (falda). L'elettro strato più profondo è ancora più basso-resistivo ( $<10 \Omega\text{m}$ ) con valori associabili a termini prevalentemente argillosi. Il modello di Polarizzazione Indotta si adatta alla distribuzione delle resistività elettriche e alle litologie ipotizzate, con valori minimi in corrispondenza delle calcareniti e ben più elevati dove le resistività sono minime, a causa del prevalere dei fillosilicati della componente argillosa. Non si riscontrano valori e distribuzione dei dati elettrici che possano essere indizio di fenomeni di contaminazione, come individuato nelle indagini passate.



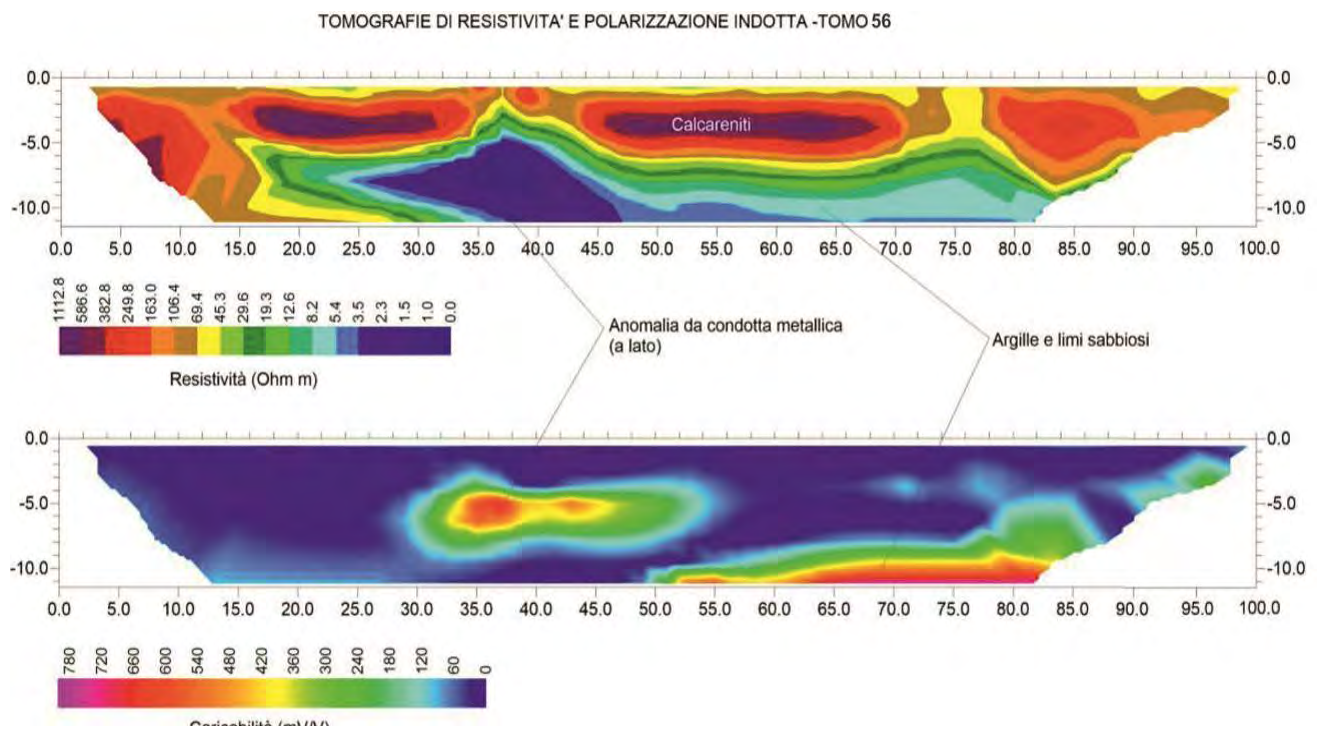
**SERBATOI 5001-5002-5005-5003-5004 (Tomo 55)**

La tomo n.55 è stata realizzata sul lato settentrionale del parco-serbatoi di interesse. Anche in questo caso i dati acquisiti non si discostano in maniera significativa rispetto a quanto acquisito nelle precedenti campagne degli anni 2017- 2018. Si riconosce una distribuzione dei valori di resistività simile a quella della Tomo1, con un orizzonte a resistività medio-alta (150-1100  $\Omega$ m), attribuibile alle calcareniti più o meno cementate. Quindi si passa, a profondità superiori ai 6-7 m, a valori decisamente inferiori, indizi della presenza di componenti pelitiche prevalenti. Da notare di nuovo la presenza di un nucleo basso-resistivo superficiale tra le progressive 45 e 50 m, attribuibile ad una condotta metallica interrata (presumibilmente dell'impianto antincendio), che sembra proseguire oltre (verso Ovest), probabilmente posta a lato dello stendimento elettrodico. Questa ha inficiato la bontà dei dati in questa parte del modello. I dati di caricabilità confermano l'interpretazione vista: i valori massimi si associano ai minimi di resistività (zone delle condotte metalliche). Valori compresi tra 100 e oltre 200 mV/V si osservano nella zona più profonda iniziale della sezione, dove si associano alle litologie pelitiche del substrato argilloso, mentre in corrispondenza dell'alto-resistivo considerato un artefatto di calcolo, non si riscontrano valori anomali. Non si osservano, come anche riscontrato nel 2019, indizi/anomalie associabili a fenomeni di contaminazione.

**TOMOGRAFIE DI RESISIVITA' E POLARIZZAZIONE INDOTTA -Tomo 55-**

**Figura 31: Profili tomografici n. 55**

**SERBATOI 5001-5002-5005-5003-5004 (Tomo 56)**

Lo stendimento tomografico n. 56 è stato eseguito sul lato occidentale dell'allineamento dei serbatoi, in direzione N-S. Anche in questo caso è stata individuata una condotta metallica (alimentazione idranti) ad andamento parallelo presente nella parte iniziale della stesa elettrodica, già riscontrata nella precedente indagine. Sul modello si riconosce comunque una distribuzione di resistività che rispecchia l'assetto stratigrafico già visto nei precedenti; con un primo orizzonte alto-resistivo associabile alle calcareniti, con spessore compreso tra 6 e 8 m, quindi si passa alle peliti, via via meno resistive con la profondità, indizio dell'aumento della componente argillosa. I valori di caricabilità sono ben correlabili con la distribuzione delle litologie ipotizzate, con valori minimi in corrispondenza delle calcareniti (5-60 mV/V) con l'aumento nella parte bassa del modello (300-650 mV/V) e in una fascia tra le progressive 30-52 m, che si correla a quella basso-resistiva a media profondità, evidentemente dovuta ad una condotta metallica presente a lato. Si riscontrano le stesse caratteristiche della precedente campagna di indagine (anno 2019), pertanto si riconferma che non si riscontrano evidenze geofisiche che possano essere indizio di fenomeni di contaminazione.

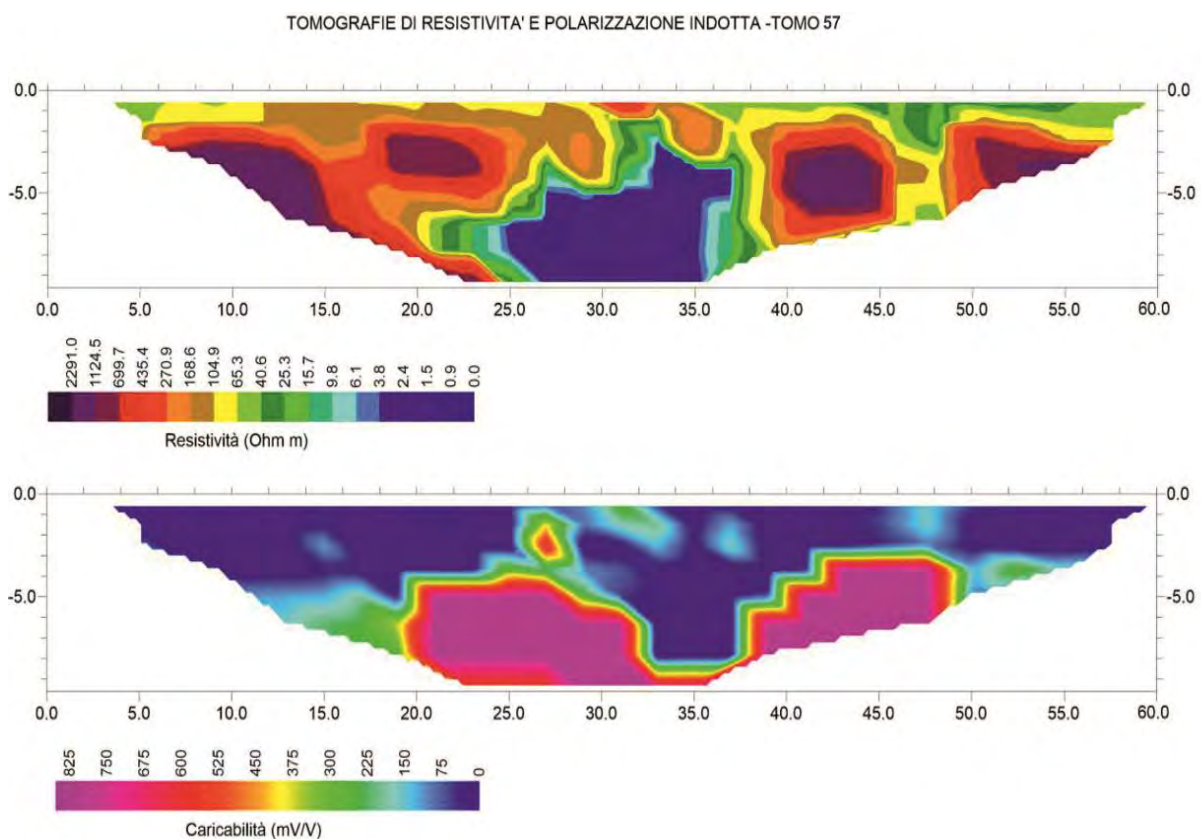


**Figura 32: Profili tomografici n. 56**



**SERBATOI 5001-5002-5005-5003-5004 (Tomo 57)**

I dati acquisiti nello stendimento tomografico n.57 sono risultati anche quest'anno, fortemente disturbati dalla probabile presenza di una o più condotte metalliche oblique rispetto all'allineamento della prospezione. L'inversione, pur con vari tentativi di filtraggi, come anche confermato dalla precedente campagna di geofisica del 2019, non ha prodotto modello affidabili e interpretabili (errore RMS >70%). Come si può osservare dai modelli allegati i valori dei parametri elettrici risultano irrealistici rispetto al contesto di indagine.

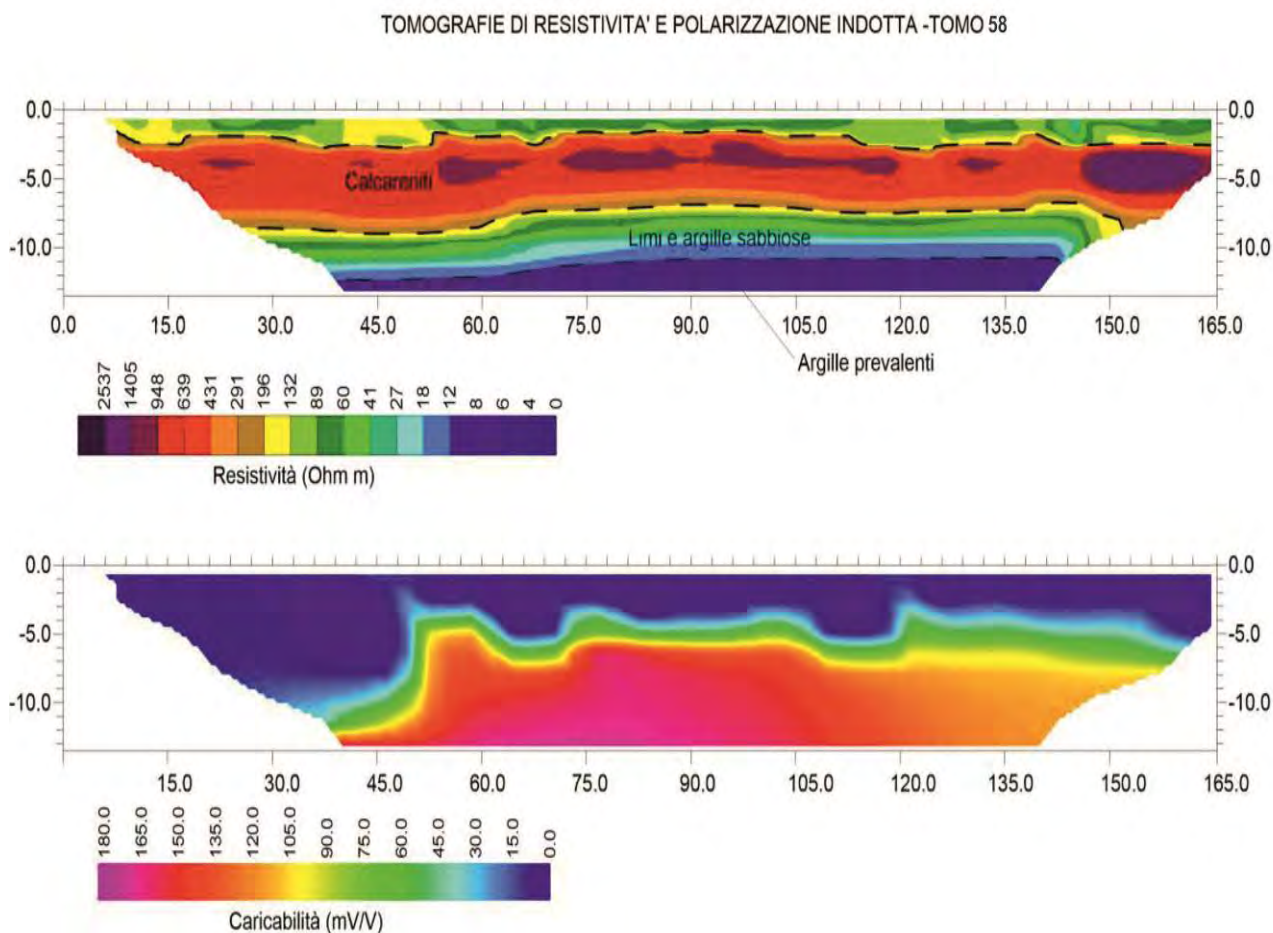


**Figura 33: Profili tomografici n. 57**

**SERBATOI 5001-5002-5005-5003-5004 (Tomo 58)**

La prospezione *Tomo 58* è stata eseguita parallelamente alla Tomo 54 a valle di essa.

Anche in questa tomografia, si osserva una spiccata continuità laterale degli orizzonti elettrici, si osserva un primo orizzonte alto-resistivo (valori compresi tra 150 e oltre 1000  $\Omega\text{m}$ ) con spessore tra 7 e 8 m, litologicamente attribuibile alle calcareniti affioranti sulla sommità del terrazzo pleistocenico, nella parte più superficiale leggermente più basso-resistivo. L'elettro strato sottostante, che si segue fino alla profondità di 12-13 m, è caratterizzato da valori della resistenza elettrica specifica più bassi, compresi tra 20 e poco oltre 100  $\Omega\text{m}$ , associabili a sabbie limose e argillose. Anche in questo caso l'elettro strato più profondo è ancora più basso-resistivo (<10  $\Omega\text{m}$ ) con valori associabili a termini prevalentemente argillosi. Pertanto anche quest'anno, come dal 2019 non si riscontrano valori e distribuzione dei dati elettrici che possano essere indizio di fenomeni di contaminazione.



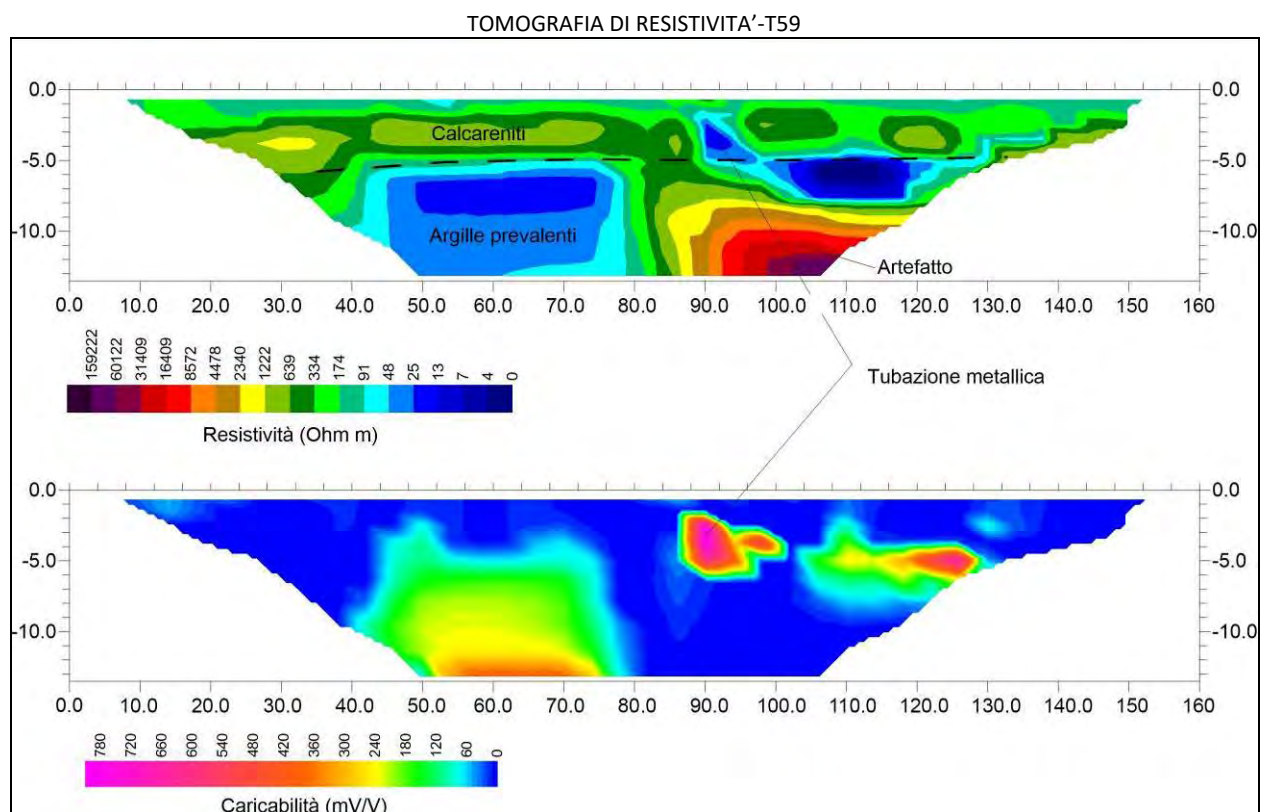
**Figura 34: Profili tomografici n. 58**

**SERBATOI 5001-5002-5005-5003-5004 (Tomo 59)**

La prospezione *Tomo 59* è stata eseguita parallelamente alla Tomo 2 ed a monte di essa.

Si riconosce una distribuzione dei valori di resistività simile a quella della *Tomo1*, con un orizzonte a resistività medio-alta (150-1100  $\Omega$ m), attribuibile alle calcareniti più o meno cementate. A profondità superiori ai 6-7 m, si passa a valori decisamente inferiori, dovuti alla presenza di componenti pelitiche prevalenti. Anche in questa sezione, come nell'elaborazione del 2019 si individua una condotta metallica interrata (presumibilmente dell'impianto antincendio).

I dati di caricabilità confermano l'interpretazione vista: i valori massimi si associano ai minimi di resistività (zone delle condotte metalliche). Valori compresi tra 100 e oltre 300 mV/V si osservano nella zona più profonda iniziale della sezione, dove si associano alle litologie pelitiche del substrato argilloso, mentre in corrispondenza dell'alto-resistivo considerato un artefatto di calcolo, non si riscontrano valori anomali. Anche in questa sezione non si osservano indizi/anomalie associabili a fenomeni di contaminazione.

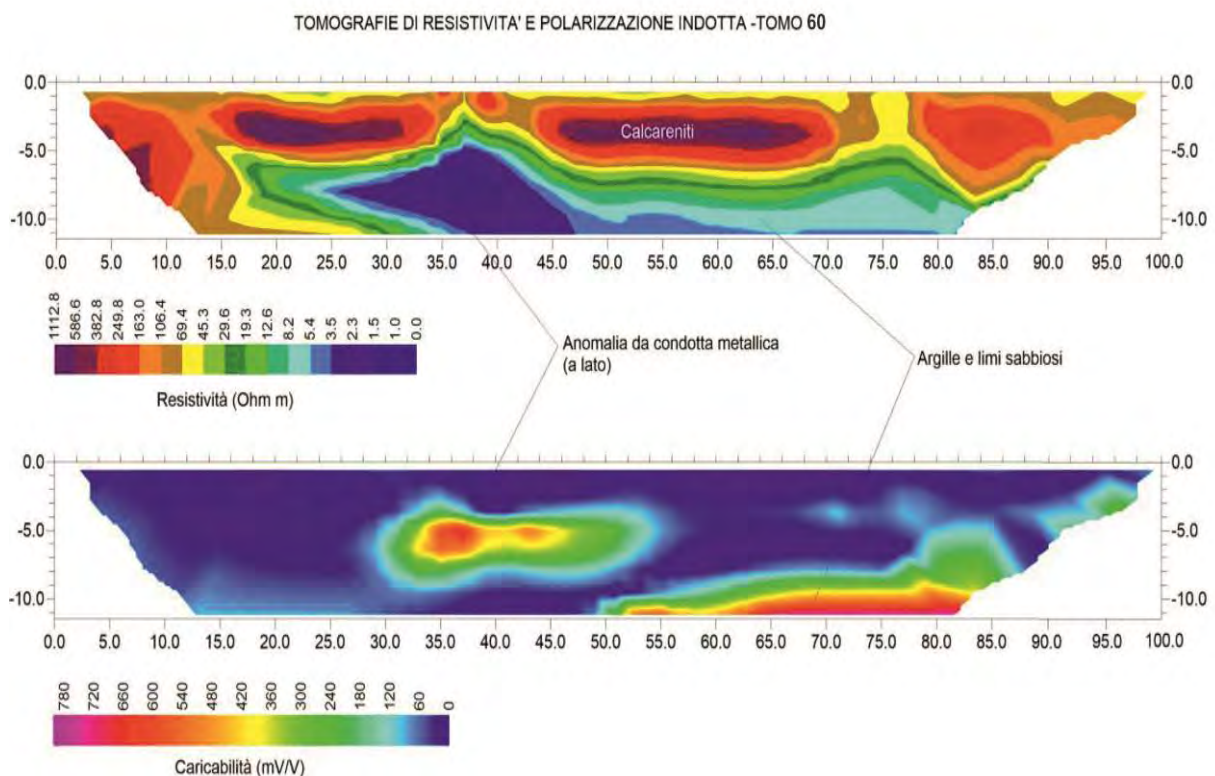


**Figura 35: Profili tomografici n. 59**

**SERBATOI 5001-5002-5005-5003-5004 (Tomo 60)**

La sezione 60 realizzata parallelamente alla Tomo 56, si sviluppa sul lato occidentale dell'allineamento dei serbatoi. Le misure sono state in parte inficiate dalla presenza di una condotta metallica (alimentazione idranti) ad andamento parallelo presente nella parte iniziale della stesa elettrodica.

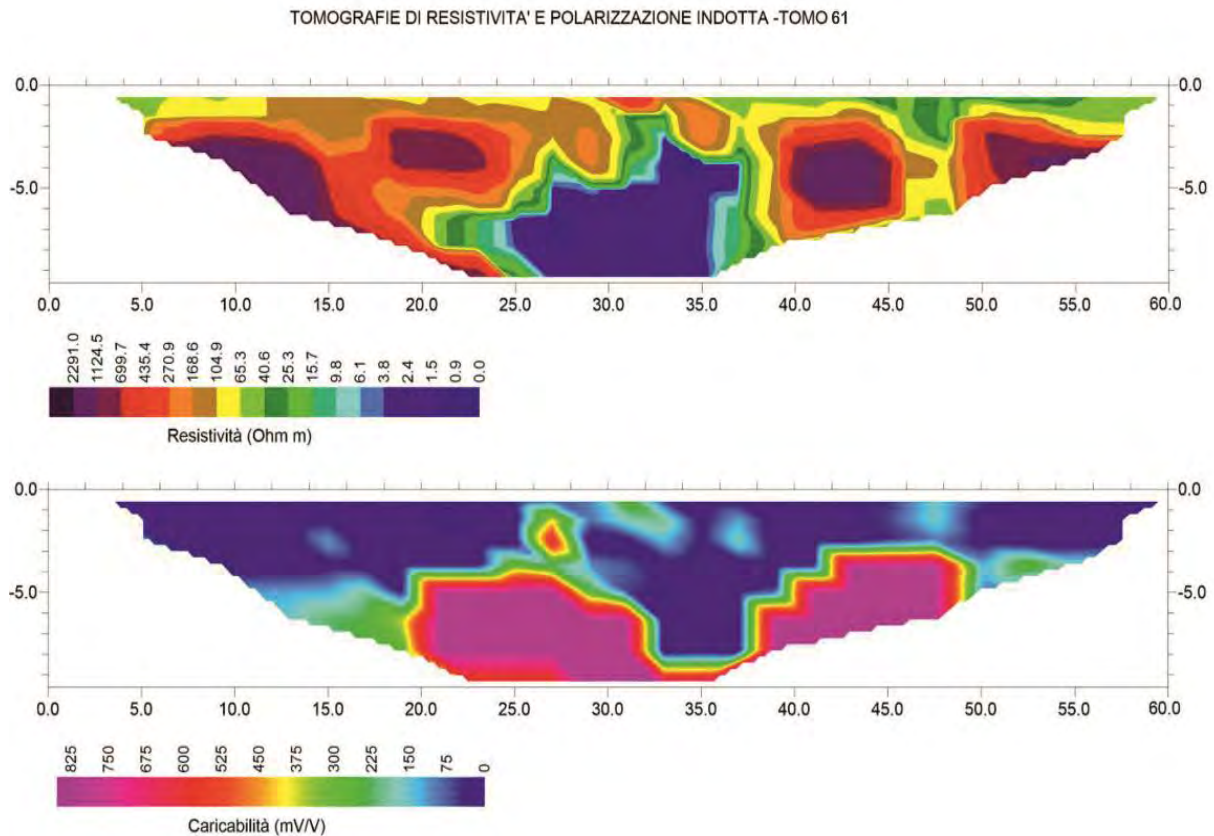
Sul modello si riconosce comunque una distribuzione di resistività che rispecchia l'assetto stratigrafico già visto nei precedenti; con un primo orizzonte alto-resistivo associabile alle calcareniti, con spessore compreso tra 6 e 8 m, quindi si passa alle *peliti*, via via meno resistive con la profondità, indizio dell'aumento della componente argillosa. I valori di caricabilità sono ben correlabili con la distribuzione delle litologie ipotizzate, con valori minimi in corrispondenza delle calcareniti (5-60 mV/V) con l'aumento nella parte bassa del modello (300-650 mV/V) e in una fascia tra le progressive 30-52 m, che si correla a quella basso-resistiva a media profondità, evidentemente dovuta ad una condotta metallica presente a lato. Pertanto i dati tomografici riconfermano come nell'anno 2019 che non si riscontrano evidenze geofisiche che possano essere indizio di fenomeni di contaminazione.



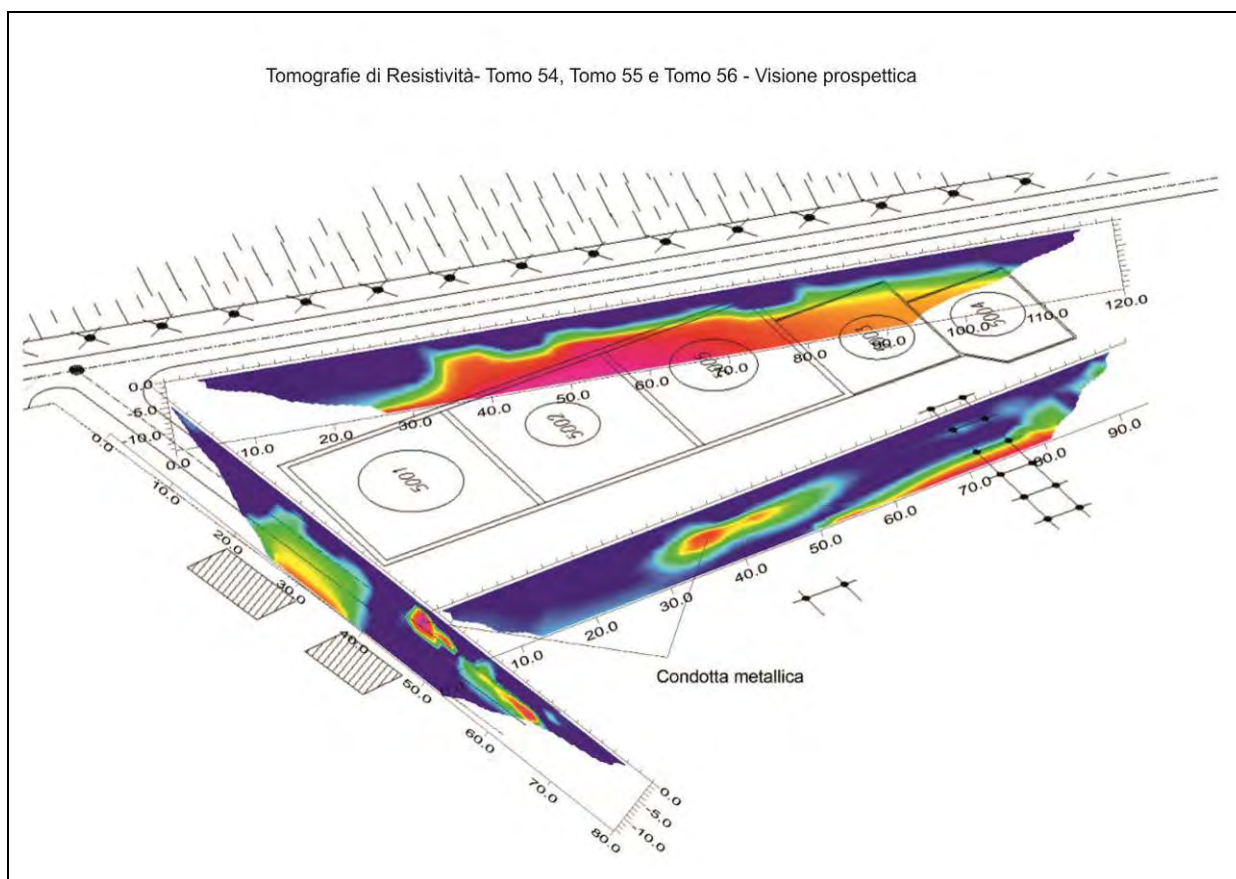
**Figura 36: Profili tomografici n. 60**

**SERBATOI 5001-5002-5005-5003-5004 (Tomo 61)**

Anche nella tomografia n.61 risultano fortemente disturbati, come anche individuato nelle indagini passate, dalla probabile presenza di una o più condotte metalliche oblique rispetto all'allineamento della prospezione. L'inversione, pur con vari tentativi di filtraggi, non ha prodotto modello affidabili e interpretabili (errore RMS >70%). Come si può osservare dai modelli allegati i valori dei parametri elettrici risultano irrealistici rispetto al contesto di indagine.



**Figura 37: Profili tomografici n. 61**



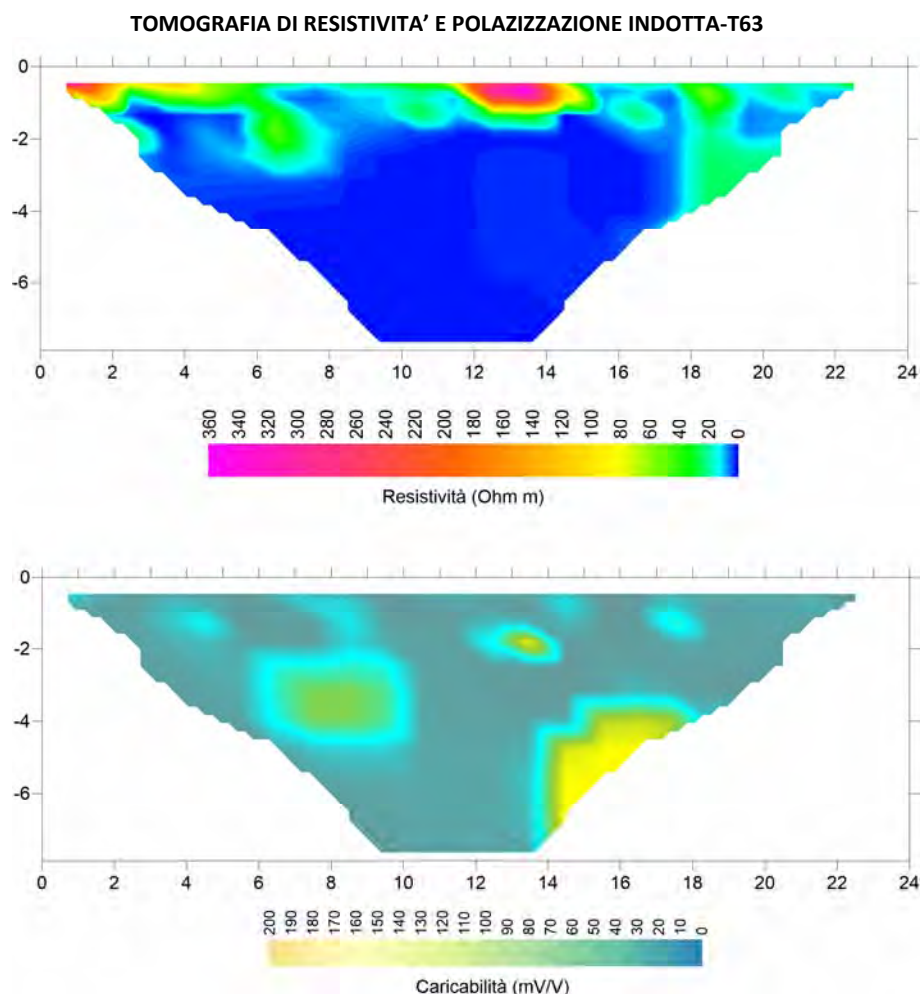
**Figura 38: Visione prospettica profili 54-55-56**

### **SERBATOI S691-S692 (Tomo 62-63-64-65)**

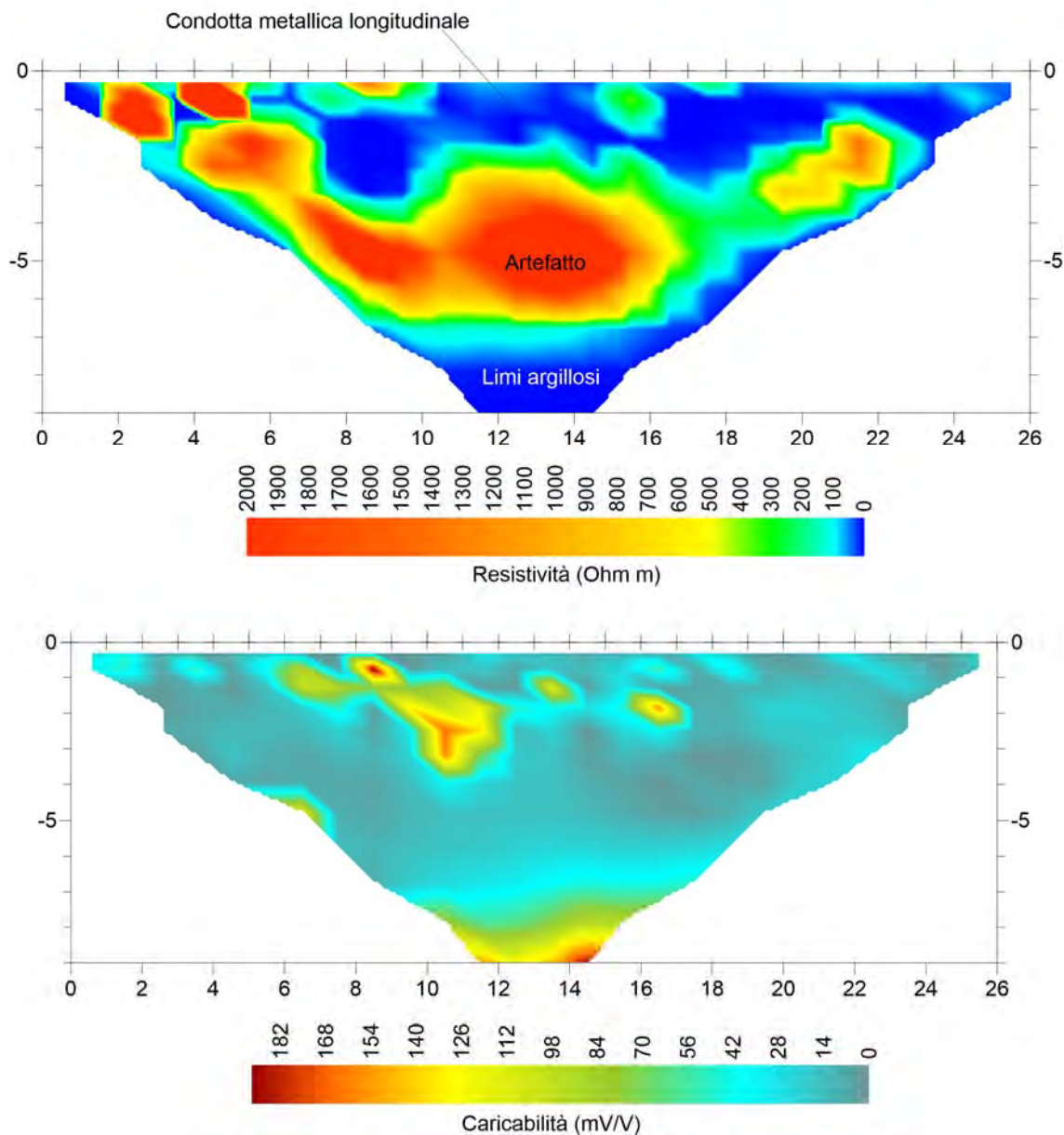
La disposizione delle linee di misura è stata eseguita con le stesse geometrie realizzate nell'Ottobre 2019. Queste sono state condizionate dalla presenza di numerosi ostacoli, quali la cementazione delle superfici interne alla piattaforma dove sono alloggiati i serbatoi, la presenza di pozzetti e strutture ingombranti. E' stato comunque possibile realizzare prospezioni in tre lati rispetto al sito di alloggio delle cisterne, due delle quali ricadenti sulla "Strada 1" (T63 e T62), posta a Nord dell'area di ricerca, un altro stendimento è stato eseguito a Ovest, sfruttando una stretta fascia di terreno affiorante, presente appena a lato dei serbatoi di interesse (T63). Infine, la quarta linea di acquisizione, è stata eseguita sulla strada interna, appena a Est dal bacino dei due serbatoi, sfruttando i fori già eseguiti nel manto stradale nel 2019, al fine di raggiungere il terreno con gli elettrodi di misura. La modellazione geoelettrica del sottosuolo è stata eseguita, quindi, attraverso i dati acquisiti da configurazioni elettrodiche lineari, con letture di potenziale in linea sulle quattro stese elettrodiche, realizzate con spaziatura di 1.0 m.

Come nella precedente campagna di misure, delle quattro prospezioni eseguite, tre di esse (T63, T64 e T65) hanno fornito dati di buon livello qualitativo, quindi interpretabili per gli scopi della ricerca, mentre per la linea T62, eseguita lungo la Strada 1, la bontà dei dati è stata inficiata dalla presenza di elementi di

disturbo, che hanno determinato la nascita di artefatti nel processo di elaborazione; il motivo è dovuto alla presenza di una condotta metallica parallela alla stesa elettrodoica. Nei tre modelli menzionati si osserva un contesto elettro stratigrafico caratterizzato da un primo orizzonte, spesso poco più di un metro, con resistività elettrica medio-alta, con valori compresi tra 15 e 50  $\Omega\text{m}$ , associabili ad una coltre sabbioso-limoso; all'interno di questo orizzonte si osservano alcune anomalie alto-resistive, imputabili a lievi aumenti della granulometria o, più spesso, ad elementi antropici perturbanti, quali pozzetti e intercapedini vuote, come quella presente sulla linea N1 tra le progressive 14 e 16 m. Al di sotto di questa coltre i valori di resistività sono più bassi, in genere inferiori a 15  $\Omega\text{m}$ , riconducibili quindi a limi più o meno argillosi. Locali aumenti di resistività sono associabili alla presenza di una componente sabbiosa nel sedimento. La caricabilità elettrica per polarizzazione indotta ben si correla con la distribuzione litologica descritta, con una tendenza ad aumentare in valore, al decrescere della resistività; evidentemente correlata all'aumento dei minerali fillosilicatici (argille). Non si osservano anomalie caratterizzate da valori elevati di resistività e caricabilità, per cui si osservano indizi sulla presenza di condizioni di inquinamento da idrocarburi. I modelli in essere in linea qualitativa e quantitativa comparabili a quelli acquisiti nelle misurazioni eseguite nell'ottobre 2019.

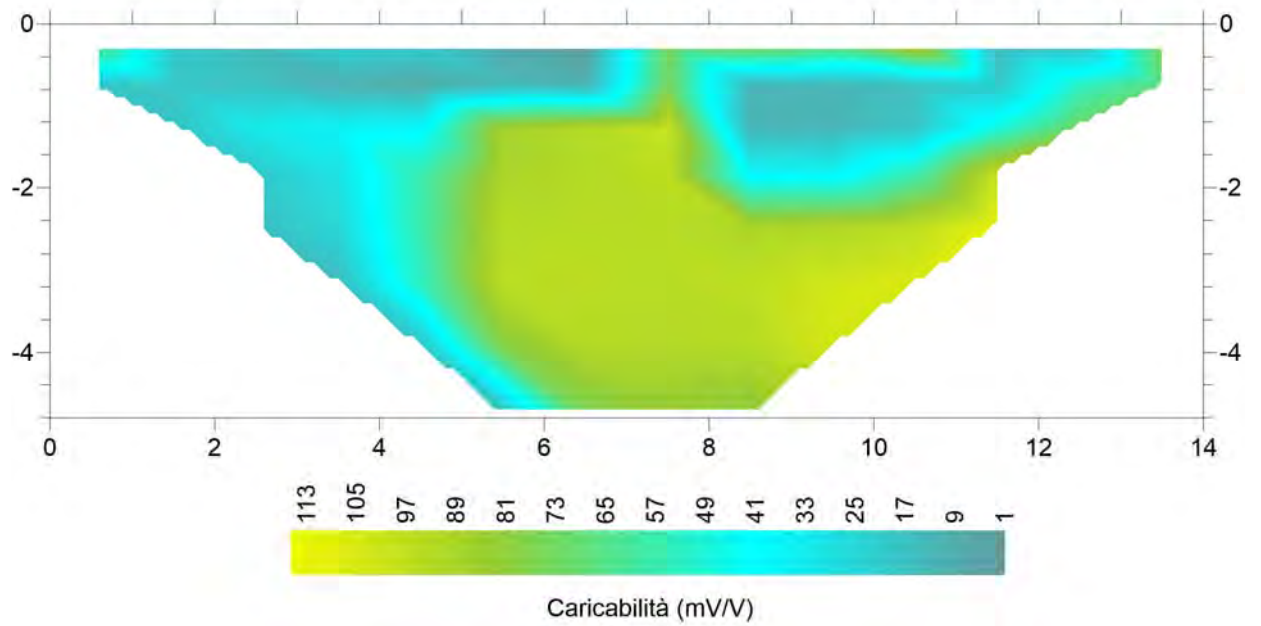
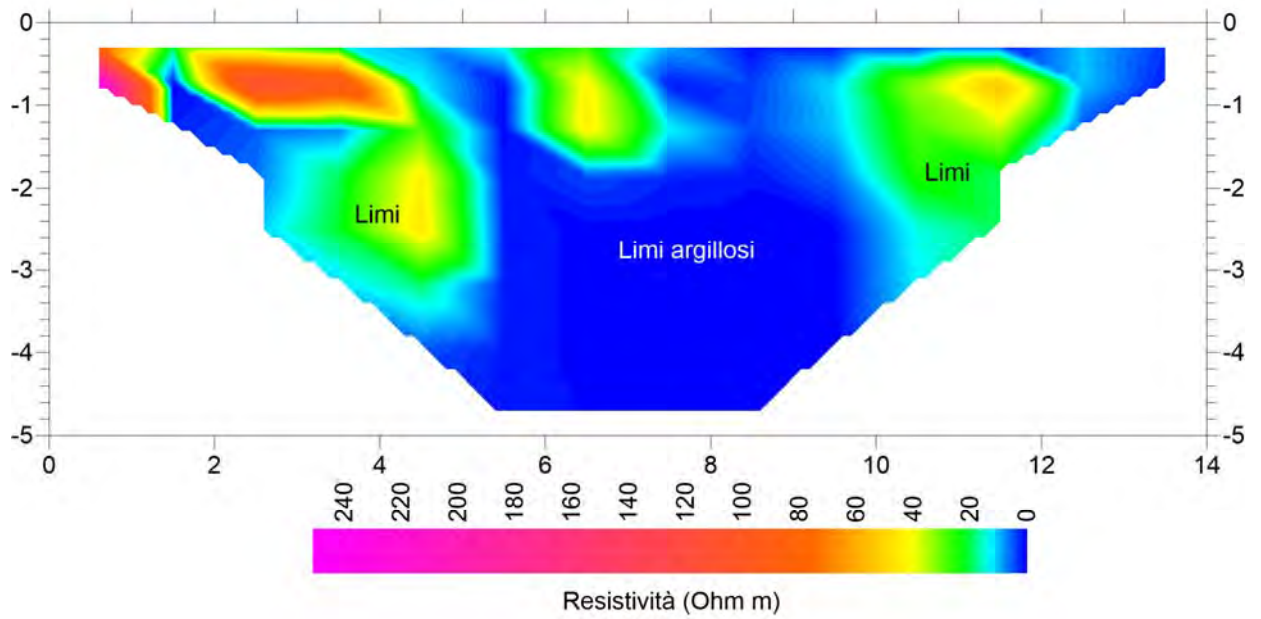


### TOMOGRAFIA DI RESISTIVITA' E POLAZIZZAZIONE INDOTTA-T62





TOMOGRAFIA DI RESISTIVITA' E POLAZIZZAZIONE INDOTTA-T64



TOMOGRAFIA DI RESISTIVITA' E POLAZIZZAZIONE INDOTTA-T65

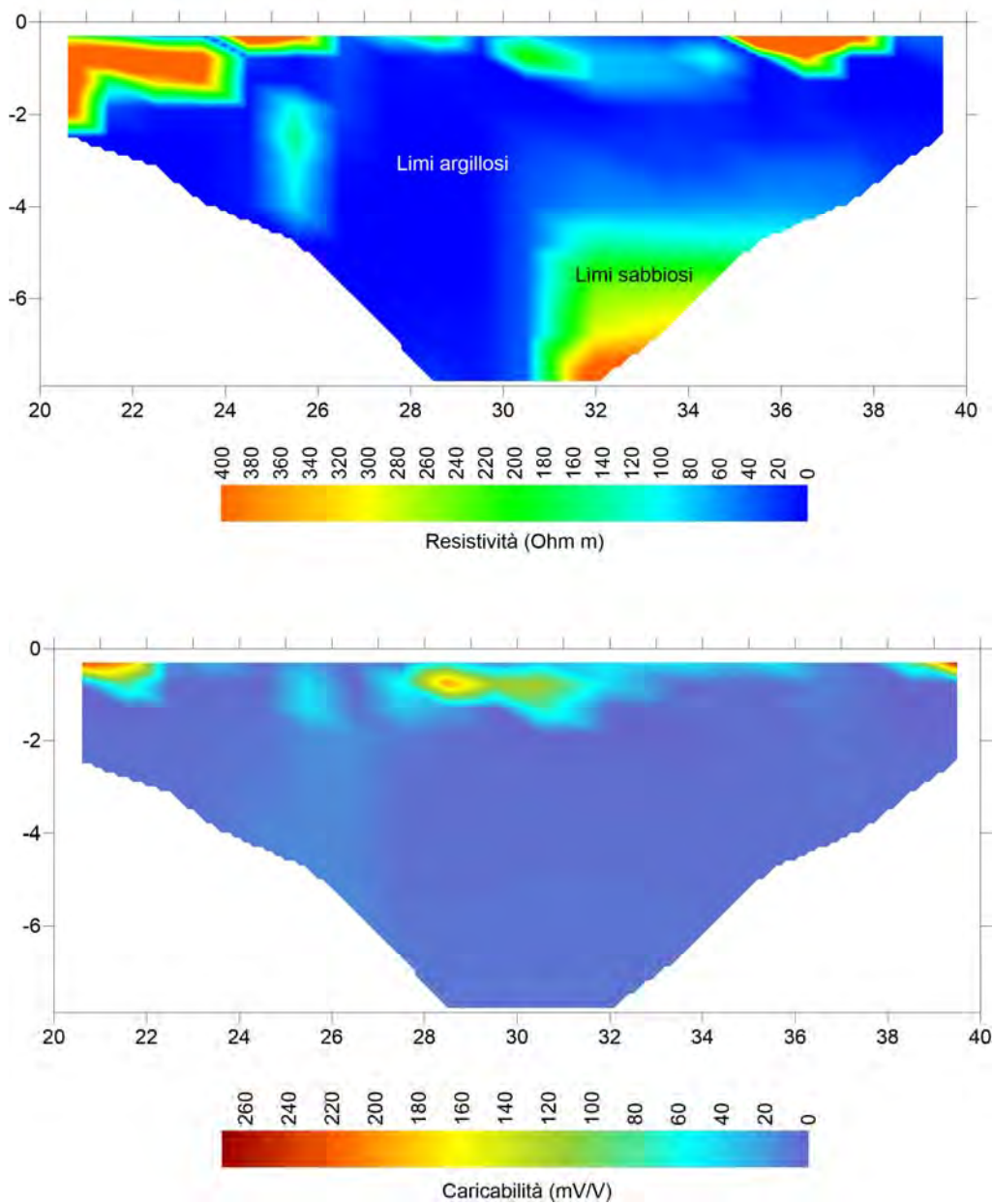


Figura 39: Profili tomografici n. 62, 63, 64, 65

## 6. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI IN TOMOGRAFIA 3D

Al fine di poter avere un maggior dettaglio dell'area al di sotto dei vari serbatoi e, poter comparare il dato ottenuto con quello delle precedenti campagne tomografiche, sono state utilizzate le stesse conformazioni degli stendimenti aventi lo stesso punto di origine e lo stesso passo.

La misura della resistività elettrica del sottosuolo può essere ottenuta posizionando in superficie un dispositivo quadripolare costituito da una coppia di elettrodi (detti di energizzazione), solitamente indicati con C1 e C2, e da una seconda coppia di elettrodi (detti di potenziale), indicati con P1 ed P2.

Attraverso la misura della corrente elettrica che circola nel terreno e immessa nello stesso, mediante gli elettrodi di corrente (C1 C2), e misurando il potenziale che si viene a determinare ai capi degli elettrodi di potenziale (P1 P2) a causa della corrente immessa, è possibile stimare la resistività elettrica apparente ( $\rho_a$ ) mediante la seguente relazione:

$$(1) \quad \rho_a = k (\Delta V/I),$$

dove  $k$  è il fattore geometrico ed è pari ad:

$$(2) \quad k = 2\pi / (1/r_1 - 1/r_2 - 1/r_3 + 1/r_4),$$

e dipende esclusivamente dalla posizione degli elettrodi di corrente rispetto a quelli di potenziale ( $r_1, r_2, r_3, r_4$  indicano le posizioni degli elettrodi).

Le acquisizioni 3D possono essere fatte disponendo gli elettrodi su griglie regolari (fig. 40) acquisendo i dati sia lungo le linee che sulle diagonali oppure, nel caso si abbia la necessità di acquisire al di sotto dei serbatoi ove vi è poco spazio (come nel caso oggetto di studio), gli elettrodi sono disposti ad L in modo che ripetendo due volte la L si circoscriva il manufatto oggetto di indagine (fig. 41). Opportuni software consentono di costruire le sequenze di misure dei dati.

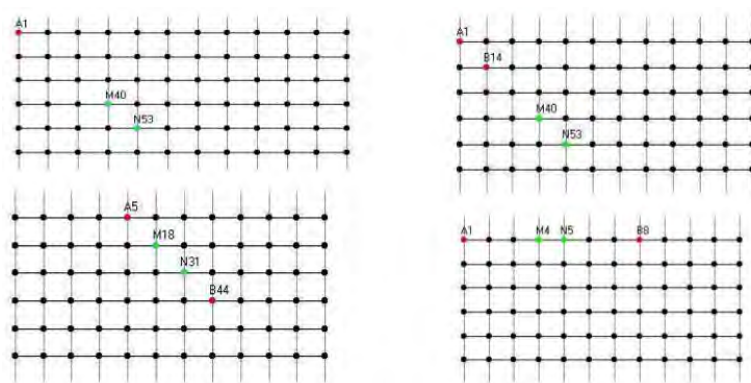


Figura 40: Schema di acquisizione 3D su griglie regolari

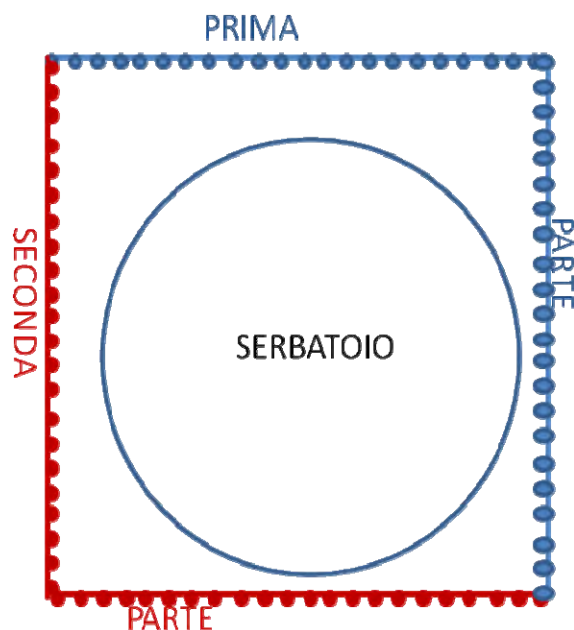


Figura 41: Schema di acquisizione 3D disponendo gli elettrodi lungo una L. ripetendo l'acquisizione due volte si circonda il serbatoio.

### 5.1 INVERSIONE DEI DATI – ALGORITMO DI LOKE AND BARKER

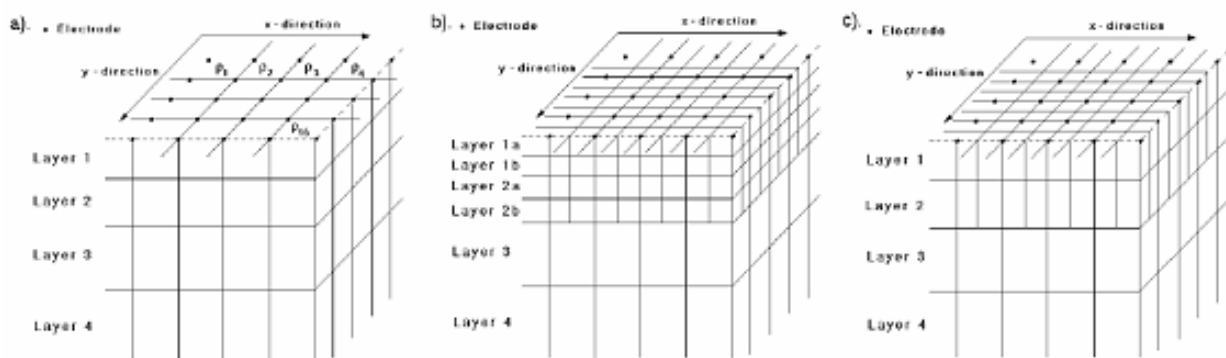
L'algoritmo di inversione utilizzato per ottenere l'andamento delle resistività reali nel sottosuolo, è quello scritto da Loke and Barker nel 1996 ed è quello più utilizzato in letteratura. Trattasi di un metodo iterativo basato sulla deconvoluzione ai minimi quadrati e sullo sviluppo in serie di Taylor arrestato al primo ordine. Con questo algoritmo i dati possono essere elaborati considerando varie tipologie di inversione. Trascorrendo gli aspetti teorici del metodo e delle leggi che sono alla base di tale algoritmo, è opportuno sottolineare che il primo passo da fare consiste nel definire un modello iniziale che è ottenuto discretizzando il sottosuolo in un numero di celle, le cui dimensioni sono legate ai parametri geometrici scelti in fase di acquisizione. Ad ogni cella, è assegnato, automaticamente dal programma o a discrezione dell'operatore, un valore di resistività reale stimato considerando i valori misurati di resistività o inserendo, se note, delle informazioni a priori relative alla zona di indagine. Definito tale modello, con l'algoritmo suddetto, è possibile valutare la risposta che si otterrebbe se il sottosuolo investigato fosse rappresentato proprio dal modello iniziale ricostruito. Quanto il sistema converge significa che il modello di sottosuolo ricostruito è prossimo a quello reale. Il dettaglio con il quale si riesce a discriminare le variazioni di resistività del sottosuolo e quindi si possono discriminare le diverse strutture o corpi presenti nel sottosuolo, dipendono dalla distanza minima tra gli elettrodi di misura.

Nella discretizzazione tridimensionale, il sottosuolo è diviso in diversi strati e ogni strato è a sua volta suddiviso in celle a forma di parallelepipedo. Lo spessore di ciascuno strato si ottiene dalla seguente forma:

$$\Delta z_k = ia[1 + kc]$$

in cui  $i$  è la distanza interelettrodica,  $a$  è un coefficiente caratteristico di ciascun dispositivo elettrodo (<1) e  $c$  è un fattore di incremento (<1).

Gli elettrodi in superficie individuano i vertici della faccia superiore dei parallelepipedi del primo strato (Loke e Barker, 1996b). Normalmente sono utilizzati dei modelli in cui la larghezza delle celle è uguale alla spaziatura tra gli elettrodi adiacenti. Quando, però, in prossimità della superficie ci sono forti variazioni di resistività, per ottimizzare i risultati possono essere utilizzate delle spaziature più piccole. Naturalmente ridurre le dimensioni delle celle, significa aumentare il numero dei parametri da definire facendo aumentare il tempo di elaborazione dei dati. È possibile verificare che, nella maggior parte dei casi, utilizzare celle di larghezza pari a metà della spaziatura tra gli elettrodi sembra dare migliori risultati; utilizzare celle di larghezza pari a 1/3 della spaziatura sono efficaci solo per gli stendimenti eseguiti con dispositivo polo-dipolo e dipolo-dipolo con valori di  $n$  molto grandi; diminuendo ancora le celle si giunge ad una instabilità nei valori del modello. Il miglior compromesso si raggiunge utilizzando, quando i dati non sono molti, nell'utilizzare una cella le cui dimensioni siano pari alla metà del passo di campionamento.



**Figura 42:** Tre possibili schemi di suddivisione del sottosuolo a) modello primario b) modello in cui i primi strati sono divisi sia lungo il piano orizzontale che verticale c) modello in cui i primi strati sono divisi solo secondo il piano orizzontale

## SERBATOIO 8043

In riferimento a tale serbatoio, non è stato possibile effettuare la misura tomografica elettrica per la presenza della pavimentazione del bacino in conglomerato cementizio.

Eventuali stendimenti avrebbero richiesto la demolizione e ricostruzione del calcestruzzo armato, con la realizzazione di un nuovo giunto e quindi un elemento di discontinuità della pavimentazione stessa, riducendo così il livello di sicurezza e di impermeabilizzazione esistente.

Atteso che la pavimentazione è in materiale rigido ed impermeabile, e che i serbatoi sono continuamente monitorati e dotati di doppio fondo (secondo quanto comunicato dalla Sasol Italy SpA) si deve escludere possibile perdita verso il sottofondo.



**Figura 43: Particolare della pavimentazione in cemento del bacino di contenimento**

## SERBATOIO 8035-8036

La modellazione geoelettrica 3D del sottosuolo, come nelle precedenti campagne di indagine, è stata eseguita attraverso i dati acquisiti da configurazioni elettrodeiche su linee incrociate a forma di "L", eseguendo le letture di potenziale sia in linea sia tra gli array di elettrodi, con spaziatura di 2.0 m, tra loro perpendicolari. Essendo i due serbatoi contigui, le misure ad essi pertinenti sono state accorpate in un unico volume nel quale è stata operata l'elaborazione a software (inversione).

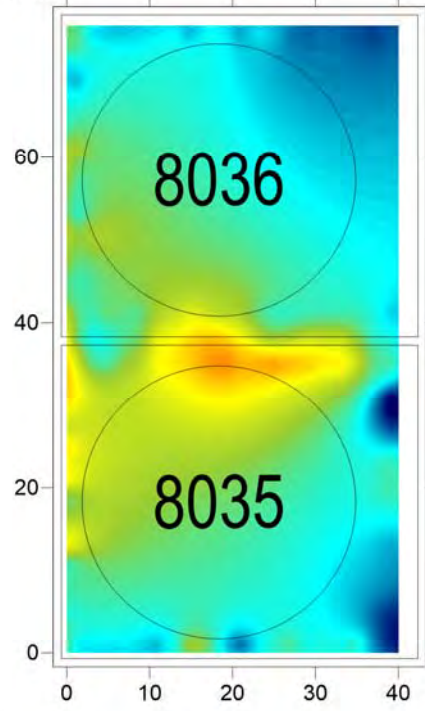
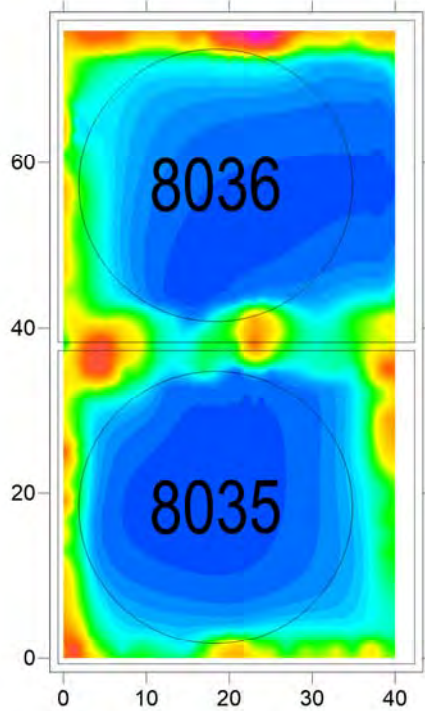
Per quanto tendenzialmente si osservi una generale diminuzione dei valori di resistività con la profondità e l'aumento della caricabilità elettrica, i modelli presentano discrete variazioni laterali. Questo è particolarmente evidente negli orizzonti più superficiali, dove si osservano brusche variazioni dei due parametri elettrici. Questa condizione è riconducibile alla presenza di elementi metallici perturbanti presenti ai lati delle linee di acquisizione (tubazioni, pozzetti, fondazioni dei muri perimetrali dei bacini).

Altro aspetto evidente è l'associazione inversa delle anomalie di resistività e caricabilità (dove aumenta l'una, si osserva la diminuzione dell'altra grandezza). Mentre non si rinvenivano anomalie associate di elevata resistività elettrica e caricabilità quali quelle attese nel caso di fenomeni di contaminazione da idrocarburi. Rispetto alle precedenti campagne di misura, si osservano solo leggere variazioni in valore assoluto dei parametri elettrici e il venir meno di alcune anomalie artefatti di polarizzazione indotta, anche in relazione ad un più efficace algoritmo di inversione nei software aggiornati (*Res 3DInv V. 3.18.2*), mentre si rileva una correlazione tra i vari modelli ottenuti nei differenti momenti temporali.

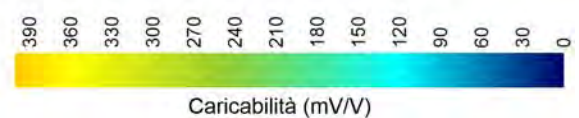
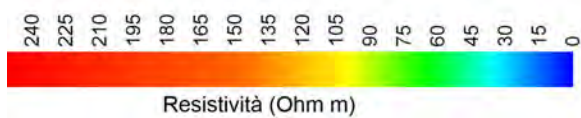
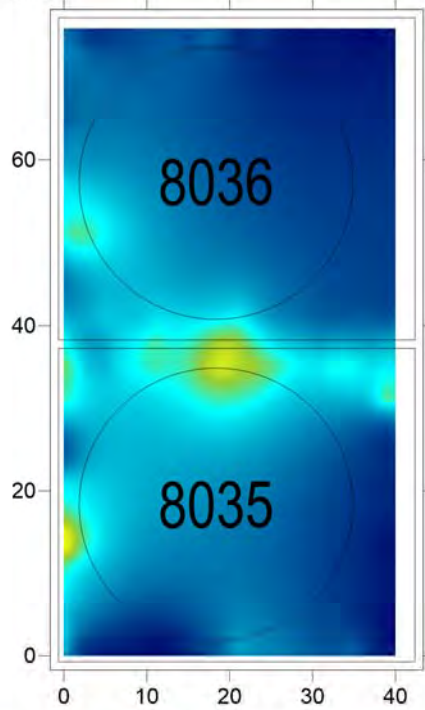
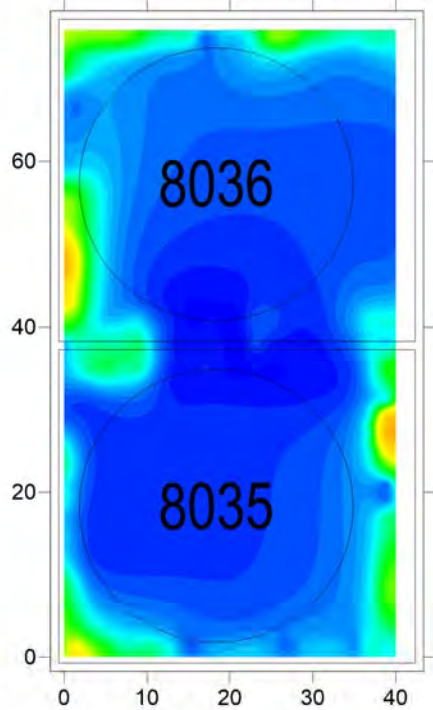
PIANI DI RESISTIVITA'

PIANI DI CARICABILITA'

Profondità = 0.50 m



Profondità = 1.40 m





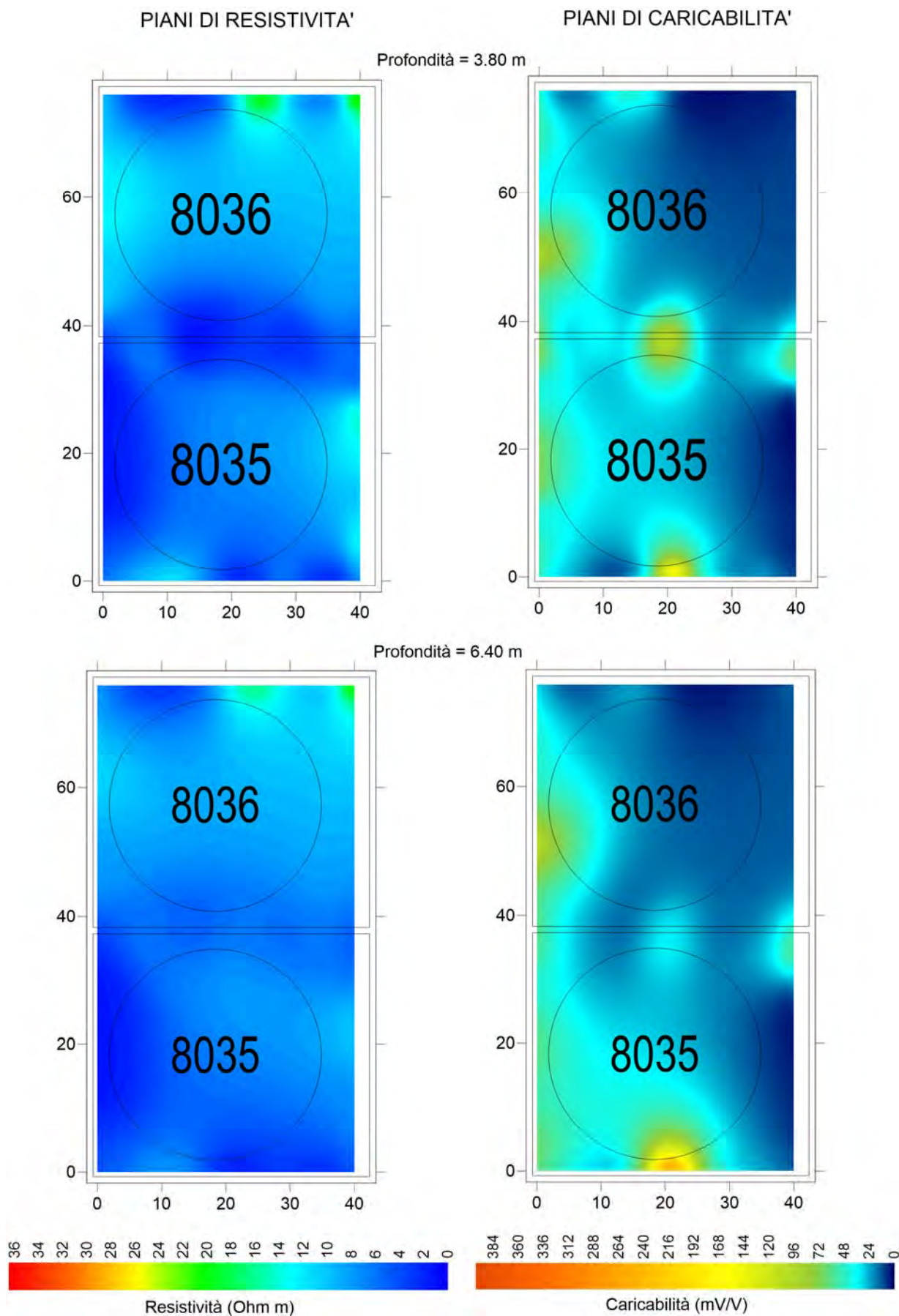
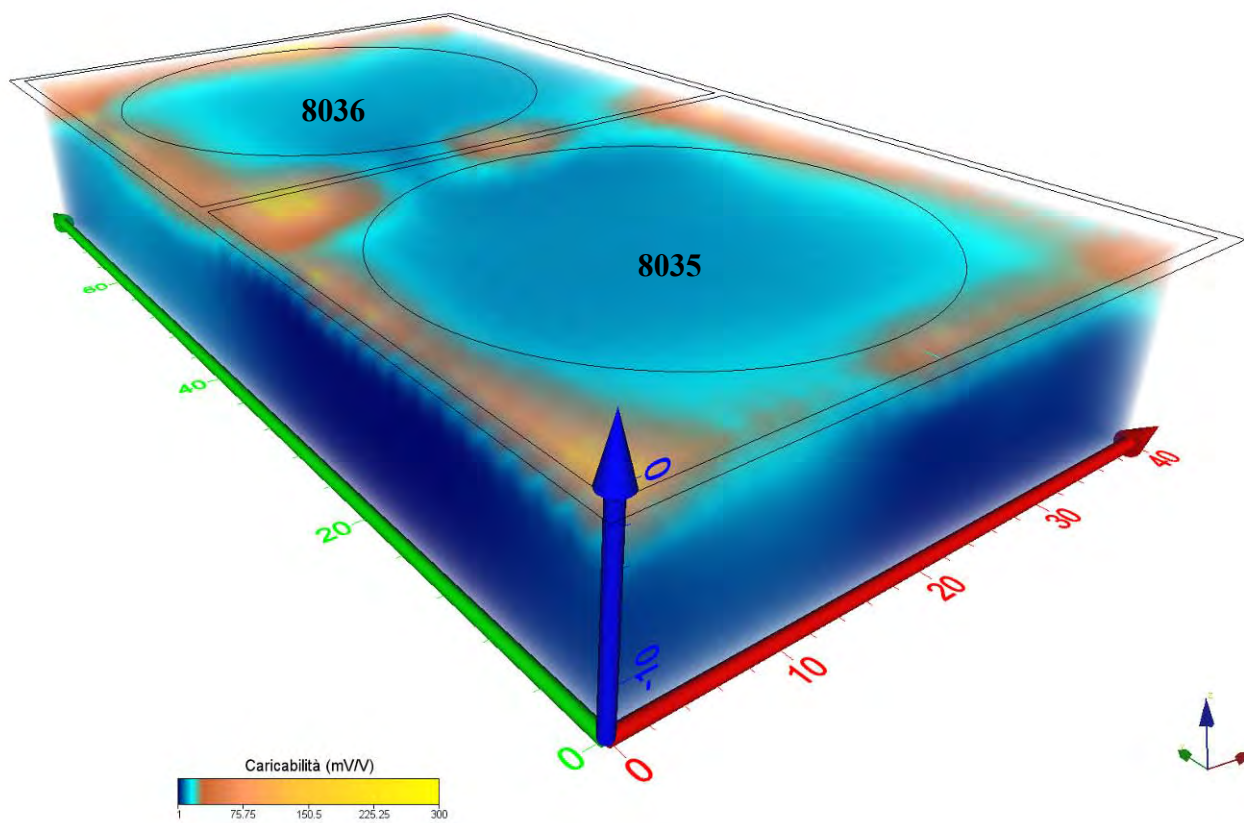
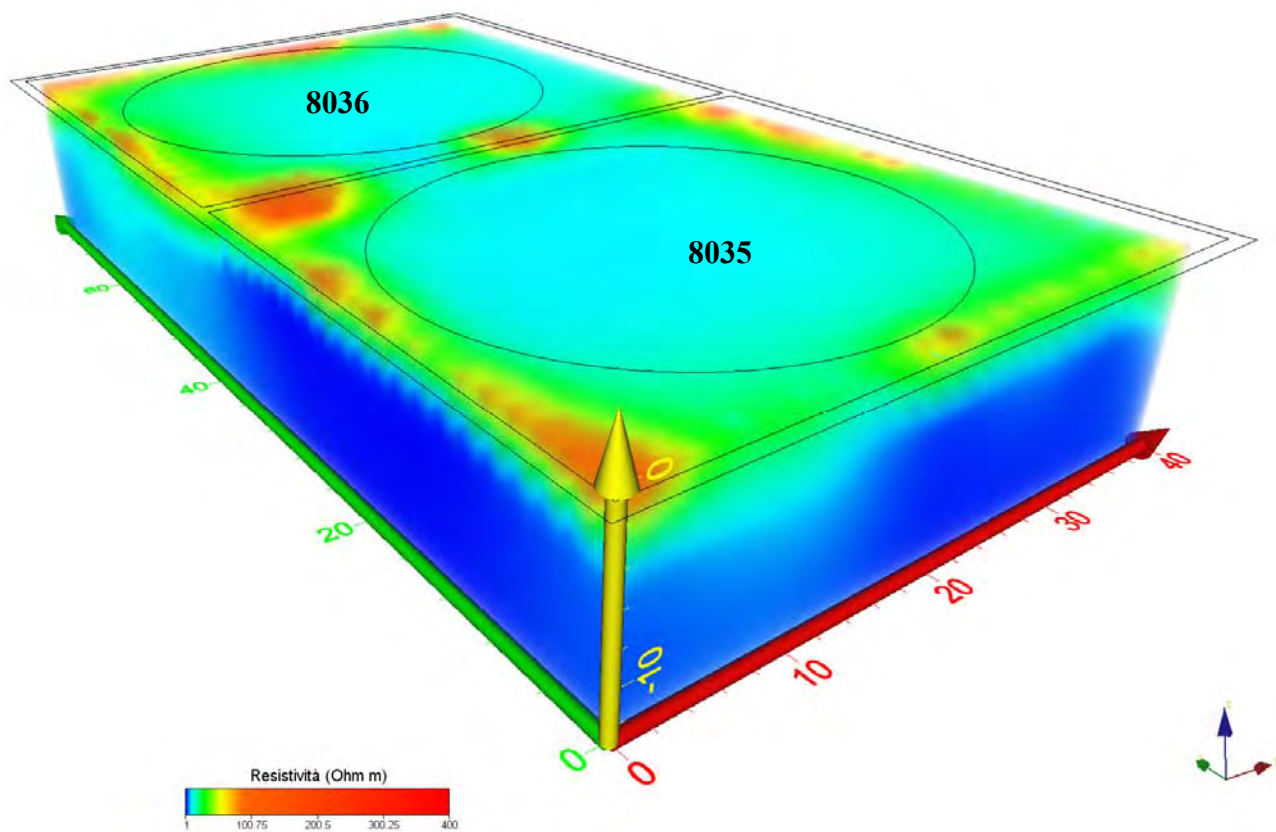
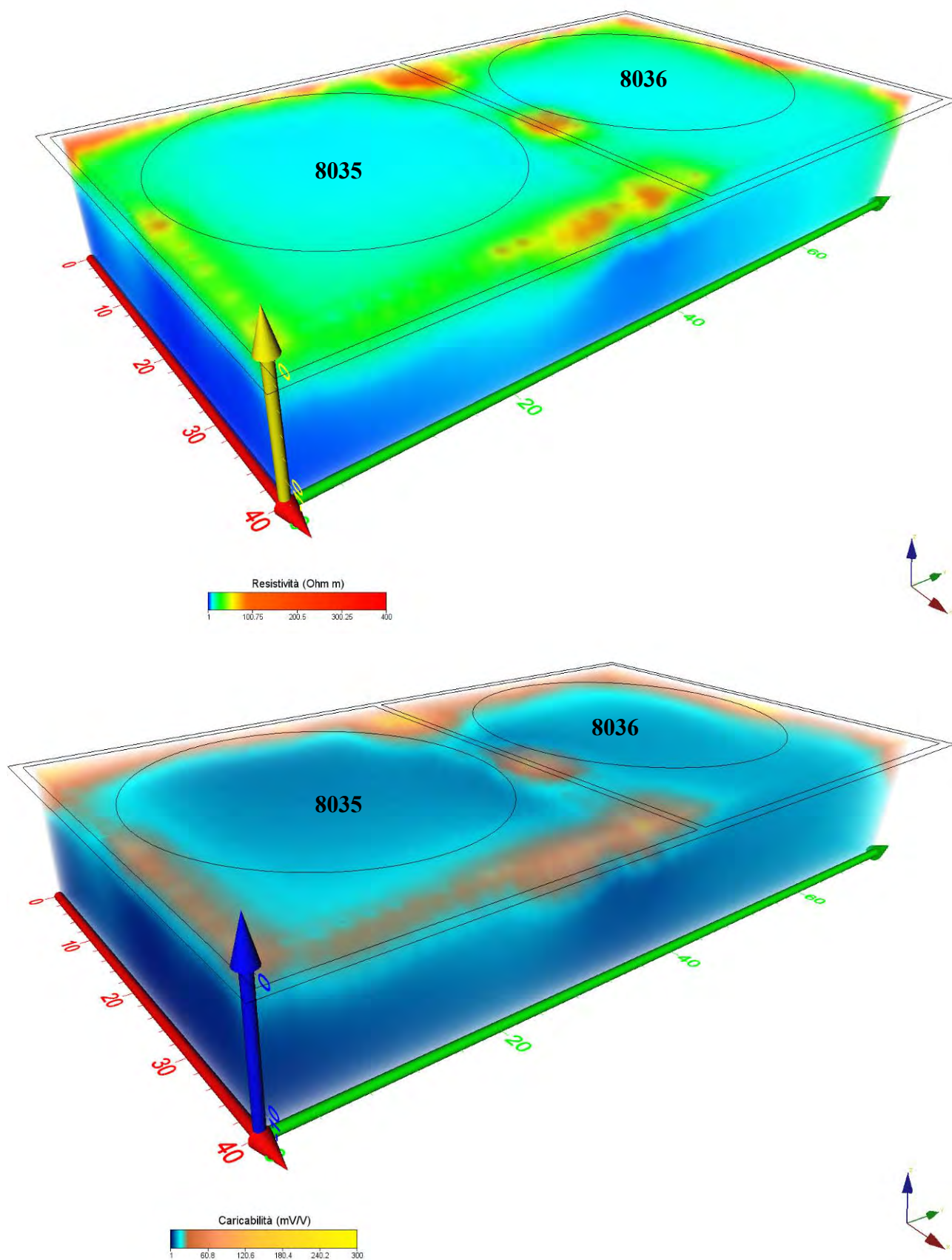


Figura 44: Piani di resistività e caricabilità a varie profondità dei Serbatoi 8035-8036



Vista da SW



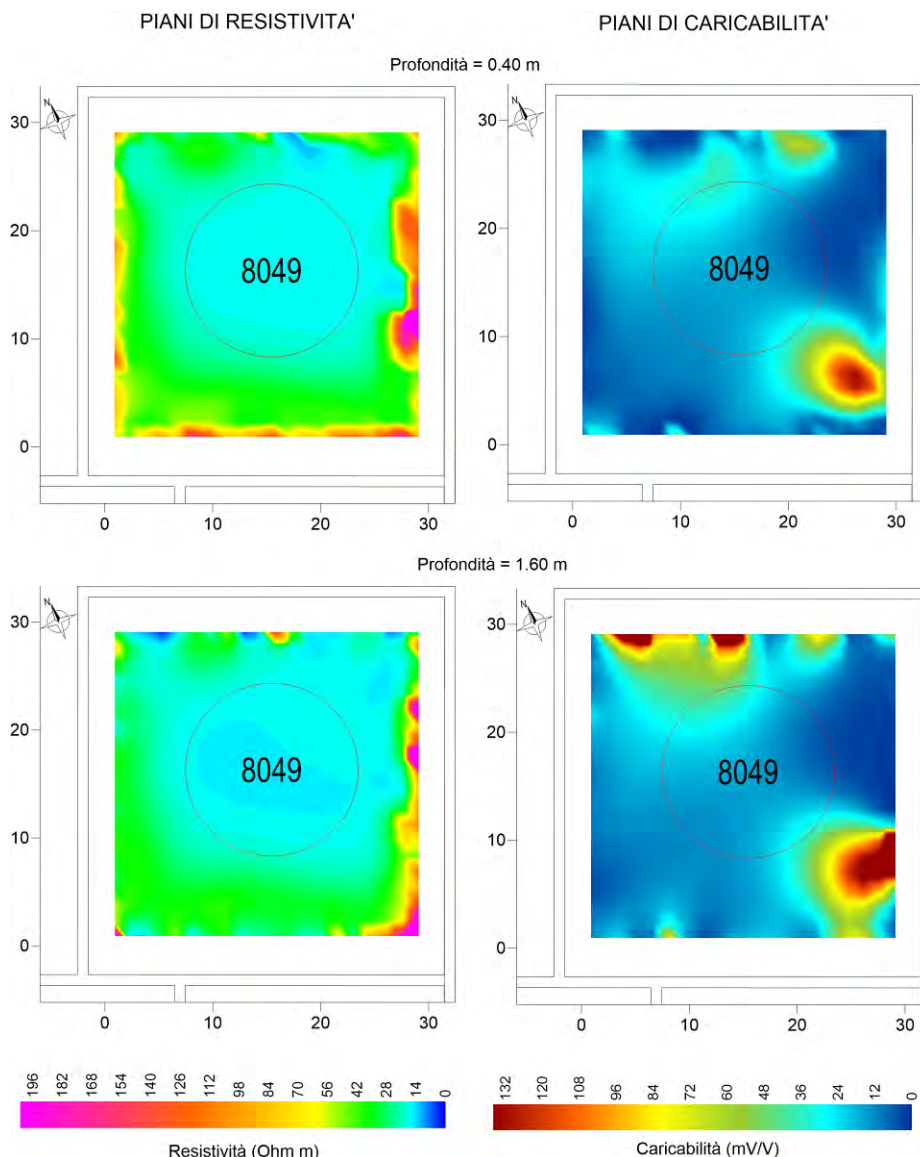
Vista da SE

Figura 45: Modelli volumetrici di resistività e polarizzazione indotta – Serbatoio 8035-8036

**SERBATOIO 8049**

La modellazione geoelettrica 3D del sottosuolo relativo al serbatoio 8049 deriva dall'acquisizione di dati da configurazioni elettrodiche su linee incrociate a forma di "L", eseguendo le letture di potenziale sia in linea sia tra gli array di elettrodi, con spaziatura di 1.5 m, tra loro perpendicolari.

I valori della resistività elettrica sono compresi tra 25 e 80  $\Omega$ m fino a circa 5-6 m di profondità, valori attribuibili a terreni sabbioso-limosi, nella parte inferiore probabilmente in falda. Quindi più in profondità si osserva una brusca diminuzione dei valori della resistenza elettrica specifica, che oscilla tra 5 e 25  $\Omega$ m, evidentemente a causa di variazioni litologiche tra le argille limose e i limi argillosi. A queste variazioni litologiche ben si associano le variazioni della caricabilità per polarizzazione indotta, che tende ad aumentare proprio in corrispondenza dei basso-resistivi; condizione causata dalla presenza delle particelle argillose colloidali. Come è stato accertato dalle precedenti indagini si osservano anomalie non attribuibili a fenomeni di inquinamento da idrocarburi.



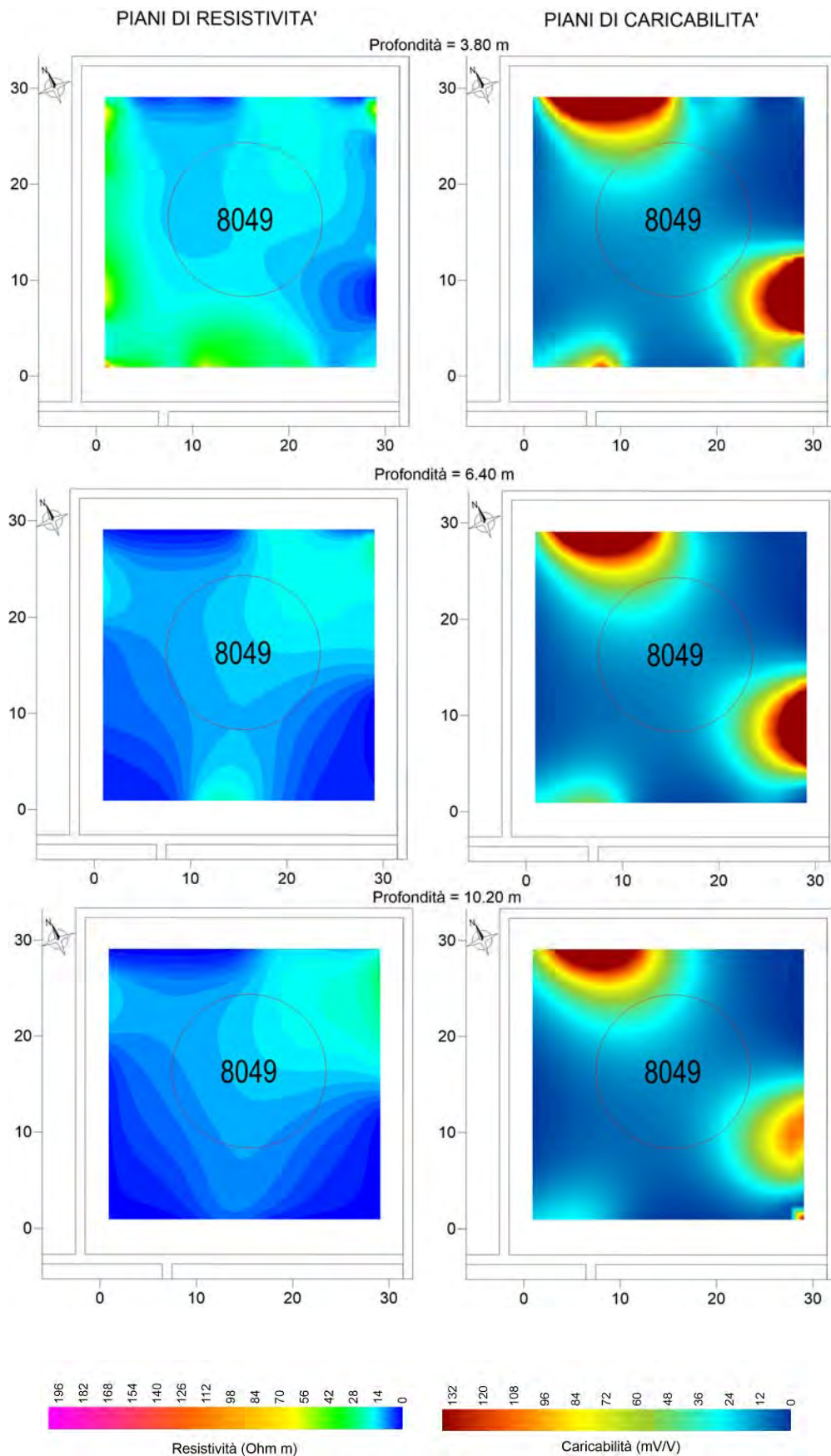
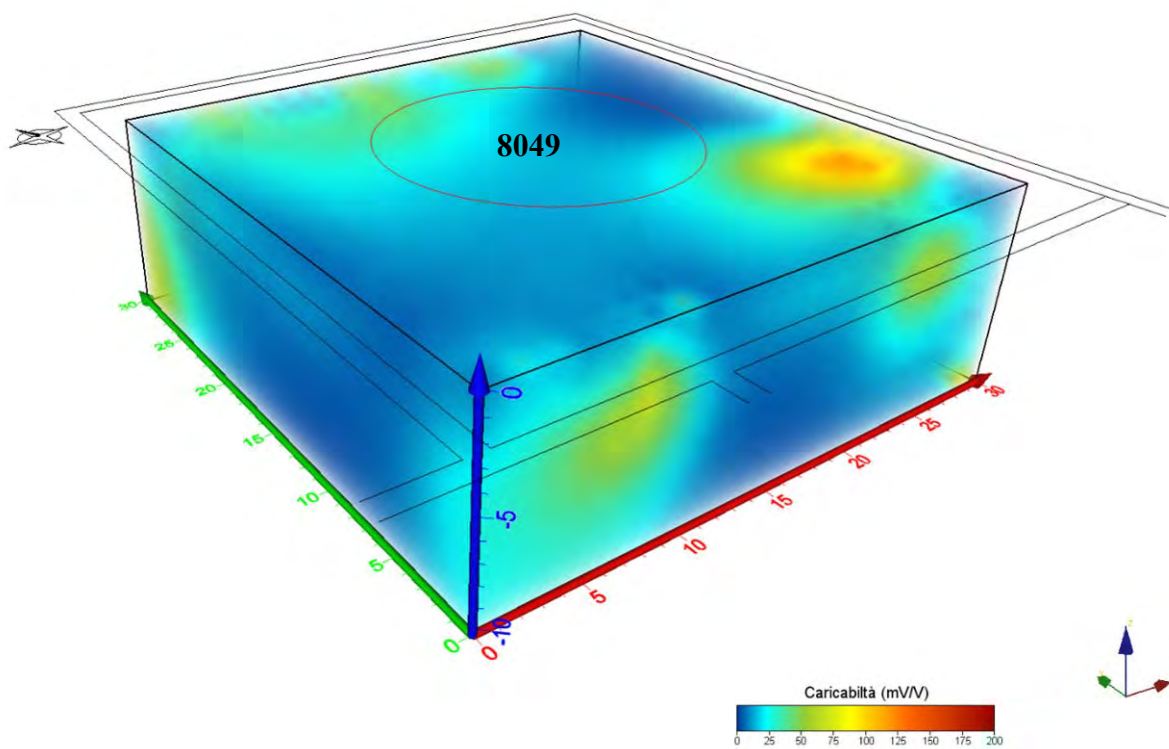
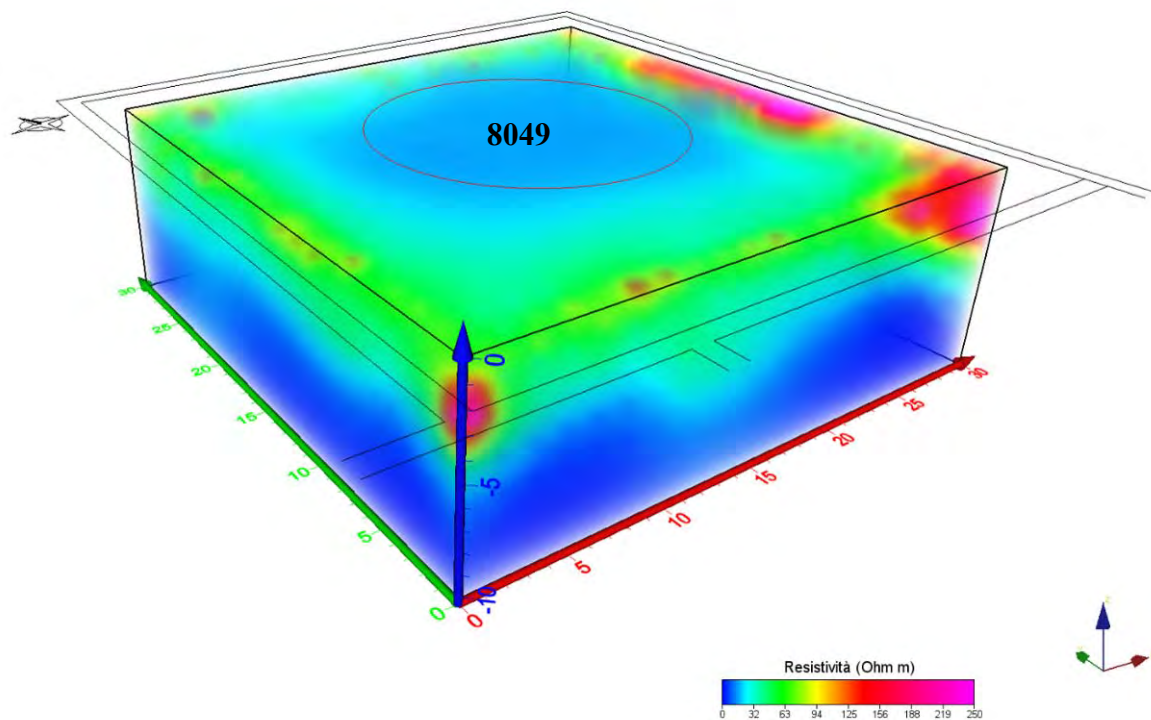


Figura 46: Piani di resistività e caricabilità a varie profondità Serbatoio 8049



Vista da SW

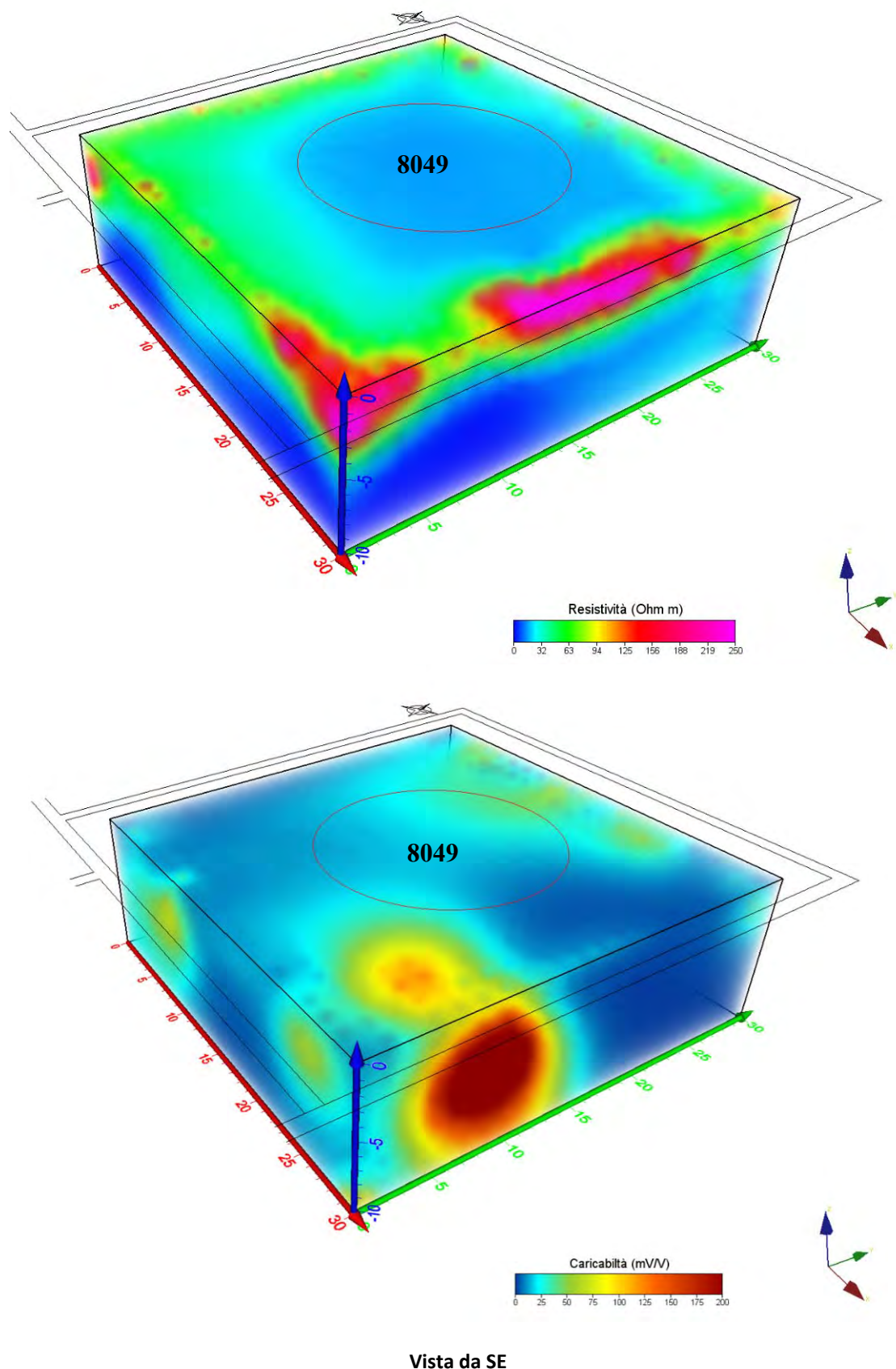


Figura 47: Modelli volumetrici di resistività e polarizzazione indotta – Serbatoio 8049

### SERBATOIO 8001

I due stendimenti a forma di L sono stati realizzati utilizzando una distanza minima tra gli elettrodi pari a 1.5 m. paragonando i dati rilevati con i sondaggi geognostici S45 – S59 e P012, ubicati nelle vicinanze, si nota che nella zona di monte sono presenti due livelli di calcareniti (resistivi) che si seguono fino alla profondità di 8.0 m mentre a valle le calcareniti sono presenti fino a 3.0 m. Al disotto della zona corrispondente al serbatoio 8001 si rinvengono aree relativamente più resistive correlabili alle variazioni di spessore delle calcareniti. Pertanto, l’anomalia riscontrata lungo il profilo di valle (tomografia 19/3D) è correlabile con le variazioni litologiche dell’area: non è stato evidenziato zone di flusso a partire dal serbatoio.

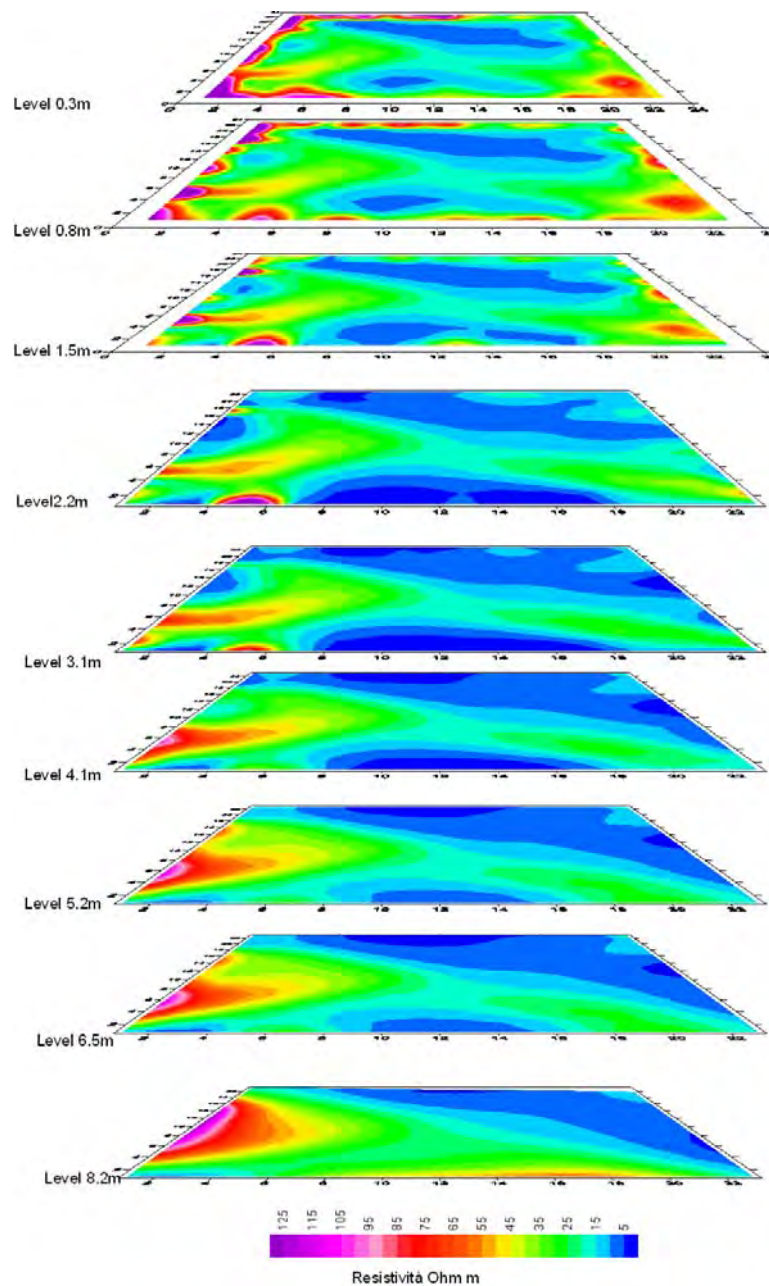
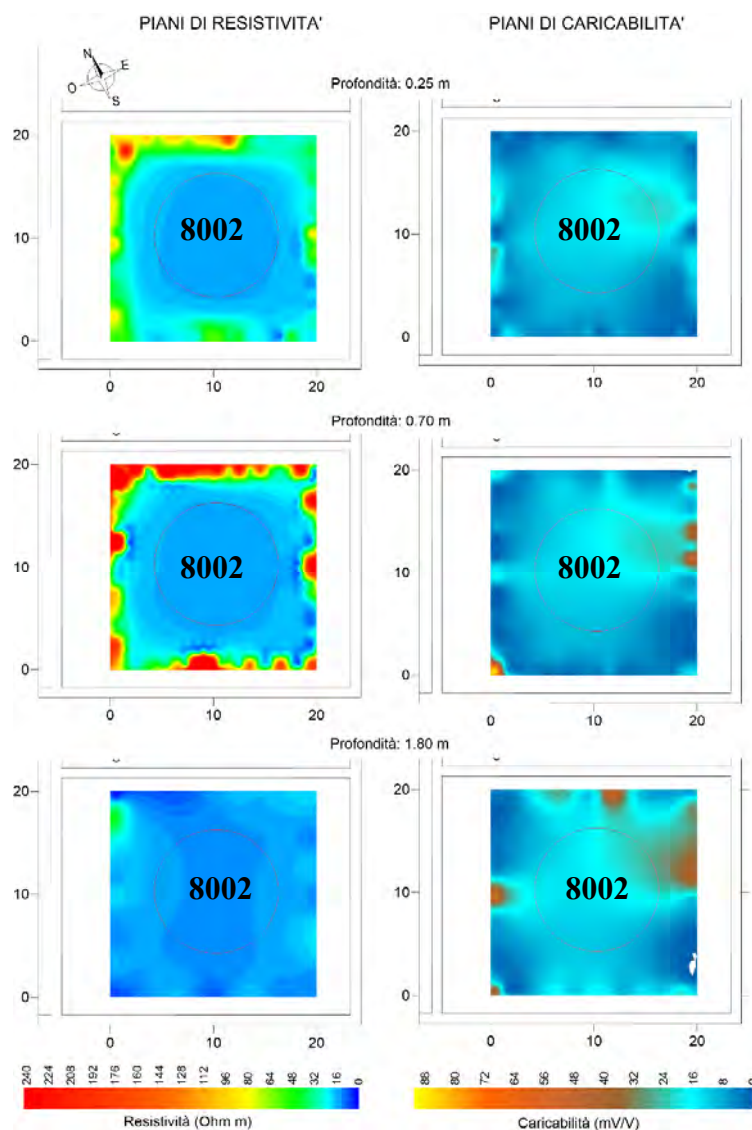


Figura 48: Visualizzazione tridimensionale dei dati acquisiti a ridosso del serbatoio 8001



## SERBATOIO 8002

La modellazione geoelettrica 3D del sottosuolo è stata eseguita attraverso i dati acquisiti da configurazioni elettrodiche su linee incrociate a forma di "L", eseguendo le letture di potenziale sia in linea sia tra gli array di elettrodi, con spaziatura di 1.0 m, tra loro perpendicolari. Sia nella rappresentazione per piani orizzontali (slices) che in quella volumetrica in trasparenza, si osserva, come già visto nei modelli 2D ricadenti in questa area, la presenza di un primo orizzonte superficiale alto-resistivo e a bassa caricabilità elettrica, più evidente nei bordi del modello, in quanto in linea alle stese elettrodiche sono presenti misure superficiali, che si associa a termini sabbioso-limosi e calcareniti a matrice limosa. La diminuzione della resistività elettrica con la profondità è dovuta al cambio litologico verso termini prettamente pelitici (argille e argille limose), come confermato anche dal leggero aumento della caricabilità per polarizzazione indotta. Come osservato nell'anno 2019 si osservano anomalie, caratterizzate da valori elevati di resistività e caricabilità non riconducibili a fenomeni di inquinamento da idrocarburi.



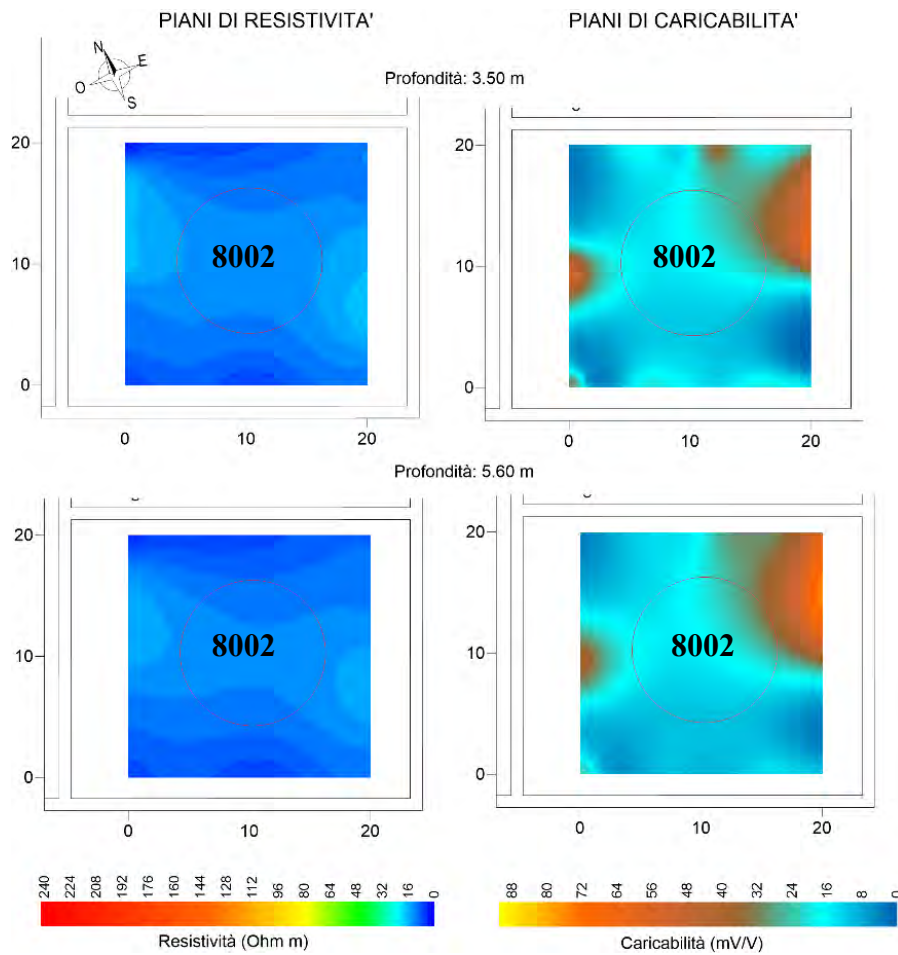
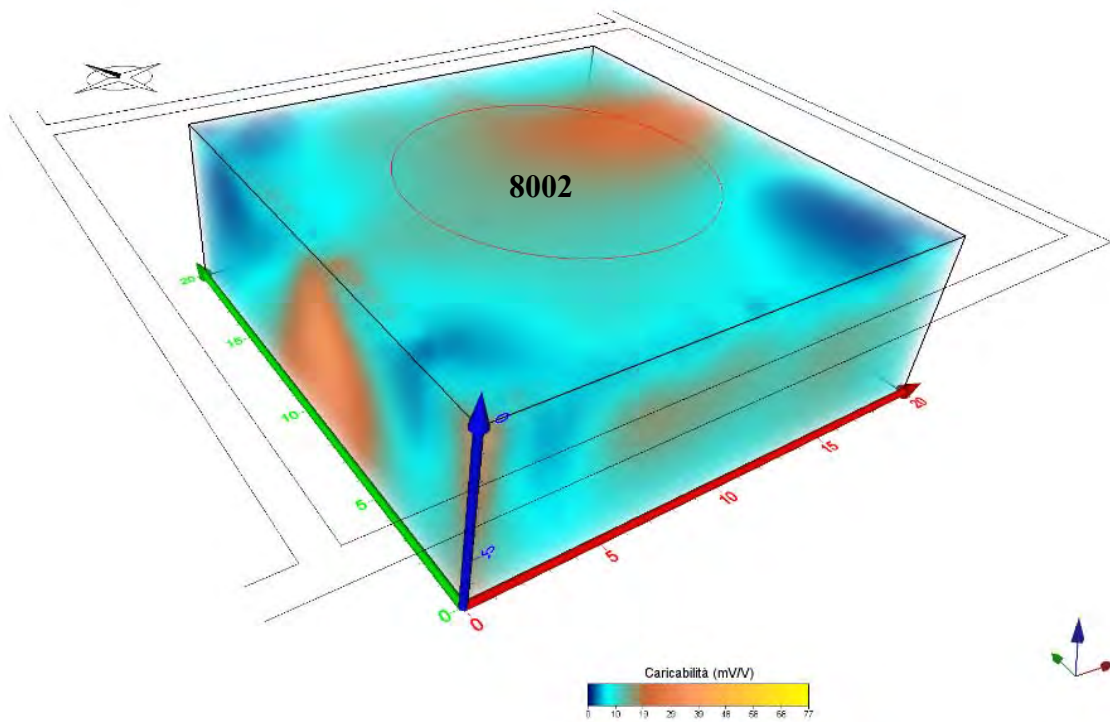
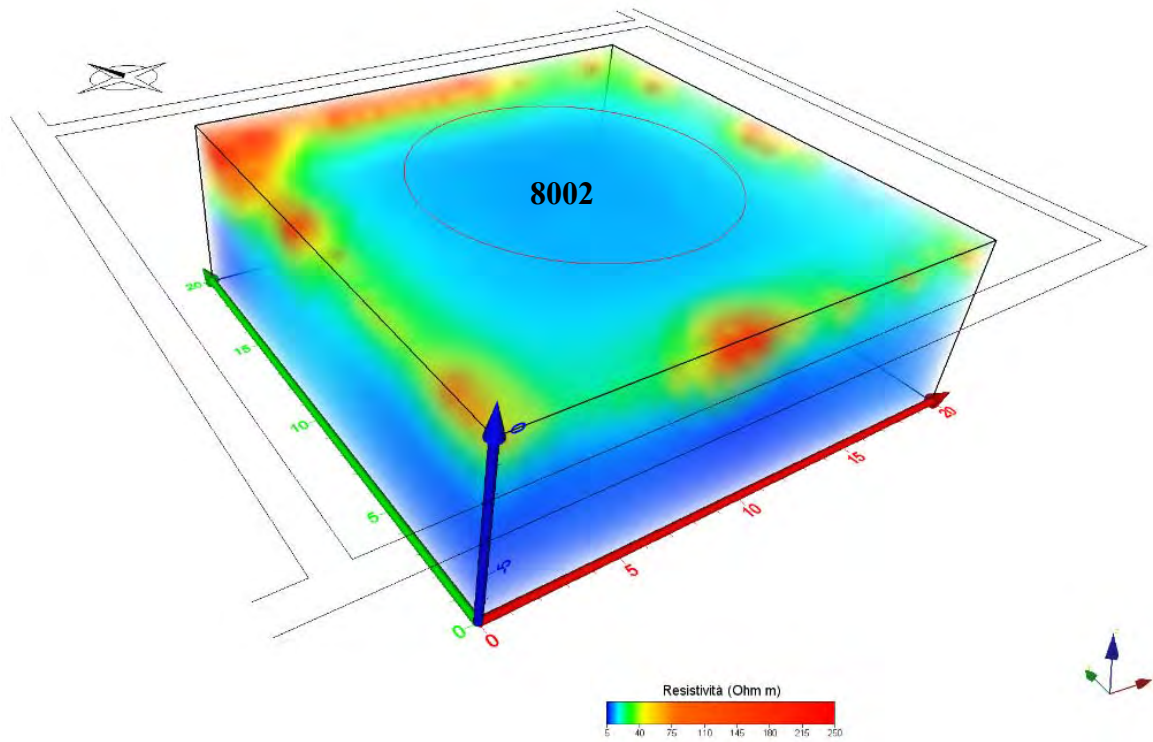


Figura 49: Piani di resistività e caricabilità a varie profondità Serbatoio 8002



Vista da SW

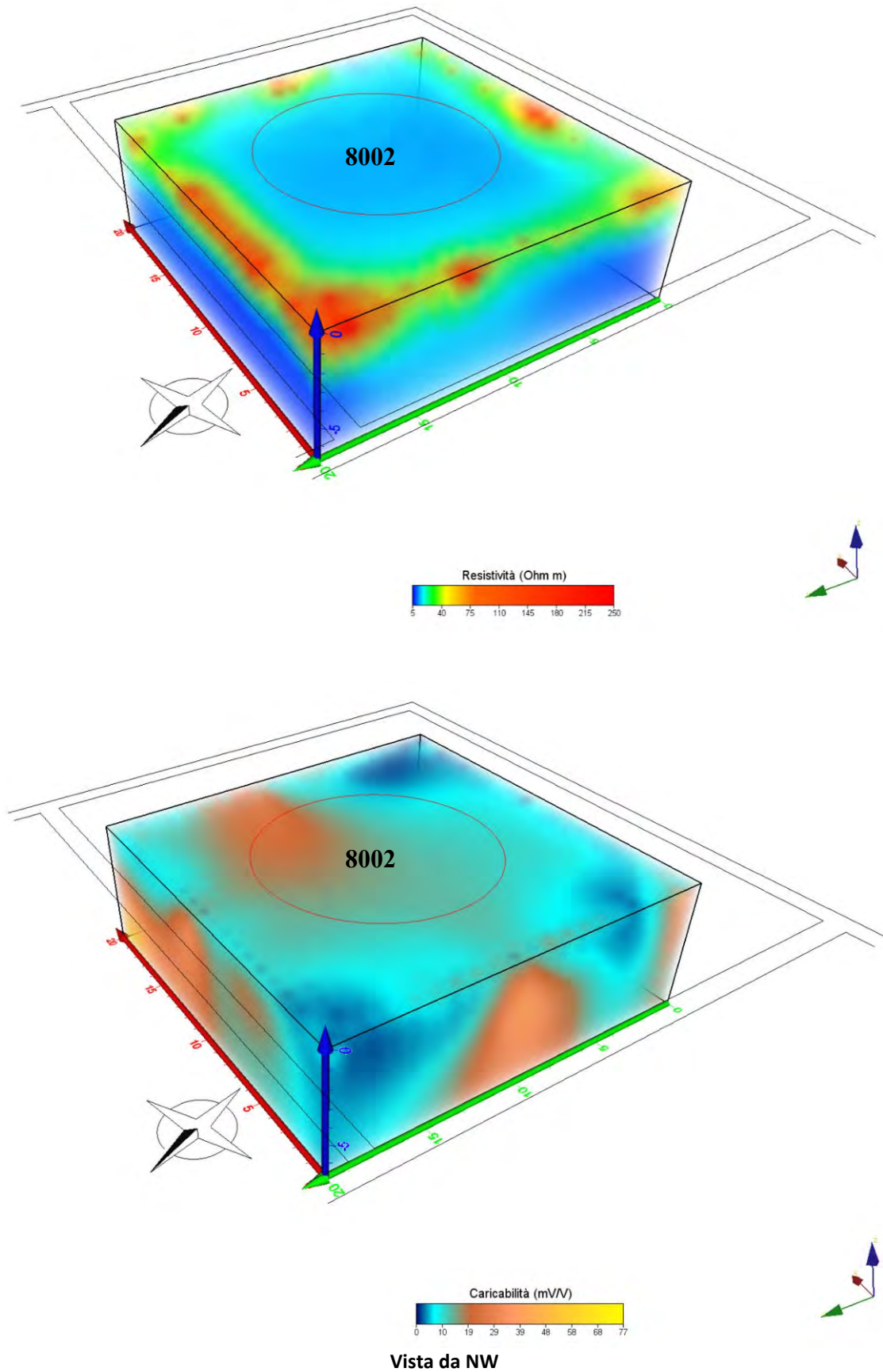


Figura 50: Modelli volumetrici di resistività e polarizzazione indotta – Serbatoio 8002

## SERBATOIO 8046

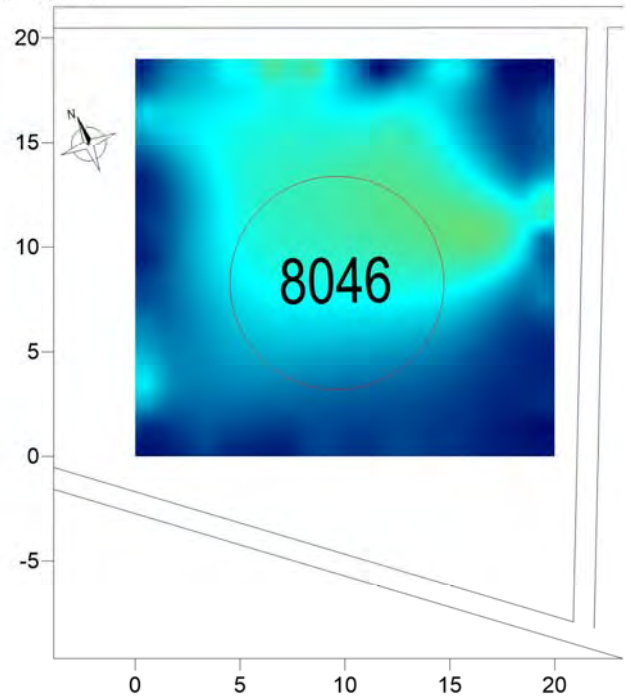
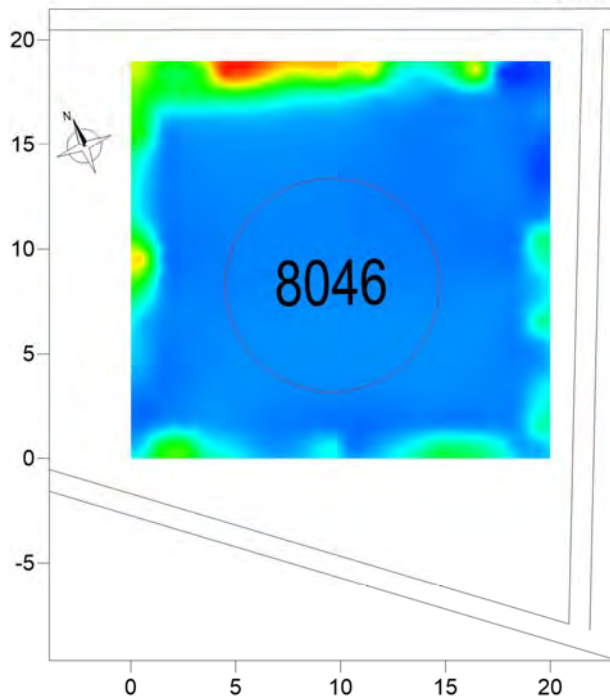
La modellazione geoelettrica 3D del sottosuolo relativo al serbatoio 8046 deriva dall'acquisizione di dati da configurazioni elettrodeiche su linee incrociate a forma di "L", eseguendo le letture di potenziale sia in linea sia tra gli array di elettrodi, con spaziatura di 1.0 m, tra loro perpendicolari.

Come visto nei modelli elaborati nelle precedenti campagne di misura, nelle porzioni di terreno più superficiale, rilevabili sui bordi del modello, i valori di resistività elettrica assumono valori di 25-50  $\Omega\text{m}$  (sabbie limose), con una rapida diminuzione di questi con la profondità, che si porta a valori inferiori a 10  $\Omega\text{m}$ , attribuibili all'aumento della componente argillosa nel terreno. Condizione confermata dalla distribuzione dei valori della caricabilità per polarizzazione indotta che, per contro, tende ad aumentare con l'aumento della profondità (aumento delle particelle colloidali argillose). Il nucleo basso-resistivo e ad elevata caricabilità visibile sul lato orientale dei modelli (vedi blocchi diagramma 3D), è attribuibile alla presenza di una tubazione metallica o a motivi litologici, con la presenza più netta della componente argillosa. I risultati ottenuti, ci riconfermano l'assenza di anomalie attribuibili a fenomeni di inquinamento da idrocarburi, come negli anni precedenti.

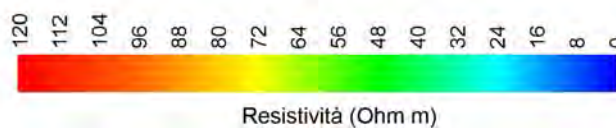
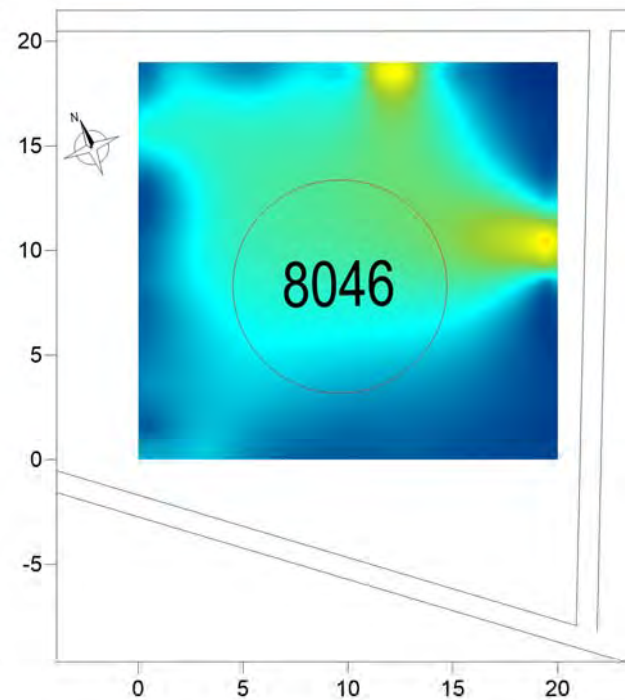
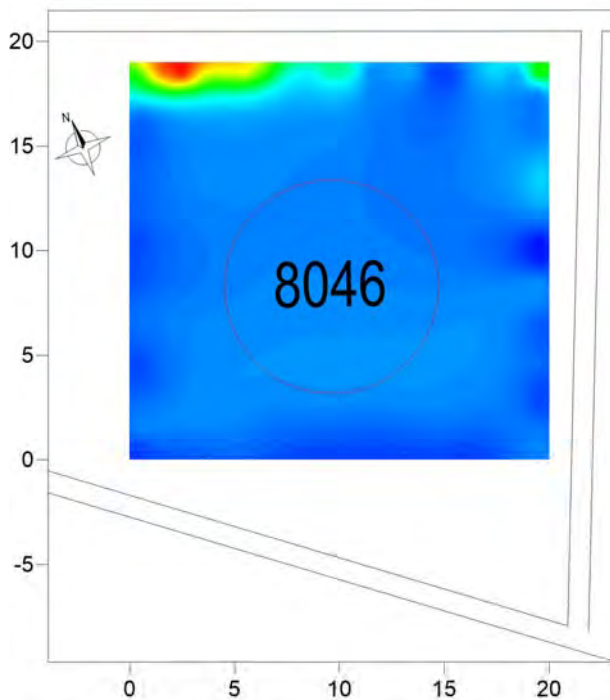
PIANI DI RESISTIVITA'

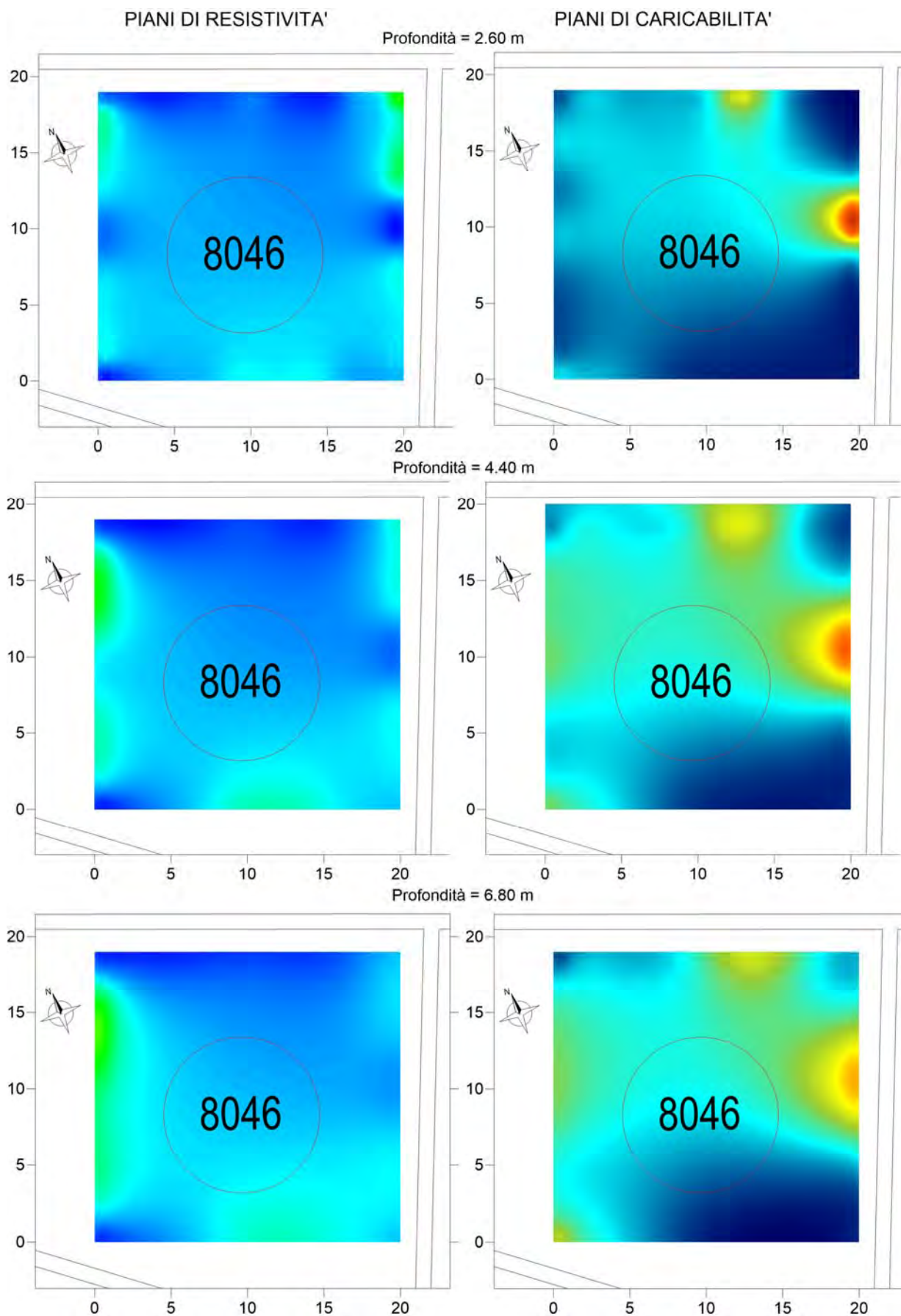
PIANI DI CARICABILITA'

Profondità = 0.25 m

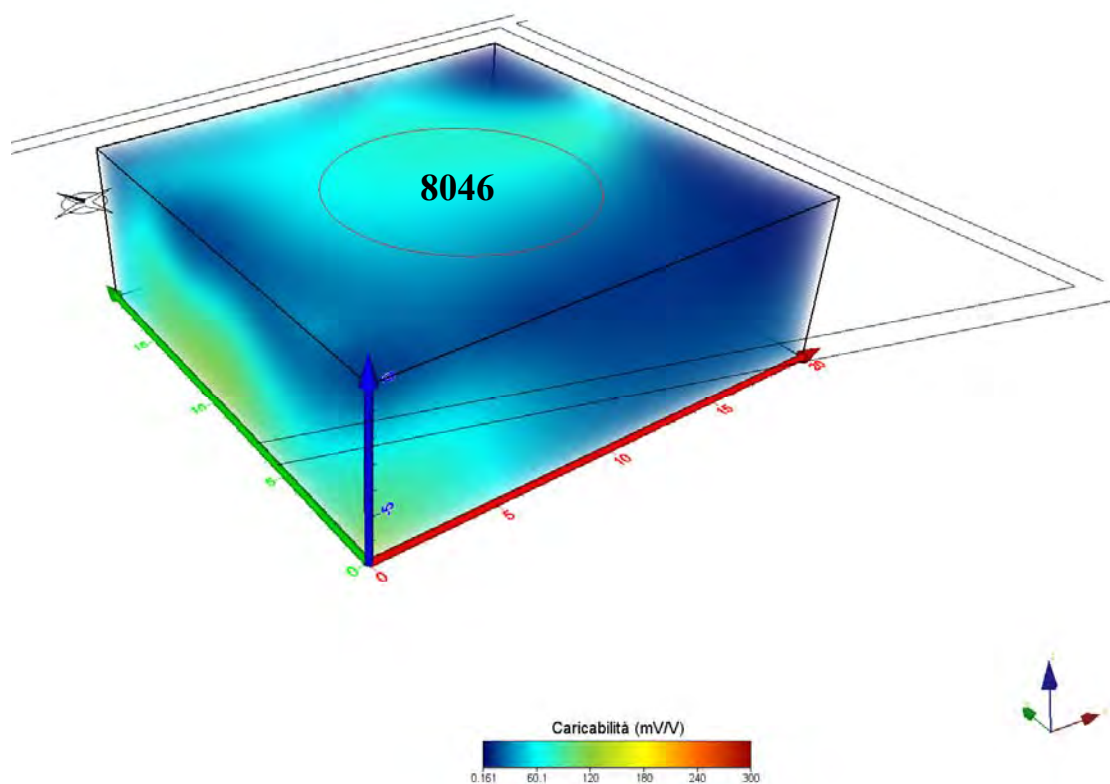
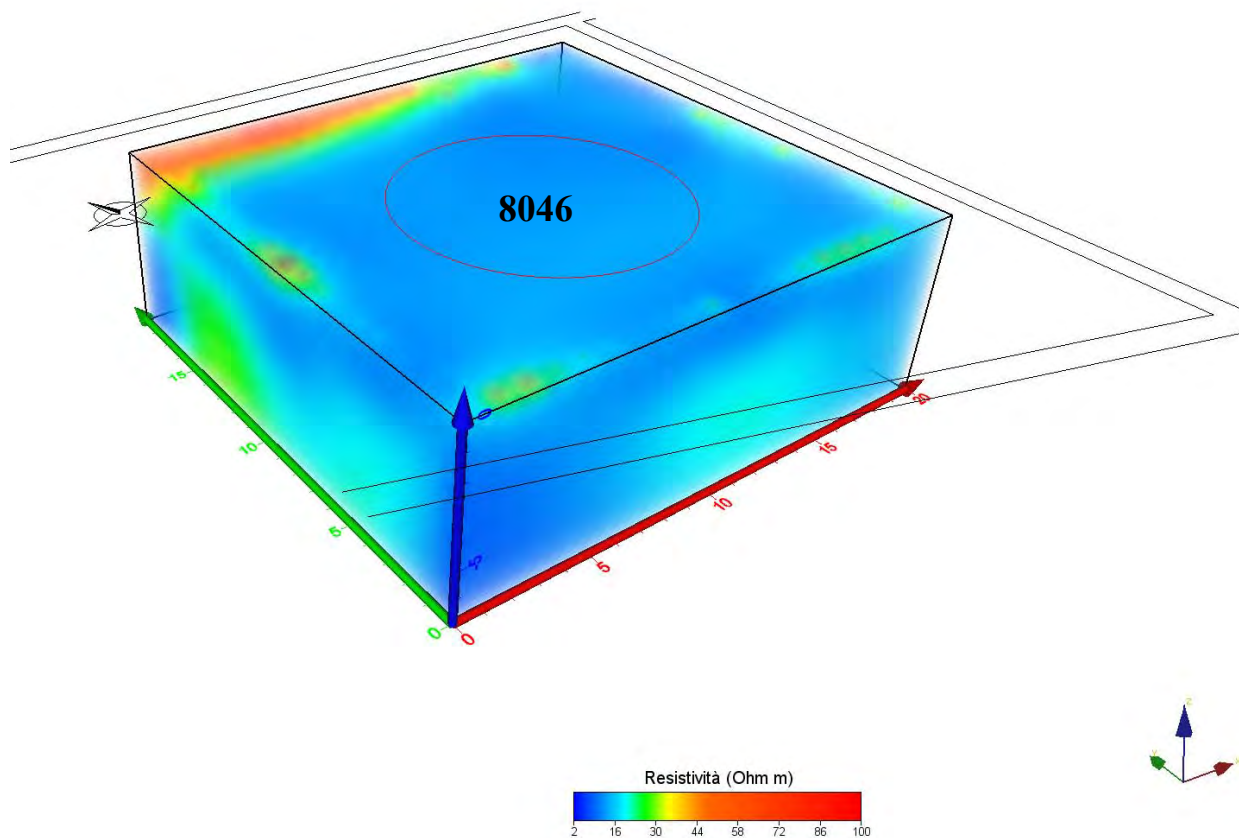


Profondità = 1.20 m



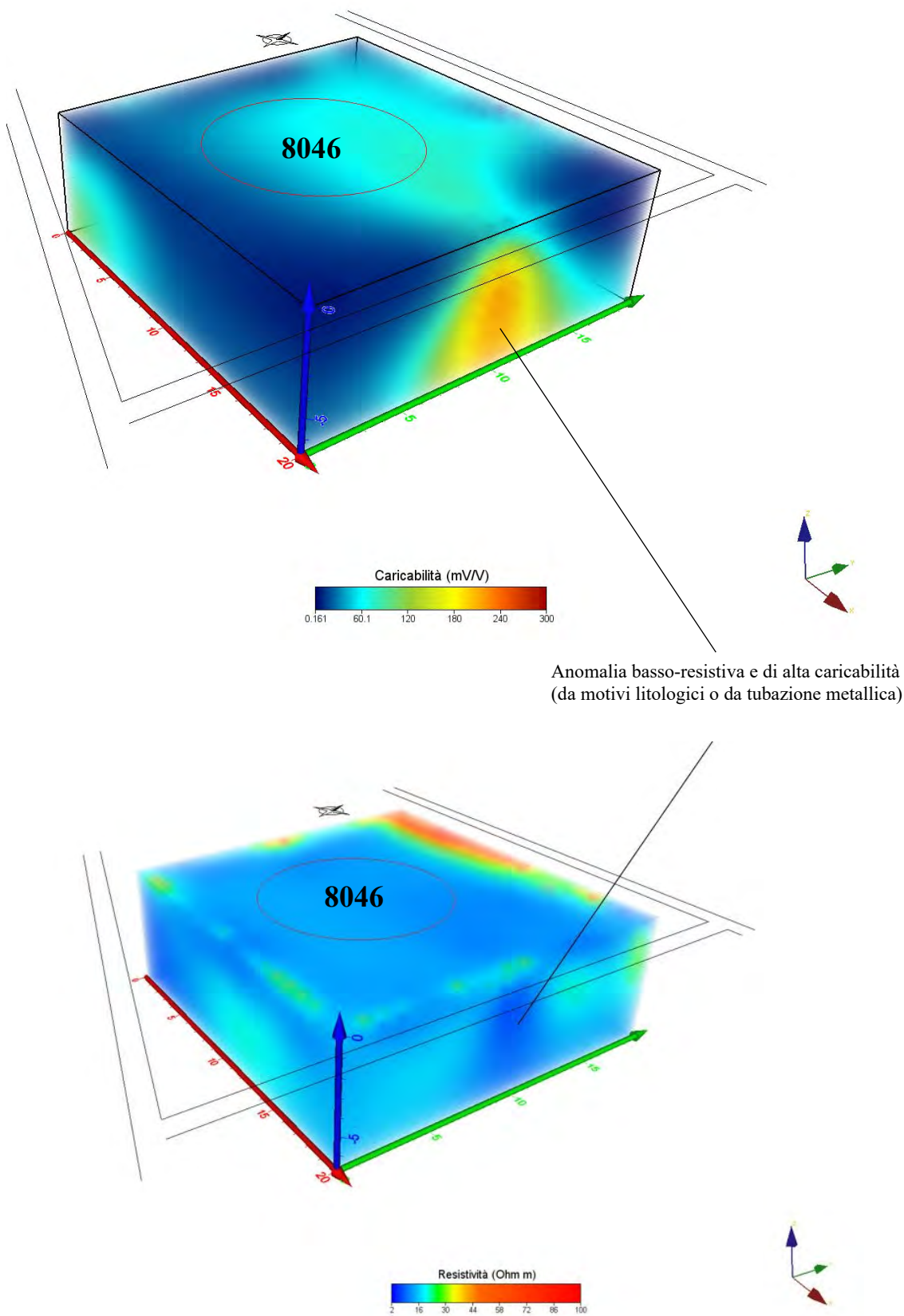


**Figura 51: Piani di resistività e caricabilità a varie profondità Serbatoio 8046**



Modelli 3D - Vista da SW





Modelli 3D - Vista da SE

Figura 52: Modelli volumetrici di resistività e polarizzazione indotta – Serbatoio 8046

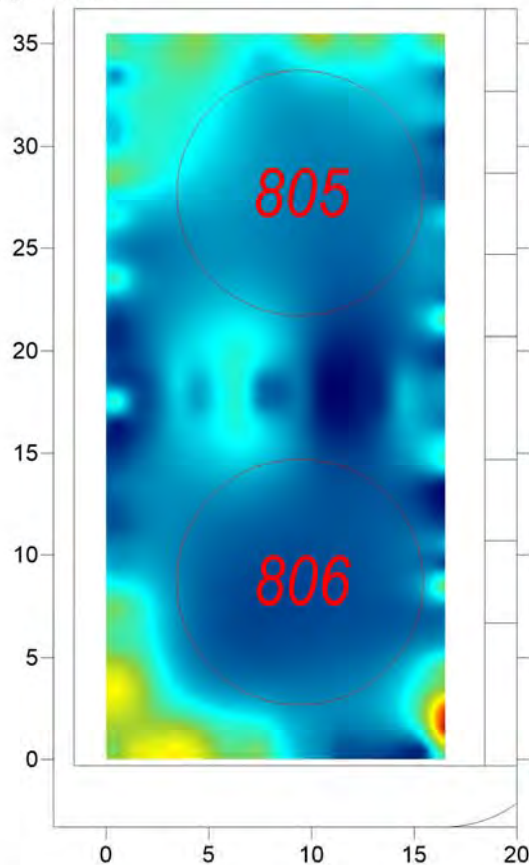
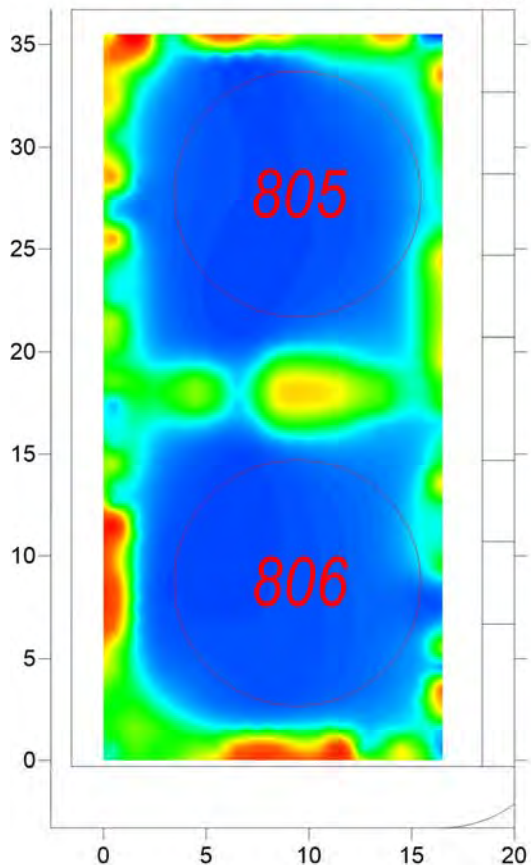
## SERBATOIO 805-806

Il modello geoelettrico 3D del sottosuolo relativo al bacino contenente i serbatoi 805 e 806 è stato realizzato attraverso i dati acquisiti da configurazioni elettrodeiche su linee incrociate a forma di "L", eseguendo le letture di potenziale sia in linea sia tra gli array di elettrodi, con spaziatura di 1.5 m, tra loro perpendicolari. Essendo i due serbatoi contigui, le misure ad essi pertinenti sono state accorpate in un unico volume nel quale è stata operata l'elaborazione (inversione) mediante il software Res3DInv. In coerenza con le linee di indagine 2D realizzate appena a lato del sito di indagine, la distribuzione dei valori relativi ai due parametri elettrici determinati è caratterizzata da valori di resistività decisamente basse (inferiori a 15  $\Omega$ m), almeno al di sotto di un primo orizzonte superficiale più resistivo dovuto alla presenza di terreno di riporto sabbioso-ghiaioso. Non si osserva la presenza di anomalie di particolare interesse per gli scopi dell'indagine. I valori di caricabilità per polarizzazione indotta mostrano una certa variabilità, controllata essenzialmente da motivi litologici, tendendo questa ad aumentare in corrispondenza della diminuzione della resistenza elettrica specifica.

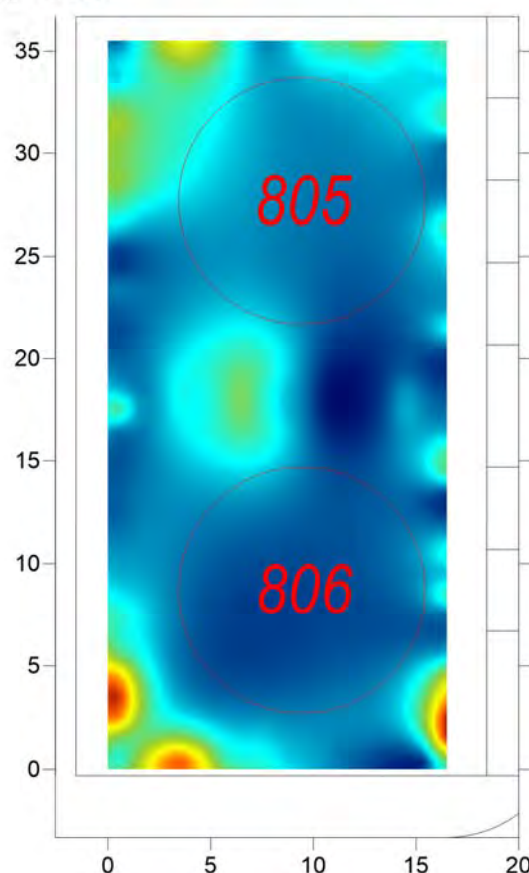
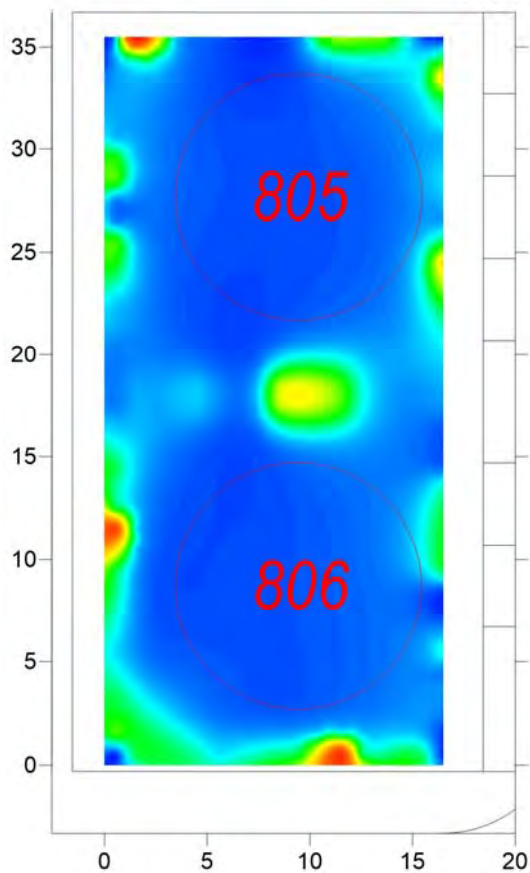
PIANI DI RESISTIVITA'

PIANI DI CARICABILITA'

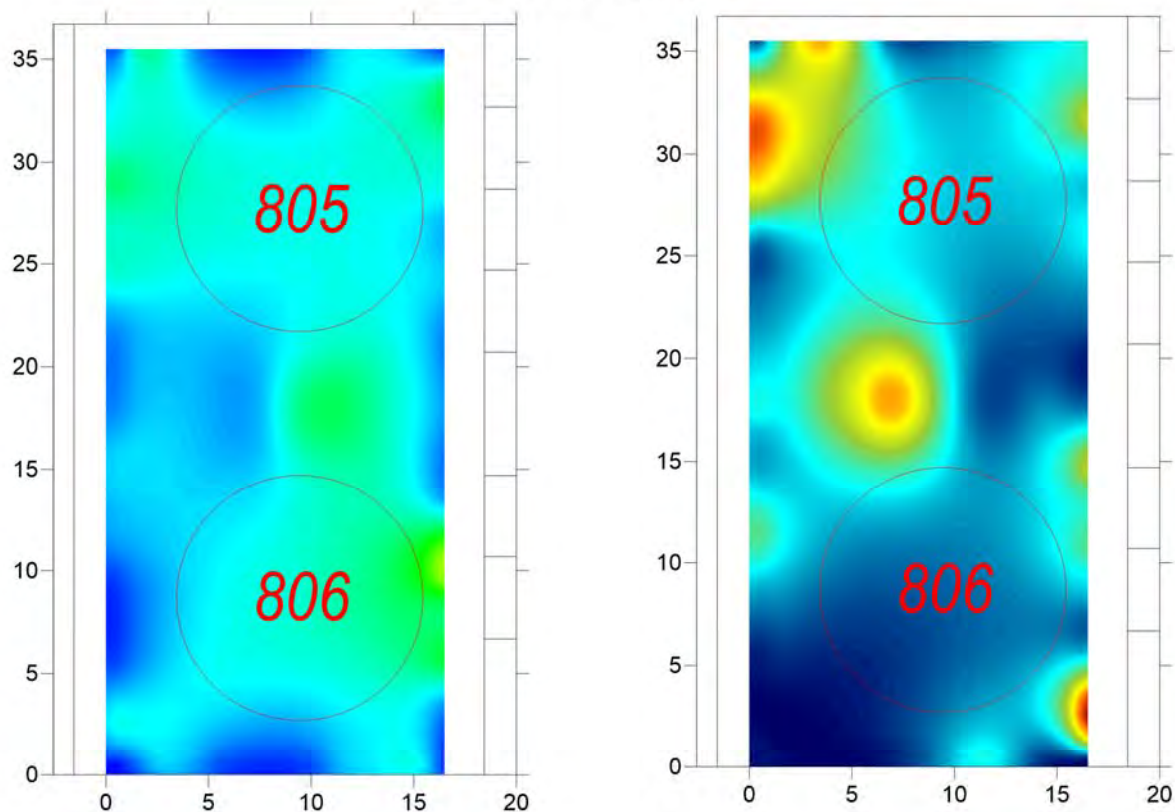
Piano a 0.50 m di profondità



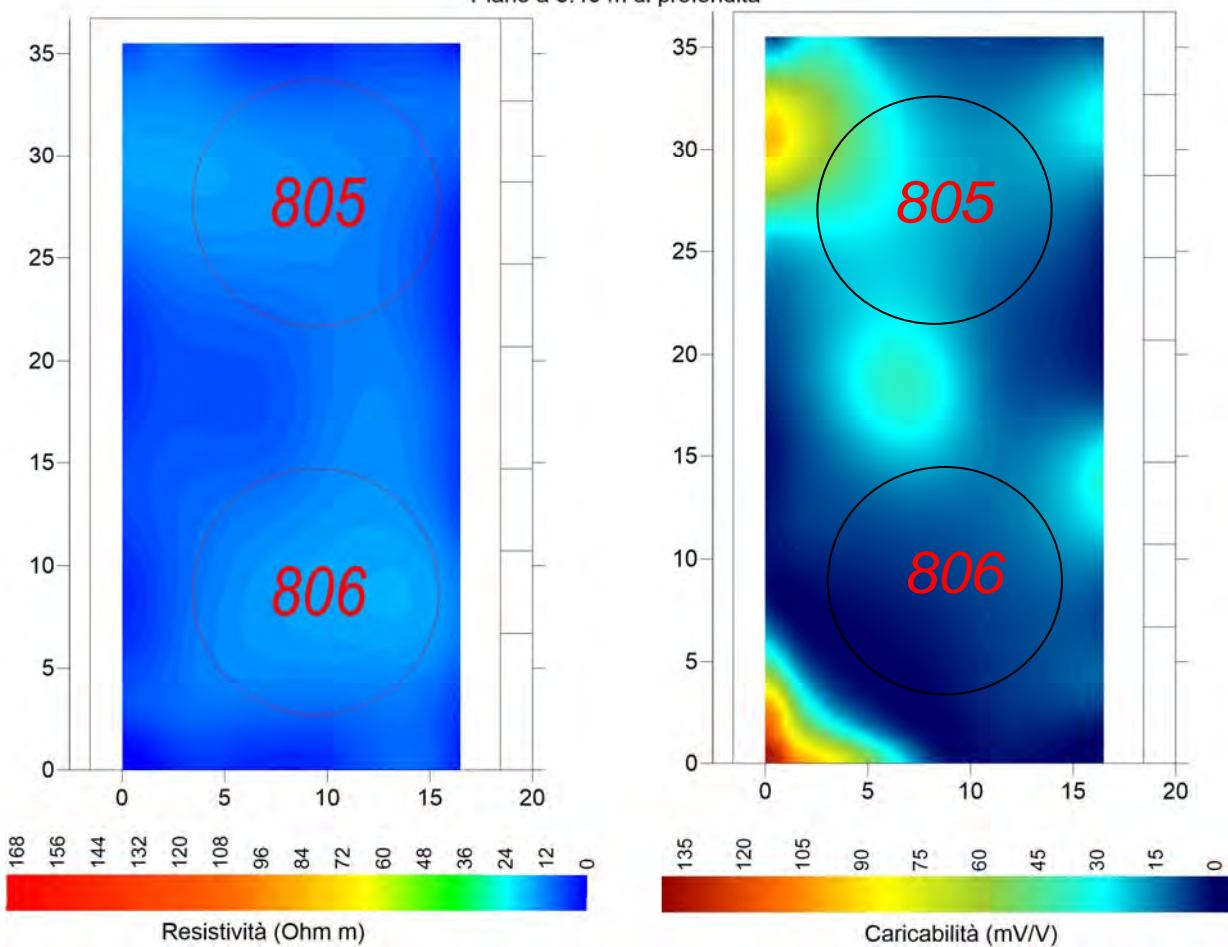
Piano a 1.40 m di profondità



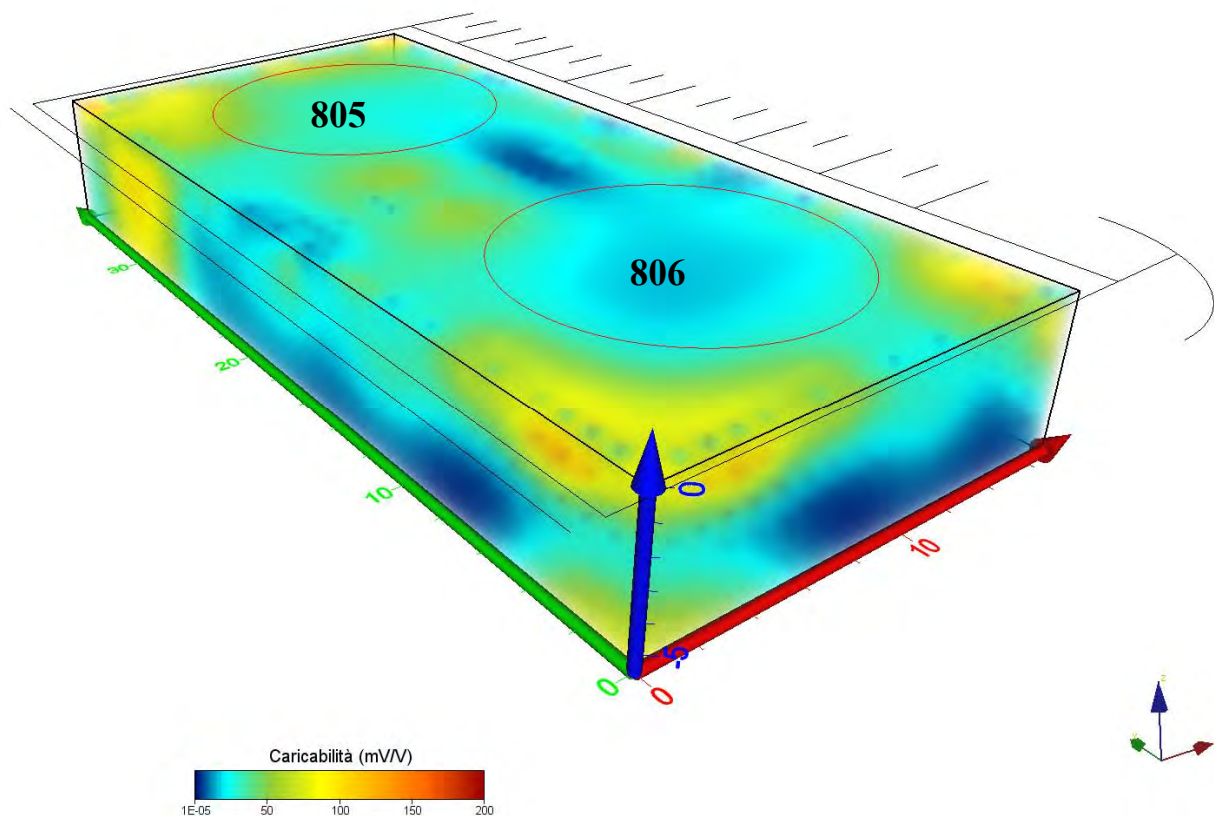
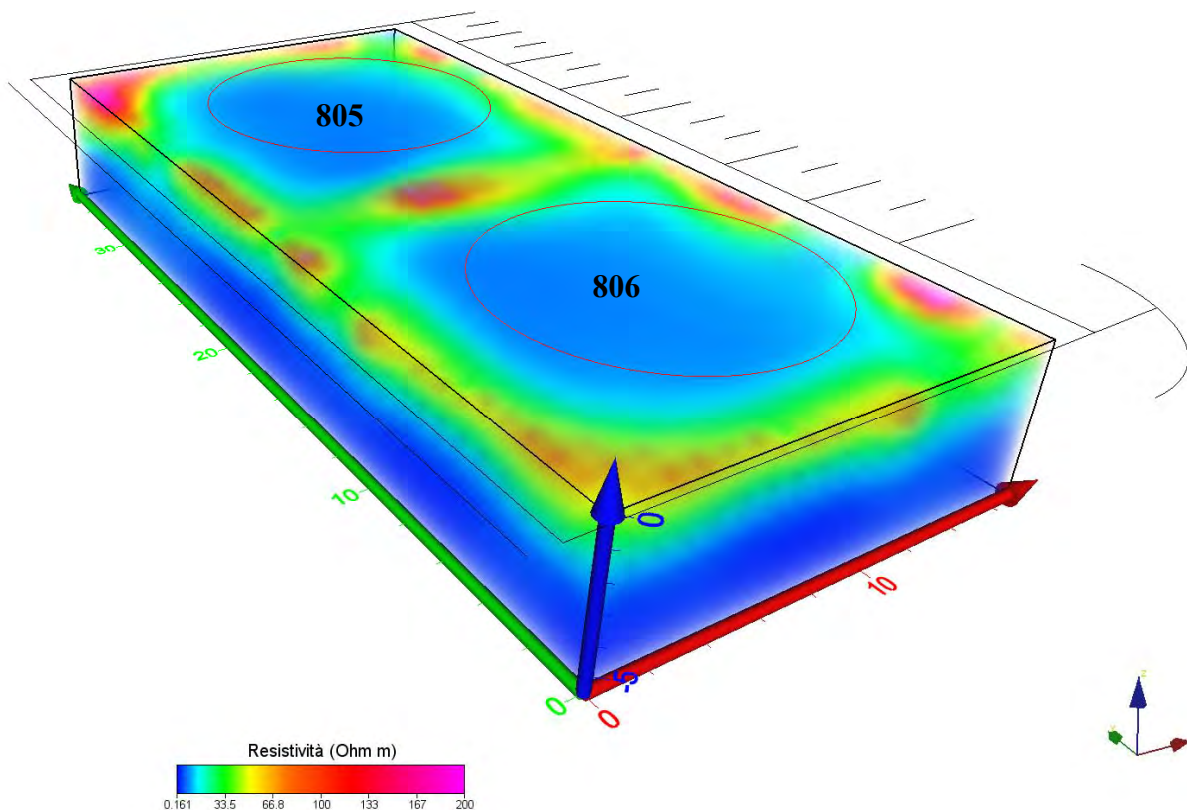
Piano a 2.60 m di profondità



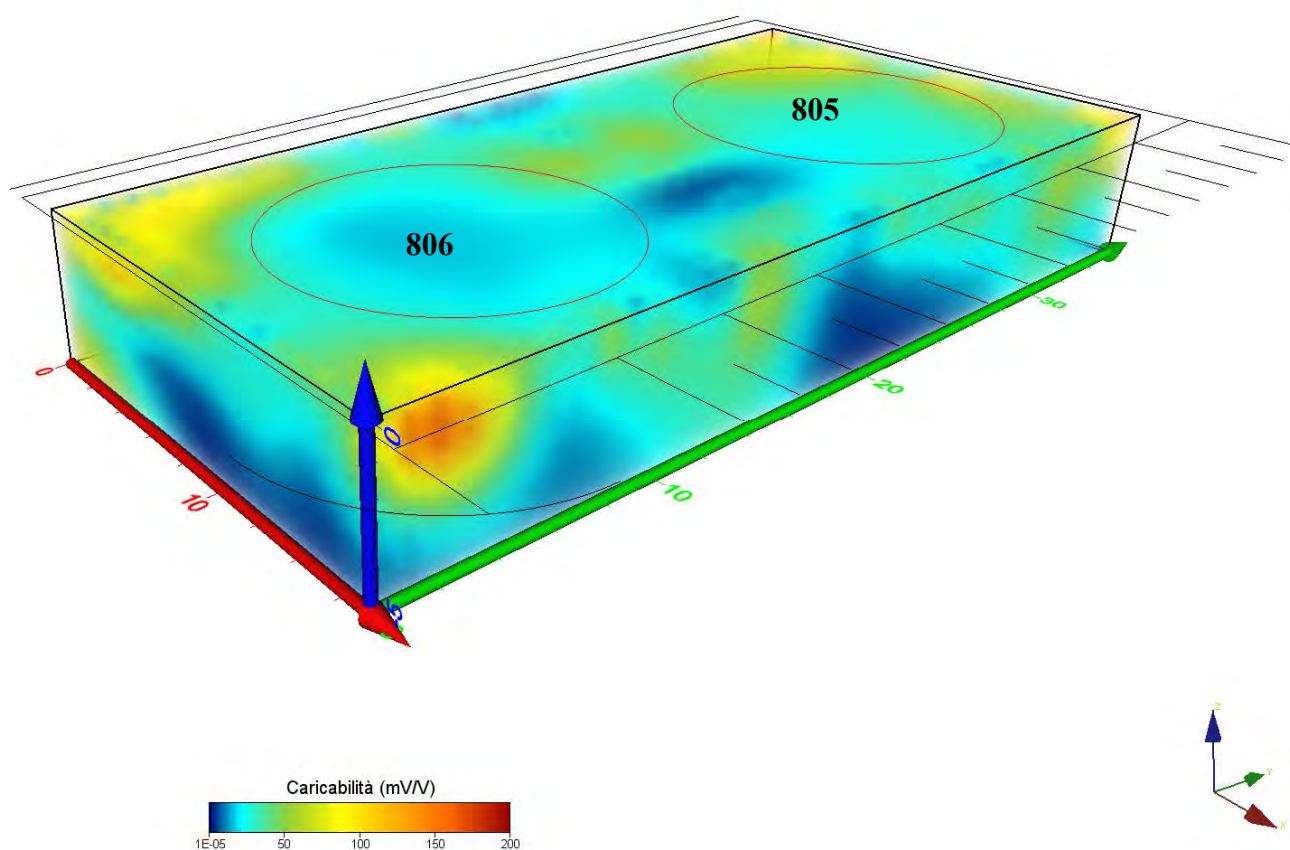
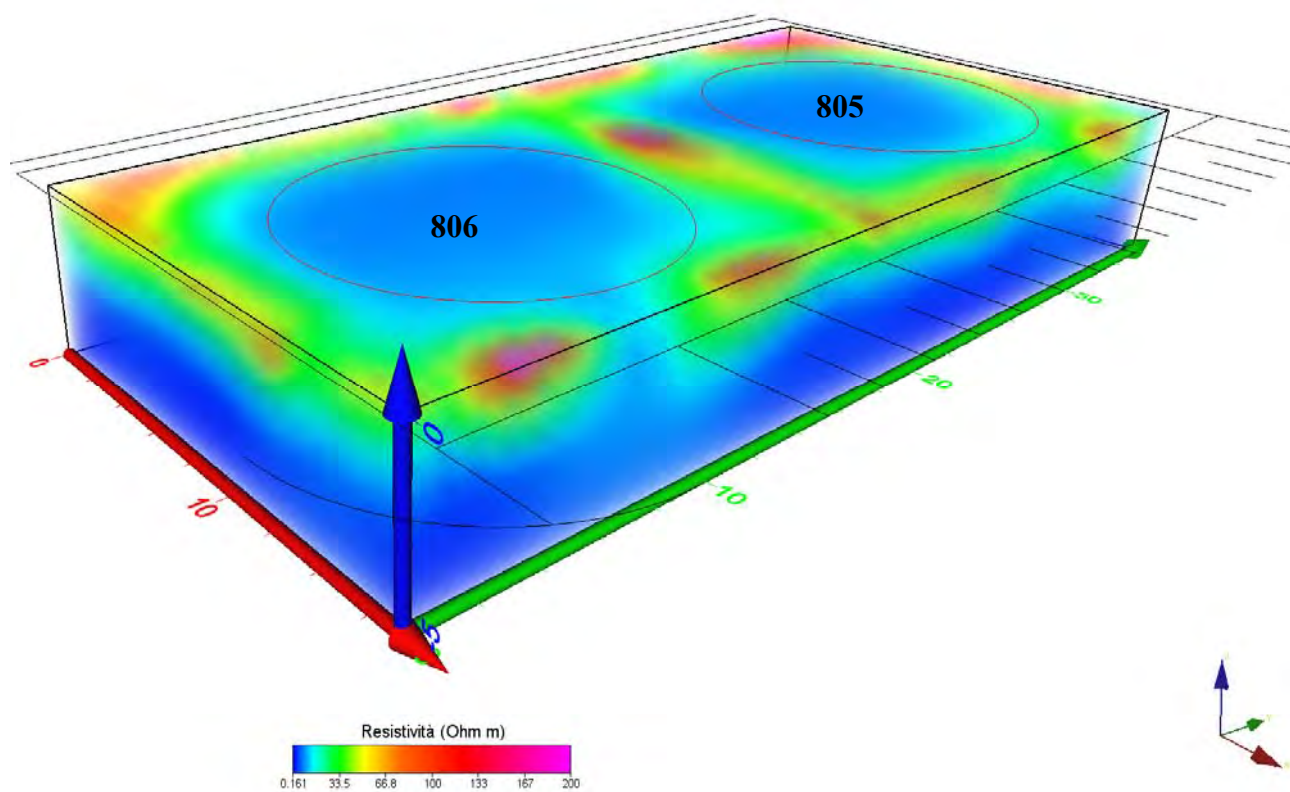
Piano a 5.40 m di profondità



**Figura 53: Piani di resistività e caricabilità a varie profondità Serbatoio 805-806**



Vista da Sud-Ovest



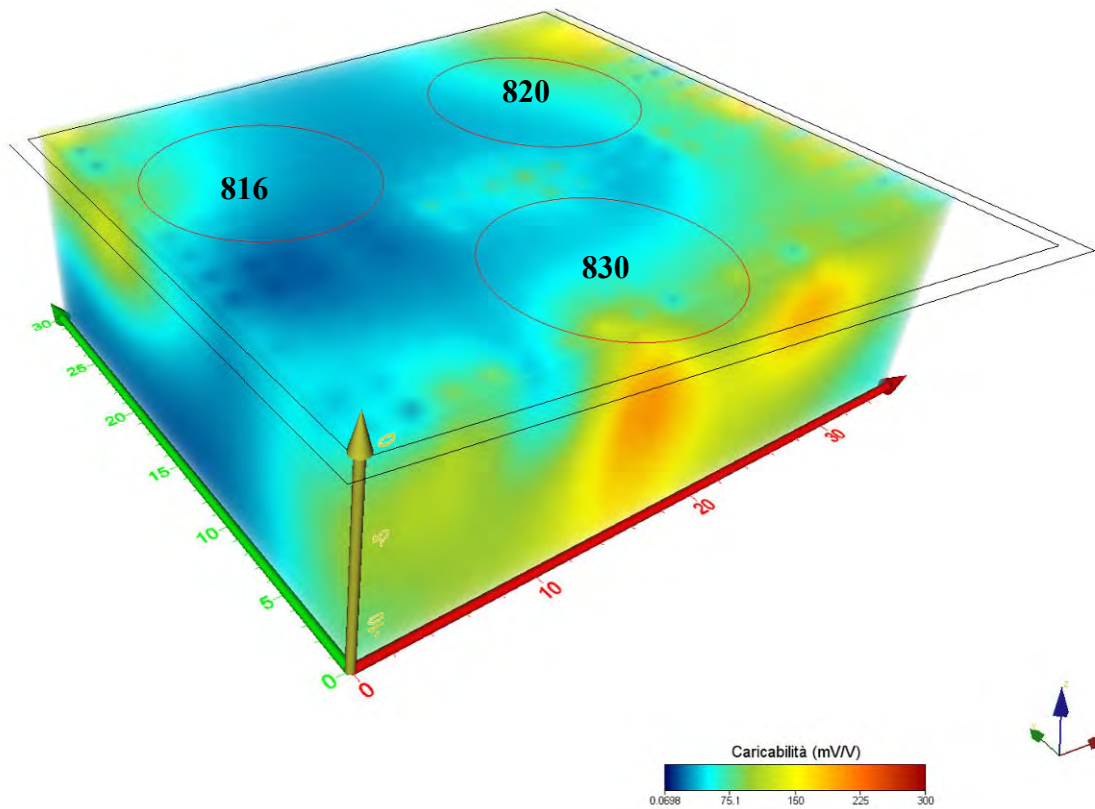
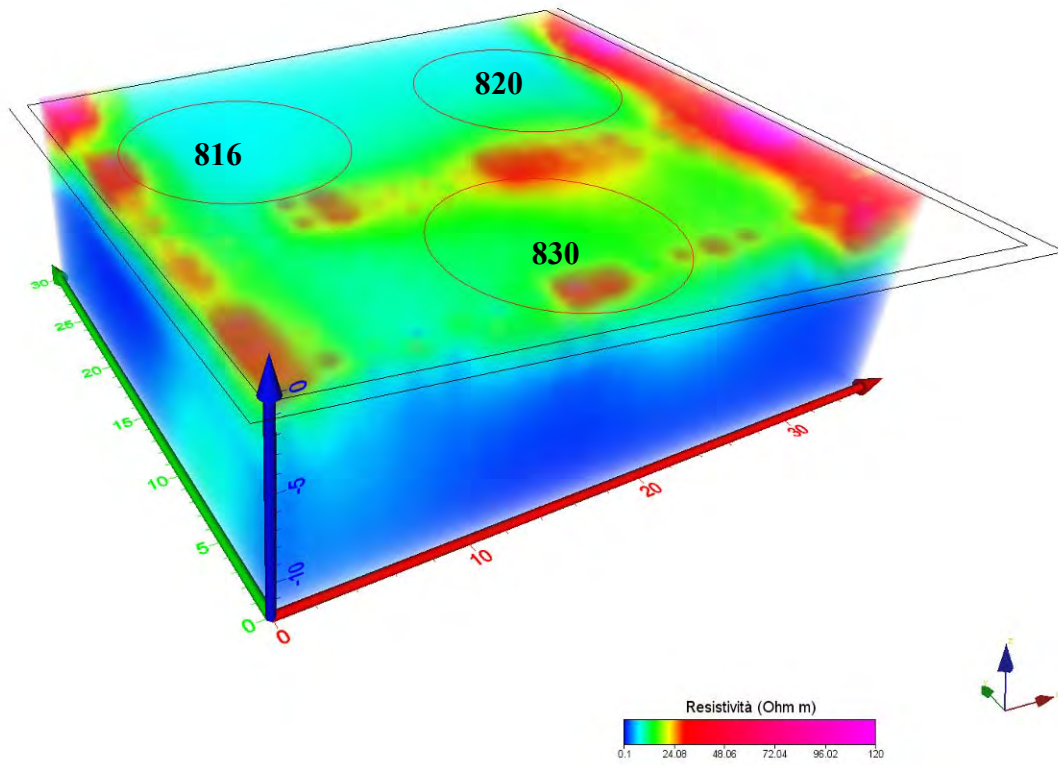
Vista da Sed-Est

Figura 54: Modelli volumetrici di resistività e polarizzazione indotta Serbatoi 805 e 806

**SERBATOI: 816-820-830-821-822-823-824-832-833-834-835**

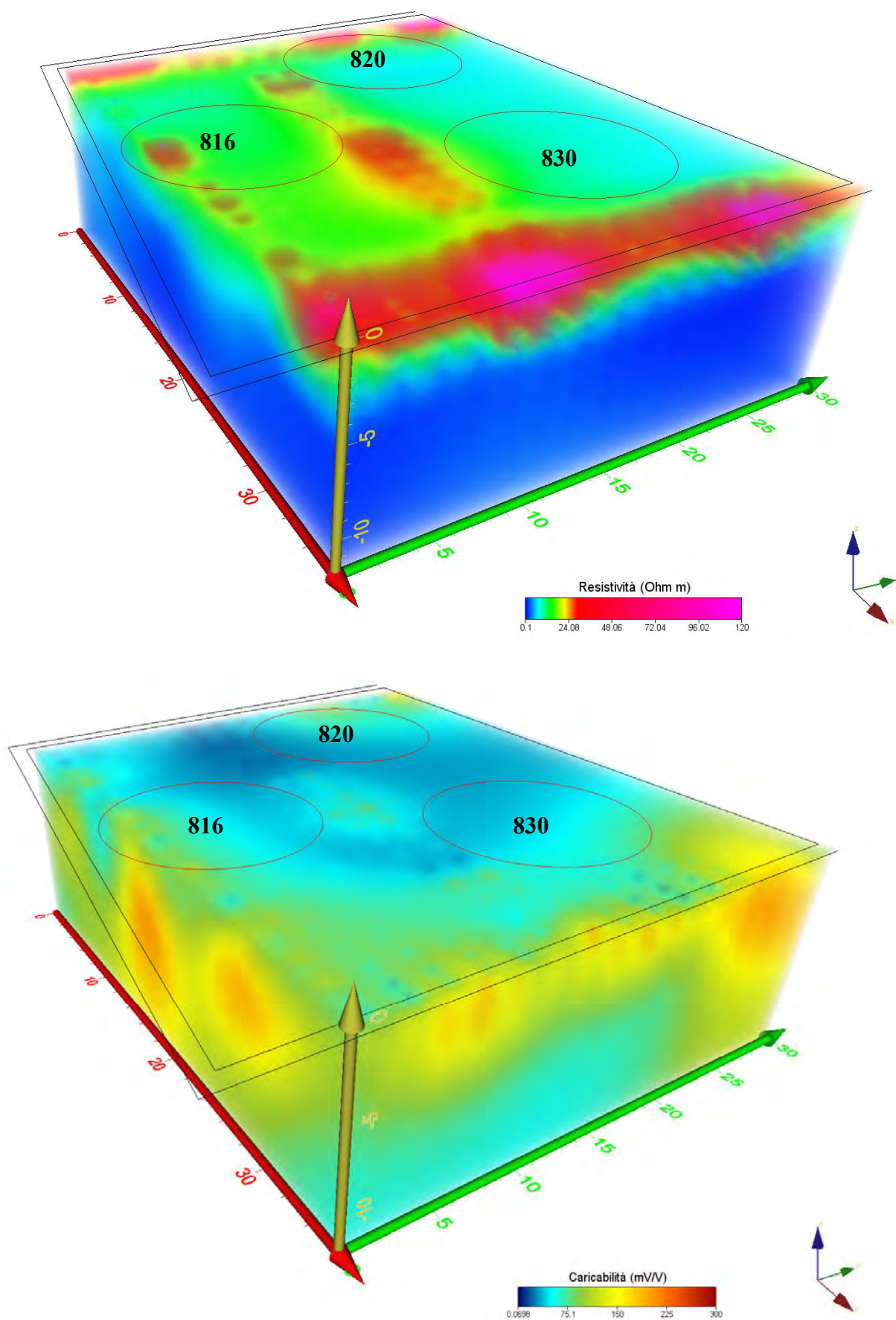
La modellazione geoelettrica 3D del sottosuolo, non realizzata nelle precedenti campagne di indagini, è stata eseguita attraverso i dati acquisiti da configurazioni elettrode su linee incrociate a forma di "L" (*L-shape*), eseguendo le letture di potenziale sia in linea sia tra gli array di elettrodi, con spaziatura di 2.0 m, tra loro perpendicolari. Le linee di misura sono state realizzate per come indicato in mappa, tra i serbatoi, ove possibile realizzare le stese contigue e incrociate; le misure ad essi pertinenti sono state accorpate in un unico volume, per ognuno dei due bacini di serbatoi, nel quale è stata operata l'elaborazione a software (inversione).

I modelli, rappresentati mediante blocchi-diagramma 3D in visione prospettica, con i valori di resistività e caricabilità in scala cromatica in leggera trasparenza, ricalcano la distribuzione di resistività vista nella prospezione 2D T50-51, realizzata tra essi e il *Fiume Marcellino*, anche se, ricadendo all'interno dei bacini, a quote più basse, quindi con un ridotto spessore dell'orizzonte superficiale più resistivo. Tendenzialmente si osserva, in entrambi i bacini, una diminuzione dei valori di resistività con la profondità, sia per la presenza di condizioni di saturazione e sia per la presenza di litologie argillo-limose, cui si associa l'aumento della caricabilità per polarizzazione indotta. Permane, come visto sempre nel modello 2D citato, una fascia, tra 2 e 6 m di profondità circa, in cui si rilevano valori sia di resistività, che di polarizzazione indotta leggermente più elevati rispetto al contesto. Tale condizione è dovuta da particolari condizioni stratigrafiche che individuano la presenza di litologie più resistenti, al contempo caratterizzate da una più elevata caricabilità. Tale dato è confermato dall'assenza di contaminazione nelle acque di falda analizzate nei piezometri posti a valle dei serbatoi.



Vista da Sud-Ovest





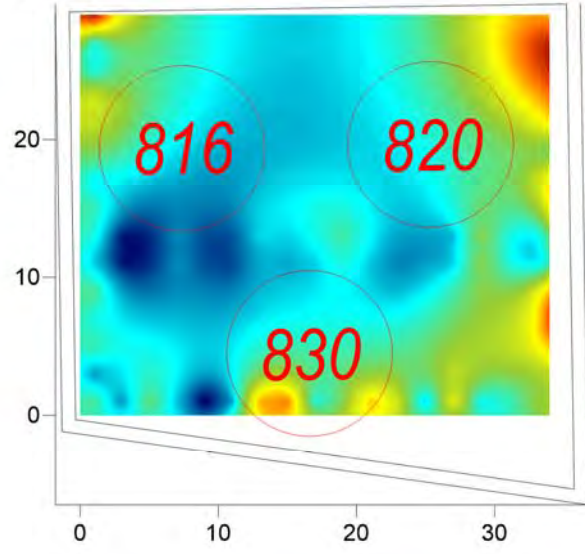
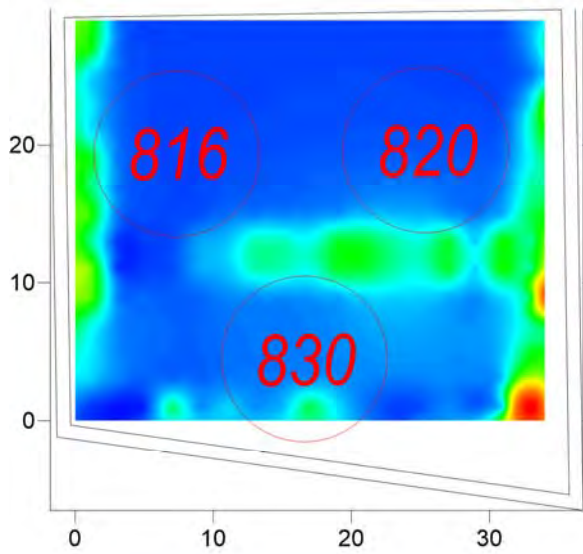
Vista da Sud-Ovest

Figura 55: Modelli volumetrici di resistività e polarizzazione indotta Serbatoi 816, 820 e 830

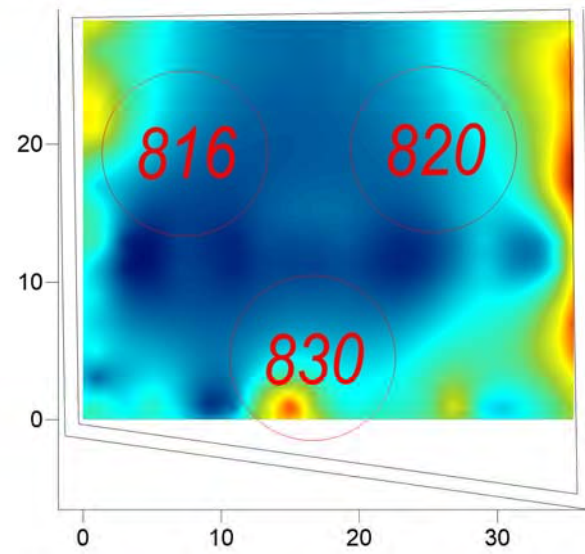
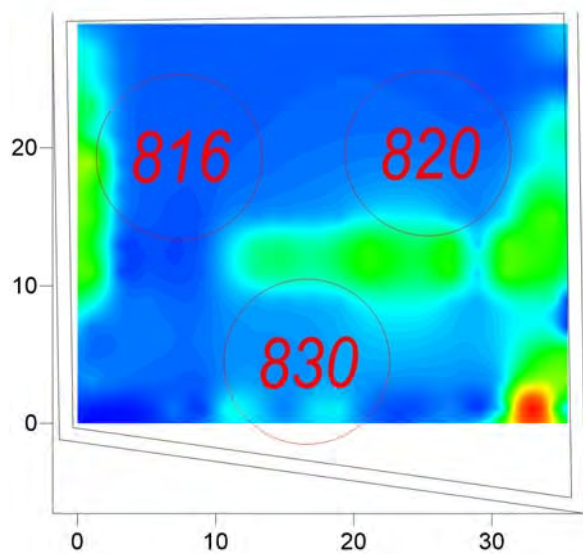
PIANI DI RESISTIVITA'

PIANI DI CARICABILITA'

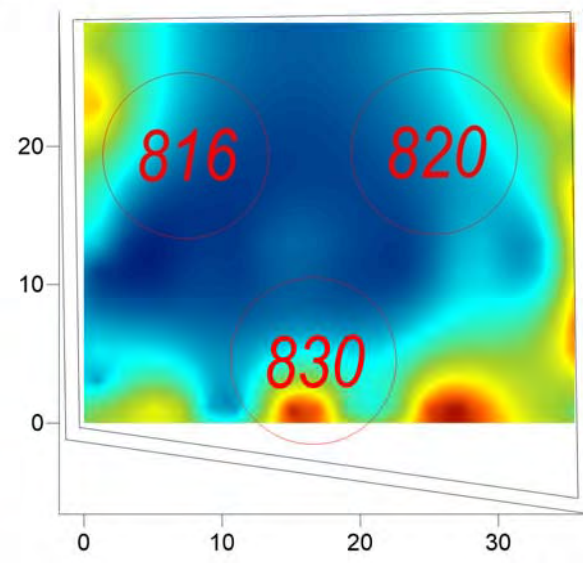
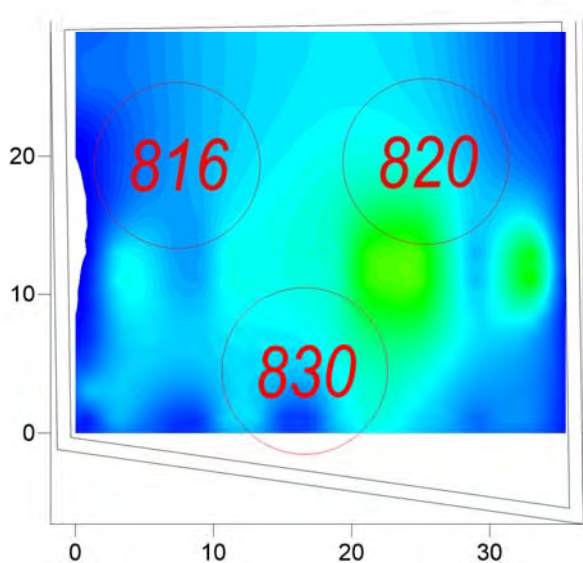
Profondità = 0.50 m



Profondità = 1.30 m



Profondità = 2.60 m



Profondità = 5.40 m

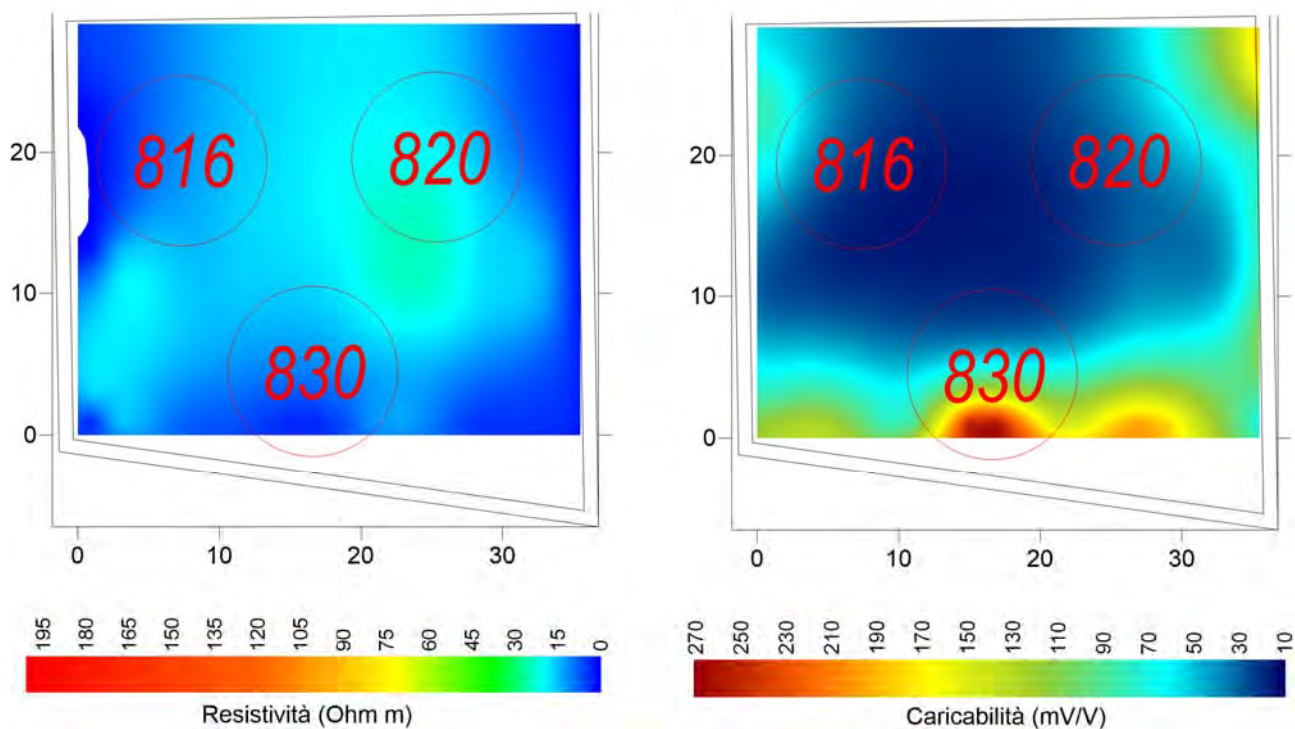
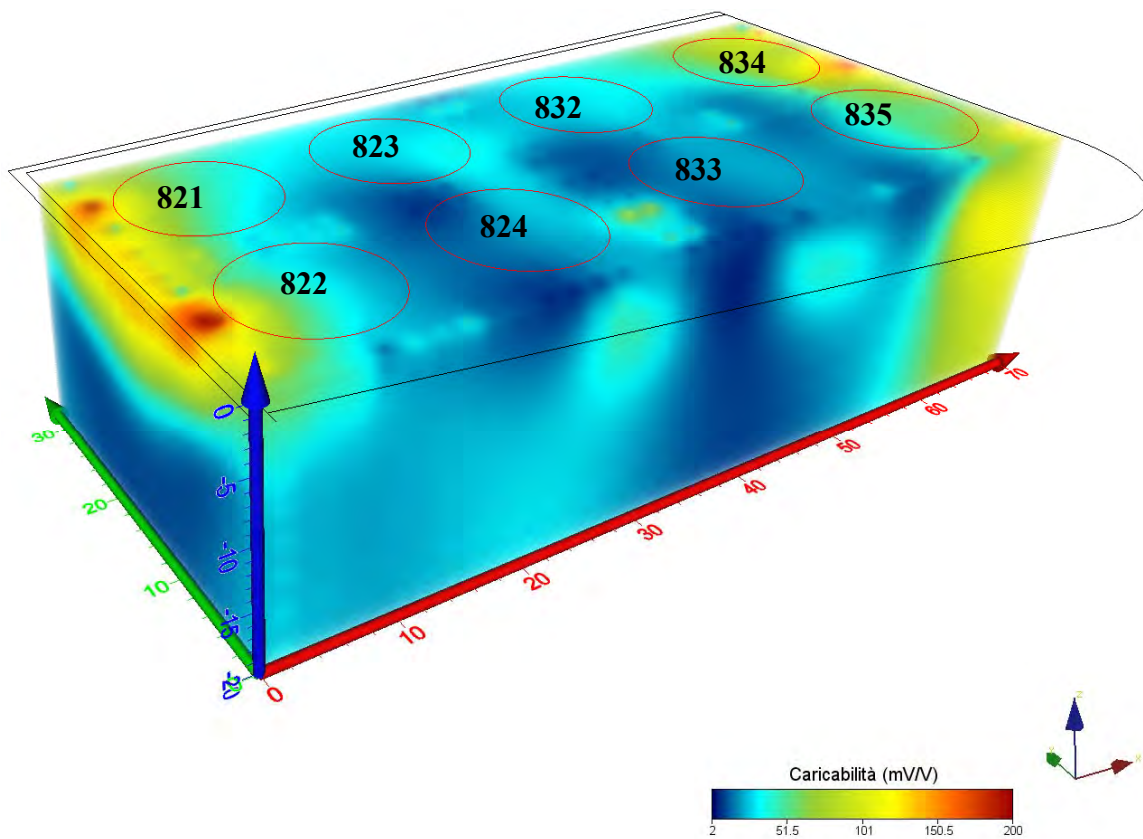
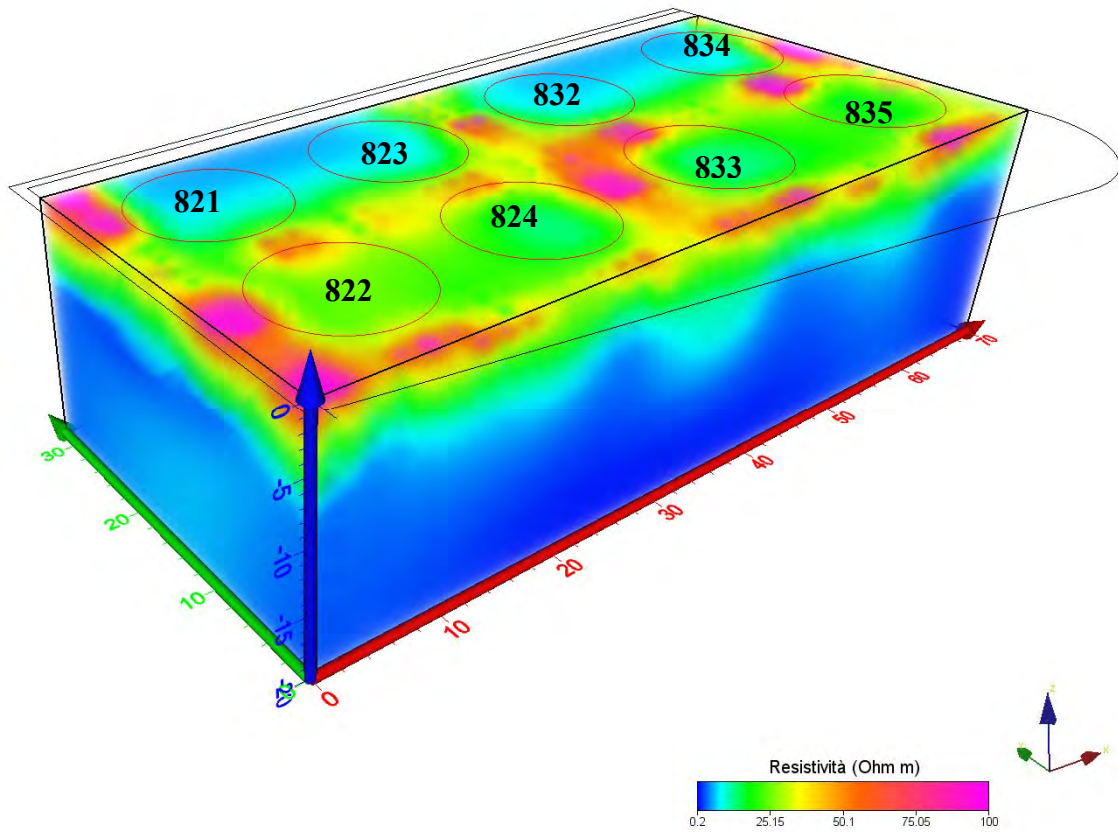
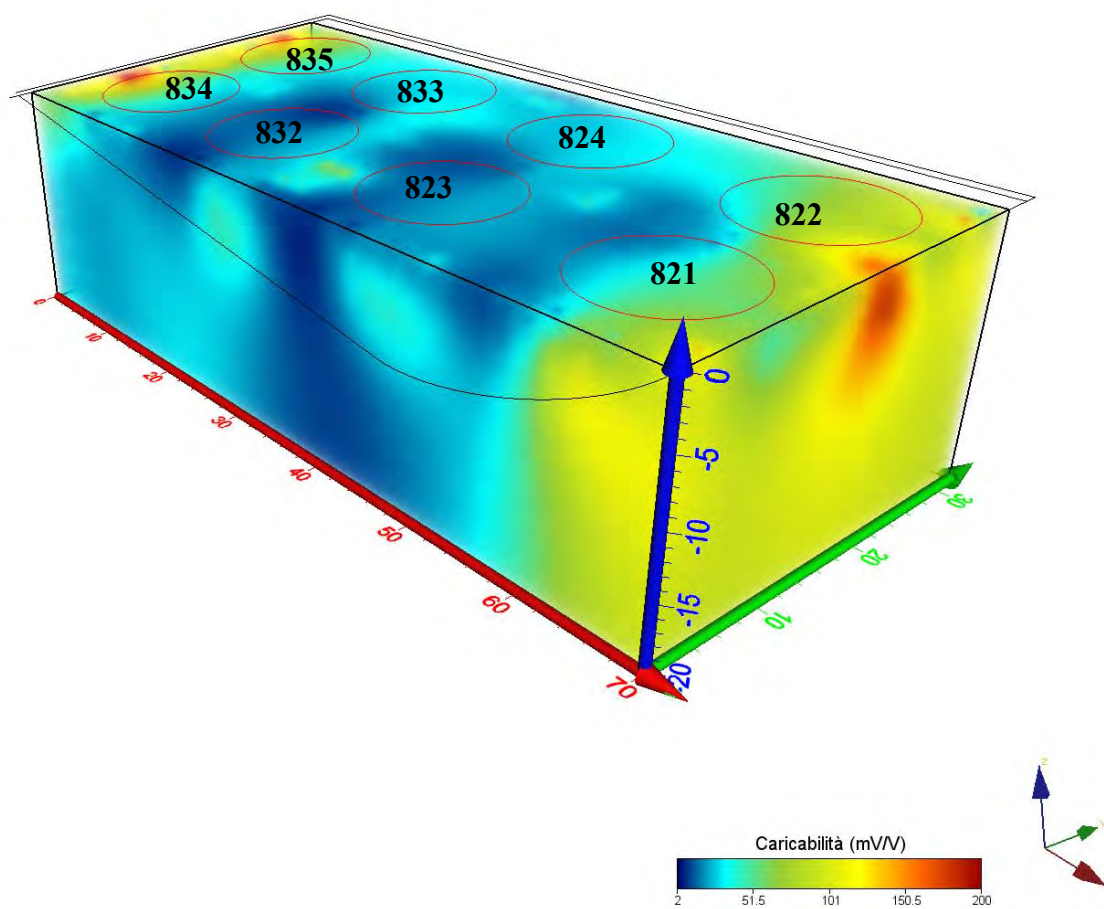
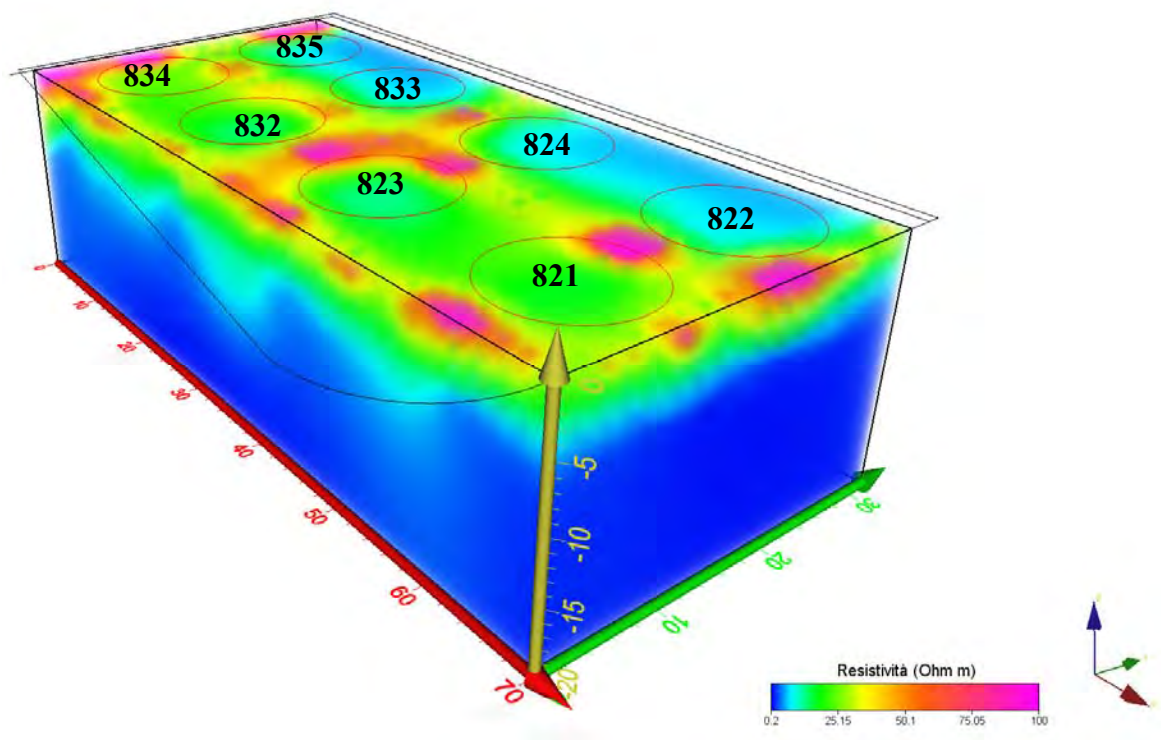


Figura 56: Piani di resistività e caricabilità a varie profondità Serbatoio 816-820-830



Vista da Sud-Ovest



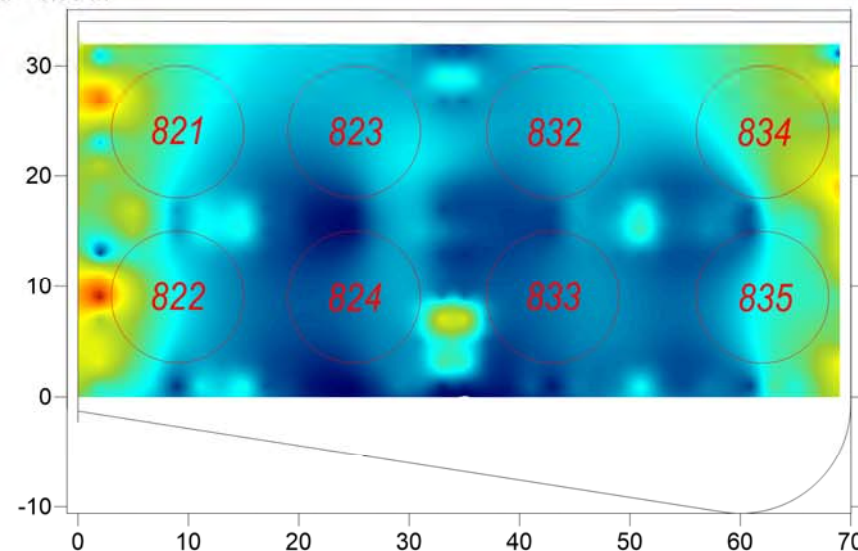
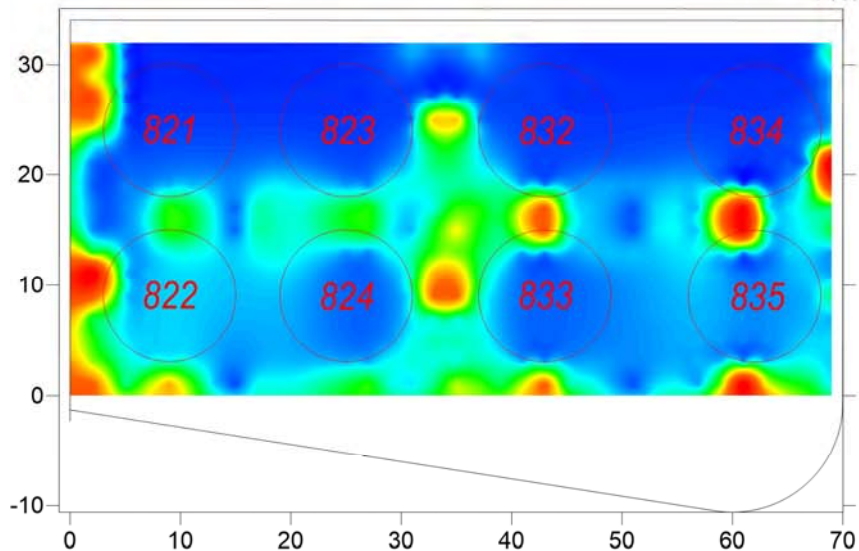
Vista da Sud-Ovest

Figura 57: Modelli volumetrici di resistività e polarizzazione indotta Serbatoi 816, 820 e 830

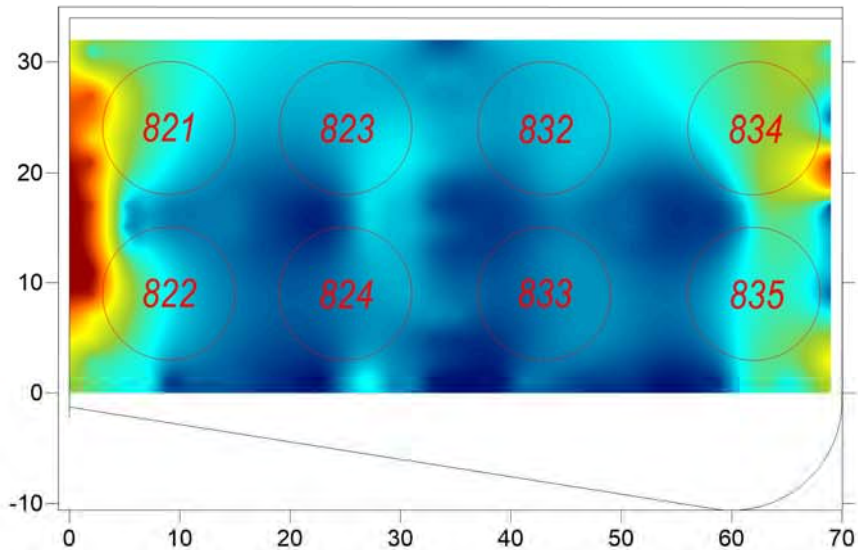
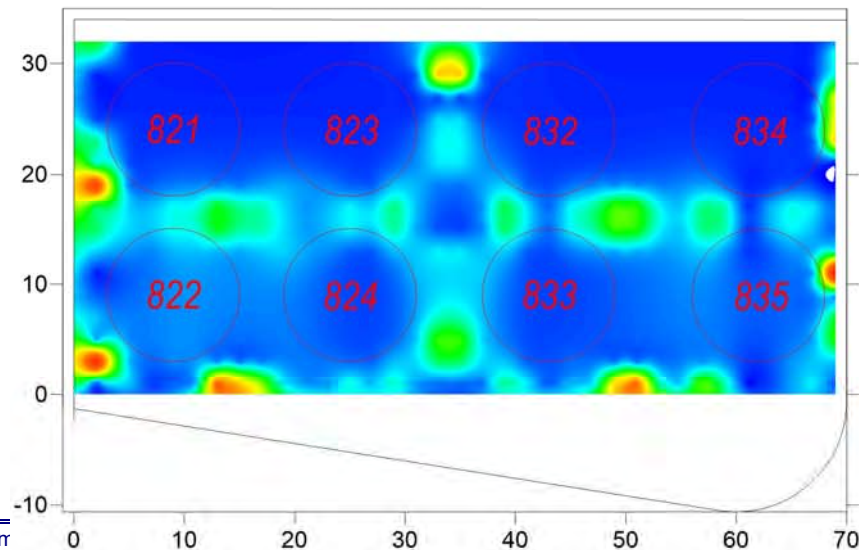
PIANI DI RESISTIVITA'

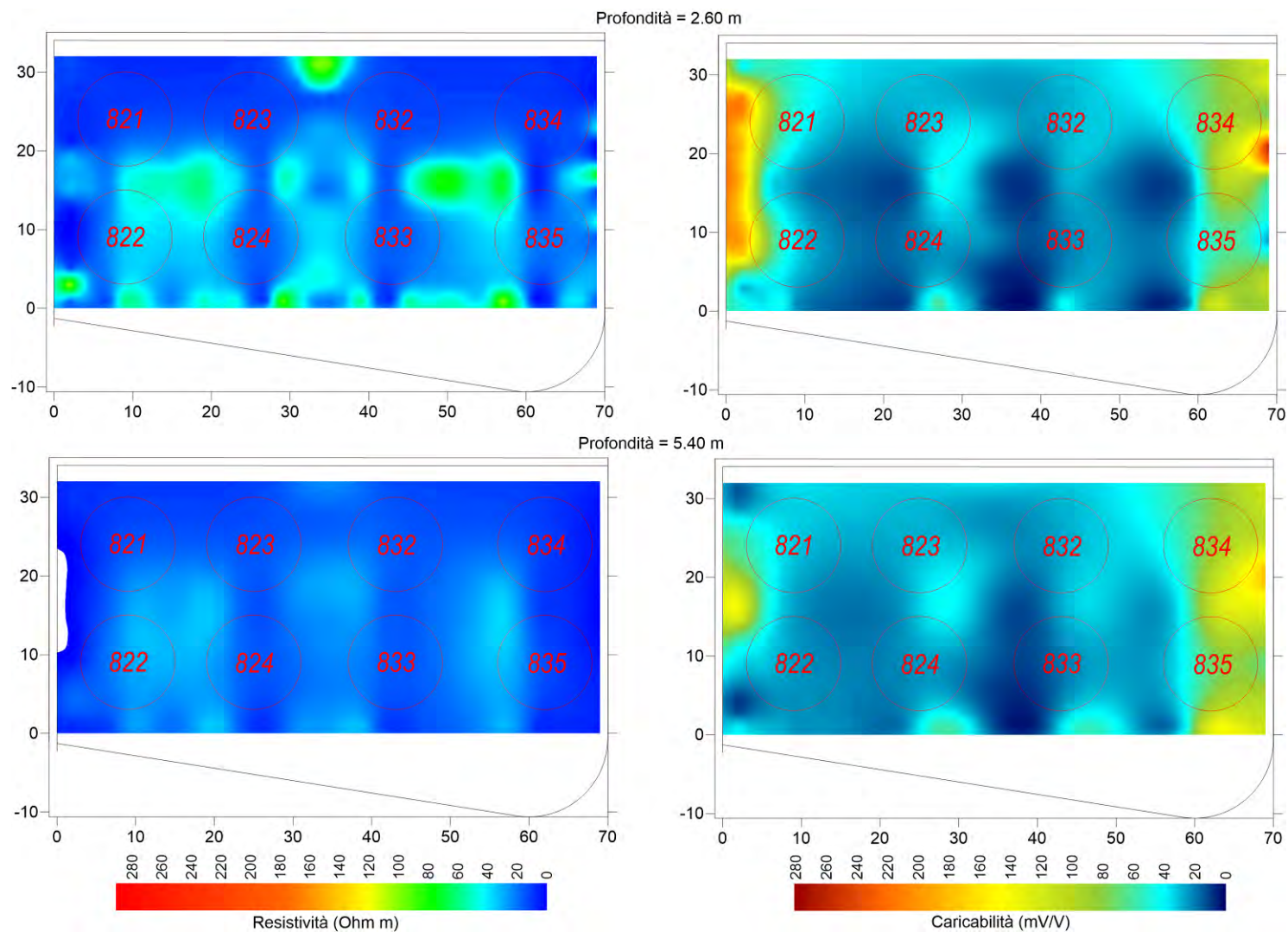
PIANI DI CARICABILITA'

Profondità = 0.50 m



Profondità = 1.40 m





**Figura 58: Piani di resistività e caricabilità a varie profondità Serbatoio 821-822-823-824-832-833-834-835**

## Serbatoi 849

Il modello geoelettrico 3D15, relativo al serbatoio 849 del sottosuolo relativo al bacino contenente i serbatoi 805 e 806 è stato realizzato attraverso i dati acquisiti da configurazioni elettrodiche su linee incrociate a forma di “L” eseguite sui quattro lati del bacino contenente lo stesso, eseguendo le letture di potenziale sia in linea sia tra gli array di elettrodi che tra loro perpendicolari.

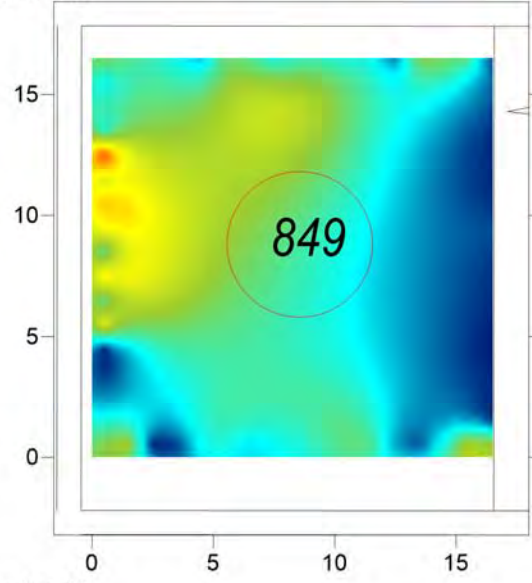
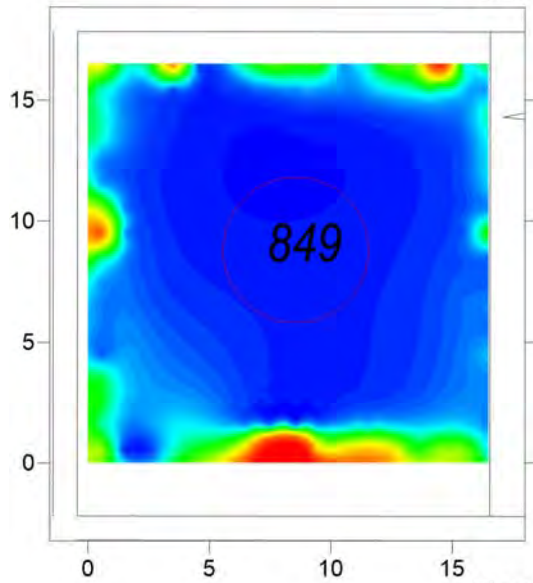
Ad esclusione di alcuni tratti superficiali, interessati dalla presenza di terreno sabbioso-ciottoloso con resistività compresa tra 20 e 150  $\Omega$ m, i valori della resistenza elettrica specifica si mantengono su valori molto bassi, inferiori a 15  $\Omega$ m, attribuibili a compagini prettamente pelitiche, costituite da argille più o meno limose, interessate da rare intercalazioni sabbiose, in falda. Non si rinvergono anomalie di ampiezza significativa per l'indagine di interesse. Anche i valori di caricabilità per polarizzazione indotta non presentano valori anomali significativi, tra l'altro questi tendono a crescere dove si osserva la riduzione della resistività, per cui essa sembra controllata dalle condizioni litologiche. Non si rinvergono, come le elaborazioni dell'anno 2019, anomalie associabili a processi di contaminazione della falda e/o del terreno.



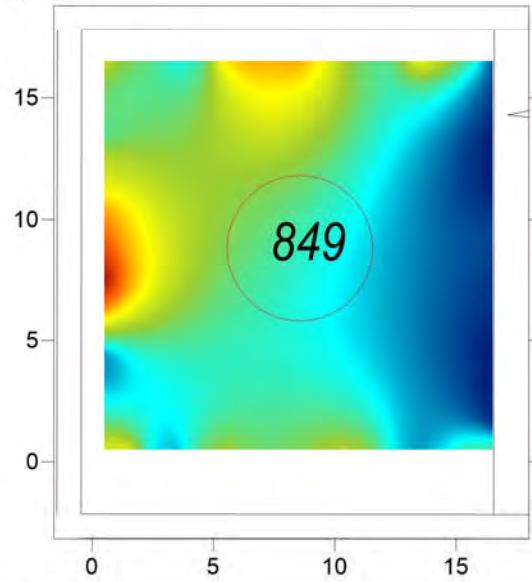
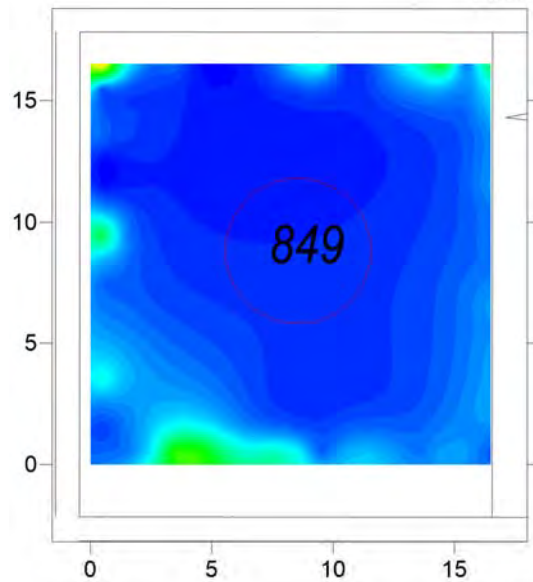
PIANI DI RESISTIVITA'

PIANI DI CARICABILITA'

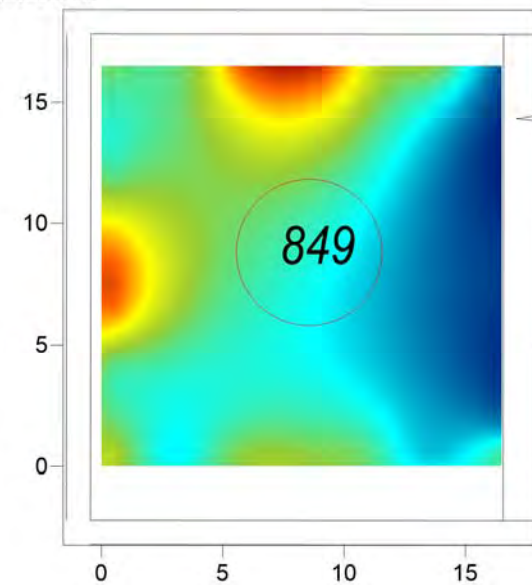
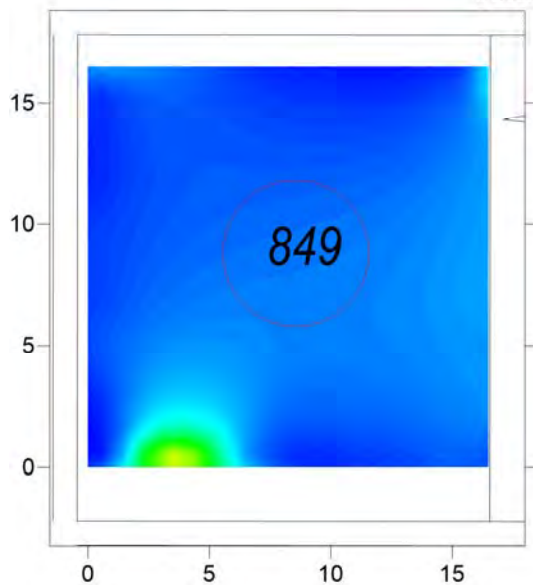
Piano a 0.50 m di profondità



Piano a 1.20 m di profondità



Piano a 2.60 m di profondità



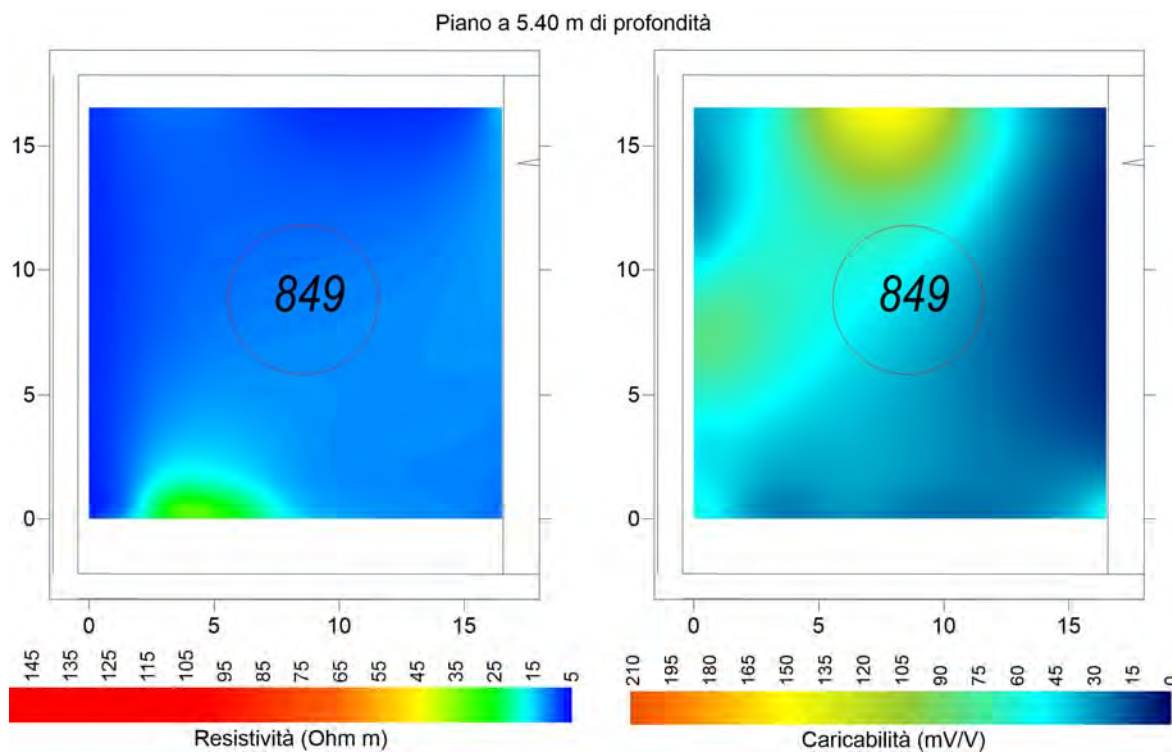
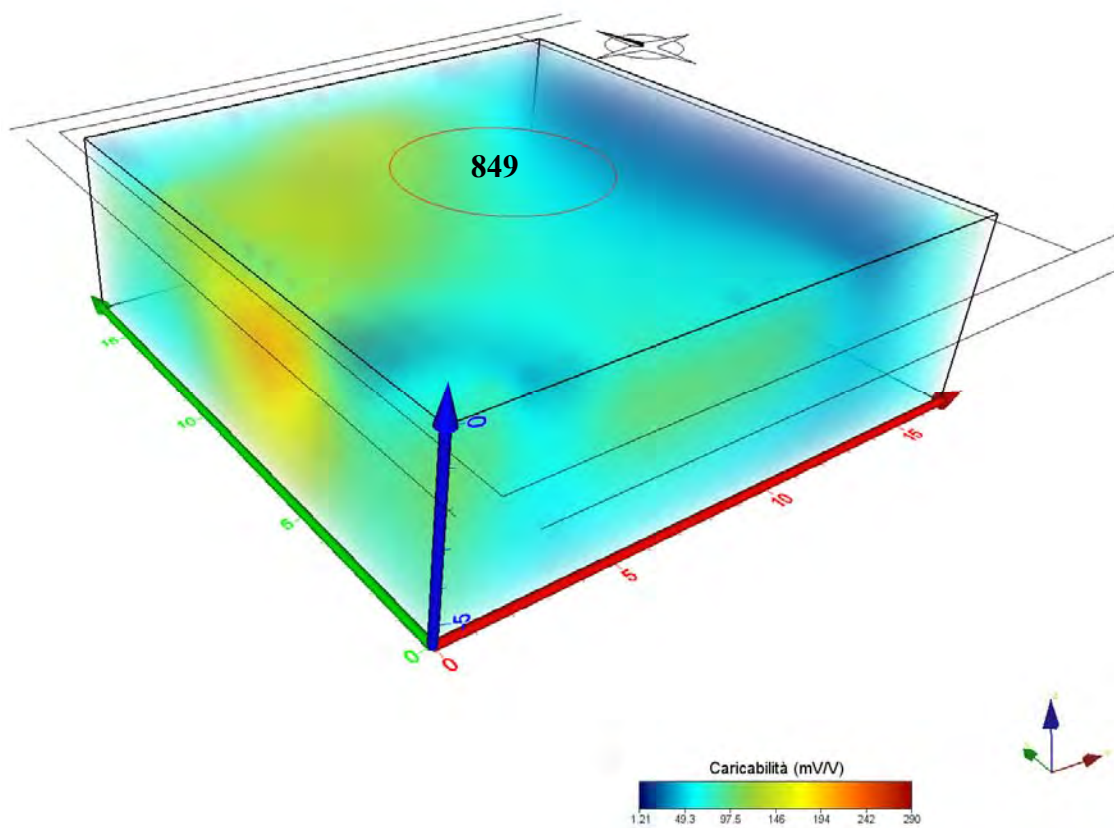
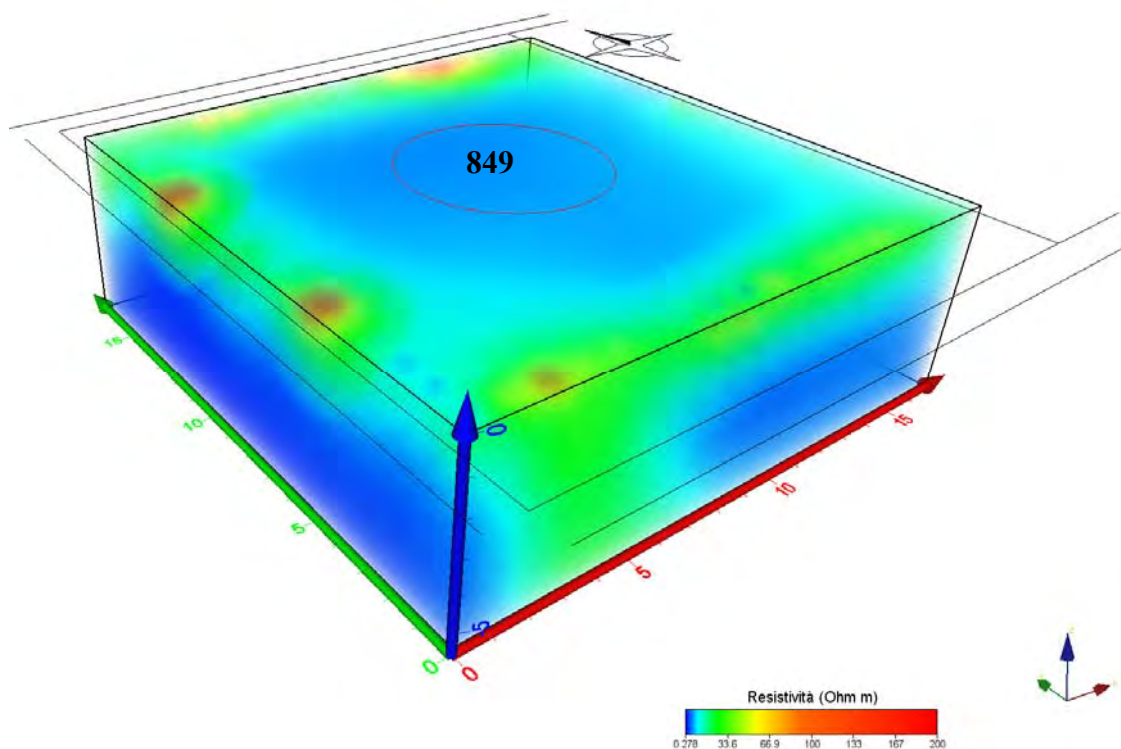
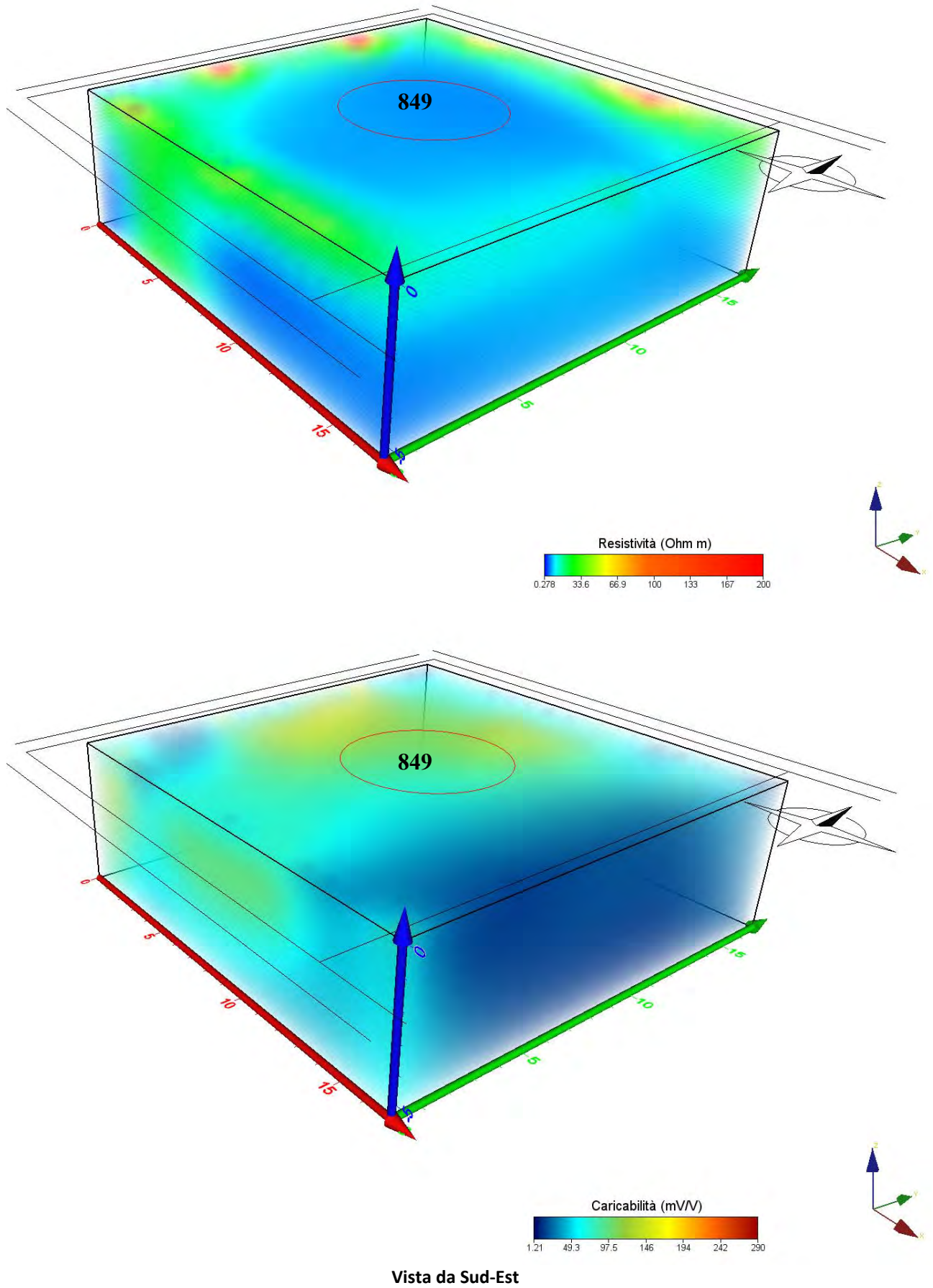


Figura 59: Piani di resistività e caricabilità a varie profondità Serbatoio 849



Vista da Sud-Ovest



**Figura 60: Modelli volumetrici di resistività e polarizzazione indotta - Serbatoio 849**

## Serbatoi 5001-5002-5003-5005-5005

La modellazione geoelettrica 3D del sottosuolo compreso tra questi cinque serbatoi è stata eseguita attraverso i dati acquisiti da configurazioni elettrodiche su linee incrociate a forma di "L", eseguendo le letture di potenziale sia in linea sia tra gli array di elettrodi tra loro perpendicolari, così per come indicato nella planimetria allegata. Per ognuno dei serbatoi sono state quindi eseguite due acquisizioni con vertice degli allineamenti in opposizione geometrica e con lunghezza in funzione degli spazi disponibili, variabile tra 15 m e 20 m (elettrodi spazati di 1.0 m). I dati acquisiti nelle stese interessanti serbatoi contigui sono stati accorpati in un'unica geometria 3D e quindi soggetti ad inversione, sia per la resistività che per la polarizzazione indotta, su un volume di oltre 100 m di lunghezza, 20 m di larghezza, con una profondità di investigazione di circa 10 m. Lo scarto di errore tra i dati sperimentali e quelli calcolati è risultato accettabile (RMS<10%).

In accordo con l'assetto stratigrafico del sito, come già visto nelle indagini 2D, il modello ottenuto mostra un orizzonte dello spessore di 5-7 m caratterizzato da resistività relativamente elevate (120-250  $\Omega$ m) con tratti, soprattutto nella zona perimetrali dell'area investigata, caratterizzata da nuclei alto-resistivi imputabili alla presenza di terreno di riporto e all'influenza delle fondazioni dei muri perimetrali. Al di sotto di questo strato, i valori di resistività si riducono a valori inferiori a 25  $\Omega$ m, indicando l'aumento della componente pelitica e/o la presenza di una falda. In accordo alle litologie previste, la caricabilità aumenta decisamente al di sotto dei 5-7 m (presenza della componente argillosa); anche locali le leggere anomalie superficiali, si associano a una diminuzione di resistività elettrica, quindi riconducibile a motivi litologici e/o alla presenza di elementi metallici sepolti. Confrontando i dati ottenuti da questa campagna di indagine con le precedenti, non si riscontrano anomalie attribuibili a condizioni di inquinamento da idrocarburi.

UBICAZIONE DEGLI STENDIMENTI MULTIELETTRODICI

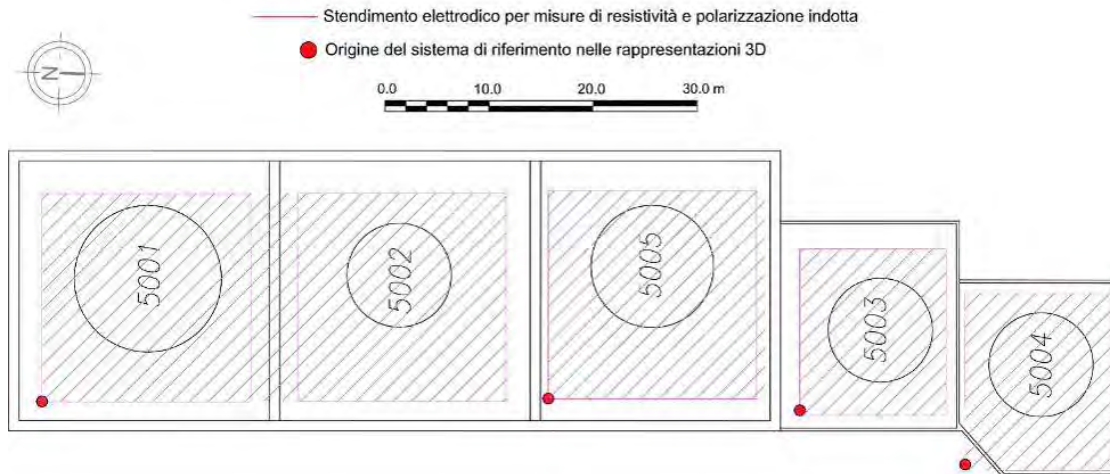
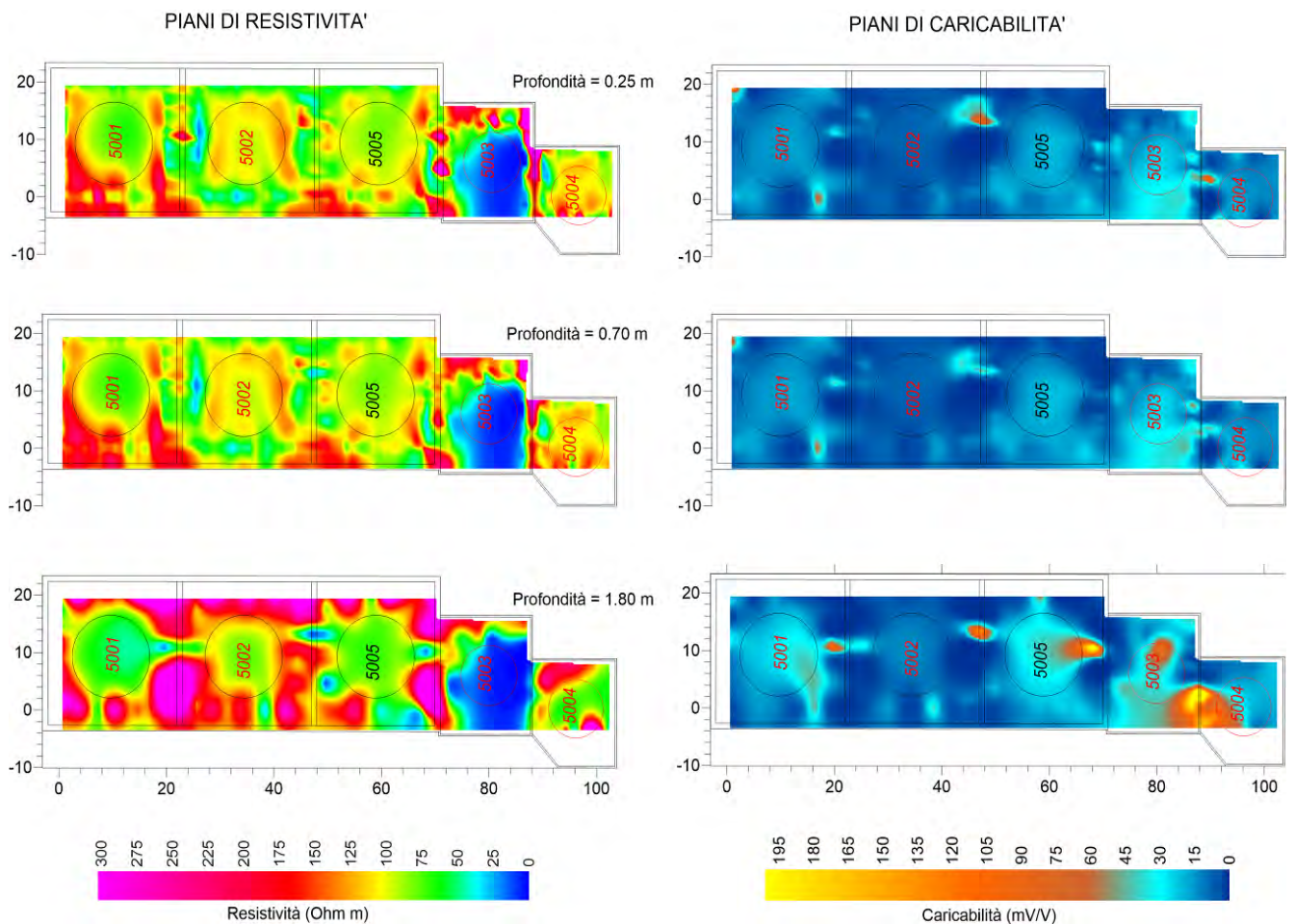


Figura 61: Ubicazione stendimenti



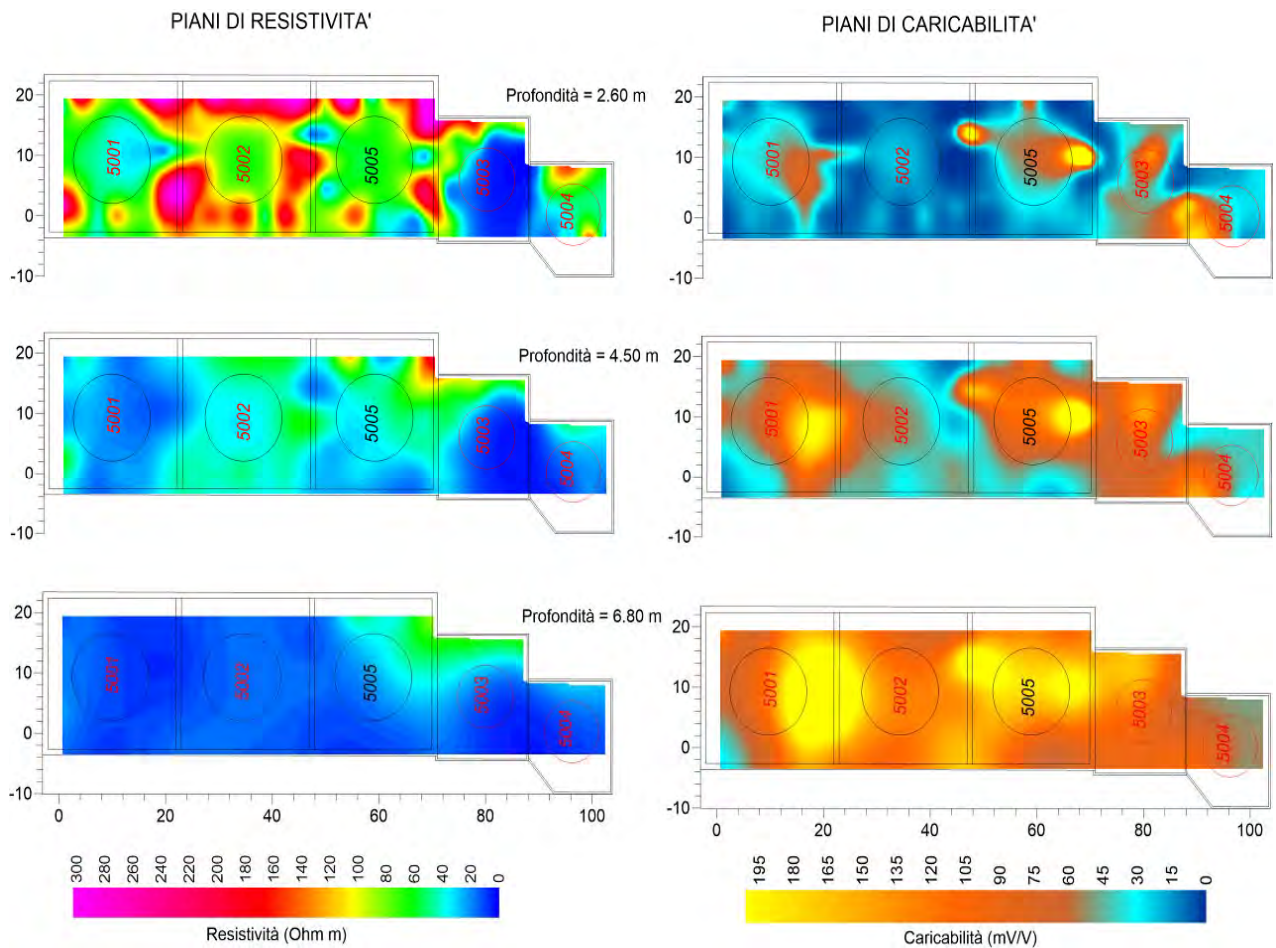
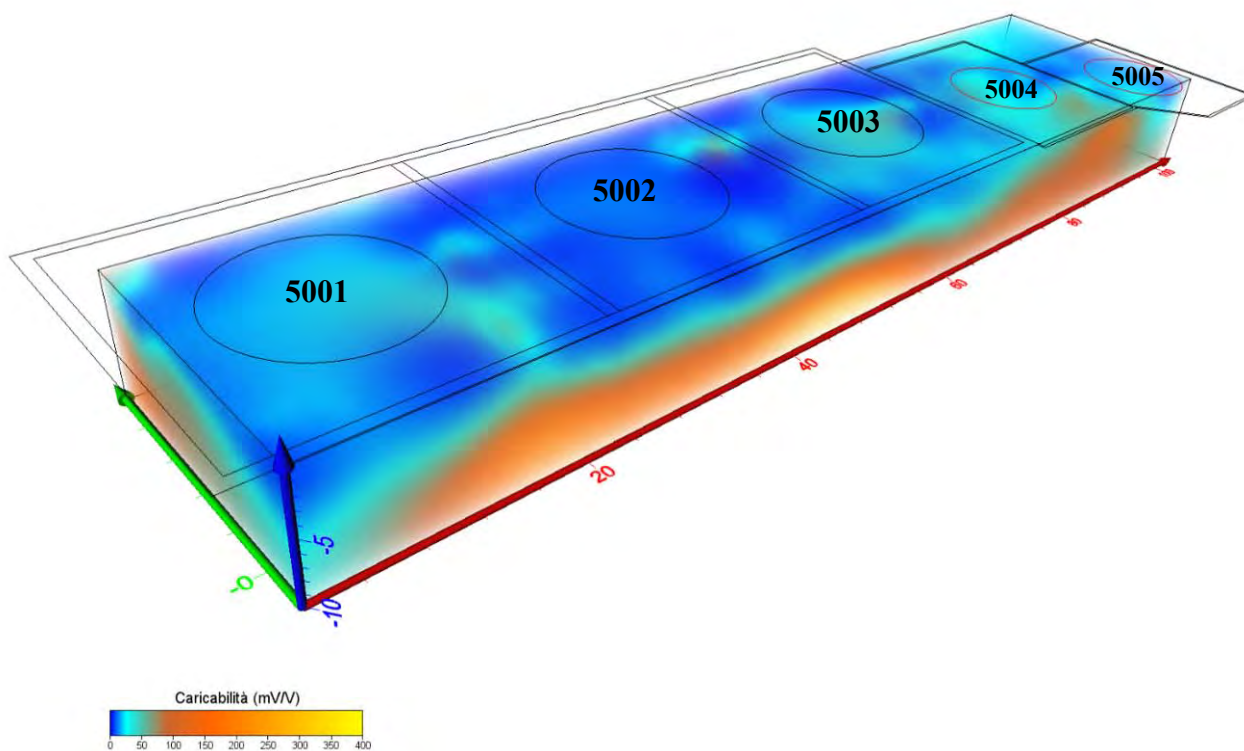
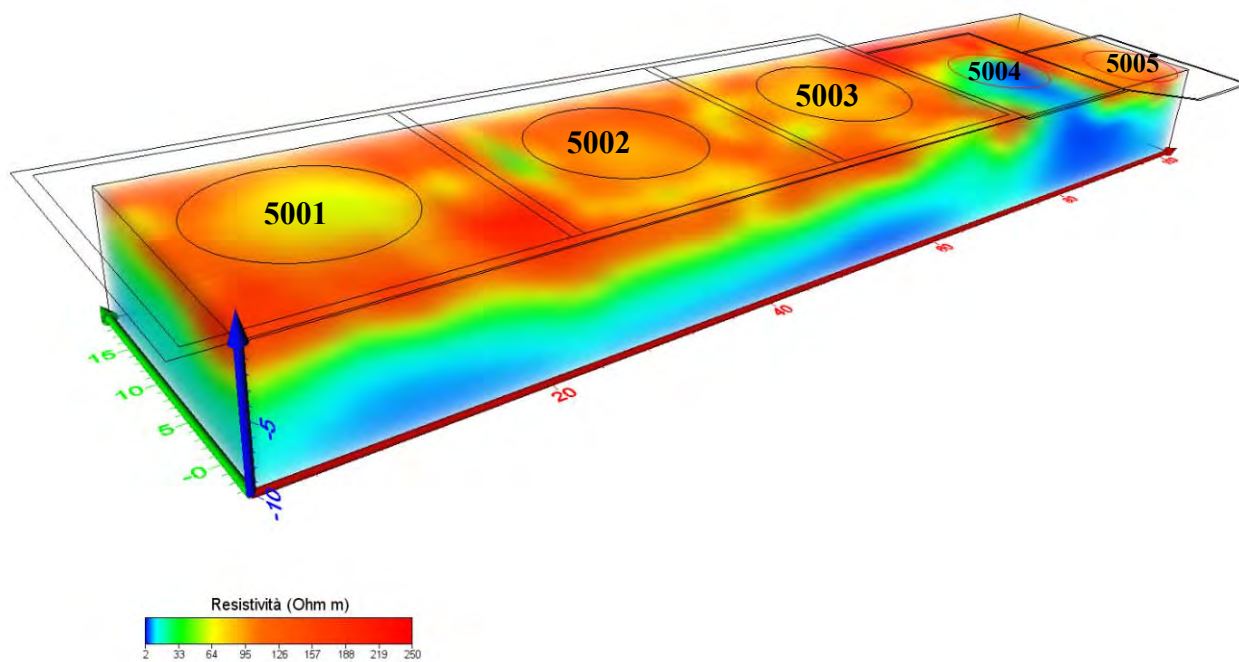


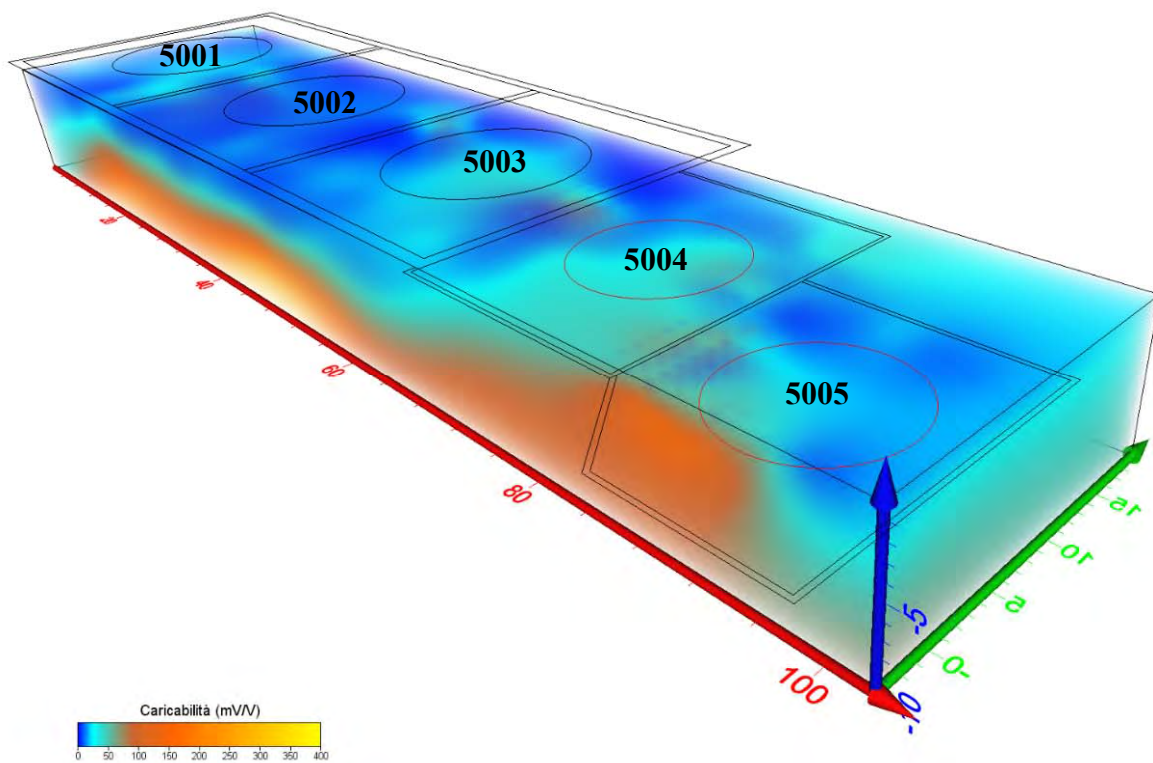
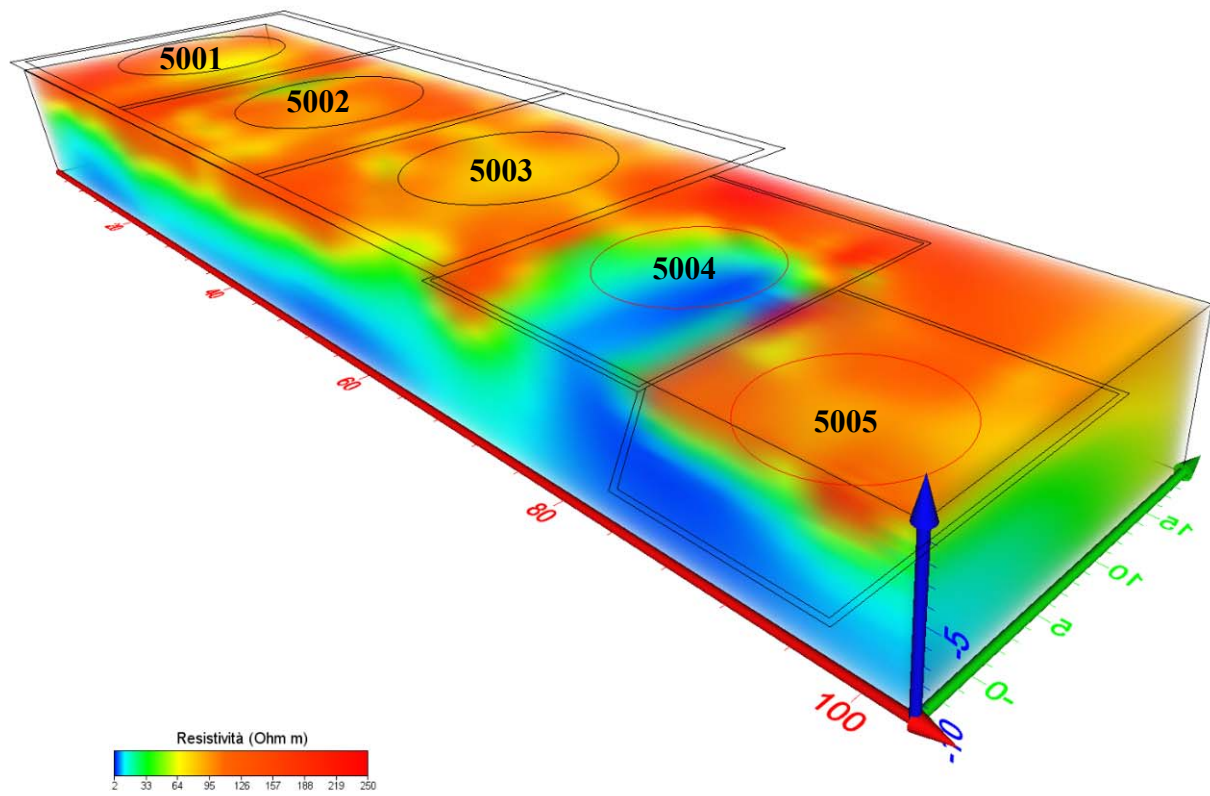
Figura 62: Piani di resistività e caricabilità a varie profondità Serbatoi 5001-5002-5003-5005-5005

Serbatoi 5001-5002-5003-5004-5005



Vista da Nord-Ovest





Vista da Sud-Ovest

Figura 63: Modelli volumetrici di resistività e polarizzazione indotta

## 7. CONCLUSIONI

Le indagini geofisiche effettuate nell'area dello stabilimento SASOL ITALY S.p.A. sito in C. da Marcellino nel Comune di Augusta (SR) nel gennaio 2021, hanno consentito di aumentare lo stato conoscitivo dell'area oggetto di studio ed in particolare confrontare i risultati ottenuti con le sezioni elaborate negli anni 2018 e 2019, al fine di individuare eventuali anomalie o criticità ambientali.

Sono stati realizzati n. 63 profili tomografici 2D e n.43 profili tomografici 3D.

Le acquisizioni sono state realizzate mediante stese multi elettrode lineari per la modellazione di tomografie bidimensionali e con array di elettrodi ad allineamenti incrociati (*L-shape*) per la modellazione dei dati elettrici in volumi di terreno al di sotto dei serbatoi (modelli tridimensionali).

I valori di resistività e caricabilità dei terreni ben si correlano con l'assetto litostratigrafico del sito; in particolare sono stati riscontrati valori medio elevati di resistività che si associano sempre a valori medio-bassi di caricabilità, nelle parti più superficiali (fino a 6-8 m di profondità) e dovuti alla presenza delle calcareniti più o meno cementate, localmente interessate dalla presenza di una matrice pelitica. Al di sotto dei 6-7 m di profondità si riscontra una riduzione dei valori di resistività, associabile alla presenza di termini prevalentemente pelitici (argille e limi), a cui corrisponde anche un aumento netto del valore della caricabilità (polarizzazione indotta).

Al fine di individuare eventuali perdite di prodotti stoccati nei serbatoi nel corso degli ultimi anni, tutte le sezioni tomografiche sono state confrontate con quelle realizzate negli anni 2018 e 2019.

Le modeste "anomalie" riscontrate si riferiscono alle stesse rinvenute gli anni precedenti e dovute alla presenza di tubazioni, strutture in cls, falda acquifera, o sacche di acqua dovute a precipitazioni.

Per un maggiore riscontro di quanto asserito, si è provveduto ad una analisi di confronto con i risultati delle analisi chimiche dei campioni di acqua di falda prelevati nel monitoraggio di gennaio/febbraio 2021 dai piezometri posti nelle immediate vicinanze dei serbatoi osservati.

In merito alle sacche di acqua, si fa presente che, il giorno precedente all'inizio delle attività si sono verificati nell'area dello stabilimento copiose precipitazioni piovose.

Per quanto riportato nel presente documento tecnico ed a seguito delle indagini effettuate in situ, si ritiene di poter affermare l'assenza di fenomeni di contaminazione e di perdite dai serbatoi.





## ALLEGATO 1:

- *Planimetria del sito con ubicazione dei profili tomografici 2D e 3D*





## ALLEGATO 2:

- *Certificato di calibrazione strumentazione geofisica.*



Abem Instrument AB  
Löfströms Allé 6A  
S-17266 Sundbyberg  
Sweden  
VAT No. SE5564127719

## Calibration Certificate

**Customer:** IND.A.G.O. S.N.C.

**Instrument:** Terrameter LS2  
S/N: 218090483

**Date of calibration:** 2018-09-27

**Environment:** 23 +/- 2 degrees Celsius

**Test equipment:** Fluke Multimeter 8846A  
S/N 9248032

**Calibration method:** Input channels are calibrated at different voltages  
Voltage is measured by input channels with Fluke  
Multimeter as reference

Current transmitter is calibrated at different currents  
Current is transmitted by Terrameter LS and measured by Fluke  
Multimeter as reference.

**Document nr.:** LS-218090483

Engineer: Bjarne Eriksson  
Date: 2018-09-27  
Signature: BER

QC approved:

Date: 2018-09-27

Reg nr:	Rev: v1.3 (2016-08-05)
Valid from:	
Produced by: AK.BA	
Revised by: AHO	

**Manual test**

Test nr	Test case	Comments	Initials
2.1	Control power consumption		BER
2.2	SNr , channels and software		BER
2.3	Control of internal battery		BER
2.4	Control of battery readings		BER
2.4.1	Control of battery charger		BER
2.5	Relay test		BER
2.6.1	Calibration of RX channels (LOW)		BER
2.6.2	Calibration of RX channels (HIGH)		BER
2.6.3	Calibration of TX voltage (Monitor U)		BER
2.6.4	Calibration of TX ampere (Monitor I)		BER
2.7	SP-test (HIGH)		BER
2.8	SP-test (LOW)		BER
2.9	TX-test (High Current)		BER
2.10	RES-test		BER
2.11	Export to USB flash drive		BER
2.13	Ethernet		BER
2.13.1	Wi-Fi		BER
2.13.2	3G/GPRS		BER
2.14	GPS		BER
5.1	Cold test (-20°C)		BER
5.2	Heat test (45°C)		BER
2.15	Quality check assembly		BER
3	Verification of test result		BER
4.1	Cleanup after test		BER

Date : 2018-09-27

Sign : BER

Reg nr:	Rev:	v1.3 (2016-08-05)
Valid from:		
Produced by:	AK.BA	
Revised by:	AHo	

Instrument serial #:

2 1 8 0 9 0 4 8 3

**Installed software**

Build number	2.2.5 b
--------------	---------

**Hardware**

CPU Module	Revision:
Micro SD	16 GB ATP
TX ver.	3.7.1
LINUX ver.	
Connection board	Revision:
Installed protocols	Standard

**Delivery configuration (logistic department)**

Installed time zone	
Model configuration (Mark specified)	Basic 2.43      Standard 2.43      Standard 2.81
	Advanced 4.43      Advanced 10.43      Advanced 4.81
	Advanced 8.81      Advanced 12.81      Other
Other modification	

IP. 192.168.23.1

192.168.1.85

192.168.1.1

192.168.1.156





**Getea Italia s.r.l.**

*SEDE LEGALE:* VIA BRECCE A S. ERASMO, 112/114  
80146 NAPOLI

TEL 081.5621238

CAPITALE SOCIALE € 500.000,00 P.I. 07033660635

[www.geteaitalia.it](http://www.geteaitalia.it) E-MAIL: [info@geteaitalia.it](mailto:info@geteaitalia.it) PEC: [getea@pec.geteaitalia.it](mailto:getea@pec.geteaitalia.it)