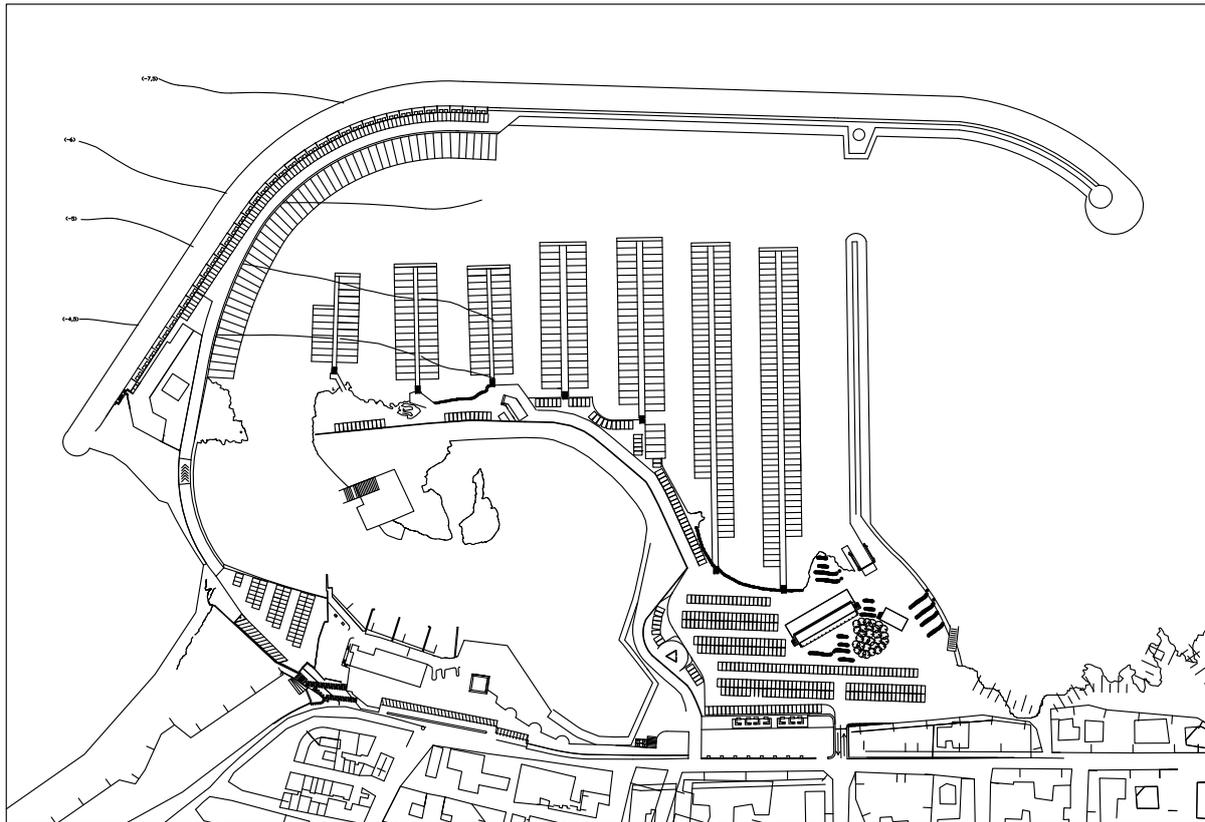


# REGIONE PUGLIA

PORTO DI SAN FOCA S.P.A.  
Porto Turistico-Stazionamento

PROGETTO DEFINITIVO PER L'AMPLIAMENTO E COMPLETAMENTO  
DEL PORTO DI SAN FOCA ADEGUATO ALLE RISULTANZE DELLE  
PROVE SUL MODELLO FISICO REALIZZATO DAL POLITECNICO DI BARI



## RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA

I TECNICI

Geol. Luigi Candido



SETTEMBRE 2018

TAV. G8

Rev.

## SOMMARIO

Premessa .....	2
Caratteri geomorfologici del territorio.....	3
Assetto altimetrico.....	3
Sistema morfogenetico costiero .....	3
Idrografia superficiale .....	3
Aspetti della morfogenesi carsica .....	4
Assetto geologico e strutturale .....	5
Indagine sismica .....	7
Strumentazione utilizzata .....	7
Indagine MASW: metodologia ed acquisizione.....	7
Processing e risultati dell'indagine MASW.....	10
Indagine Georadar.....	12
Indagine geoelettrica.....	14
Sondaggi geognostici.....	18
Rilievo delle grotte costiere .....	21
Modello Geologico del Sottosuolo.....	22
Stratigrafia e litologia delle formazioni affioranti .....	24
“Formazione di Uggiano la Chiesa” (Pliocene medio-sup.) .....	24
Sabbie litorali e dune attuali (Olocene).....	25
Depositi palustri (Olocene) .....	25
Depositi eluviali e colluviali tipo “terra rossa” (Olocene) .....	25
Assetto idrogeologico.....	27
Caratteristiche geotecniche dei materiali costituenti la falesia costiera .....	28
Tipologia e meccanica dei fenomeni di dissesto .....	29
Tipologia di intervento e verifiche .....	31
Conclusioni .....	36
Allegati.....	37
Planimetria grotte su planimetria di progetto.....	37
Ubicazione Traccia Sismica .....	37
Ubicazione Tracce Georadar .....	37
Radargrammi .....	37
Ubicazione Sezione Geologica.....	37
Sezione Geologica.....	37
- Planimetria generale con ubicazione delle grotte; .....	37
- Piante e sezioni delle grotte; .....	37
- Planimetria delle inquadrature fotografiche; .....	37
- Documentazione fotografica.....	37

---

## Premessa

---

La presente relazione di compatibilità geomorfologica viene redatta in riferimento al Verbale dell'Incontro Tecnico del 04.09.2012 presso l'Autorità di Bacino della Puglia, allo scopo di dimostrare il miglioramento delle condizioni statiche di un tratto di costa rocciosa bassa in seguito agli interventi previsti nel Progetto di Ampliamento e Completamento del Porto Turistico di San Foca.

In una porzione dell'area interessata dagli interventi previsti è presente una zona classificata a Pericolosità Geomorfologica (PG2).

## Caratteri geomorfologici del territorio

### Assetto altimetrico

L'intervento previsto dal presente progetto interessa il tratto di costa sul quale "attaccherà" il molo di sottoflutto del Porto di San Foca, nel territorio amministrativo del comune di Melendugno (LE).

L'assetto morfologico di questo tratto di fascia costiera è caratterizzato da una superficie topografica pressoché pianeggiante, a luoghi lievemente ondulata, con quote minime prossime al livello del mare e quelle massime pari a circa 3 metri s.l.m.m..

### Sistema morfogenetico costiero

L'assetto morfologico è il frutto di un'evoluzione paleogeografica sicuramente dominata da un ciclico alternarsi di fenomeni di modellamento di ambiente marino e subaereo: soprattutto durante il Quaternario, il tratto di fascia costiera adriatica in esame ha infatti subito numerosi eventi di ingressione marina alternati a periodi, più o meno lunghi, di riemersione.

La morfologia della superficie topografica, localmente piuttosto "appiattita", con dislivelli altimetrici modesti, denota infatti chiaramente l'influenza degli effetti di "spianamento" tipici dei fenomeni di abrasione marina, mentre l'esistenza di gradini morfologici, osservabili sia lungo la costa rocciosa emersa che sul litorale sommerso, testimoniano le numerose escursioni del livello marino avvenute in epoca quaternaria.

### Idrografia superficiale

Nel tratto compreso tra San Foca e S. Andrea, le zone retrostanti la fascia litorale sono caratterizzate dalla presenza di tipiche depressioni retrodunali, spesso sede di piccoli stagni e zone di aspetto paludoso.

L'idrografia superficiale, pressoché assente, si limita alla presenza di canali di bonifica, ovvero opere di origine antropica realizzate per drenare la falda superficiale che, affiorando sotto forma di polle e manifestazioni sorgentizie diffuse in corrispondenza delle aree più depresse, dava origine anticamente ad estese paludi costiere. Nell'ambito delle operazioni di bonifica furono realizzati anche numerosi riempimenti di aree particolarmente depresse con l'utilizzo di quantitativi, talora ingenti, di materiale di riporto. Un canale di bonifica è presente poco a sud dell'area d'innesto del "molo di sottoflutto", per le problematiche e le relative soluzioni riguardanti detto canale si rimanda ad altro elaborato tecnico a corredo del progetto.

### Aspetti della morfogenesi carsica

L'evoluzione morfologica della fascia costiera in esame risulta influenzata anche da fenomenologie di tipo carsico: nell'entroterra si possono infatti osservare avvallamenti di forma sub-circolare e/o ellittica che testimoniano la presenza di strutture di tipo dolinare.

Il grado di carsificazione delle litofacies plioceniche affioranti è tuttavia complessivamente modesto, soprattutto per quello che riguarda le strutture di superficie, che si presentano alquanto diradate, di piccole dimensioni e caratterizzate da uno scarso grado evolutivo.

Se da un lato la composizione prettamente carbonatica delle unità litologiche affioranti, ha sicuramente favorito lo sviluppo dei fenomeni carsici, questi tuttavia, a causa della particolare evoluzione paleogeografica dell'area, si sono esplicitati, soprattutto durante il Quaternario, in maniera discontinua o comunque ciclica, in coincidenza dei periodi in cui il ritiro delle acque marine permetteva il ritorno ad un ambiente di tipo continentale.

Tale situazione ha determinato l'instaurarsi di una carsogenesi di tipo peculiare, che si manifesta con i seguenti caratteri distintivi:

1. denota una scarsa produzione di terra rossa che, di solito assente all'interno delle cavità ipogee, presenta in genere spessori piuttosto esigui anche in superficie;
2. ha uno sviluppo prevalentemente ipogeo, ma comunque poco profondo e spesso epidermico, con reticoli di cavità e condotte allo stadio giovanile, di norma poco diramate e caratterizzate da interruzioni improvvise del loro sviluppo sia in senso orizzontale che verticale;
3. manifesta un andamento estremamente anisotropo e discontinuo, frutto di fenomeni dissolutivi prevalentemente di tipo concentrato, che hanno originato, in esclusiva prevalenza, cavità di interstrato (a prevalente sviluppo orizzontale) e di frattura (a prevalente sviluppo verticale);
4. origina frequenti strutture da collasso, soprattutto lungo la costa dove interagisce attivamente con l'opera di erosione e scalzamento meccanico operata dal mare.

## Assetto geologico e strutturale

La struttura geologica dell'area è caratterizzata, nelle sue linee essenziali, dalla presenza di un potente basamento carbonatico di età mesozoica, localmente dislocato nel sottosuolo a rilevante profondità.

Il dislocamento del substrato mesozoico è regolato da sistemi di faglie dirette sub-parallele alla costa che hanno suddiviso il basamento in vari "blocchi" che si approfondiscono progressivamente dall'entroterra in direzione del mare, secondo uno stile tettonico "a gradini".

L'intera fascia di territorio in esame si estende in corrispondenza di un'ampia depressione tettonica, di forma stretta ed allungata (secondo un asse NNW-SSE), che si estende da Otranto fino a Torre Chianca.

Tutta quest'area ha acquisito, in più fasi e per lunghi archi di tempo, le caratteristiche di un bacino di sedimentazione subsidente, in cui si sono accumulati ingenti depositi sedimentari di origine marina.

In epoca quaternaria, ovvero nel Pleistocene, questo tratto di fascia costiera è stato tuttavia interessato da sensibili sollevamenti di origine tettonica ed isostatica, che ne hanno determinato la progressiva emersione.

Ad esclusione di alcuni modesti lembi di depositi quaternari (limi palustri, dune attuali e fossili, depositi di spiaggia), la maggior parte dei terreni affioranti lungo la fascia litorale e costituenti la costa bassa di San Foca, appartengono ad una successione sedimentarie di età Pliocenica, nota nella letteratura geologica come "Formazione di Uggiano la Chiesa".

I depositi pre-pliocenici, localmente non affioranti, giacciono a notevole profondità nel sottosuolo, dove ricoprono il basamento mesozoico, dislocato a sua volta, in quest'area, a profondità anche superiori ai 200 metri rispetto al p.c. La profondità di dislocamento del substrato calcareo è stata stimata facendo ricorso sia ai dati disponibili nella bibliografia specializzata che sulla base delle stratigrafie di pozzi profondi perforati in quest'area dall'Ente Irrigazione e da privati.

Particolarmente indicative risultano le stratigrafie di tre pozzi perforati dall'Ente Irrigazione presso Mass. Campone (nell'immediato entroterra di Torre Specchia), presso Mass. Carléo (a metà strada tra Melendugno e San Foca) e presso Mass. Barone di Muro (nell'entroterra di S. Andrea) e quella di un pozzo privato realizzato all'interno del villaggio turistico Eurogarden di San Foca.

Le stratigrafie dei pozzi indicano che i depositi pliocenici hanno una potenza complessiva di circa 60 ÷ 80 metri e poggiano su di una successione costituita da terreni calcarei e calcarenitico-marnosi, che, per caratteristiche litologiche e sequenziali, possono essere attribuiti al Miocene ("Calcareniti di Andrano", "Pietra Leccese").

Le perforazioni più profonde (Mass. Campone ed Eurogarden) evidenziano inoltre che la successione miocenica poggia a sua volta su rocce calcaree di probabile età paleogenica (“Calcari di Castro”).

Nessuna delle perforazioni, che in alcuni casi hanno superato i 200 metri di profondità, sembra aver intercettato le formazioni calcareo-dolomitiche del substrato mesozoico, che dunque dovrebbe essere dislocato, nell’intera fascia costiera in esame, a profondità comprese tra i 150 e i 250 metri rispetto al p.c.

## Indagine sismica

Lo scopo delle indagini effettuate è la caratterizzazione dinamica del sottosuolo nelle prime decine di metri con l'individuazione delle principali unità geofisiche e delle relative proprietà meccaniche elastiche, quali velocità delle onde longitudinali P (VP) e velocità delle onde trasversali S (VS).

Sulla base dei valori di VS e del modulo di taglio (G) sarà possibile valutare la rigidità del suolo e fornire delle prime indicazioni sul comportamento dinamico della parte superficiale del sottosuolo, in applicazione alla normativa nazionale e regionale.

Per la ricostruzione del modello geofisico del sito è stata eseguita un'indagine di sismica superficiale con il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW.

### Strumentazione utilizzata

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata è costituita da:

- un sistema di energizzazione per le onde P: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 5 Kg battente verticalmente su piastra circolare in acciaio del diametro di 25 cm posta direttamente sul p.c. per la generazione prevalentemente di onde P.
- un sistema di ricezione: costituito da 24 geofoni verticali monocomponente del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa con frequenza propria 4.5 Hz ovvero dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche prodotte da una specifica sorgente.
- Sistema di acquisizione PASI 16S24U + notebook

### Indagine MASW: metodologia ed acquisizione

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio VS, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo

stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980 ) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente parallelamente all'array) e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5-10Hz e 70-100Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°, sia della topografia sia delle diverse discontinuità elastiche.

La metodologia utilizzata consiste in tre fasi:

- calcolo della curva di dispersione sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spaziotempo lungo lo stendimento, energizzando alternativamente ai due estremi dello stendimento;
- calcolo della curva di dispersione apparente numerica mediante il metodo Roma (2001)
- calcolo della curva di dispersione effettiva numerica mediante il metodo Lai-Rix (1998)
- individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali VSV, modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio VSV e di compressione VP (o in alternativa il coefficiente di Poisson  $\nu$ ), la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato;

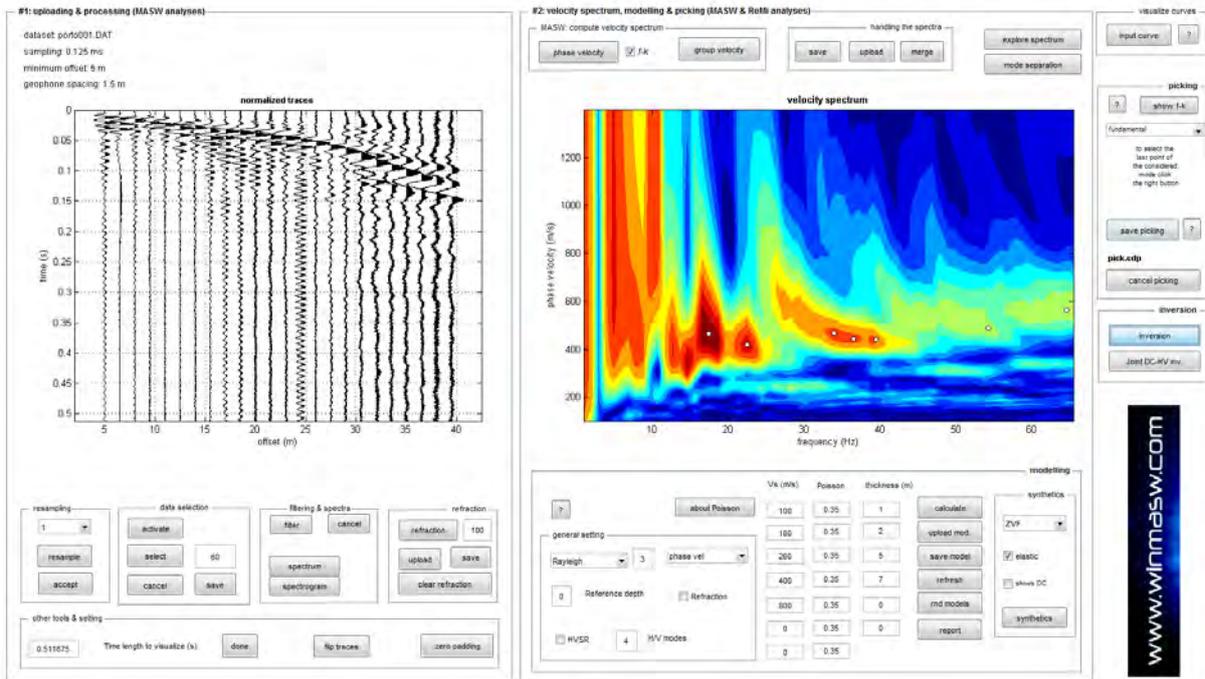
l'affidabilità del profilo di velocità VS trovato durante il processo di inversione è valutata tramite la definizione dell'errore relativo tra le due curve.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WINMASW della EliaSoft.  
L'acquisizione è stata eseguita con lo stesso array utilizzato per l'indagine sismica a rifrazione.

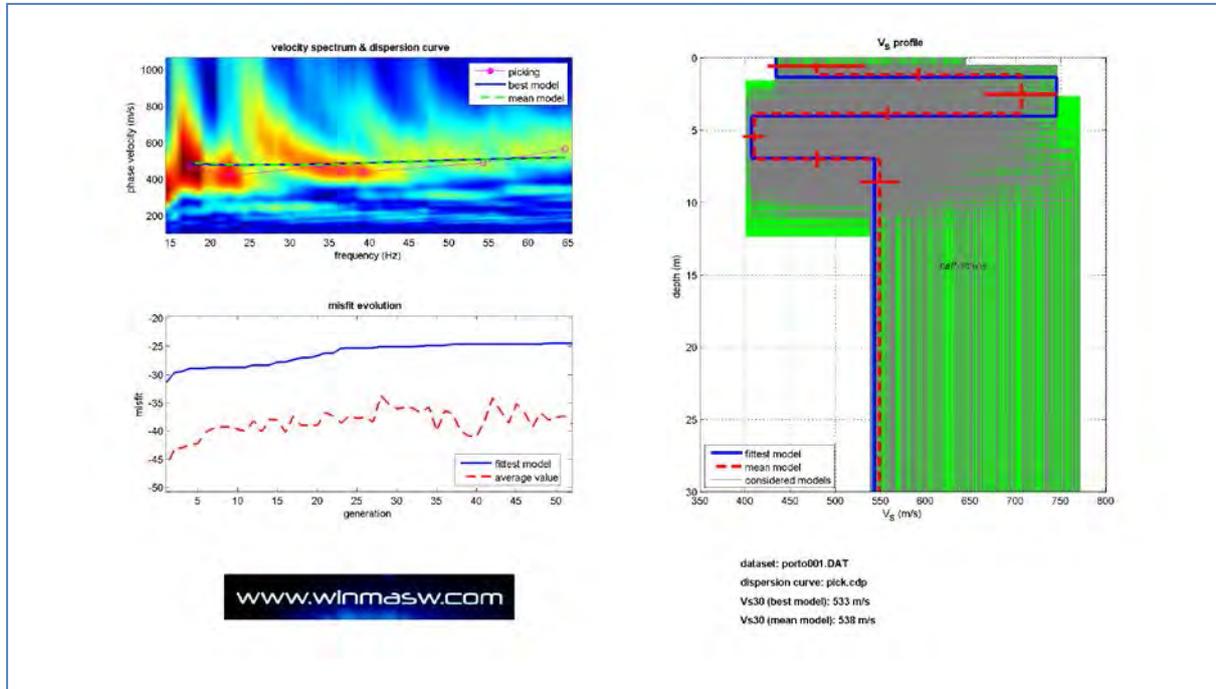
Sulla base di valutazioni incrociate sull'attendibilità dei risultati ottenuti dalle ricostruzioni sismiche è possibile scegliere il modello ritenuto più conforme alla situazione litostratigrafica presente nell'area e di cui è sempre preferibile avere a disposizione informazioni dirette di tipo geologico, geotecnico e/o idrogeologico.

In funzione del modello scelto viene individuato l'insieme di situazioni monodimensionali in grado di rappresentare l'area di studio: tali modelli sono utilizzabili ai fini di valutazioni semiquantitative della risposta sismica locale, ricordando che gli andamenti dei rifrattori individuati possono non essere coincidenti con quelli reali in quanto valutati tramite un solo stendimento lineare; al fine di individuare le reali geometrie dei sismostrati sarebbe necessario eseguire più stendimenti disposti tra loro ortogonalmente.

## Processing e risultati dell'indagine MASW



Analisi spettrale e picking della curva di dispersione



Best Fit della curva di dispersione e del modello teorico

Calcolo del Vs30

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

hi = Spessore in metri dello strato i-esimo

Vi = Velocità dell'onda di taglio i-esima

N = Numero di strati

VS30 (m/s): 533

## Indagine Georadar

La metodologia G.P.R. (Ground Penetrating Radar) è una metodologia di prospezione geofisica che consiste, generalmente, nella trasmissione di impulsi elettromagnetici attraverso antenne di appropriata frequenza e nella misura del tempo di propagazione che l'onda riflessa impiega per raggiungere l'antenna. Attraverso il tempo di propagazione è possibile determinare la distanza della sorgente riflettente.

Questa capacità dipende da cambiamenti dell'impedenza elettrica del terreno, ed in particolare dalla differenza di valori della costante dielettrica tra il mezzo ospitante e l'oggetto ospitato.

Per consentire misurazioni accurate è necessario che gli impulsi siano brevi e che la velocità di propagazione nel mezzo sia abbastanza costante.

La propagazione delle onde elettromagnetiche nel mezzo viene governata da due fondamentali caratteristiche petro-fisiche che sono: la conduttività e la permittività relativa.

La conduttività elettrica  $\sigma$  (mS/m), o il suo inverso, la resistività  $\rho$  (Ohm\*m), regola l'attenuazione del segnale al punto tale che non consente la riflessione.

La permittività dielettrica relativa o costante dielettrica del mezzo ( $k$ ) regola la velocità del segnale.

Le onde elettromagnetiche ricevute, contenenti segnali riflessi, vengono acquisite digitalmente tramite computer. Esse vengono visualizzate, secondo sezioni di tempo, lungo i profili. Questi vengono successivamente elaborati attraverso filtraggi, deconvoluzioni, migrazioni, ecc. e poi interpretati.

Il processing dei dati radar è la parte più impegnativa del rilievo georadar. Per una buona interpretazione è importante il filtraggio che tende ad esaltare certe caratteristiche e/o ad eliminare segnali di disturbo con l'obiettivo di migliorare l'immagine del rilievo.

Il filtraggio viene eseguito per rimuovere segnali provenienti da oggetti piccoli di non interesse o da disturbi esterni, che in genere sono distinguibili in quanto si caratterizzano per un contenuto in frequenza differente dall'insieme dei segnali.

Un rilievo GPR va preparato, nel senso che vanno eseguite una serie di attività finalizzate ad ottimizzare il rilievo stesso. Vanno perciò definite: - la maglia del rilievo in funzione dell'oggetto da indagare (della dimensione) e dell'estensione dell'indagine stessa; - le antenne, la cui frequenza governa la risoluzione lungo le tracce, nonché la profondità di penetrazione.

L'antenna utilizzata è un'antenna da 250 mhz per avere una risposta di dettaglio dei primi 3-4 metri di profondità, in condizione di normale propagazione dei segnali radar.

## Schema di funzionamento

Lo strumento è caratterizzato dalla presenza di un'antenna costituita da un trasmettitore di segnale e da un ricevitore.

- Il generatore invia, attraverso le antenne, delle onde elettromagnetiche (impulso);
- l'impulso attraversa il mezzo a contatto ed incontrando una struttura od un oggetto con contrasto dielettrico, in parte viene riflesso verso la superficie di contatto ed in parte continua ad attraversare il mezzo;
- appena ricevuto il segnale di start la ricevente raccoglie un campione e lo invia all'unità di controllo;
- col ripetersi dei suddetti punti continuamente, ma secondo una frequenza di campionamento ben precisa e prestabilita, l'unità di controllo raccoglie tutti i campioni di una traccia;
- quando l'intera traccia è campionata l'unità di controllo la invia al computer dove viene salvata e visualizzata.

Le onde elettromagnetiche ricevute, acquisite digitalmente tramite computer, vengono poi elaborate ed interpretate.

L'elaborazione dei radargrammi, ottenuta con l'utilizzo del programma "Rad-Explorer", è consistita nella correzione topografica e nell'applicazione di una serie di filtri che ne hanno esaltato le caratteristiche; la stessa banda di colore che viene sostituita alla registrazione monocromatica, contribuisce ad una migliore visualizzazione dei "disturbi".

L'indagine è stata eseguita utilizzando una strumentazione "MALA" della GeoScience con antenna da 250 MHz.

Dall'interpretazione delle sezioni è possibile riconoscere delle anomalie localizzate che consistono in chiari segnali iperbolici associati ad oggetti sepolti di limitata estensione, con caratteristiche dielettriche nettamente distinte rispetto all'ambiente circostante; l'apice dell'iperbole fornisce la profondità dell'oggetto. Per una più chiara lettura dei risultati si rimanda ai radargrammi di seguito allegati, nei quali sono riportati in ascissa la distanza in metri ed il numero di tracce acquisite; in ordinata il tempo in nanosecondi e la profondità in metri.

Le sezioni sono state visualizzate in finestre profonde circa 3.0 metri.

Sono state realizzate complessivamente 5 strisciate, come da planimetria allegata.

Per ognuna di esse si allega una copia del radargramma.

## ANALISI DEI RISULTATI

Tutti e 5 i profili sono stati acquisiti mantenendo costanti i parametri di acquisizione con circa 33 campioni/traccia per metro (acquisizione in continuo).

L'analisi dei dati ha evidenziato una buona penetrazione del segnale soprattutto nei primi 3.0 metri di profondità, tuttavia in corrispondenza del tratto sabbioso il segnale radar risulta maggiormente assorbito.

Esso raggiunge i 50 ns che corrispondono grossomodo a 3.00 metri di profondità, calcolando una velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche di 11.0 cm/ns.

Per l'ubicazione delle indagini si rimanda alla planimetria di seguito allegata.

In tutti i radargrammi è possibile apprezzare la stratificazione dell'ammasso calcarenitico; qualche discontinuità, da attribuire alla presenza di qualche piccolo vuoto e/o frattura è stata registrata nel radargramma n. 1 e nel n.2.

Si tratta di piccoli segnali iperbolici che tuttavia sono di modestissime dimensioni: nel radargramma n.1 ne sono stati registrati due, il primo ad una distanza di 28.0 metri e profondità di 0.6 metri; il secondo ad una distanza di circa 36.0 metri e profondità di un metro.

Due le anomalie rilevate con la strisciata n.2, si tratta anche in questo caso di piccoli vuoti o fratture; la prima si trova ad una distanza di 5.0 metri e profondità di 0.6 metri, la seconda ad una distanza di 20.0 metri e profondità di 0.3 metri.

### Indagine geoelettrica

Nell'ambito degli studi volti a ricostruire schematicamente il modello geologico dell'area oggetto di studio sono state eseguite, dal Dott. Geol. Pietro Arvizzigno 11 Tomografie elettriche. *(In allegato si riporta integralmente la relazione del Dott. Geol. Pietro Arvizzigno).*

Lo scopo di queste indagini consiste nel misurare l'andamento del campo di resistività elettrica nel sottosuolo lungo un profilo e di registrarne le eventuali anomalie.

Tutte le rocce possiedono una resistività elettrica e dalle variazioni del campo della resistività sia in senso verticale che in quello laterale nel sottosuolo, si possono ottenere informazioni utili per una più corretta ricostruzione geologica dei luoghi.

In particolar modo, dall'elaborazioni dei dati provenienti dai sondaggi di tomografia elettrica, si possono ricostruire la stratigrafia dei luoghi, identificare le porzioni dell'ammasso roccioso costituito prevalentemente da roccia sciolta da quello a roccia lapidea, localizzare i limiti laterali e la profondità di una falda e del suo bedrock, individuare eventuali faglie sepolte altrimenti non riscontrabili, scoprire cavità sotterranee come quelle dovute alla soluzione delle rocce carbonatiche e distinguere corpi costituiti da materiali anomali.

I sondaggi di tomografia elettrica indicati con i numeri 1-2-3-4 sia nella configurazione wenner-schlumberger che dipolo-dipolo mostrano un andamento della resistività piuttosto omogeneo.

In particolare per tutti gli stendimenti in questione, si evidenzia la presenza di valori di resistività potenzialmente riconducibili ad sabbione calcarenitico fratturato ed alterato a luoghi cementato e valori di resistività potenzialmente riconducibili a materiale sciolto costituito da ciottoli, sabbie con intercalazioni argillose derivante probabilmente dai processi di alterazione chimica e disgregazione meccanica del sabbione calcarenitico.

Da precisare che il livello medio marino lo si colloca tra i 2.30 e i 2.50 metri dal piano campagna attuale e che quindi buona parte di quanto rilevato è al di sotto di tale livello. (CFR Allegato cartografico)

Più in particolare per gli stendimenti di tomografia elettrica indicati con i numeri 1-2 le porzioni di materiale sciolto (quindi ciottoli, sabbie con intercalazioni argillose) le si rilevano a circa 8.00 metri di profondità dal piano campagna, si tratta ovviamente di materiale saturo (CFR Allegato cartografico).

Per la sezione di tomografia elettrica indicata con il numero 3 partendo da inizio stendimento come distanza lineare, il materiale sciolto saturo lo si rileva già a circa 2.00/2.50 metri dal piano campagna attuale; mentre per lo stendimento di tomografia elettrica numero 4 i valori di resistività associabili a materiale sciolto risultano per circa 13 metri da inizio stendimento.

Non si esclude in quest'ultimo caso, che vi sia anche del materiale di riporto associato al materiale sciolto di cui sopra. Naturalmente il materiale sciolto che si colloca sopra il livello del mare, mediamente non saturo, è comunque influenzato dall'azione marina potendosi formare delle incrostazioni saline.

I sondaggi di tomografia elettrica indicati con i numeri 5-6-7 sia nella configurazione wenner-schlumberger che dipolo-dipolo mostrano un andamento della resistività piuttosto eterogeneo.

In particolare per tutti gli stendimenti in questione, si evidenzia la presenza di valori di resistività potenzialmente riconducibili ad sabbione calcarenitico fratturato ed alterato a luoghi cementato e valori di resistività potenzialmente riconducibili a materiale sciolto costituito da ciottoli, sabbie con intercalazioni argillose derivante probabilmente dai processi di alterazione chimica e disgregazione meccanica del sabbione calcarenitico.

Anche in questi sondaggi di tomografia elettrica il livello medio marino lo si colloca tra i 2.30 e i 2.50 metri dal piano campagna attuale e quindi tutto il materiale sciolto e larga parte del sabbione calcarenitico si trovano sotto il livello del mare in condizioni sature (CFR Allegato cartografico).

Ciò detto, in questi sondaggi di tomografia elettrica, si sono riscontrati valori di anomalie di resistività potenzialmente riconducibili alla presenza di cavità. (CFR Allegati Cartografici)

Più in particolare nella sezione di riferimento numero 5 la probabile cavità la si rileva come distanza lineare da inizio stendimento da circa 15 metri a circa 24.00 metri e profonda da circa 2.50 metri fino a circa 7.50 metri dal piano

campagna attuale (CFR Allegato cartografico), quindi spessa circa 5 metri e larga, circa 9 metri.

Nella sezione di riferimento numero 6 le probabili cavità le si rilevano praticamente quasi allineate fra loro.

Partendo sempre da inizio stendimento (CFR Allegato cartografico) la prima probabile cavità lungo la sezione di riferimento, la si rileva da circa 15 metri a circa 24.00 metri e profonda da circa 2.50 metri fino a circa 7.50 metri dal piano campagna attuale quindi spessa circa 5 metri e larga circa 9.00 metri; la seconda probabile cavità di dimensioni minori la si rileva lungo la sezione di riferimento, da circa 31 metri a circa 36 metri e profonda da circa 4.50 metri fino a circa 6.50 metri dal piano campagna attuale quindi spessa circa 2 metri e larga circa 5.00 metri, la terza probabile cavità allineata alle prime due, di dimensioni ragguardevoli, la si rileva nella sezione di riferimento, da circa 66 metri a circa 79 metri come distanza lineare da inizio stendimento e profonda da circa 1.50 metri fino a circa 6/6.50 metri dal piano campagna attuale quindi spessa circa 5 metri e larga circa 13.00 metri.

Si rileva infine una probabile quarta cavità, individuata nella configurazione dipolo-dipolo, molto profonda a circa 14.00 metri di profondità dal piano campagna attuale (CFR Allegato cartografico) e collocata come distanza lineare da inizio stendimento tra i 51 metri e i 60 metri di cui però non si può ricostruire la geometria.

Infine nella sezione di tomografia elettrica di riferimento numero 7 si rilevano 2 probabili cavità allineate.

Come per lo stendimento numero 6 anche per lo stendimento numero 7 partendo da inizio stendimento (CFR Allegato cartografico) la prima probabile cavità la si rileva come distanza lineare da inizio stendimento da circa 15 metri a circa 24.00 metri e profonda da circa 3.00 fino a circa 6.50 metri dal piano campagna attuale quindi spessa circa 3.50 metri e larga circa 9.00 metri, la seconda probabile cavità di dimensioni minori la si rileva lungo la sezione di riferimento, come distanza lineare da inizio stendimento da circa 32 metri a circa 35 metri e profonda da circa 4.50 fino a circa 6.50 metri dal piano campagna attuale spessa circa 2 metri e larga circa 3.00 metri.

I sondaggi di tomografia elettrica indicati con i numeri 8-9-10 sia nella configurazione wenner-schlumberger che dipolo-dipolo mostrano un andamento della resistività piuttosto omogeneo. In particolare per tutti gli stendimenti in questione, si evidenzia la presenza di valori di resistività potenzialmente riconducibili ad sabbione calcarenitico fratturato ed alterato a luoghi cementato e valori di resistività potenzialmente riconducibili a materiale sciolto costituito da ciottoli, sabbie con intercalazioni argillose, derivante probabilmente dai processi di alterazione chimica e disgregazione meccanica del sabbione calcarenitico.

Da precisare che il livello medio marino lo si colloca tra i 2.30 e i 2.50 metri dal piano campagna attuale e che quindi buona parte di quanto rilevato è al di sotto di tale livello. (CFR Allegato cartografico)

Più in particolare per lo stendimento di tomografia elettrica indicato con il numero 8, il materiale sciolto, da inizio stendimento, lo si rileva affiorante per circa 15 metri.

Non si esclude anche in questo caso, che vi sia del materiale di riporto associato al materiale sciolto. Naturalmente il materiale sciolto che si colloca al di sopra del livello del mare, è comunque influenzato dall'azione marina potendosi formare nello stesso delle incrostazioni saline.

Per lo stendimento di tomografia elettrica indicato con il numero 9 invece la frazione di materiale sciolto derivante probabilmente dallo stesso sabbione calcarenitico, disgregato meccanicamente e alterato chimicamente, risulta essere più abbondante del sabbione calcarenitico stesso.

Lo si identifica affiorante praticamente già dai primi 15 metri da inizio stendimento fino alla fine dello stesso e per una profondità media dal piano campagna attuale di almeno 9 metri. Anche in questo caso, ci può essere del materiale di riporto associato al materiale sciolto.

Infine il sondaggio di tomografia elettrica indicato con il numero 10 presenta il materiale sciolto affiorante "a macchie di leopardo" e in linea con quanto segnalato con i sondaggi di tomografia elettrica indicati con i numeri 8 e 9 ci può essere del materiale di riporto associato al materiale sciolto influenzato dall'azione marina.

Infine il sondaggio di tomografia elettrica indicato con il numero 11 sia nella configurazione wenner-schlumberger che dipolo-dipolo mostra un andamento della resistività piuttosto eterogeneo.

In particolare, si evidenzia la presenza di valori di resistività potenzialmente riconducibili ad sabbione calcarenitico fratturato ed alterato a luoghi cementato e valori di resistività potenzialmente riconducibili a materiale sciolto costituito da ciottoli, sabbie con intercalazioni argillose derivante probabilmente dai processi di alterazione chimica e disgregazione meccanica del sabbione calcarenitico.

Più in particolare si rilevano delle anomalie di resistività associabili ad una probabile cavità. La cavità rilevata già da inizio stendimento fino a circa 9.00 metri come distanza lineare la si cartografa da circa un metro fino a circa 4.00 metri dal piano campagna attuale (CFR Allegato cartografico) e quindi risulta essere spessa circa 3 metri e larga, circa 9 metri. In conclusione, si conferma quanto già esposto nei capitoli precedenti ossia che le indagini di tomografia elettrica sono indagini indirette che hanno dei limiti interpretativi.

Come tutte le metodologie indirette schematizzano il modello geologico e possono fornire una ricostruzione geologica dei luoghi non sempre corrispondente alla realtà. Infatti come sopra detto, esse sono utili per

implementare la conoscenza geologica dei luoghi e andrebbero eseguite a corredo di indagini geognostiche dirette come scavi e perforazioni di sondaggio. Si consiglia pertanto di far eseguire opportune indagini dirette sia in corrispondenza delle anomalie di resistività riconducibili alla presenza di cavità sia in corrispondenza della parte terminale degli stendimenti di tomografia elettrica indicati con i numeri uno e due.

Questo perchè se si nota l'allegato cartografico "Carta delle anomalie elettriche di resistività potenzialmente riconducibili a cavità" le probabili cavità sono praticamente allineate lungo la linea di confine dell'area in esame ed è molto probabile la loro presenza anche più a sud in corrispondenza della parte terminale degli stendimenti di tomografia numero 1 e 2.

### Sondaggi geognostici

Al fine di verificare in via definitiva la presenza, o meno, delle eventuali cavità riscontrate attraverso le indagini geoelettriche, sono stati eseguiti 4 sondaggi a distruzione di nucleo in corrispondenza delle anomalie di resistività riscontrate.

Ubicazione sondaggi geognostici da eseguire





Sondaggio S1



Sondaggio S2



Sondaggio S3



Sondaggio S4

I sondaggi sono stati eseguiti fino ad una profondità massima di 7m ed hanno riscontrato la presenza di porzioni calcarenitiche particolarmente cementate alle profondità compresa tra -2 e -5 m dal piano campagna.

La presenza di tali porzioni più cementate è correlabile con le anomalie geoelettriche riscontrate in precedenza.

### **Rilievo delle grotte costiere**

Lungo il tratto d'interesse sono state rilevate e misurate 13 piccole grotte lungo l'interfaccia tra il mare e la linea di costa. Tali grotte sono state oggetto di un rilievo fotografico e dimensionale.

In allegato si riportano:

- Planimetria generale con ubicazione delle grotte;
- Pianta e sezioni delle grotte;
- Planimetria delle inquadrature fotografiche;
- Documentazione fotografica.

## Modello Geologico del Sottosuolo

La struttura geologica dell'area è caratterizzata, nelle sue linee essenziali, dalla presenza di un potente basamento carbonatico di età mesozoica, localmente dislocato nel sottosuolo a rilevante profondità.

Il dislocamento del substrato mesozoico è regolato da sistemi di faglie dirette sub-parallele alla costa che hanno suddiviso il basamento in vari “blocchi” che si approfondiscono progressivamente dall'entroterra in direzione del mare, secondo uno stile tettonico “a gradini”.

L'intera fascia di territorio in esame si estende in corrispondenza di un'ampia depressione tettonica, di forma stretta ed allungata (secondo un asse NNW-SSE), che si estende da Otranto fino a Torre Chianca.

Tutta quest'area ha acquisito, in più fasi e per lunghi archi di tempo, le caratteristiche di un bacino di sedimentazione subsidente, in cui si sono accumulati ingenti depositi sedimentari di origine marina.

In epoca quaternaria, ovvero nel Pleistocene, questo tratto di fascia costiera è stato tuttavia interessato da sensibili sollevamenti di origine tettonica ed isostatica, che ne hanno determinato la progressiva emersione.

Ad esclusione di alcuni modesti lembi di depositi quaternari (limi palustri, dune attuali e fossili, depositi di spiaggia), la maggior parte dei terreni affioranti lungo la fascia litorale e costituenti la costa bassa di San Foca, appartengono ad una successione sedimentarie di età Pliocenica, nota nella letteratura geologica come “Formazione di Uggiano la Chiesa”.

I depositi pre-pliocenici, localmente non affioranti, giacciono a notevole profondità nel sottosuolo, dove ricoprono il basamento mesozoico, dislocato a sua volta, in quest'area, a profondità anche superiori ai 200 metri rispetto al p.c. La profondità di dislocamento del substrato calcareo è stata stimata facendo ricorso sia ai dati disponibili nella bibliografia specializzata che sulla base delle stratigrafie di pozzi profondi perforati in quest'area dall'Ente Irrigazione e da privati.

Particolarmente indicative risultano le stratigrafie di tre pozzi perforati dall'Ente Irrigazione presso Mass. Campone (nell'immediato entroterra di Torre Specchia), presso Mass. Carléo (a metà strada tra Melendugno e San Foca) e presso Mass. Barone di Muro (nell'entroterra di S. Andrea) e quella di un pozzo privato realizzato all'interno del villaggio turistico Eurogarden di San Foca.

Le stratigrafie dei pozzi indicano che i depositi pliocenici hanno una potenza complessiva di circa 60 ÷ 80 metri e poggiano su di una successione costituita da terreni calcarei e calcarenitico-marnosi, che, per caratteristiche litologiche e sequenziali, possono essere attribuiti al Miocene (“Calcareniti di Andrano”, “Pietra Leccese”).

Le perforazioni più profonde (Mass. Campone ed Eurogarden) evidenziano inoltre che la successione miocenica poggia a sua volta su rocce calcaree di probabile età paleogenica (“Calcari di Castro”).

Nessuna delle perforazioni, che in alcuni casi hanno superato i 200 metri di profondità, sembra aver intercettato le formazioni calcareo-dolomitiche del substrato mesozoico, che dunque dovrebbe essere dislocato, nell'intera fascia costiera in esame, a profondità comprese tra i 150 e i 250 metri rispetto al p.c.

## Stratigrafia e litologia delle formazioni affioranti

L'assetto stratigrafico dell'area è caratterizzato, come già detto in precedenza, dalla presenza di un potente basamento calcareo-dolomitico mesozoico, dislocato nel sottosuolo a rilevante profondità e ricoperto da depositi sedimentari di età variabile tra l'Eocene ed il Quaternario.

Considerato che, sia le rocce del basamento mesozoico che i depositi di età paleogenica e miocenica, per la profondità a cui sono dislocati, non hanno alcuna rilevanza ai fini della presente trattazione, se ne ometterà la descrizione litologica.

Verranno pertanto di seguito descritte ed approfondite solo le caratteristiche litologiche e strutturali dei depositi pliocenici e quaternari, ovvero dei terreni affioranti che direttamente risultano coinvolti ed interessati dai fenomeni erosivi e di dissesto in atto lungo la costa.

### “Formazione di Uggiano la Chiesa” (Pliocene medio-sup.)

Questa formazione affiora lungo tutto il tratto di costa in esame, dando origine alla falesia che, cominciando da San Foca, si innalza progressivamente fino a Torre dell'Orso e S. Andrea.

La porzione affiorante di questa formazione è costituita prevalentemente da calcareniti marnose a grana fine, di colore bianco-giallino, poco cementate, piuttosto tenere e friabili, alternate a sabbie calcaree limose e a marne sabbioso-argillose. Frequenti sono i macrofossili, in particolare resti e frammenti di lamellibranchi, echinidi e brachiopodi.

Le stratigrafie dei pozzi profondi perforati nell'area evidenziano che, nella sua parte medio-inferiore, questa formazione è costituita in maggior prevalenza da sedimenti a granulometria fine, in particolare marne sabbioso-argillose.

Il tratto sommitale della falesia costiera risulta spesso costituito da banconi calcarenitici più compatti, dello spessore di 2 ÷ 4 metri, poggianti su di un livello sabbioso-limoso molto friabile.

I terreni attribuibili alla “Formazione di Uggiano la Chiesa”, che rappresentano la testimonianza di un importante ciclo sedimentario di età pliocenica, si sono localmente depositati in trasgressione sui sottostanti depositi di età miocenica. Il contatto tra i depositi pliocenici ed i sottostanti terreni miocenici è evidenziato dalla presenza di un livello conglomeratico che Bossio et al. (1999) descrivono separatamente con il nome di “Formazione di Leuca”.

I livelli affioranti lungo la falesia costiera si presentano stratificati in banchi o in strati di 15 ÷ 40 cm di spessore. Gli strati risultano inclinati di pochi gradi in direzione del mare, con prevalente immersione a NE.

L'assetto giaciturale della formazione determina l'affioramento di livelli sempre più antichi, mano a mano che ci si sposta verso sud.

Le masse rocciose affioranti sono interessate da un sistema di fessure verticali orientate con prevalente direzione NW.

#### **Sabbie litorali e dune attuali (Olocene)**

In corrispondenza di alcuni tratti di costa sabbiosa situati tra Torre Specchia e San Foca e nell'insenatura di Torre dell'Orso, si rinvencono i tipici depositi di spiaggia, costituiti da sabbie sciolte a granulometria media, di colore biancastro o grigio chiaro.

La composizione dei granuli è in prevalenza calcarea, con percentuali inferiori (20 ÷ 25%) di elementi quarzoso-feldspatici e minerali pesanti (soprattutto pirosseni augitici).

In alcuni casi si rinvencono dei livelli nerastri costituiti da concentrazioni meccaniche di minerali pesanti, i quali, nel caso specifico, possono rappresentare più del 90% dei granuli.

A ridosso delle spiagge, si rinvencono cordoni di dune costituiti, nella maggior parte dei casi, da sabbie con le medesime caratteristiche, sostanzialmente prive di cementazione e di solito caratterizzate da una stratificazione di tipo incrociato.

#### **Depositi palustri (Olocene)**

Nelle aree morfologicamente più depresse, situate alle spalle delle dune, sono invece diffusi depositi di origine lagunare o palustre, costituiti in prevalenza da sabbie limose e limi sabbioso-argillosi, di colore grigio scuro o brunastro, non di rado contenenti abbondante frazione organica.

Gli accumuli più rilevanti sono sicuramente quelli localizzati nella depressione solcata dal canale "Brunese", ovvero nell'entroterra di Torre dell'Orso e S. Andrea.

Questi depositi si sono di norma originati all'interno di depressioni morfologiche impaludate da fenomeni di affioramento della falda freatica.

Lo spessore dei limi palustri può pertanto variare, in funzione della morfologia del substrato, da alcune decine di cm fino a ad alcuni metri.

#### **Depositi eluviali e colluviali tipo "terra rossa" (Olocene)**

In corrispondenza delle aree meno depresse, caratterizzate dalla presenza di un substrato lapideo pressoché affiorante, è frequente il rinvenimento di depositi di tipo eluviale, derivanti dalla disgregazione chimico-fisica della roccia in posto e costituiti soprattutto da terreni di origine carsica assimilabili alle classiche "terre rosse".

Si tratta di terreni di origine residuale, prodotti dagli effetti dell'alterazione e della dissoluzione carsica sulle rocce calcaree e calcarenitiche affioranti e dal progressivo accumulo dei prodotti residuali insolubili di composizione non carbonatica.

La composizione chimico-mineralogica delle terre rosse ricorda del resto molto da vicino quella del residuo insolubile delle rocce da cui si sono originate, essendo caratterizzata da una notevole abbondanza di idrossidi di ferro ed alluminio, di minerali argillosi (soprattutto illite e caolinite) e da componenti minori quali quarzo, feldspati, pirosseni, ecc..

La granulometria delle terre rosse presenta di norma un ampio spettro di variabilità, poiché dipende strettamente dalle caratteristiche genetiche ed evolutive dei singoli depositi.

In linea di massima si tratta, nella maggior parte dei casi, di terreni composti da particelle con granulometria assimilabile a quella del limo e/o delle sabbie fini, con una discreta presenza di frazione argillosa: si va pertanto dalle sabbie limose ai limi sabbioso-argillosi, con variazioni sensibili ed imprevedibili di composizione granulometrica anche nell'ambito di uno stesso deposito.

Le "terre rosse" possono del resto presentarsi con caratteristiche sia di depositi eluviali che colluviali, vale a dire sia come prodotto di alterazione e disfacimento della roccia in posto che come accumulo di materiali rimossi (ad esempio ad opera delle acque dilavanti o di ruscellamento) dalla loro posizione originaria e ridepositati in corrispondenza di aree morfologicamente più depresse.

Nell'area in esame le coperture eluviali presentano di norma spessori modesti (da pochi cm a 20-30 cm), anche a causa della discontinuità con cui il fenomeno carsico ha avuto modo di evolversi.

## Assetto idrogeologico

La “Formazione di Uggiano la Chiesa” è costituita da litofacies a diverso grado di permeabilità, che condizionano in maniera significativa l’assetto idrogeologico complessivo dell’intera fascia costiera.

Le litofacies prettamente sabbioso-calcareniche, nonostante la costante presenza di una certa percentuale di matrice limosa e marnosa, manifestano infatti un certo grado di permeabilità ( $K \approx 10^{-4} \div 10^{-5}$  cm/s), mentre i livelli marnoso-argillosi intercalati a diverse altezze stratigrafiche possono essere considerati come dei terreni praticamente impermeabili ( $K \leq 10^{-6}$  cm/s).

Questo tipo di situazione determina l’esistenza, in tutta la fascia costiera compresa tra Torre Specchia e S. Andrea, di una falda freatica superficiale, localizzata all’interno dei depositi sabbioso-calcarenici della successione pliocenica e sostenuta alla base dai sottostanti livelli marnoso-argillosi impermeabili.

La falda freatica, che scorre a pelo libero, con cadenti piezometriche comprese tra l’1.5‰ ed il 3‰, ha una configurazione geometrica condizionata dalla morfologia del substrato impermeabile: le linee di deflusso seguono uno schema radiale divergente che porta la falda a defluire sia in direzione della costa che verso l’entroterra.

I maggiori carichi idraulici (+16 ÷ +18 metri rispetto al l.m.m.) si riscontrano in corrispondenza di aree situate nell’entroterra ad una distanza di circa 2 km dalla costa.

Il deflusso delle acque di falda in direzione della costa da origine a varie manifestazioni sorgentizie, ubicate sia in corrispondenza delle aree topograficamente più depresse (come ad esempio l’incisione naturale solcata dal canale “Brunese”) che lungo la falesia (spesso con sorgenti di strato, localizzate al contatto tra le calcareniti e le marne argillose).

Le acque della falda superficiale presentano di norma un contenuto salino molto basso ( $\leq 0,5$  g/l), che si mantiene tale anche in prossimità della linea di costa, in quanto la successione pliocenica, caratterizzata da una permeabilità complessivamente modesta, riesce ad ostacolare efficacemente l’ingresso delle acque marine marine nell’entroterra, proteggendo così le acque di falda da possibili fenomeni di contaminazione salina.

In tale contesto, un ruolo molto importante viene svolto dagli strati marnoso-argillosi che, essendo per di più inclinati in direzione del mare, costituiscono un’autentica barriera nei confronti dell’intrusione marina.

## Caratteristiche geotecniche dei materiali costituenti la falesia costiera

Il tratto di falesia costiera compreso tra San Foca e S. Andrea è costituito da terreni di età pliocenica appartenenti alla Formazione di Uggiano la Chiesa.

In particolare, la scogliera appare costituita da almeno due principali tipologie di materiali, alcuni con consistenza litoide, altri con caratteristiche di terreni sciolti pseudo-coerenti.

Le caratteristiche fisico-meccaniche delle litofacies calcarenitiche esposte lungo la falesia sono le seguenti (da Calò G. et Al., 1991):

• Peso specifico reale	2,58 ÷ 2,66	g/cmc
• Peso di volume	1,4 ÷ 1,5	g/cmc
• Porosità	41 ÷ 46	%
• Grado di compattezza	0,51 ÷ 0,62	-
• Coefficiente di imbibizione	12 ÷ 26	%
• Resistenza a compressione	12 ÷ 20	kg/cm <sup>2</sup>
• Resistenza a flessione	2 ÷ 4	kg/cm <sup>2</sup>
• Resistenza a trazione	0,6 ÷ 1,0	kg/cm <sup>2</sup>

Come si può osservare, si tratta di rocce tenere e porose, in possesso di parametri di resistenza meccanica decisamente modesti.

I terreni a granulometria più fine, risultano invece costituiti da miscele di sabbie, limo ed argilla in proporzioni altamente variabili. Il contenuto in carbonati varia dall'80 ÷ 90% dei termini sabbioso-limosi al 40% dei livelli più argillosi.

Anche per quanto riguarda la densità secca (1,2 ÷ 1,7 g/cmc) ed il contenuto naturale d'acqua (22 ÷ 48%), questi terreni presentano un elevato tasso di variabilità.

## Tipologia e meccanica dei fenomeni di dissesto

L'origine e la meccanica di fenomeni di dissesto osservati lungo questo tratto di costa, sono legate sia alla scarsa resistenza delle formazioni costituenti la scogliera, che al concorso di altri fattori, tra cui la presenza di livelli particolarmente erodibili, la posizione di questi ultimi rispetto alla quota del battente ondoso e l'esistenza di alcune linee di discontinuità.

La presenza di alcuni isolotti situati a poca distanza dalla costa, testimonia l'arretramento della falesia per effetto dell'erosione marina. Quest'ultima agisce essenzialmente attraverso un meccanismo di abrasione provocato dal moto ondoso, il quale mantiene in sospensione le particelle sabbiose scagliandole contro la roccia.

Questo meccanismo di erosione produce, alla base della falesia, solchi di battente oltre a piccole grotte ed anfratti.



L'erosione in atto al piede della scogliera può innescare situazioni di instabilità e dissesto statico che coinvolgono masse rocciose di forma e dimensioni estremamente variabili.

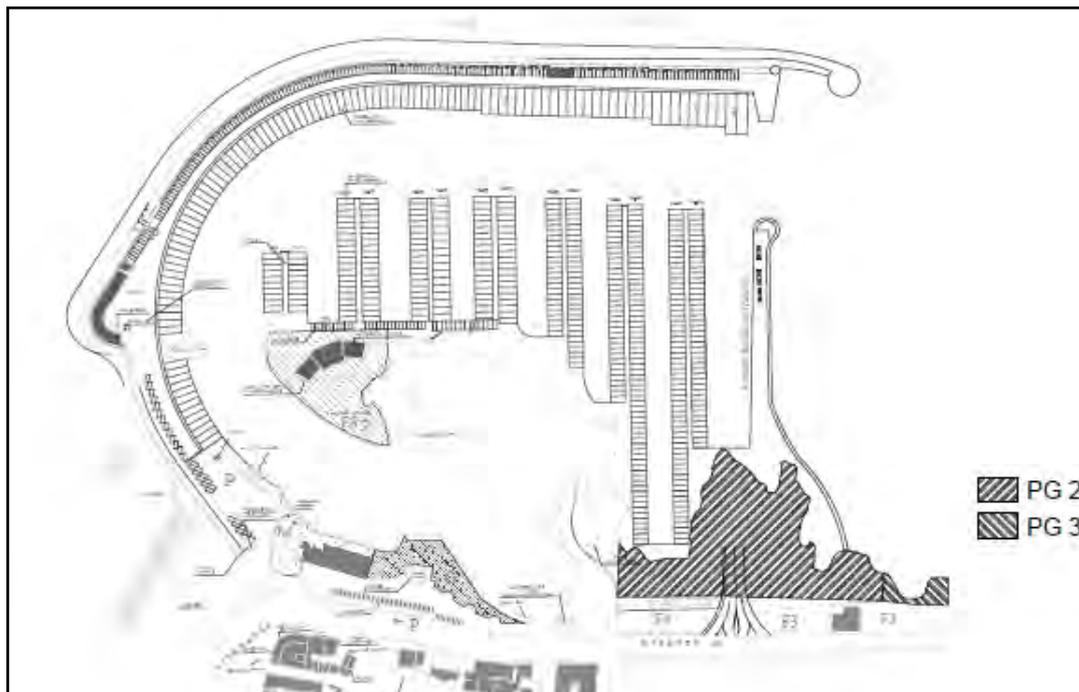
I principali meccanismi che concorrono a determinare il distacco delle masse instabili sono:

1. fenomeni di rottura per superamento della resistenza al taglio, nel caso di masse pseudo-coerenti scalzate alla base (tipici i livelli marnosi e sabbioso-argillosi presenti a mezza costa in molti tratti della falesia);

2. movimenti di scivolamento lungo piani di frattura ad inclinazione sub-verticale già esistenti ed intercettati dal solco di battente;
3. meccanismi di ribaltamento di masse rocciose isolate da giunti di frattura ad inclinazione sub-verticale.

## Tipologia di intervento e verifiche

All'interno del progetto per l'Ampliamento del Porto Turistico di San Foca è prevista la realizzazione di un nuovo molo di sottoflutto a partire dall'area a Pericolosità Geomorfologica (PG2) presente sul tratto costiero oggetto di studio (cfr. figura in basso).



In quest'area, caratterizzata da una costa rocciosa di altezza modesta (0,5 ÷ 3 metri), costituita da roccia calcarenitica irregolarmente cementata, sono avvenuti dei fenomeni di erosione selettiva che hanno interessato la parte più bassa della scogliera (cfr. foto in basso).



Come si può osservare nella documentazione fotografica allegata, l'azione erosiva del moto ondoso ha provocato, alla base della scogliera, dei fenomeni di scalzamento che, colpendo in maniera selettiva gli strati più teneri, hanno dato origine a solchi di battente e a delle piccole cavità.

Adottando la configurazione geometrica schematizzata nella figura in basso le condizioni di equilibrio sono espresse dalla seguente formula generale:

$$F = \frac{(W \cdot \cos\alpha - U - V \cdot \sin\alpha - F \cdot \sin\alpha) \cdot \tan\varphi}{W \cdot \sin\alpha + V \cdot \cos\alpha + F \cdot \cos\alpha}$$

Dove:

$\varphi$  = angolo d'attrito agente lungo il piano di scorrimento;

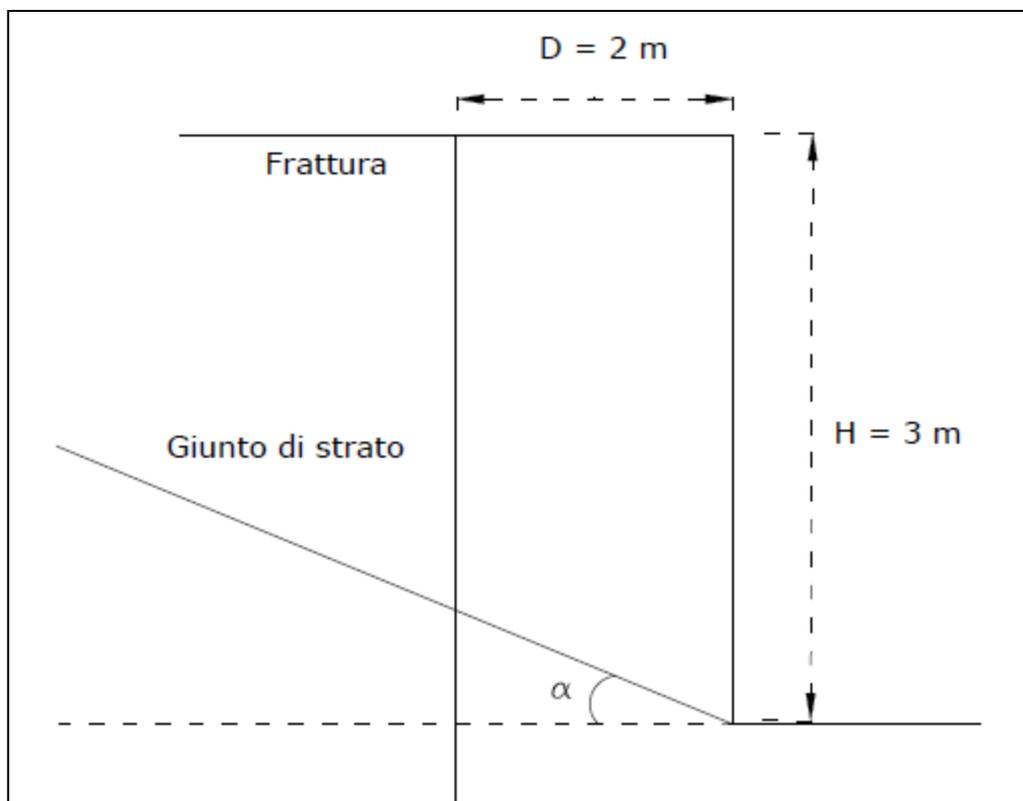
$\alpha$  = angolo di inclinazione del piano di scorrimento;

W = peso della massa instabile;

U = spinta idraulica sul piano di scorrimento;

V = spinta idraulica sulla frattura di trazione;

F = forza di inerzia dovuta al sisma.



Schematizzazione del modello per il calcolo ANTE OPERAM

Nel caso specifico i calcoli sono stati eseguiti con l'ausilio del software GEOSTRU espressamente specializzato nel calcolo delle verifiche di stabilità allo scivolamento planare.

Si espongono di seguito i risultati del calcolo effettuato:

**Introduzione dati:**

Altezza del fronte inferiore = 3 m  
Inclinazione del fronte inferiore = 90°  
Inclinazione del giunto = 20°  
Peso di volume della roccia = 1,5 t/mc  
Coesione sul giunto = 0 t/mq  
Angolo di attrito sul giunto = 30°  
Altezza dell'acqua nella frattura di trazione = 0 m  
Distanza della frattura di trazione dal ciglio della scarpata = 2 m  
Forze esterne = 0 t/m  
Inclinazione delle forze esterne = 0°

**Risultati:**

Lunghezza del piano di scivolamento = 2,1284 m  
Peso del cuneo di distacco = 7,9081 t/m  
Spinta idraulica sul piano = 0 t/m  
Spinta idraulica nella frattura di trazione = 0 t/m  
Altezza della frattura di trazione = 2,2721 m  
Forze stabilizzanti = 4,2904 t/m  
Forze destabilizzanti = 2,7047 t/m  
**Fattore di sicurezza = 1,5863**

Appare evidente che il fattore di sicurezza ( $F_s$ ) = 1,58 è notevolmente ridotto e non costituisce garanzia per la stabilità della scarpata. Bisogna evidenziare che tale verifica è stata condotta tenendo in considerazione i tratti dove non è presente lo scalzamento al piede della scogliera.

Gli interventi da attuare in quest'area dovranno essere pertanto mirati a rimodellare e proteggere i tratti di costa.

Si ritiene inoltre opportuno che ove possibile detti interventi siano realizzati utilizzando materiali naturali in grado di esplicare l'opera di protezione nei confronti del moto ondoso senza produrre contestualmente alcun apprezzabile impatto visivo o apprezzabili modificazioni all'architettura ed all'assetto paesaggistico dell'area.

A tal fine si consiglia l'impiego, per le opere di protezione del piede delle scarpate, di massi di roccia calcareo-dolomitica, come quelli normalmente utilizzati nella realizzazione di moli foranei.

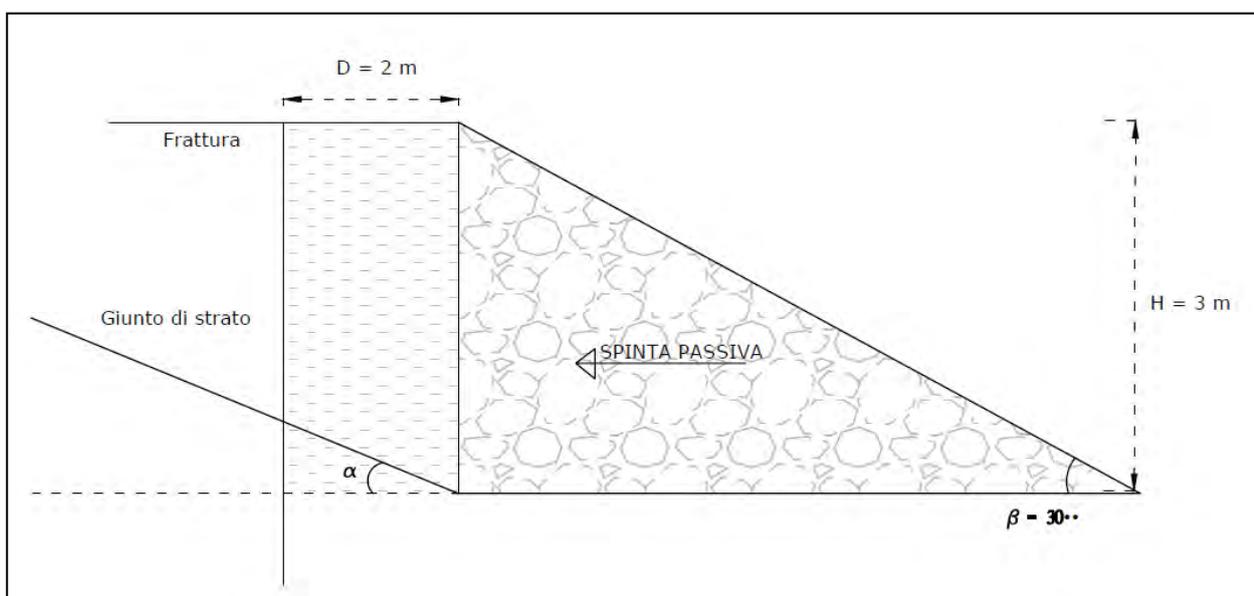
Prima della messa in opera della scogliera artificiale si dovranno demolire le cavità censite con il presente studio al fine si impostare la scogliera artificiale sul banco di roccia integro.

Successivamente alla realizzazione degli interventi di progetto la scogliera risulterà costituita da massi calcarei di 1a e 2a categoria messi in opera con disposizione ad incastro.

La presenza della scogliera di protezione, oltre ad evitare la formazione di un nuovo solco di battente, costituirà anche un rinforzo al piede in grado di aggiungere forza stabilizzante all'equilibrio statico della scogliera.

Avendo assegnato ai massi costituenti la scogliera di protezione un peso di volume medio  $\gamma=1,8 \text{ t/m}^3$  ed un angolo di attrito interno  $\varphi=45^\circ$ , la spinta passiva esercitata sulla falesia può essere calcolata con la seguente espressione:

$$Sp = \frac{1}{2} \gamma H s^2 \tan^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right) = \underline{47,2 \text{ t/m}}$$



Schematizzazione del modello per il calcolo POST OPERAM

Introducendo il contributo stabilizzante apportato dalla spinta passiva della scogliera artificiale da realizzare, la formula precedentemente utilizzata assume la seguente forma:

$$F = \frac{(W \cdot \cos \alpha - U - V \cdot \sin \alpha - F \cdot \sin \alpha) \cdot \tan \varphi + Sp \cdot \cos \alpha}{W \cdot \sin \alpha + V \cdot \cos \alpha + F \cdot \cos \alpha}$$

Con il contributo della spinta passiva si ottengono i seguenti risultati:

**Introduzione dati:**

Altezza del fronte inferiore = 3 m  
Inclinazione del fronte inferiore = 90°  
Inclinazione del giunto = 20°  
Peso di volume della roccia = 1,5 t/mc  
Coesione sul giunto = 0 t/mq  
Angolo di attrito sul giunto = 30°  
Altezza dell'acqua nella frattura di trazione = 0 m  
Distanza della frattura di trazione dal ciglio della scarpata = 2 m  
Forze esterne = 47 t/m  
Inclinazione delle forze esterne = 0°

**Risultati:**

Lunghezza del piano di scivolamento = 2,1284 m  
Peso del cuneo di distacco = 7,9081 t/m  
Spinta idraulica sul piano = 0 t/m  
Spinta idraulica nella frattura di trazione = 0 t/m  
Altezza della frattura di trazione = 2,2721 m  
Forze stabilizzanti = 31,4259 t/m  
Forze destabilizzanti = 2,7047 t/m  
**Fattore di sicurezza = 11,6189**

Conseguentemente alla realizzazione della scogliera artificiale si ottiene un aumento considerevole del Fattore di sicurezza (Fs) che passa da 1,58 a 11,6, garantendo in questo modo la stabilità nel tempo del fronte a mare.

## Conclusioni

Lo studio e le approfondite indagini geognostiche effettuate hanno permesso di ricostruire con estrema precisione le caratteristiche e le peculiarità geologiche e geomorfologiche del tratto di costa interessato dalle opere in progetto.

Le indagini condotte hanno permesso di accertare l'assenza di cavità nelle aree di terra interessate dalle opere in progetto, restano alcune criticità rappresentate dalla presenza di alcuni anfratti o piccole grotte che insistono lungo il tratto di costa, in corrispondenza all'interfaccia terra-mare. Tali anfratti sono stati completamente mappati, misurati, fotografati e caratterizzati.

Come riportato in relazione, la conformazione finale delle opere in progetto prevede l'impostazione di una scogliera artificiale per la realizzazione delle opere di protezione a mare, tale impostazione non può prescindere dalla preventiva risagomatura del fronte della scogliera. Le irregolarità della costa, dovute alla presenza dei piccoli anfratti, saranno eliminate prima della realizzazione della scogliera.

In conclusione, le indagini e gli studi condotti hanno dimostrato che nessuna opera di progetto insisterà sugli anfratti presenti per il semplice motivo che gli stessi dovranno essere demoliti per la realizzazione delle opere in progetto.

Melendugno Settembre 2013

Geol. Luigi Candido

---

## **Allegati**

---

Planimetria grotte su planimetria di progetto

Ubicazione Traccia Sismica

Ubicazione Tracce Georadar

Radargrammi

Ubicazione Sezione Geologica

Sezione Geologica

- Planimetria generale con ubicazione delle grotte;

- Piante e sezioni delle grotte;

- Planimetria delle inquadrature fotografiche;

- Documentazione fotografica.



Ubicazione Traccia Stendimento Sismico

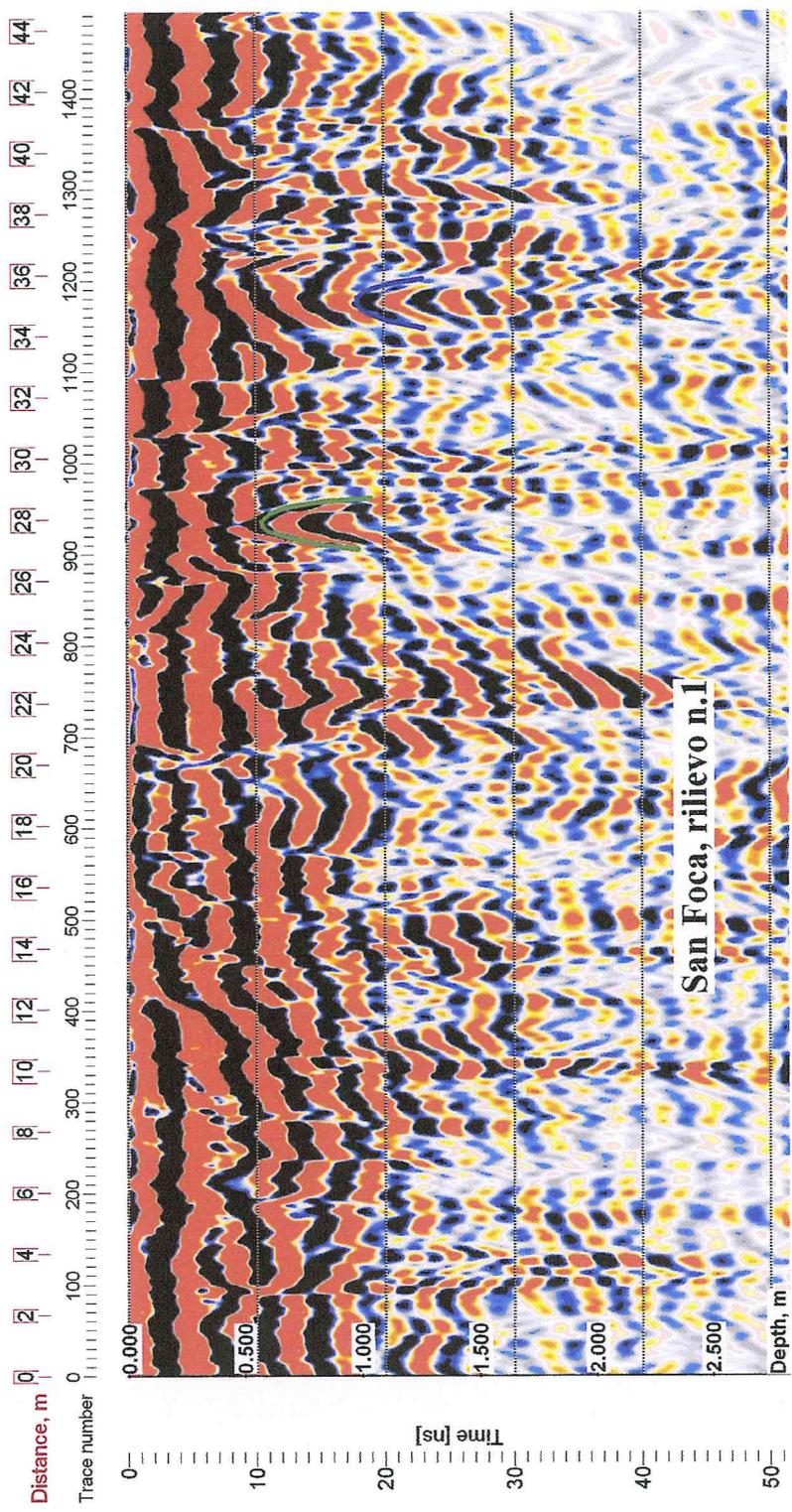
Traccia Stendimento

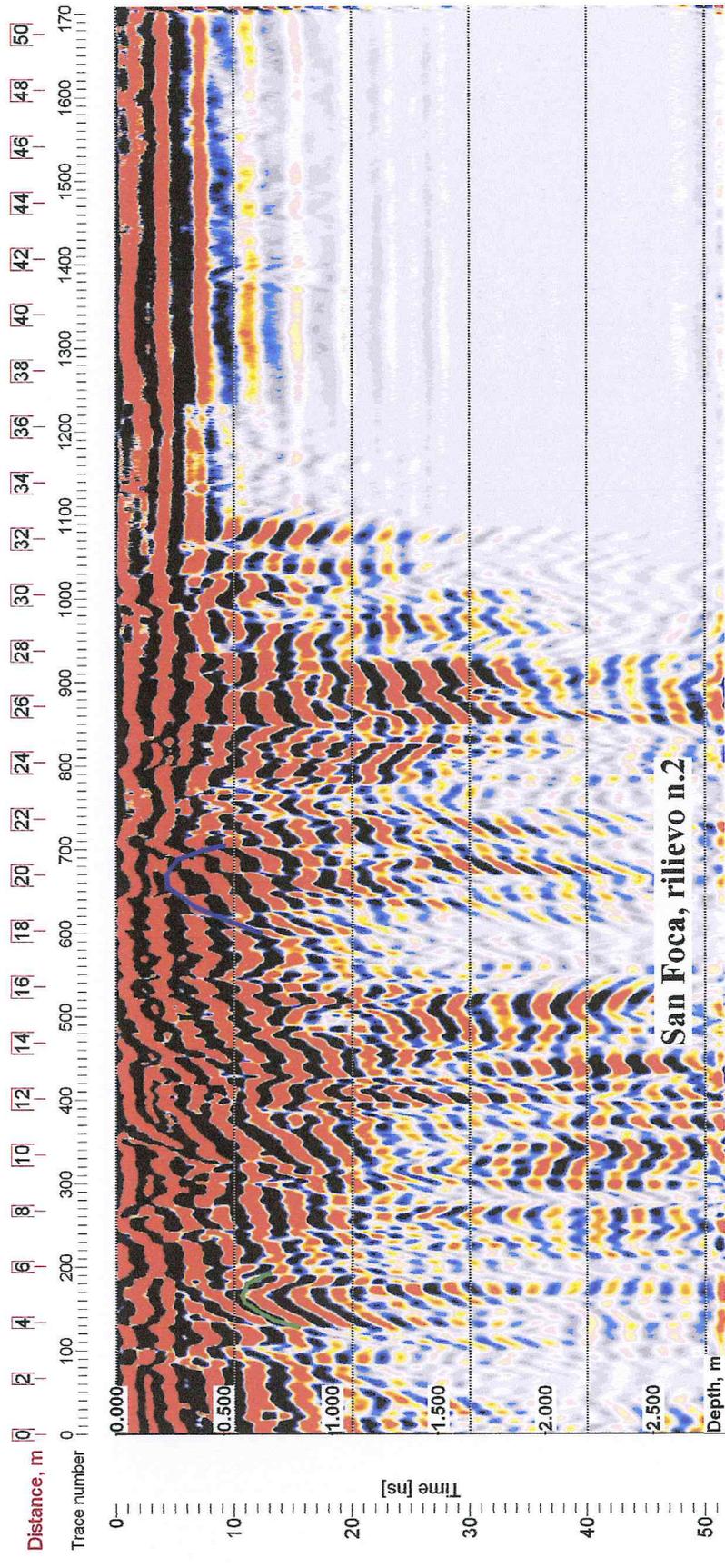
0 12,5 25 50 Metri

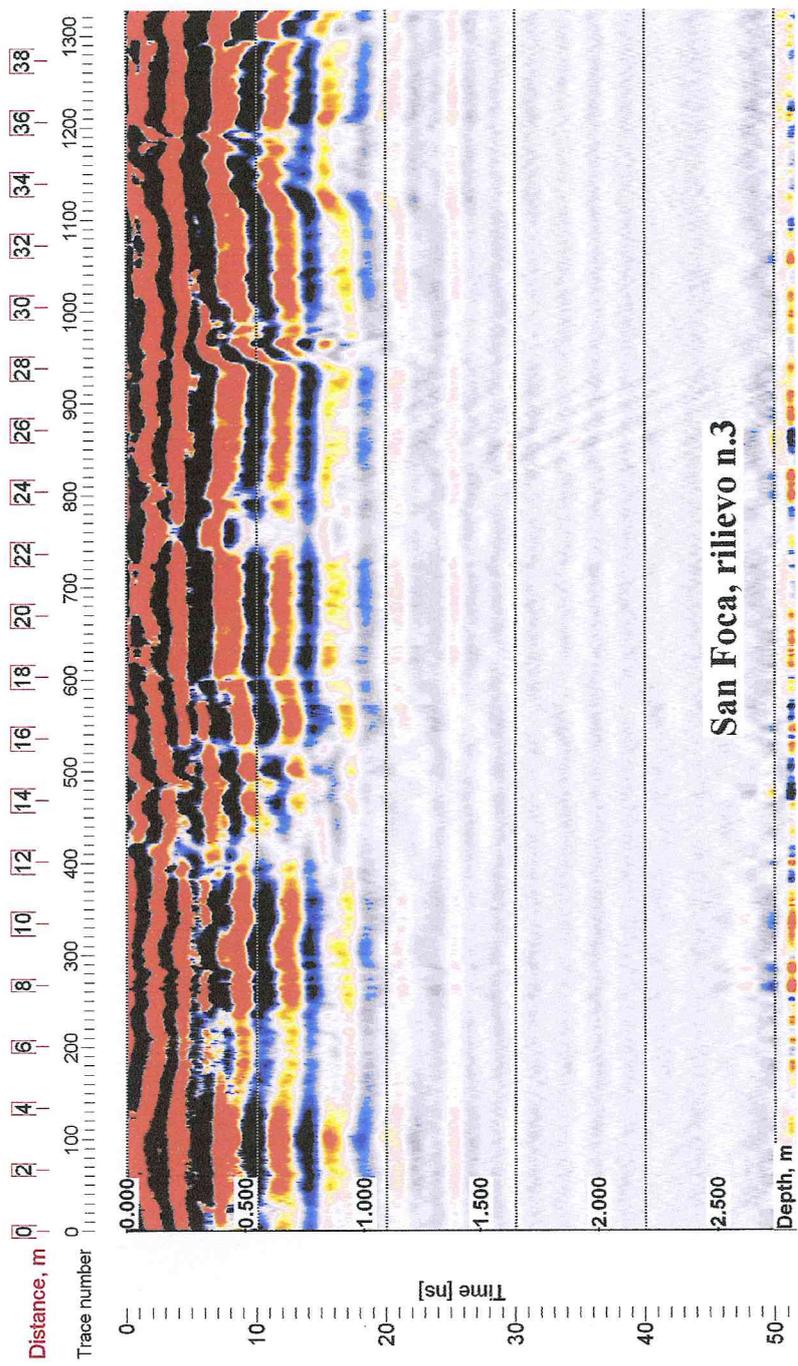


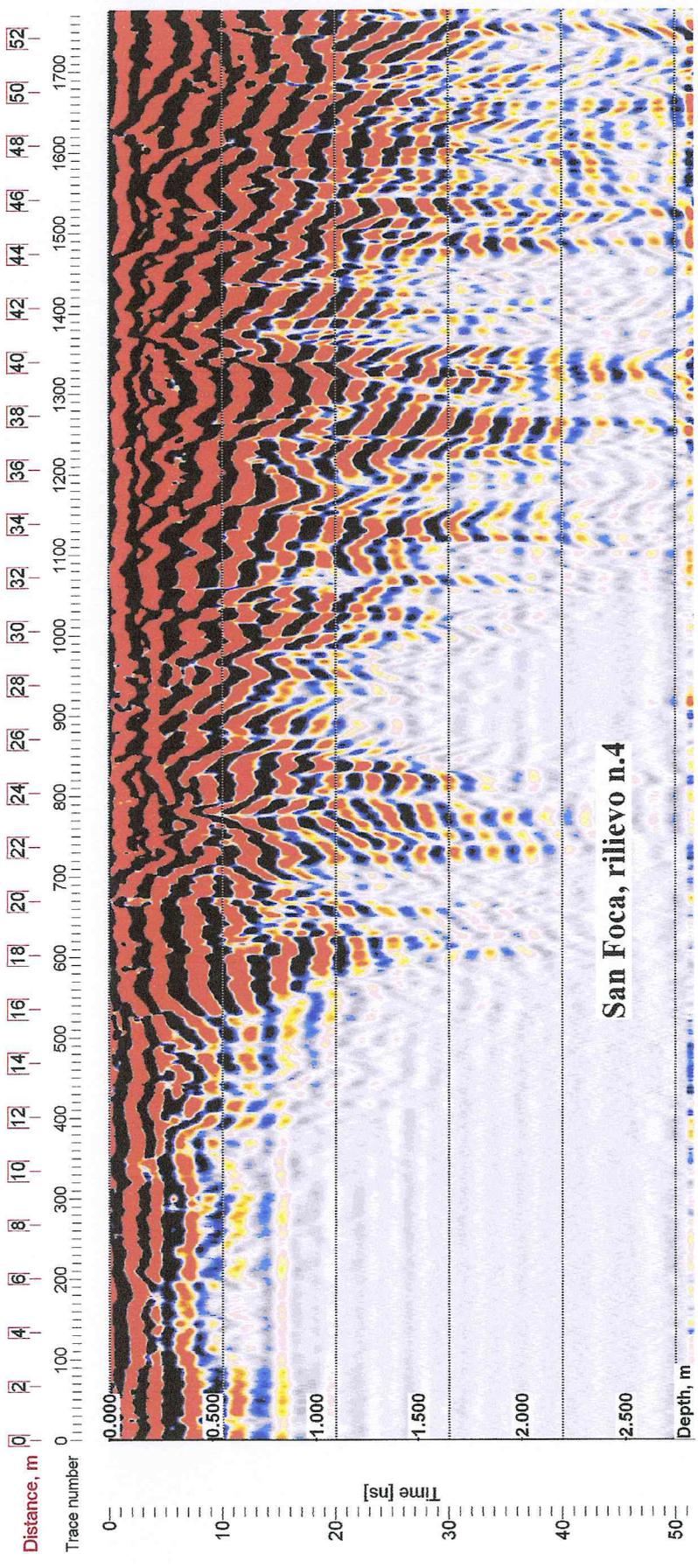
Ubicazione Tracce Georadar

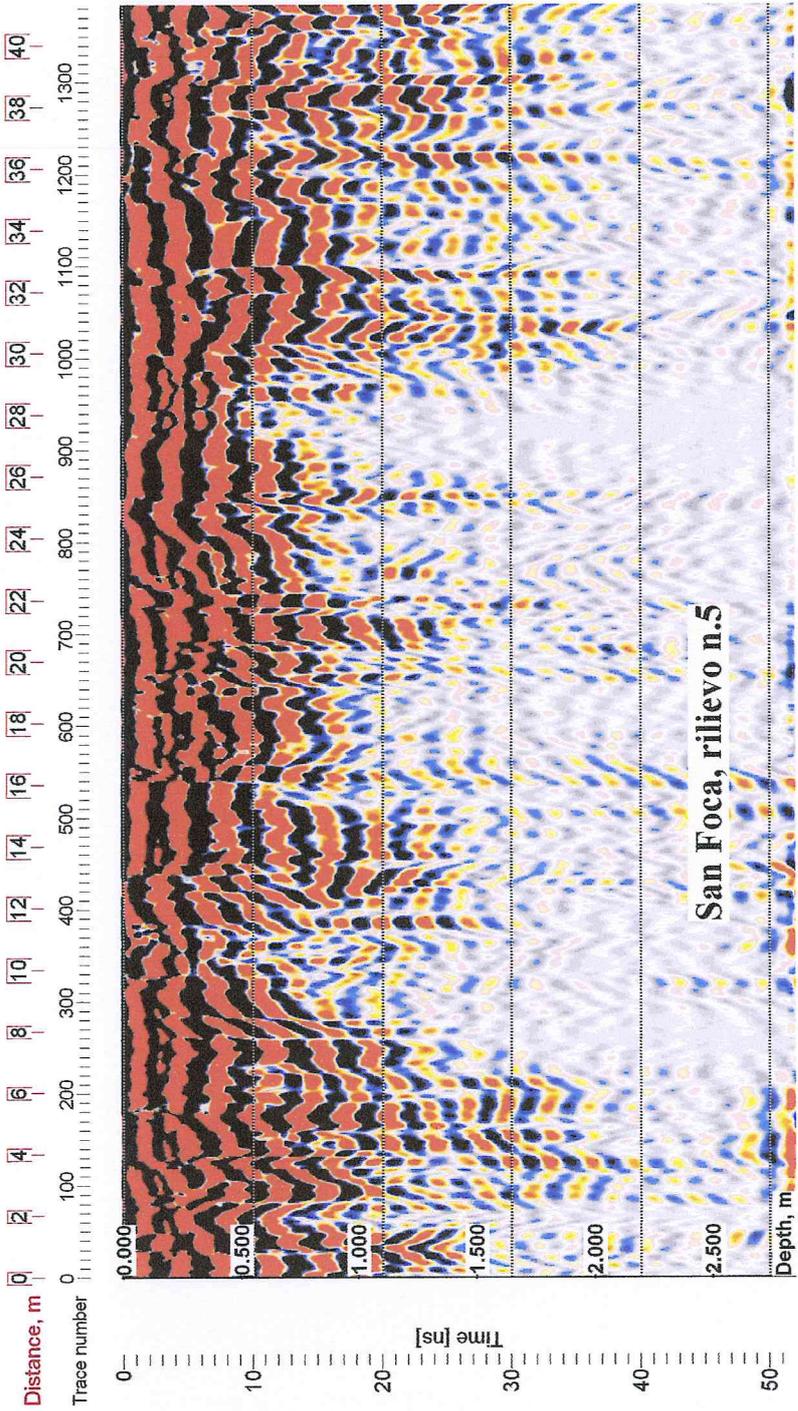










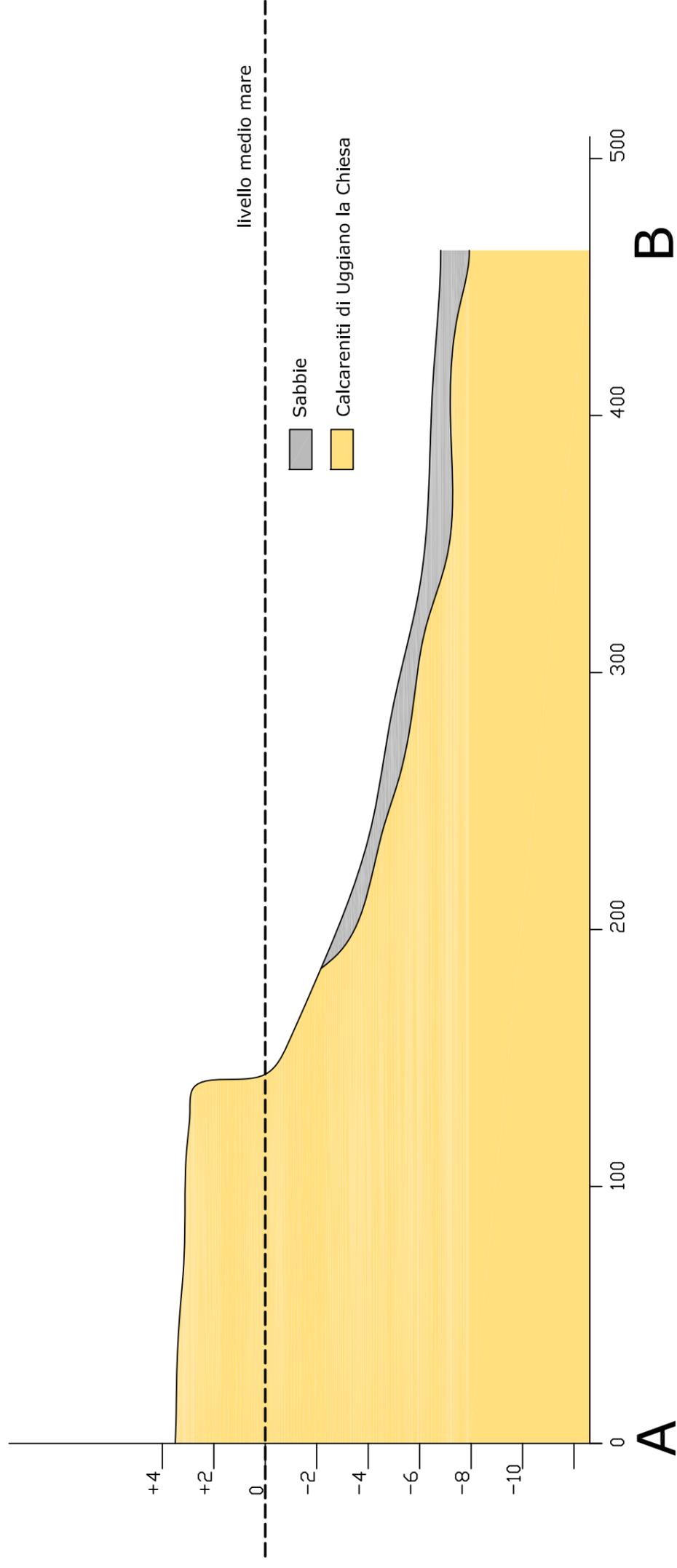




### Sezione Geologica

scala delle altezze 1:200

scala delle distanze 1:2000



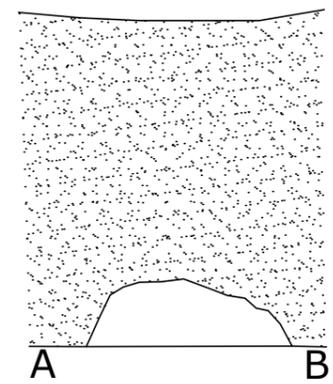
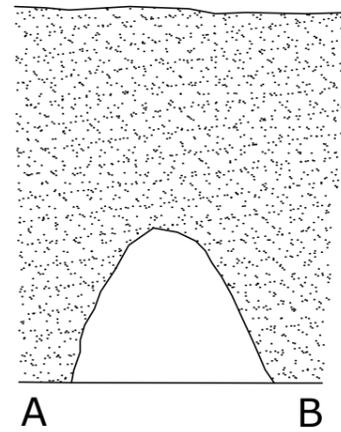
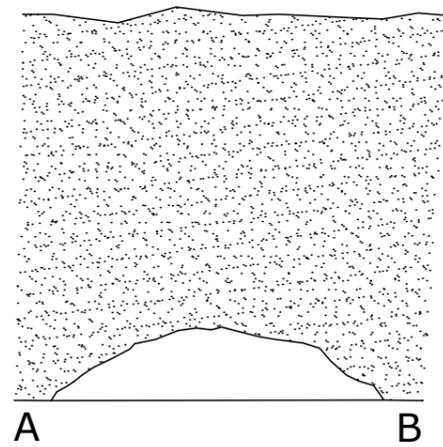
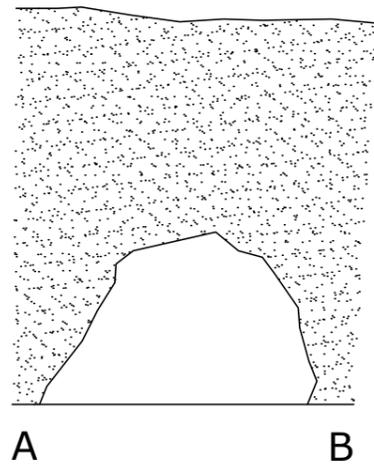
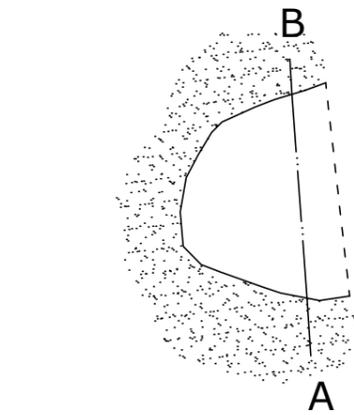
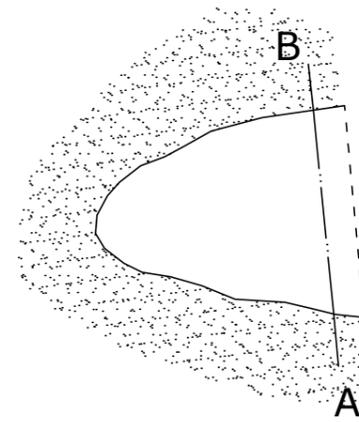
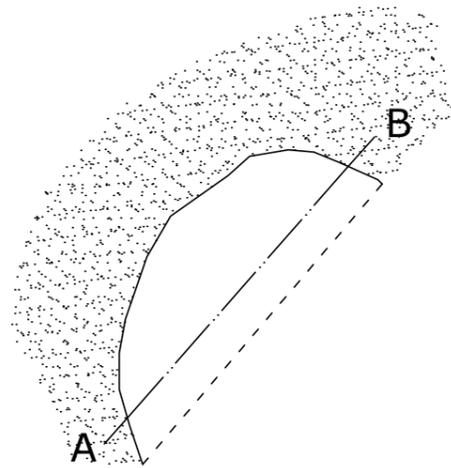
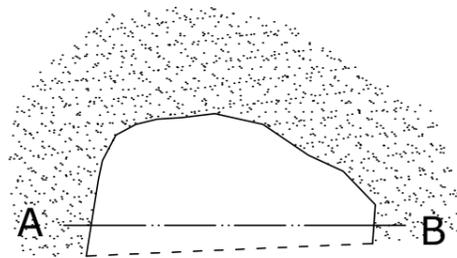
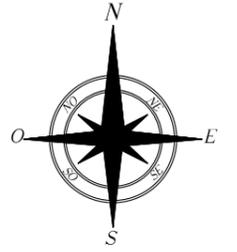


# Legenda

 Pianta cavità

# Piante e sezioni delle cavità

Scala 1:100



1

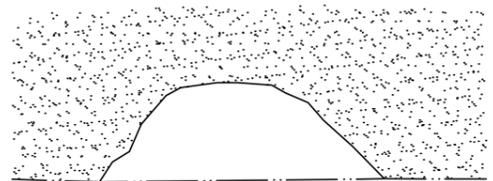
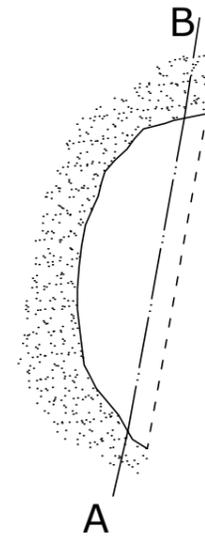
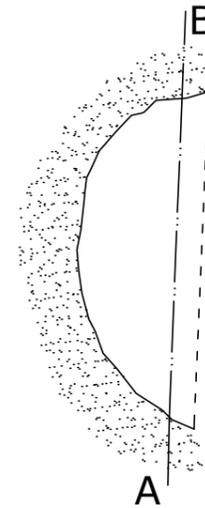
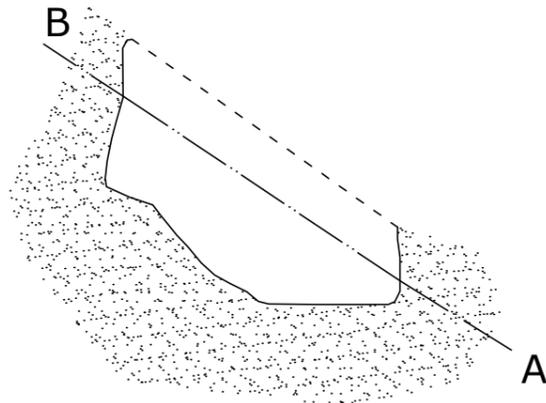
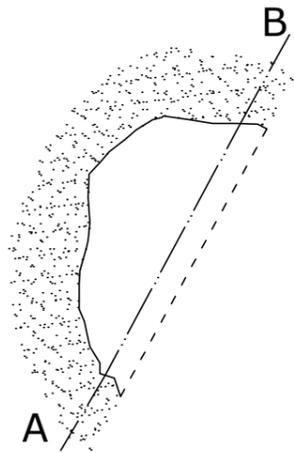
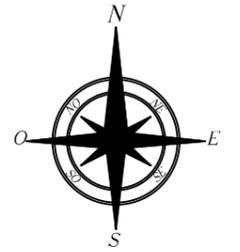
2

3

4

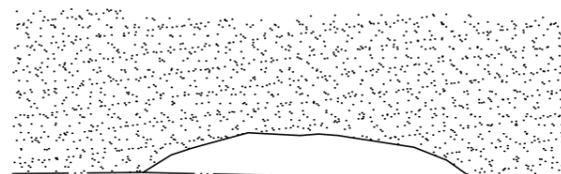
# Piante e sezioni delle cavità

Scala 1:100



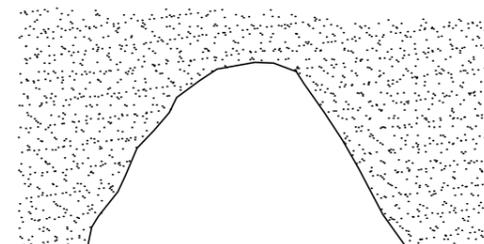
A B

5



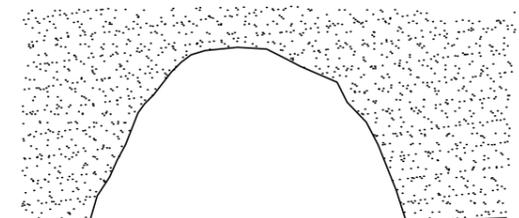
A B

6



A B

7

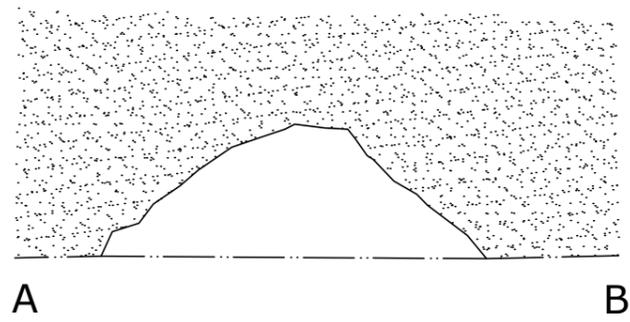
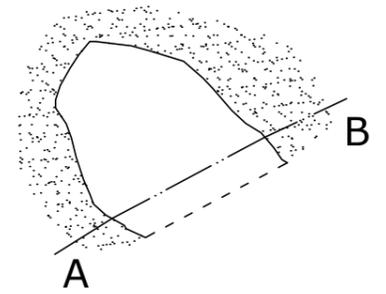
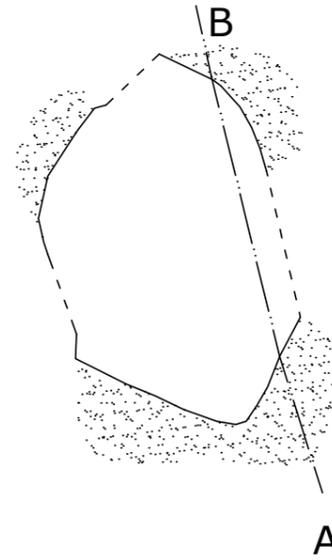
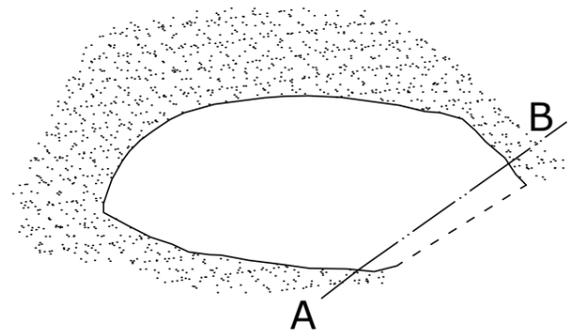
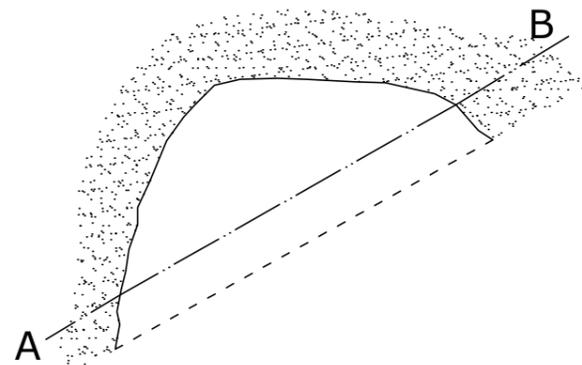
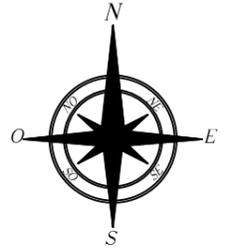


A B

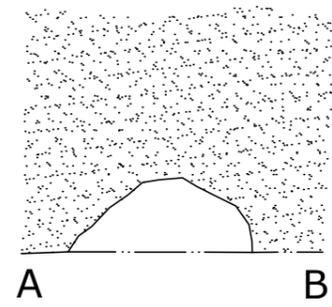
8

# Piante e sezioni delle cavità

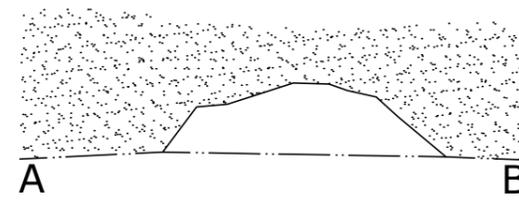
Scala 1:100



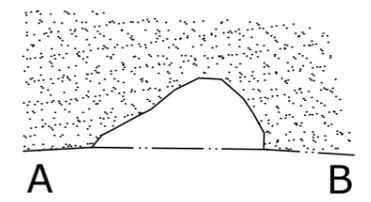
9



10

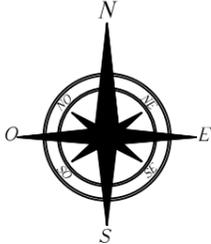


11

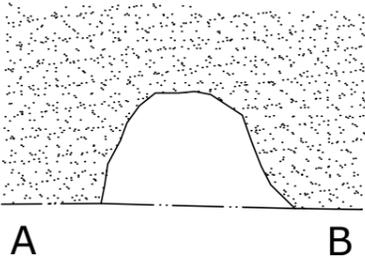
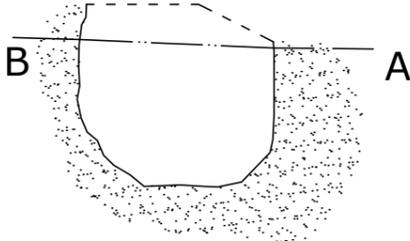


12

Piante e sezioni delle cavità



Scala 1:100





# Ubicazione Fotografie



1



2



3



4



5



6



7



8



9



10



11



12



13



14



15



16



17



18



19



20



21



22



23



24



25



26



27



28



29



30





# COMUNE DI MELENDUGNO (LECCE)

## LOCALITA' SAN FOCA



**OGGETTO:** *Report sondaggi di tomografia elettrica eseguite in modalità Wenner-Schlumberger e Dipolo-Dipolo presso il porto turistico di San Foca (Le)*



**TECNICO**  
Geol. Pietro ARVIZZIGNO

Geol. Pietro Arvizzigno – Via Carlo Alberto 190  
70019 Triggiano (Bari) mail: arvipietroibero.it cell 328 27 66 491  
P.I 06 737 780 723 C.F. RVZPTR77C09A662S



Sede Legale: Lungomare Matteotti, 6 73026 San Foca Melendugno (Lecce)  
Tel 0832/881183- Fax 0832/840831 e-mail portodisanfocaibero.it

## INDICE

1. Premessa .....	3
2. Analisi dei dati .....	5
3. Indagine di Tomografia Elettrica .....	6
4. Analisi dei dati di Tomografia Elettrica .....	7



## 1. Premessa

Nell'ambito degli studi volti a ricostruire schematicamente il modello geologico dell'area oggetto di studio sono state eseguite 11 Tomografie elettriche.

Lo scopo di queste indagini consiste nel misurare l'andamento del campo di resistività elettrica nel sottosuolo lungo un profilo e di registrarne le eventuali anomalie.

Tutte le rocce possiedono una resistività elettrica e dalle variazioni del campo della resistività sia in senso verticale che in quello laterale nel sottosuolo, si possono ottenere informazioni utili per una più corretta ricostruzione geologica dei luoghi.

In particolar modo, dall'elaborazioni dei dati provenienti dai sondaggi di tomografia elettrica, si possono ricostruire la stratigrafia dei luoghi, identificare le porzioni dell'ammasso roccioso costituito prevalentemente da roccia sciolta da quello a roccia lapidea, localizzare i limiti laterali e la profondità di una falda e del suo bedrock, individuare eventuali faglie sepolte altrimenti non riscontrabili, scoprire cavità sotterranee come quelle dovute alla soluzione delle rocce carbonatiche e distinguere corpi costituiti da materiali anomali.

Ciò detto, occorre, però, fare alcune considerazioni preliminari.

Innanzitutto i granuli minerali che costituiscono le rocce, fatta eccezione per alcuni minerali metallici, sono essenzialmente non conduttivi e poi i valori di resistività dipendono dal grado di saturazione in acqua, dalla resistività di quest'ultima, ma anche dalla distribuzione geometrica degli spazi porosi.

Per ogni tipo di roccia, infatti, si osserva un'ampia variabilità di valori di resistività essendo legata, come già detto, alla distribuzione geometrica degli spazi porosi, al grado di saturazione in acqua e al grado di fratturazione/fessurazione e questo comporta, a giudizio dello scrivente, che i sondaggi di tomografia elettrica risultano particolarmente utili laddove si voglia semplicemente implementare le conoscenze geologiche dei luoghi.

Inoltre come tutte le metodologie che misurano un campo di potenziale, il valore ottenuto in un dato punto rappresenta la media pesata di tutti gli effetti prodotti su un grande volume di materiale e una certa distribuzione assunta dal potenziale a piano campagna generalmente non si traduce in un'unica possibilità di interpretazione.

Geol. Pietro Arvizzigno – Via Carlo Alberto 190  
70019 Triggiano (Bari) mail: arvipietroibero.it cell 328 27 66 491  
P.I 06 737 780 723 C.F. RVZPTR77C09A662S



Sede Legale: Lungomare Matteotti, 6 73026 San Foca Melendugno (Lecce)  
Tel 0832/881183- Fax 0832/840831 e-mail portodisanfocaibero.it

L'elaborazione dei dati quindi, va condotta con la massima attenzione e ponderatezza, in modo da non cadere in facili approssimazioni o arrivare a conclusioni affrettate e si consiglia, comunque, di integrare i dati provenienti dall'elaborazione delle tomografie elettriche con dati provenienti dalle perforazioni di sondaggio, magari effettuate proprio in corrispondenza delle anomalie elettriche registrate lungo le sezioni di indagine.



## 2. Analisi dei dati

Le indagini di tomografia elettrica sono state eseguite con strumentazione MAE A6000-E e acquisite mediante configurazioni wenner-schlumberger e dipolo-dipolo.

Le configurazioni wenner-schlumberger, consentono un buon risultato nell'individuare strutture caratterizzate da variazioni di resistività sia in senso orizzontale, (mappatura dei livelli stratigrafici) che verticale (cavità), mentre le configurazioni dipolo-dipolo sono particolarmente utili per la mappatura di strutture verticali (cavità).

La geometria adottata per gli stendimenti di tomografia elettrica indicati con i numeri 1-2-5-6-7 è di una distanza interelettrodica di 3 metri e lunghezza dei profili di 93 metri.

La geometria adottata per gli stendimenti di tomografia elettrica indicati con i numeri 3-4 è di una distanza interelettrodica di 2 metri e lunghezza dei profili di 62 metri.

La geometria adottata per gli stendimenti di tomografia elettrica indicati con i numeri 8-9-10-11 è di una distanza interelettrodica di 1.5 metri e lunghezza dei profili di 46.5 metri.

Per tutti gli stendimenti sono stati utilizzati 32 elettrodi infissi contemporaneamente nel terreno e si è configurato lo strumento spuntando i primi 4 box di commutazione e mediando su 3 interazioni (in modo da avere valori di acquisizione più precisi).

La prova è stata eseguita immettendo corrente minima a 120 mA.

Il salvataggio dei dati è stato fatto in formato .dat in modo da poter utilizzare i dati direttamente con il software RES2DINV.

I dati ricavati sono stati successivamente riordinati al fini di eliminare valori che presentavano deviazione standard elevate e che quindi potevano considerarsi non attendibili.

Infine per poter incrementare ulteriormente l'attendibilità dell'interpretazione, i volumi di terreno facenti capo a ciascun punto di misura sono stati suddivisi in modo da ottenere valori più precisi.

Ciò che si è ottenuto è in buona sostanza, una sezione del sottosuolo in due dimensioni (2D) ossia un profilo verticale, in cui le variazioni di resistività lungo la sezione di riferimento può essere associata a cambiamenti litologici intraformazionali e/o presenza di cavità.



### **3. Indagine di Tomografia Elettrica**

Durante i lavori di acquisizione dei dati non si sono registrate particolari difficoltà operative.

Ciò detto, la scelta dei sondaggi di tomografia elettrica, nelle configurazioni wenner-schlumberger e dipolo-dipolo, è stata espressa dalla committenza al fine di mappare eventuali cavità presenti nel sottosuolo e supportare il progettista nella stesura della relazione geologica, implementando in questo modo la ricostruzione del modello geologico dei luoghi.

In realtà l'attenta osservazione dei dati di elaborazione provenienti dai sondaggi di tomografia elettrica effettuati, mette in evidenza la necessità che gli stessi siano integrati e verificati con dati provenienti da perforazioni di sondaggio.

In particolar modo si consiglia di effettuare indagini dirette (scavi e perforazioni di sondaggio) in corrispondenza delle anomalie elettriche registrate lungo le sezioni di indagine riconducibili a probabili cavità in modo da confermare o meno la loro presenza.

Questo perchè, le indagini di tomografia elettrica che ben ricostruiscono la successione stratigrafica dei luoghi e mappano, attraverso anomalie di valori di resistività le probabili cavità, rimangono comunque indagini indirette con precisi limiti interpretativi.

Come tutte le metodologie indirette schematizzano il modello geologico e possono fornire una ricostruzione geologica dei luoghi non corrispondente alla realtà, quindi non veritiera e comunque non dettagliata.

Lo scrivente, nei suoi elaborati progettuali, le utilizza unicamente per implementare la conoscenza geologica dei luoghi, già acquisita attraverso indagini dirette (scavi e perforazioni di sondaggio) e non come sostitutive di queste ultime.

Si consiglia pertanto, la committenza di integrare i sondaggi di tomografia elettrica con scavi e perforazioni di sondaggio in diversi punti dell'area in esame ed in particolar modo in corrispondenza delle sezioni di riferimento i cui valori hanno registrato anomalie elettriche riconducibili a probabili cavità.



#### **4. Analisi dei dati di Tomografia Elettrica**

I sondaggi di tomografia elettrica indicati con i numeri 1-2-3-4 sia nella configurazione wenner-schlumberger che dipolo-dipolo mostrano un andamento della resistività piuttosto omogeneo.

In particolare per tutti gli stendimenti in questione, si evidenzia la presenza di valori di resistività potenzialmente riconducibili ad sabbione calcarenitico fratturato ed alterato a luoghi cementato e valori di resistività potenzialmente riconducibili a materiale sciolto costituito da ciottoli, sabbie con intercalazioni argillose derivante probabilmente dai processi di alterazione chimica e disgregazione meccanica del sabbione calcarenitico.

Da precisare che il livello medio marino lo si colloca tra i 2.30 e i 2.50 metri dal piano campagna attuale e che quindi buona parte di quanto rilevato è al di sotto di tale livello. (CFR Allegato cartografico)

Più in particolare per gli stendimenti di tomografia elettrica indicati con i numeri 1-2 le porzioni di materiale sciolto (quindi ciottoli, sabbie con intercalazioni argillose) le si rilevano a circa 8.00 metri di profondità dal piano campagna, si tratta ovviamente di materiale saturo (CFR Allegato cartografico).

Per la sezione di tomografia elettrica indicata con il numero 3 partendo da inizio stendimento come distanza lineare, il materiale sciolto saturo lo si rileva già a circa 2.00/2.50 metri dal piano campagna attuale; mentre per lo stendimento di tomografia elettrica numero 4 i valori di resistività associabili a materiale sciolto risultano per circa 13 metri da inizio stendimento.

Non si esclude in quest'ultimo caso, che vi sia anche del materiale di riporto associato al materiale sciolto di cui sopra. Naturalmente il materiale sciolto che si colloca sopra il livello del mare, mediamente non saturo, è comunque influenzato dall'azione marina potendosi formare delle incrostazioni saline.



I sondaggi di tomografia elettrica indicati con i numeri 5-6-7 sia nella configurazione wenner-schlumberger che dipolo-dipolo mostrano un andamento della resistività piuttosto eterogeneo.

In particolare per tutti gli stendimenti in questione, si evidenzia la presenza di valori di resistività potenzialmente riconducibili ad sabbione calcarenitico fratturato ed alterato a luoghi cementato e valori di resistività potenzialmente riconducibili a materiale sciolto costituito da ciottoli, sabbie con intercalazioni argillose derivante probabilmente dai processi di alterazione chimica e disgregazione meccanica del sabbione calcarenitico.

Anche in questi sondaggi di tomografia elettrica il livello medio marino lo si colloca tra i 2.30 e i 2.50 metri dal piano campagna attuale e quindi tutto il materiale sciolto e larga parte del sabbione calcarenitico si trovano sotto il livello del mare in condizioni sature (CFR Allegato cartografico).

Ciò detto, in questi sondaggi di tomografia elettrica, si sono riscontrati valori di anomalie di resistività potenzialmente riconducibili alla presenza di cavità. (CFR Allegati Cartografici)

Più in particolare nella sezione di riferimento numero 5 la probabile cavità la si rileva come distanza lineare da inizio stendimento da circa 15 metri a circa 24.00 metri e profonda da circa 2.50 metri fino a circa 7.50 metri dal piano campagna attuale (CFR Allegato cartografico), quindi spessa circa 5 metri e larga, circa 9 metri.

Nella sezione di riferimento numero 6 le probabili cavità le si rilevano praticamente quasi allineate fra loro.

Partendo sempre da inizio stendimento (CFR Allegato cartografico) la prima probabile cavità lungo la sezione di riferimento, la si rileva da circa 15 metri a circa 24.00 metri e profonda da circa 2.50 metri fino a circa 7.50 metri dal piano campagna attuale quindi spessa circa 5 metri e larga circa 9.00 metri; la seconda probabile cavità di dimensioni minori la si rileva lungo la sezione di riferimento, da circa 31 metri a circa 36 metri e profonda da circa 4.50 metri fino a circa 6.50 metri dal piano campagna attuale quindi spessa circa 2 metri e larga circa 5.00 metri, la terza probabile cavità allineata alle prime due, di dimensioni ragguardevoli, la si rileva nella sezione di riferimento, da circa 66 metri a circa 79 metri come distanza lineare da inizio



stendimento e profonda da circa 1.50 metri fino a circa 6/6.50 metri dal piano campagna attuale quindi spessa circa 5 metri e larga circa 13.00 metri.

Si rileva infine una probabile quarta cavità, individuata nella configurazione dipolo-dipolo, molto profonda a circa 14.00 metri di profondità dal piano campagna attuale (CFR Allegato cartografico) e collocata come distanza lineare da inizio stendimento tra i 51 metri e i 60 metri di cui però non si può ricostruire la geometria.

Infine nella sezione di tomografia elettrica di riferimento numero 7 si rilevano 2 probabili cavità allineate.

Come per lo stendimento numero 6 anche per lo stendimento numero 7 partendo da inizio stendimento (CFR Allegato cartografico) la prima probabile cavità la si rileva come distanza lineare da inizio stendimento da circa 15 metri a circa 24.00 metri e profonda da circa 3.00 fino a circa 6.50 metri dal piano campagna attuale quindi spessa circa 3.50 metri e larga circa 9.00 metri, la seconda probabile cavità di dimensioni minori la si rileva lungo la sezione di riferimento, come distanza lineare da inizio stendimento da circa 32 metri a circa 35 metri e profonda da circa 4.50 fino a circa 6.50 metri dal piano campagna attuale spessa circa 2 metri e larga circa 3.00 metri



I sondaggi di tomografia elettrica indicati con i numeri 8-9-10 sia nella configurazione wenner-schlumberger che dipolo-dipolo mostrano un andamento della resistività piuttosto omogeneo. In particolare per tutti gli stendimenti in questione, si evidenzia la presenza di valori di resistività potenzialmente riconducibili ad sabbione calcarenitico fratturato ed alterato a luoghi cementato e valori di resistività potenzialmente riconducibili a materiale sciolto costituito da ciottoli, sabbie con intercalazioni argillose, derivante probabilmente dai processi di alterazione chimica e disgregazione meccanica del sabbione calcarenitico.

Da precisare che il livello medio marino lo si colloca tra i 2.30 e i 2.50 metri dal piano campagna attuale e che quindi buona parte di quanto rilevato è al di sotto di tale livello. (CFR Allegato cartografico)

Più in particolare per lo stendimento di tomografia elettrica indicato con il numero 8, il materiale sciolto, da inizio stendimento, lo si rileva affiorante per circa 15 metri.

Non si esclude anche in questo caso, che vi sia del materiale di riporto associato al materiale sciolto. Naturalmente il materiale sciolto che si colloca al di sopra del livello del mare, è comunque influenzato dall'azione marina potendosi formare nello stesso delle incrostazioni saline.

Per lo stendimento di tomografia elettrica indicato con il numero 9 invece la frazione di materiale sciolto derivante probabilmente dallo stesso sabbione calcarenitico, disgregato meccanicamente e alterato chimicamente, risulta essere più abbondante del sabbione calcarenitico stesso.

Lo si identifica affiorante praticamente già dai primi 15 metri da inizio stendimento fino alla fine dello stesso e per una profondità media dal piano campagna attuale di almeno 9 metri. Anche in questo caso, ci può essere del materiale di riporto associato al materiale sciolto.

Infine il sondaggio di tomografia elettrica indicato con il numero 10 presenta il materiale sciolto affiorante “a macchie di leopardo” e in linea con quanto segnalato con i sondaggi di tomografia elettrica indicati con i numeri 8 e 9 ci può essere del materiale di riporto associato al materiale sciolto influenzato dall'azione marina.



Infine il sondaggio di tomografia elettrica indicato con il numero 11 sia nella configurazione wenner-schlumberger che dipolo-dipolo mostra un andamento della resistività piuttosto eterogeneo.

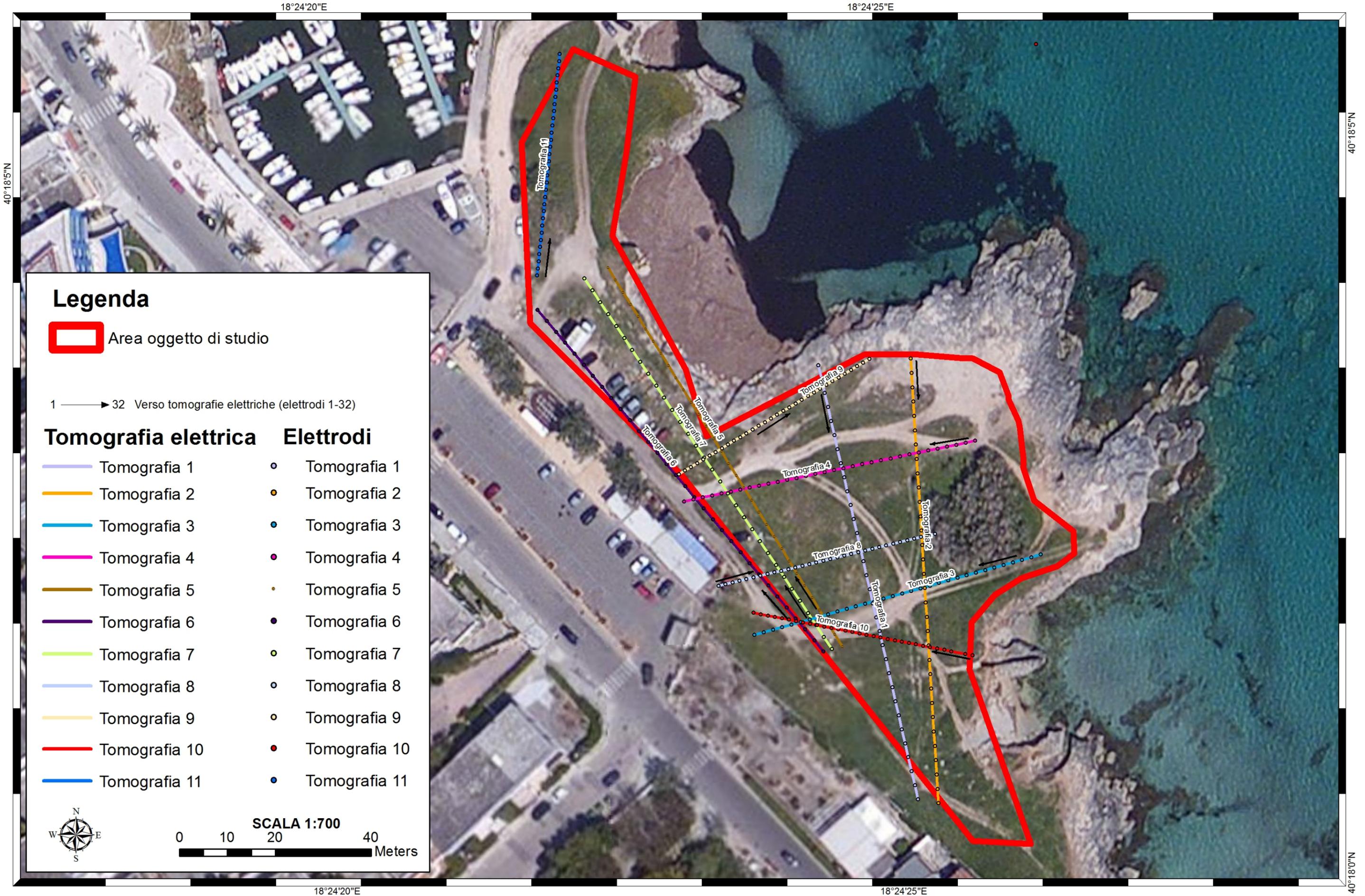
In particolare, si evidenzia la presenza di valori di resistività potenzialmente riconducibili ad sabbione calcarenitico fratturato ed alterato a luoghi cementato e valori di resistività potenzialmente riconducibili a materiale sciolto costituito da ciottoli, sabbie con intercalazioni argillose derivante probabilmente dai processi di alterazione chimica e disgregazione meccanica del sabbione calcarenitico.

Più in particolare si rilevano delle anomalie di resistività associabili ad una probabile cavità. La cavità rilevata già da inizio stendimento fino a circa 9.00 metri come distanza lineare la si cartografa da circa un metro fino a circa 4.00 metri dal piano campagna attuale (CFR Allegato cartografico) e quindi risulta essere spessa circa 3 metri e larga, circa 9 metri. In conclusione, si conferma quanto già esposto nei capitoli precedenti ossia che le indagini di tomografia elettrica sono indagini indirette che hanno dei limiti interpretativi.

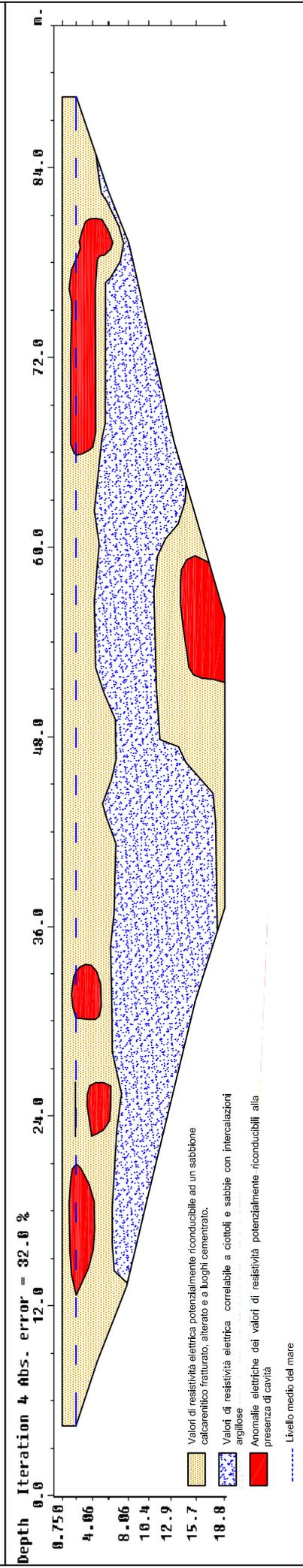
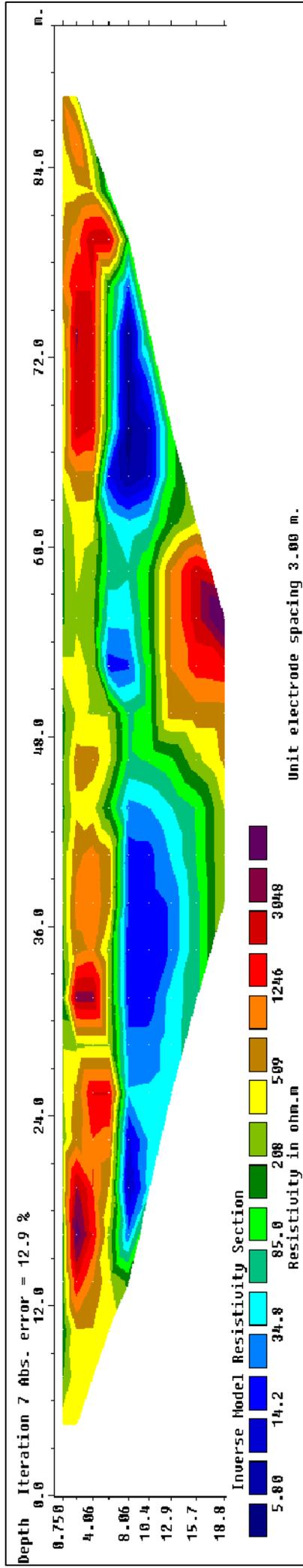
Come tutte le metodologie indirette schematizzano il modello geologico e possono fornire una ricostruzione geologica dei luoghi non sempre corrispondente alla realtà. Infatti come sopra detto, esse sono utili per implementare la conoscenza geologica dei luoghi e andrebbero eseguite a corredo di indagini geognostiche dirette come scavi e perforazioni di sondaggio. Si consiglia pertanto di far eseguire opportune indagini dirette sia in corrispondenza delle anomalie di resistività riconducibili alla presenza di cavità sia in corrispondenza della parte terminale degli stendimenti di tomografia elettrica indicati con i numeri uno e due.

Questo perchè se si nota l'allegato cartografico "*Carta delle anomalie elettriche di resistività potenzialmente riconducibili a cavità*" le probabili cavità sono praticamente allineate lungo la linea di confine dell'area in esame ed è molto probabile la loro presenza anche più a sud in corrispondenza della parte terminale degli stendimenti di tomografia numero 1 e 2.

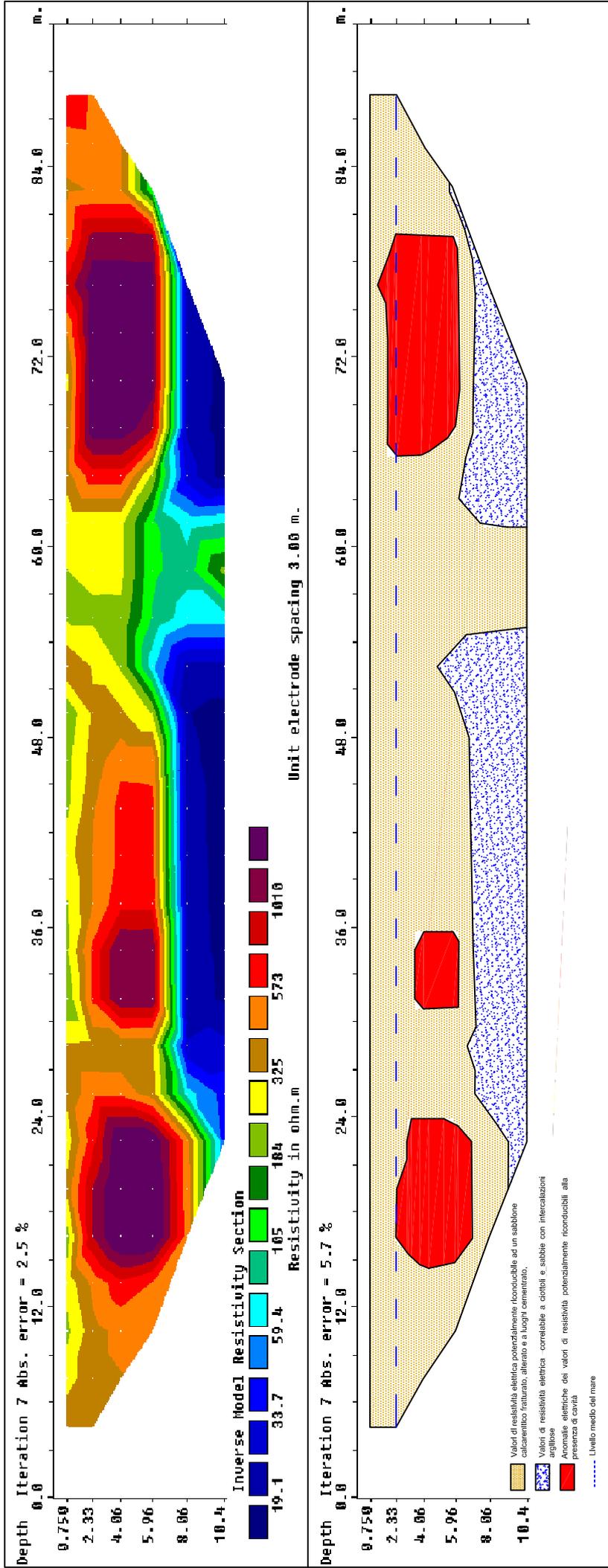
# Ubicazione dei sondaggi di tomografia elettrica



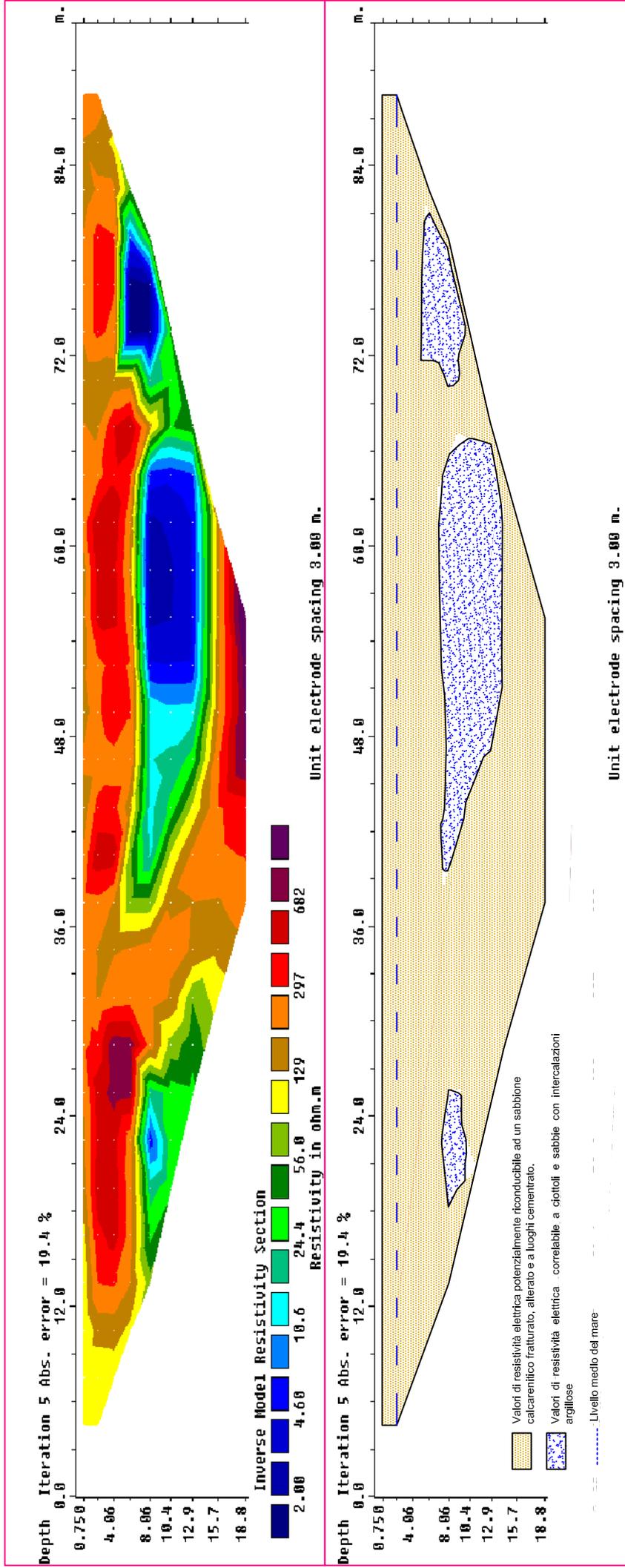
# E6d



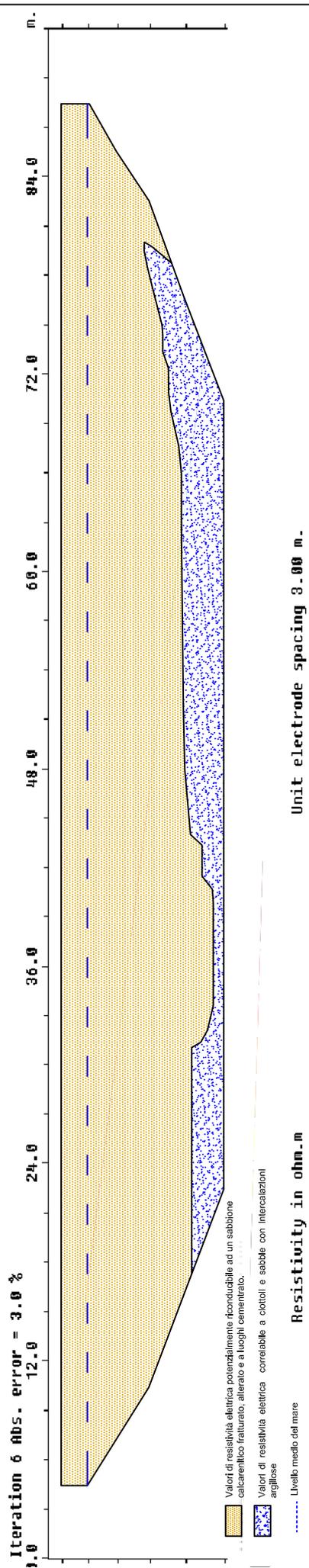
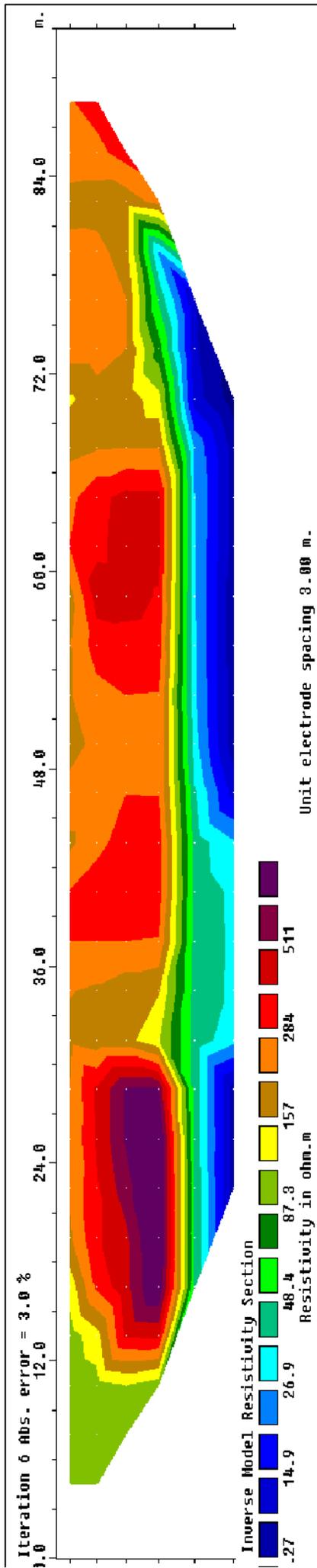
# E6W



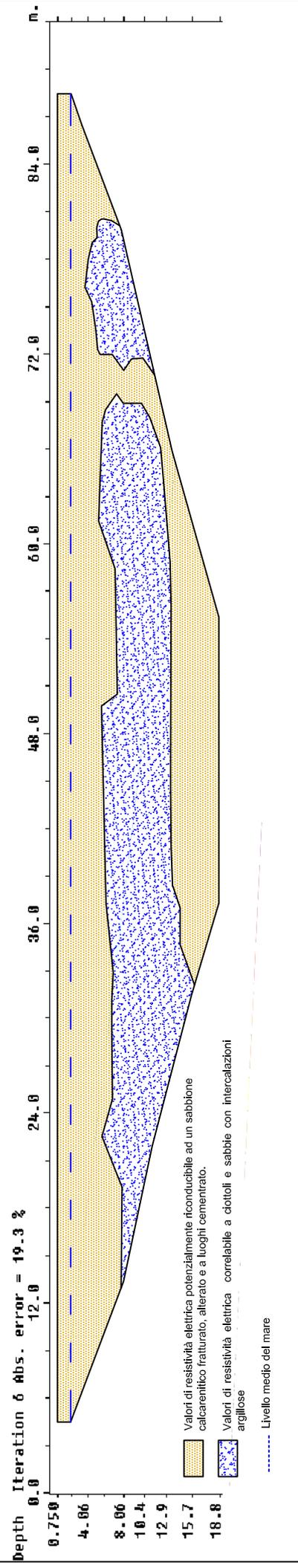
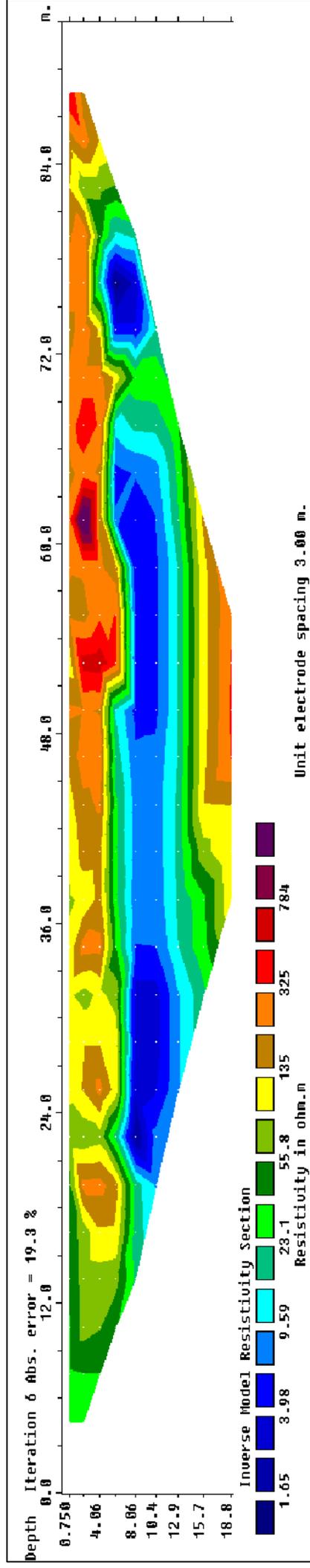
# E1d



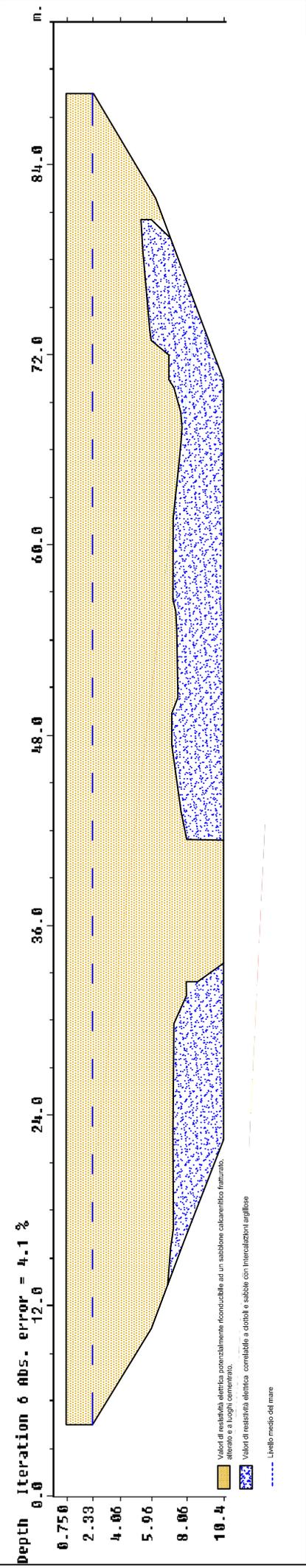
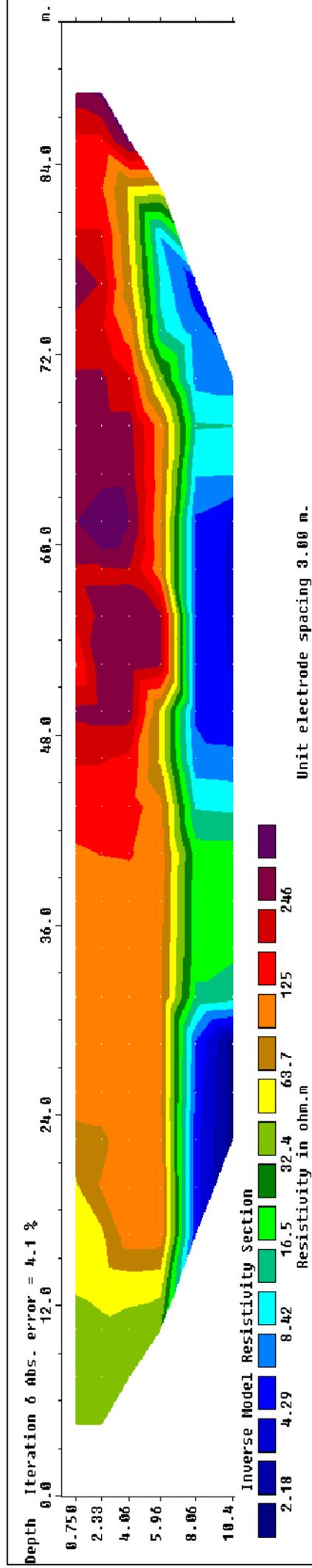
# E1W



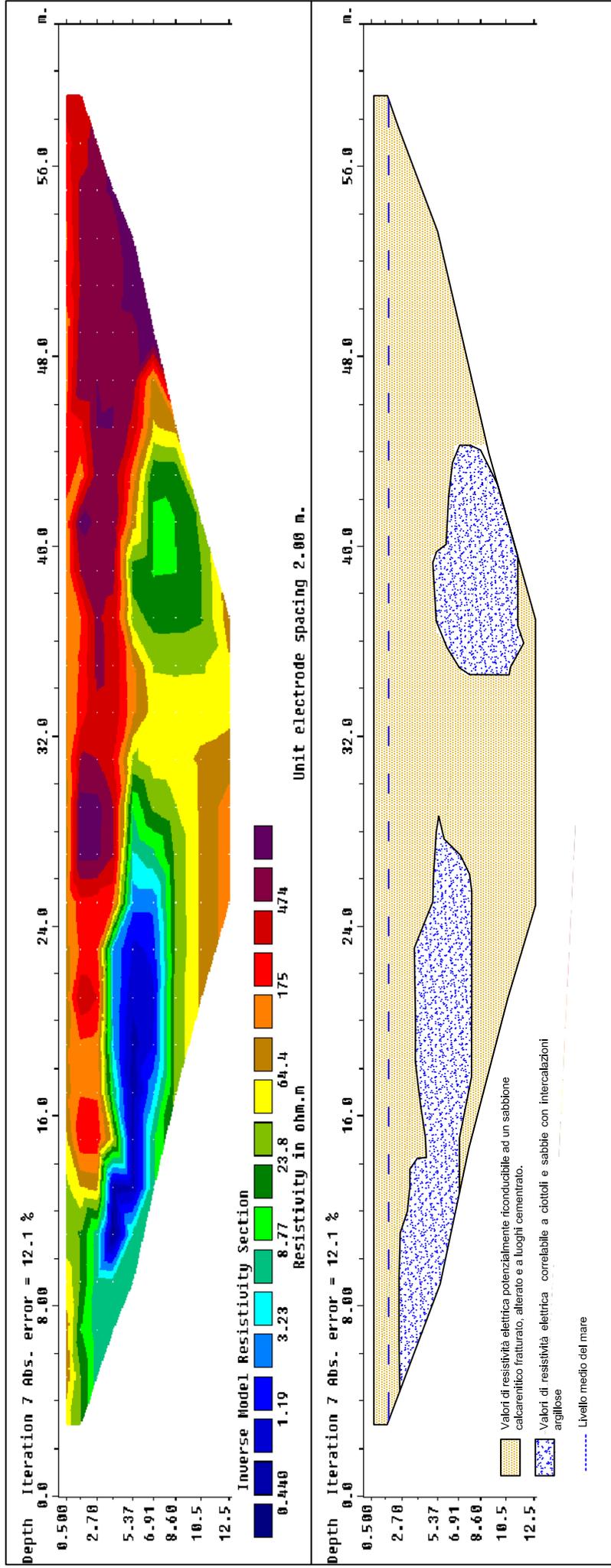
# E2d



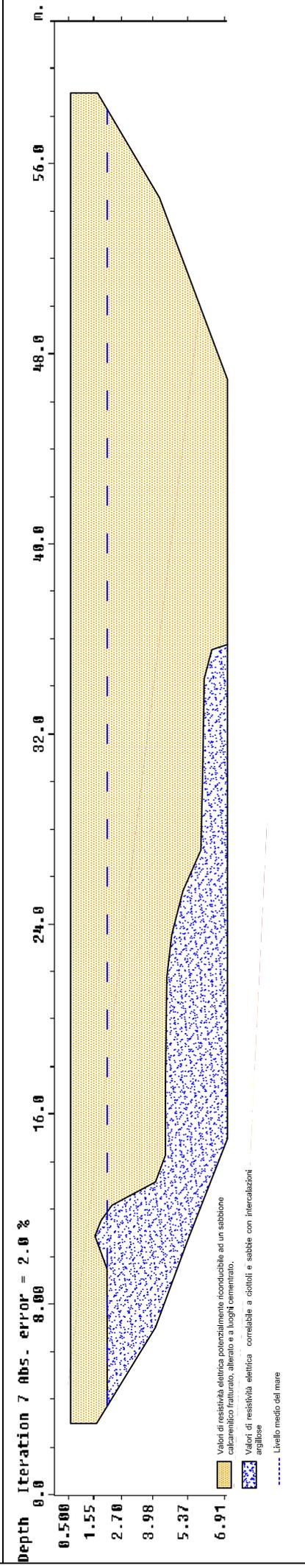
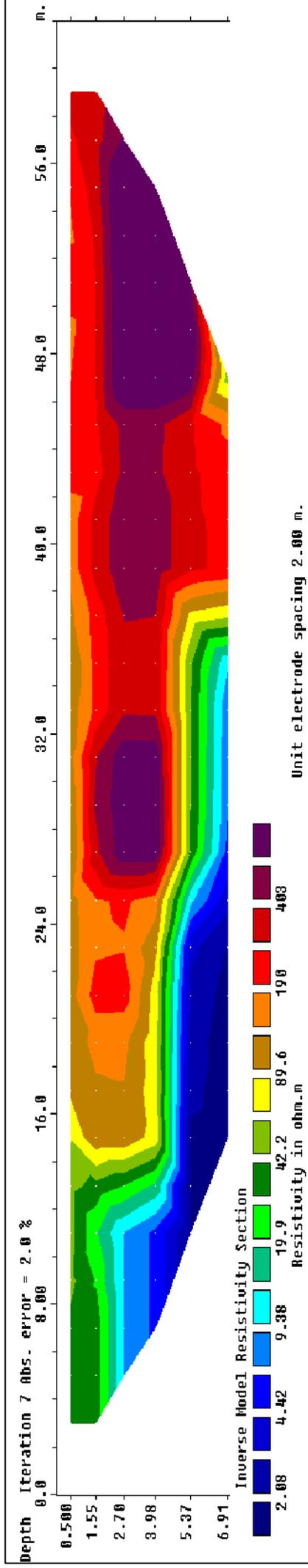
# E2W



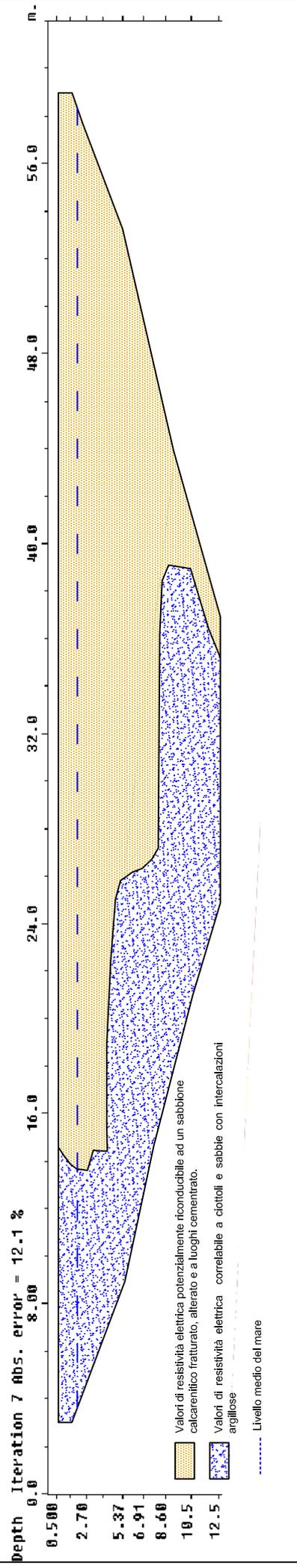
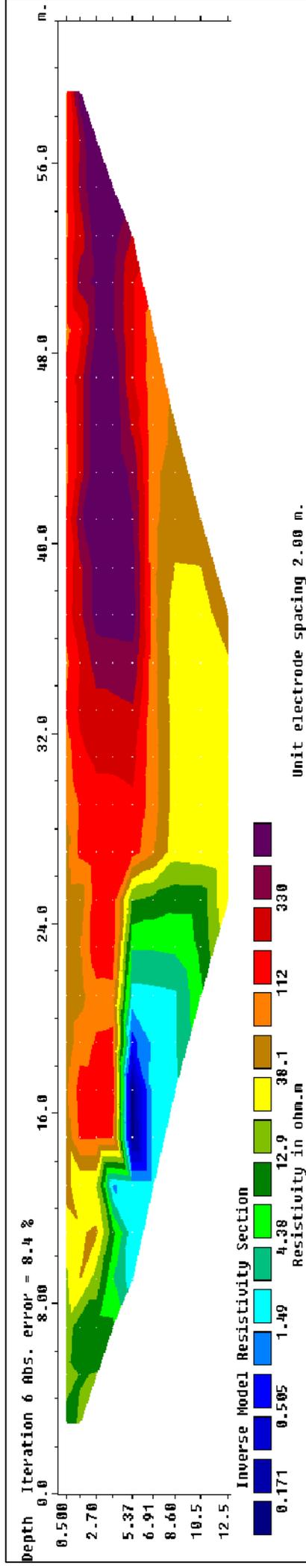
# E3d



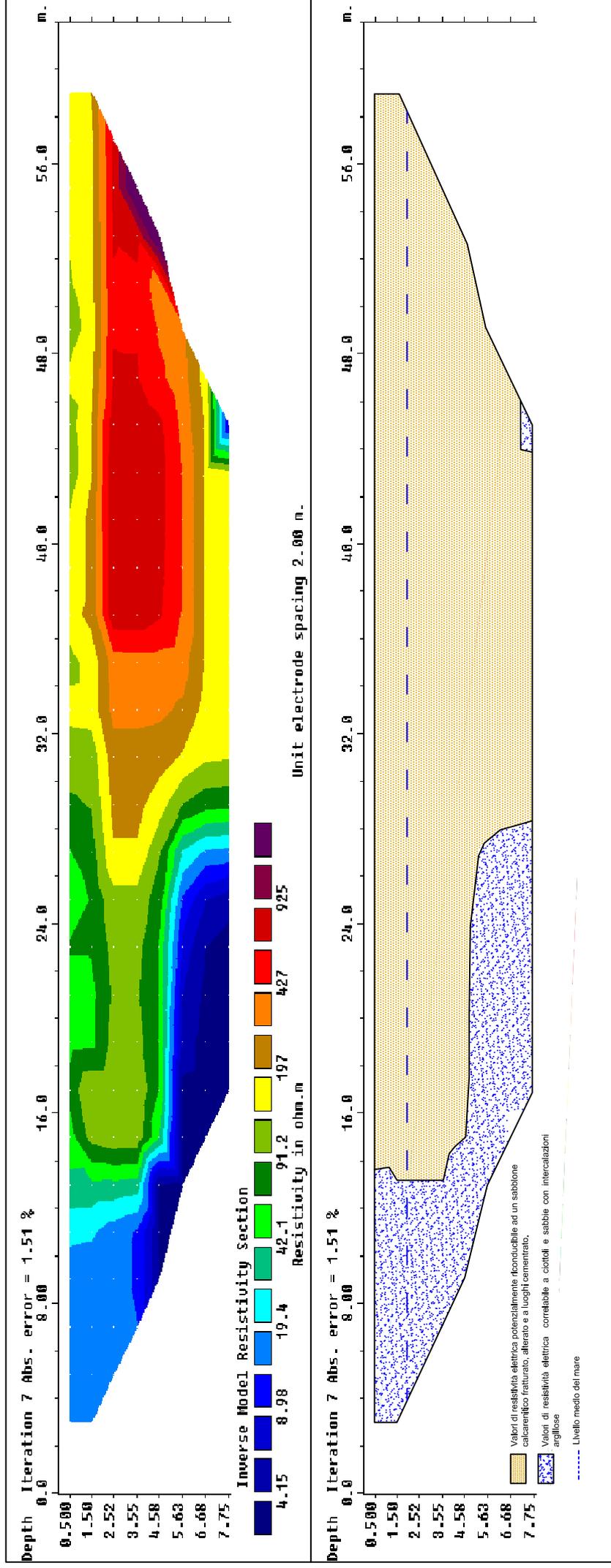
# E3W



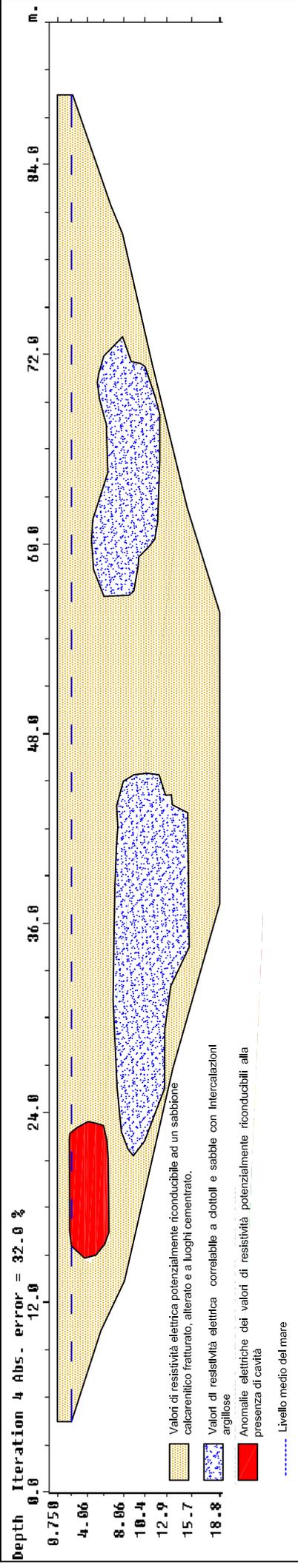
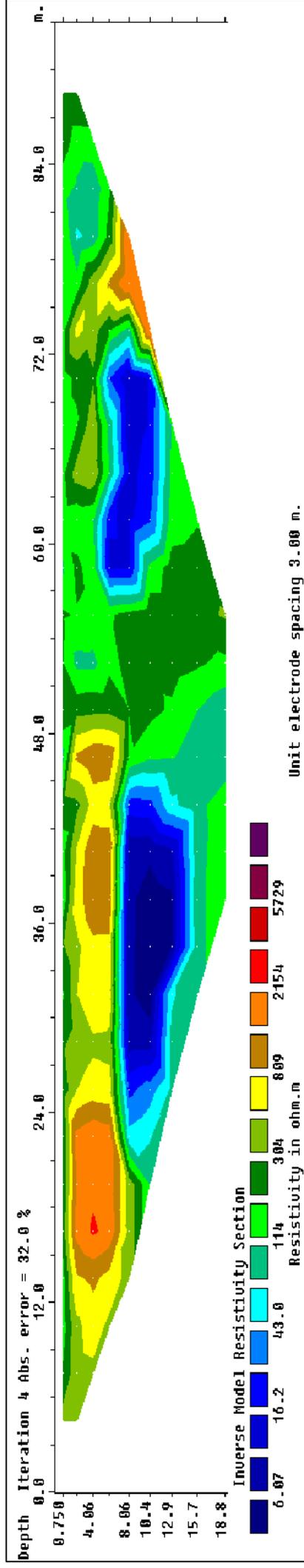
# E4d



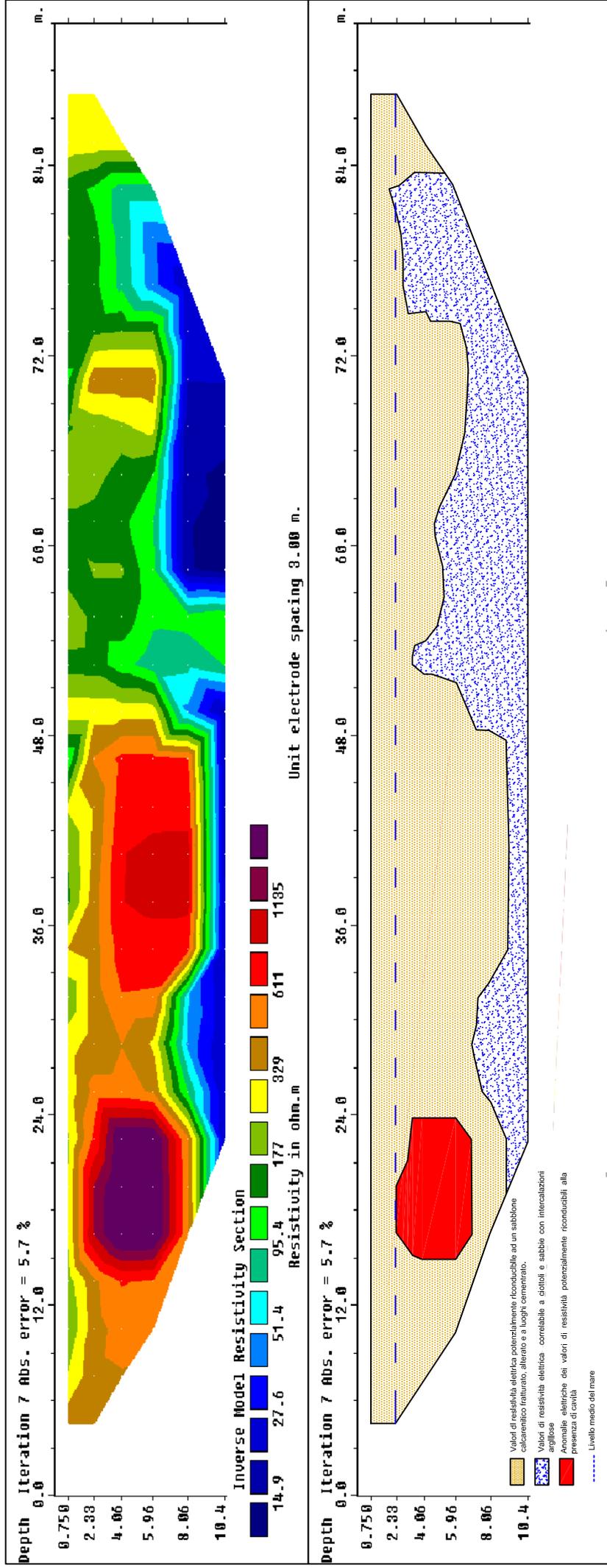
# E4W



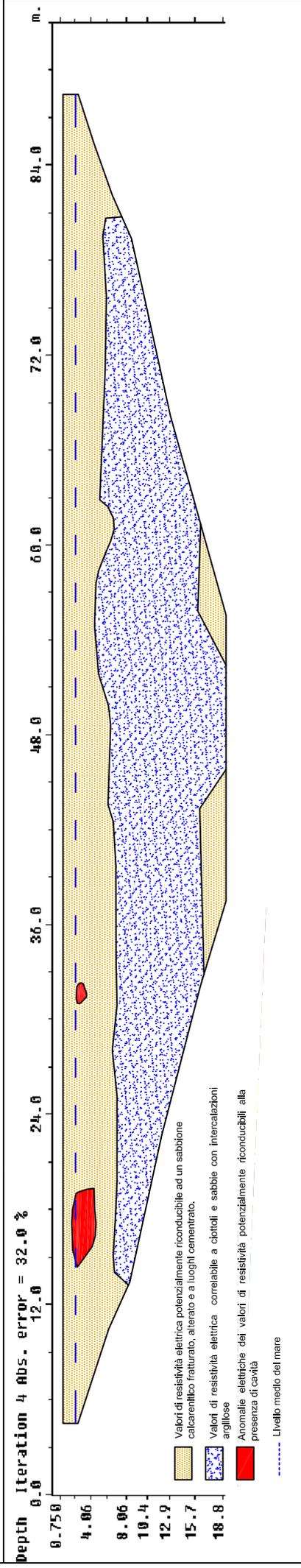
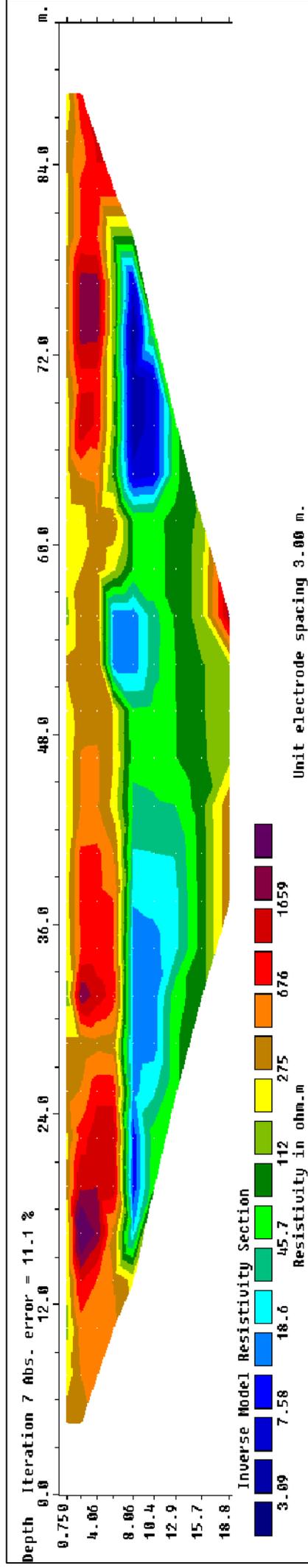
# E5d



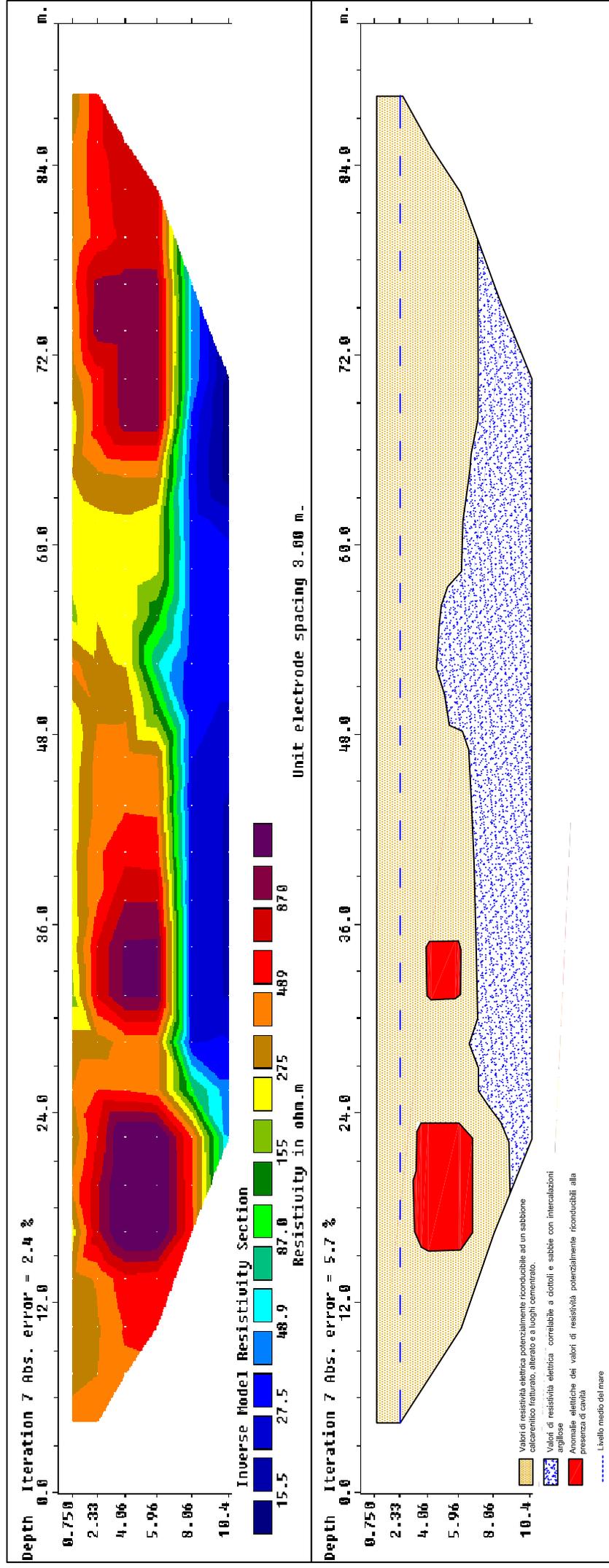
# E5W



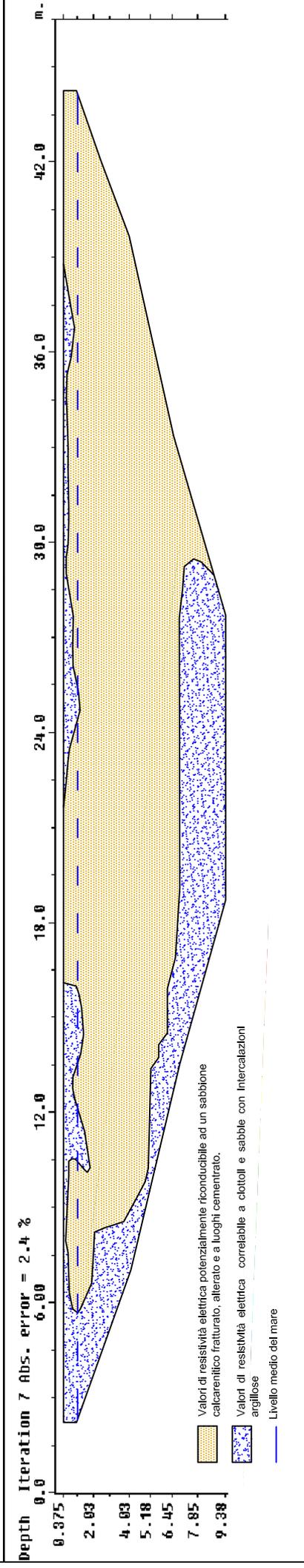
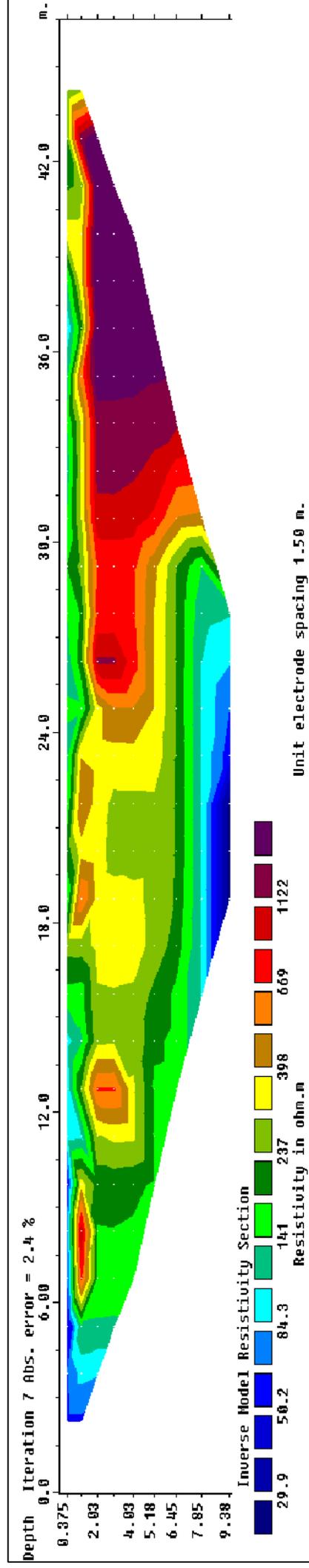
# E7d



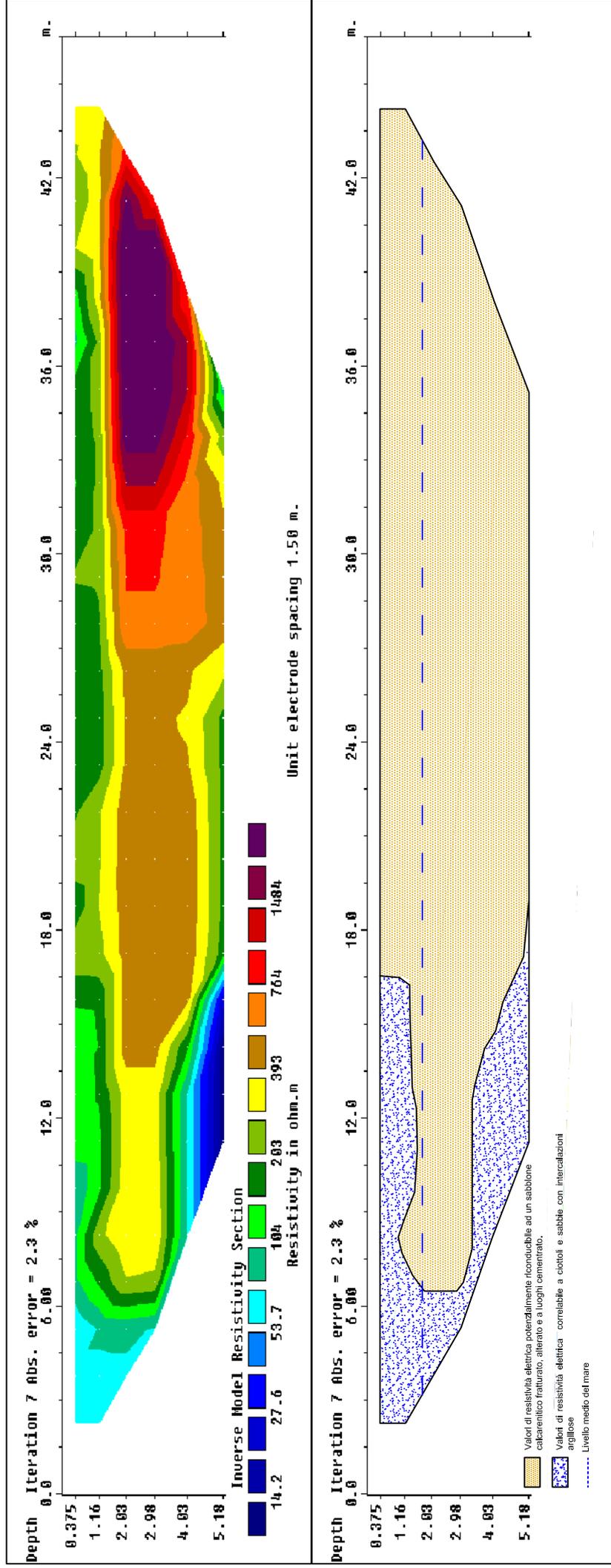
# E7W



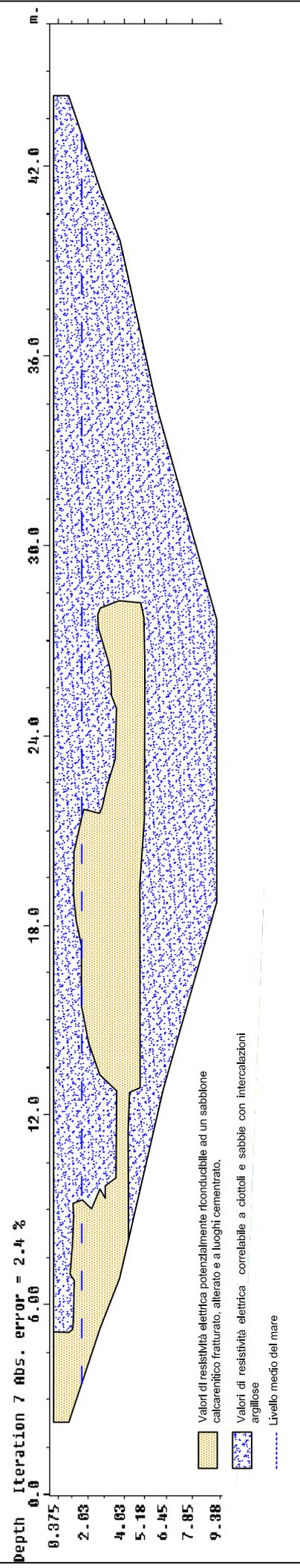
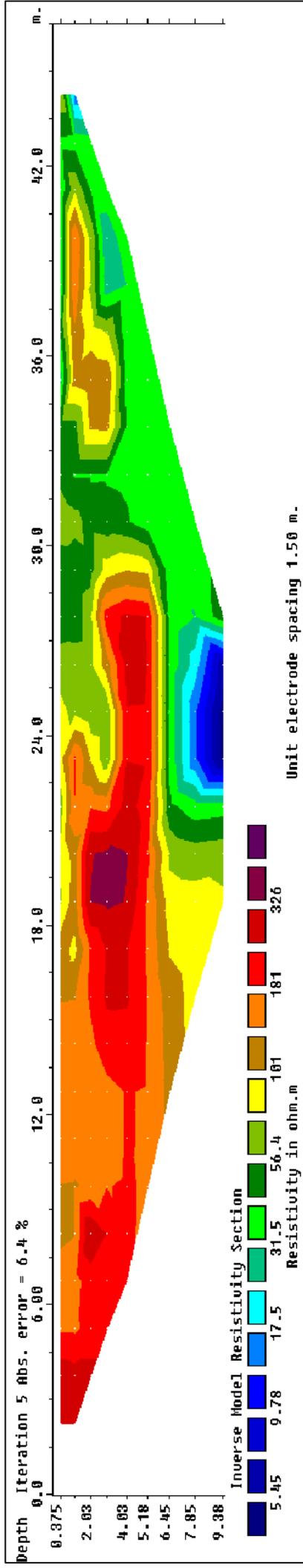
# E8d



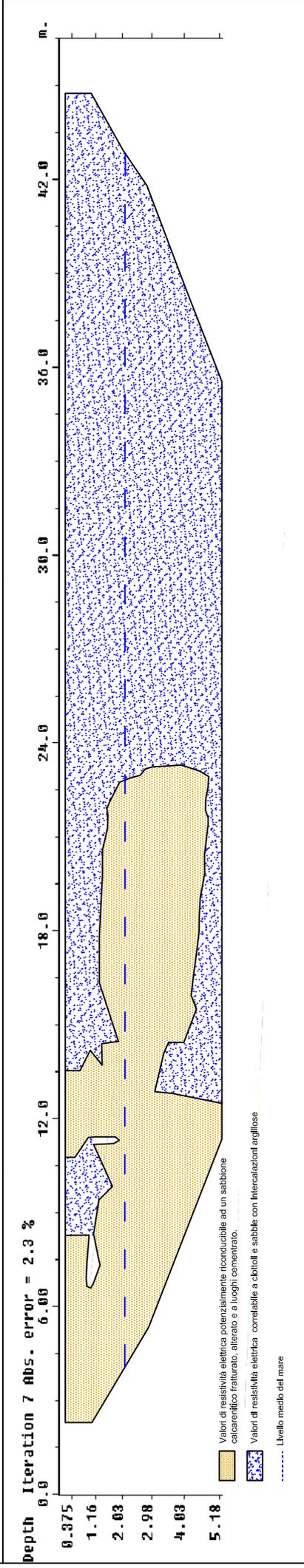
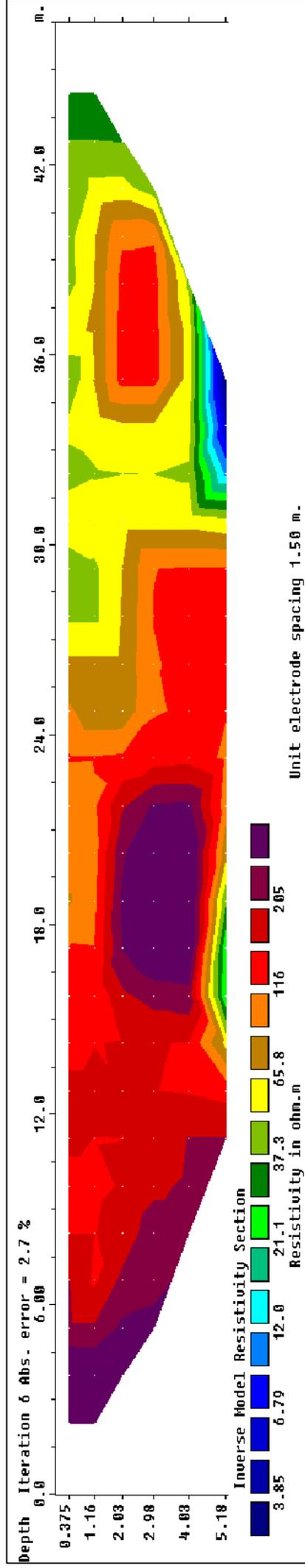
# E8W



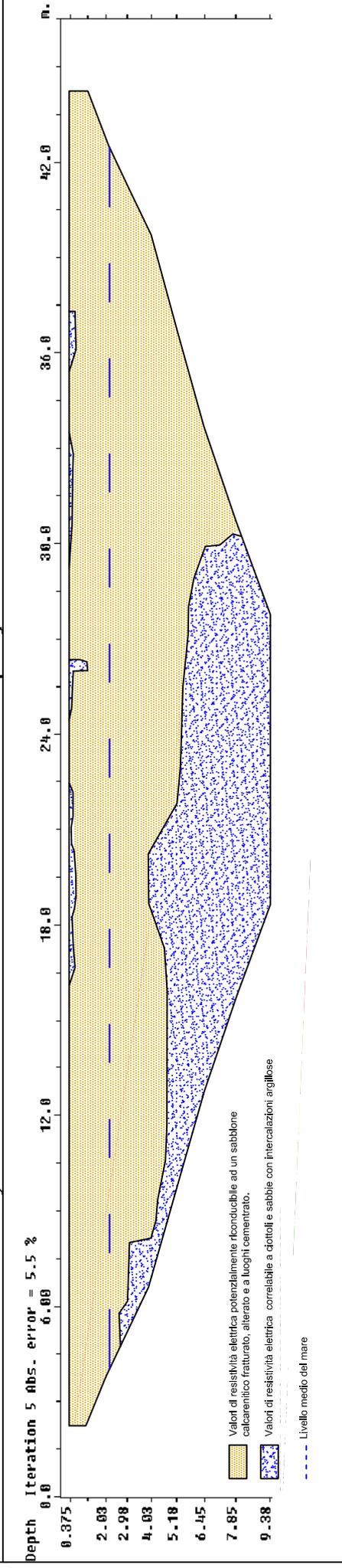
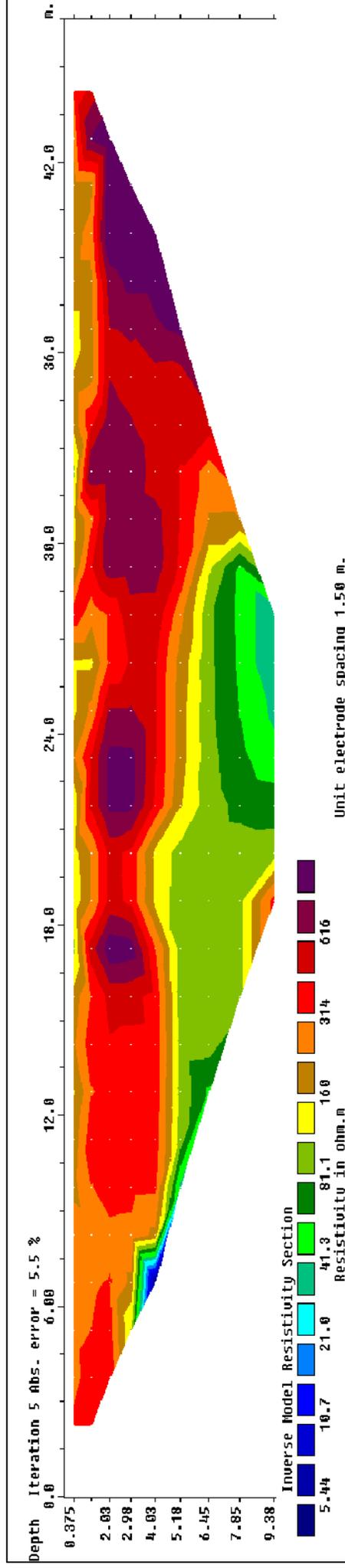
# E9d



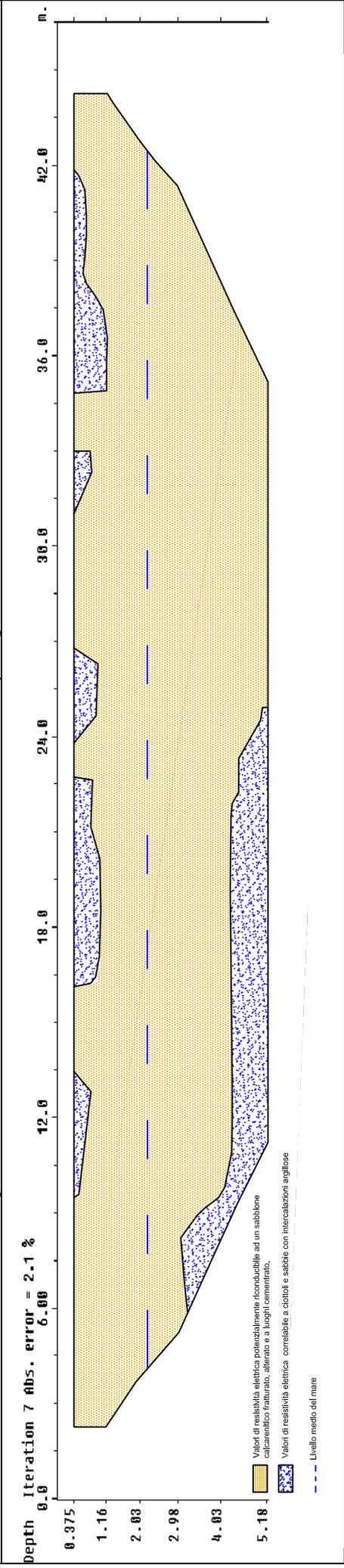
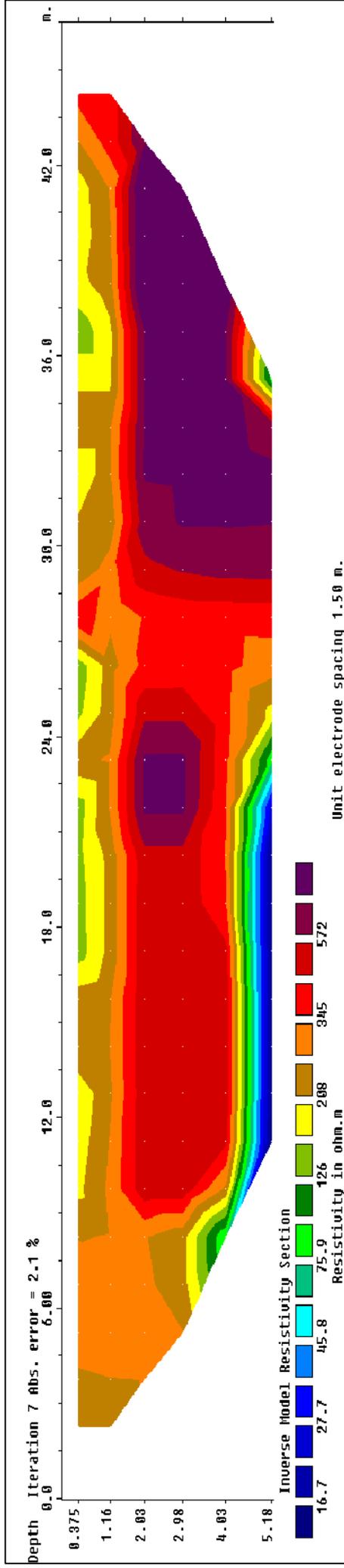
# E9W



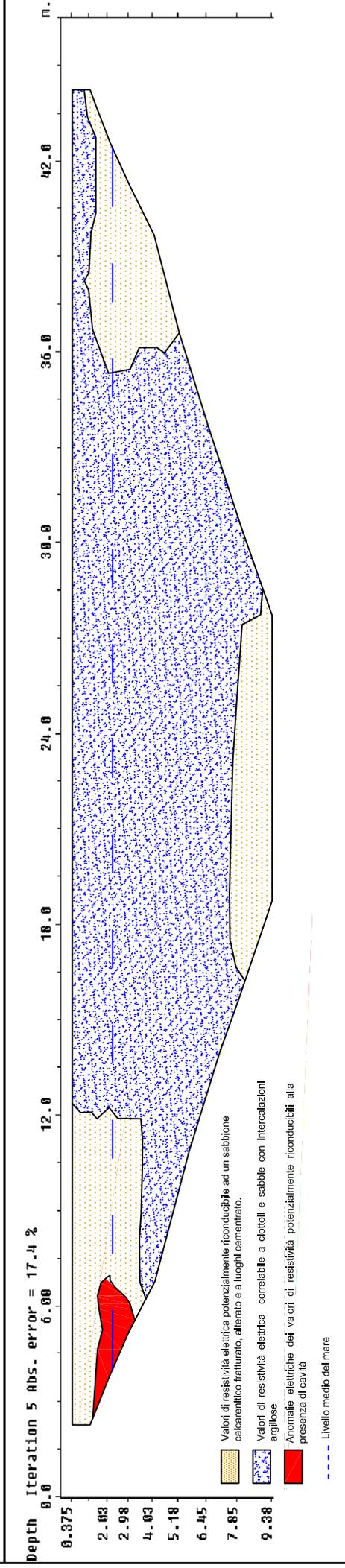
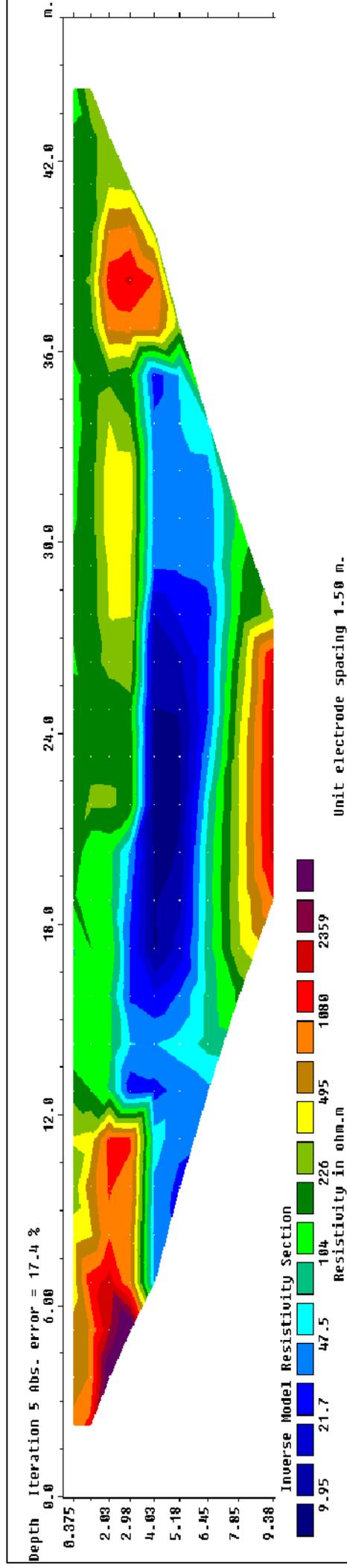
# E10d



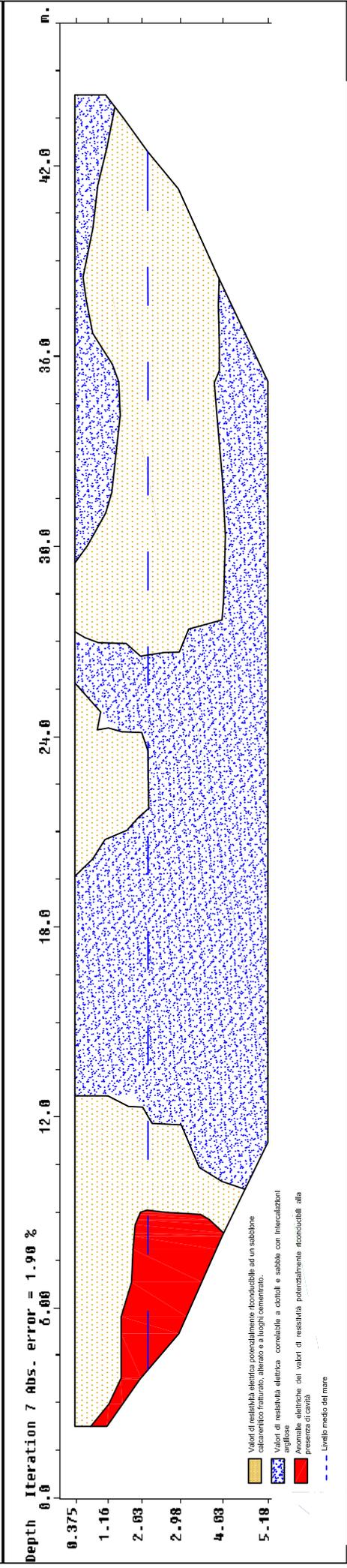
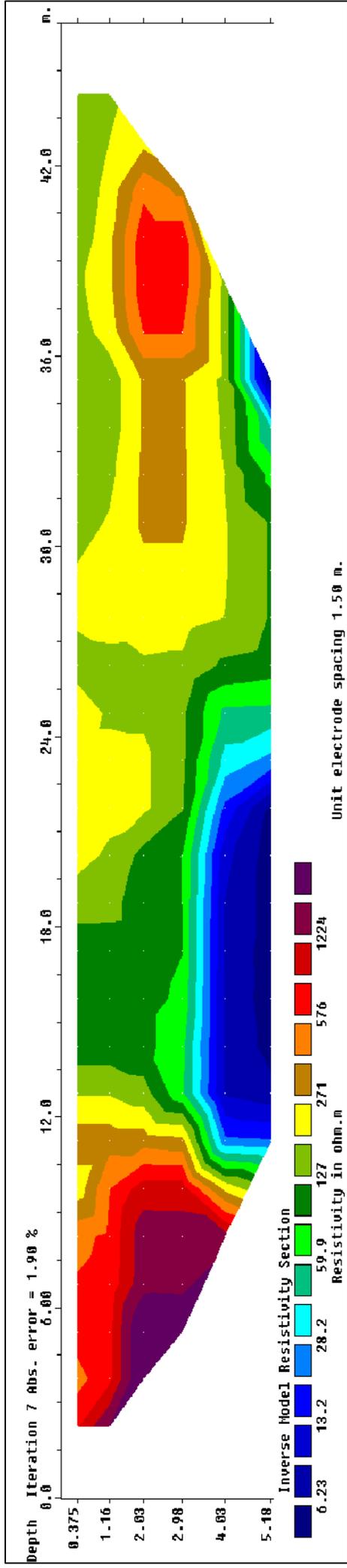
# E10W



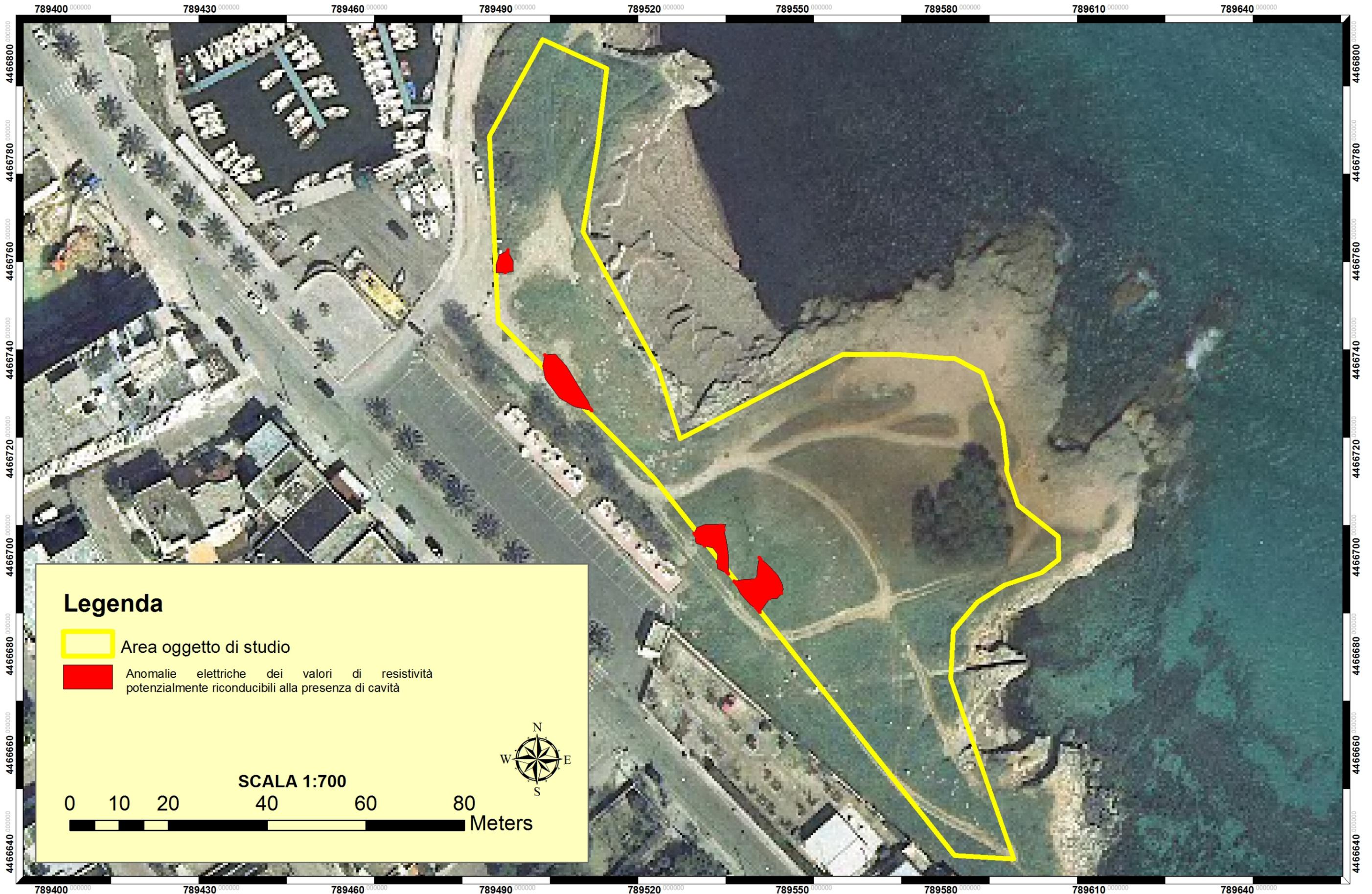
# E11d



# E111W



# Carta delle anomalie elettriche di resistività potenzialmente riconducibili a cavità



## Legenda

-  Area oggetto di studio
-  Anomalie elettriche dei valori di resistività potenzialmente riconducibili alla presenza di cavità

SCALA 1:700

0 10 20 40 60 80 Meters

