

**PROGETTAZIONE  
 GENERALE**

Ing. P. Rossetto  
 Thetis S.p.a.

Ing. G. Zoletto  
 Ing. E. Mantovani  
 S.p.a.

**Nuovi Interventi per la Salvaguardia di Venezia**

Legge 798 del 29-11-1984  
 Convenzione rep. n.7191 del 4-10-1991  
 Atto Attuativo rep. n. 8513 del 27-07-2011 (Progettazione Preliminare)

**TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE  
 AL LARGO DELLA COSTA DI VENEZIA**

**DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO**

**PROGETTO PRELIMINARE**

CUP: D73B11000150001

Progettazione  
 Ambientale e  
 Impiantistica



Progettazione  
 Infrastrutture



Progetto - Studi ed indagini Preliminari  
**RELAZIONE GEOTECNICA**

Cod.Elabor.

**C4-REL-006**

elaborato

controllato

approvato

Coordinamento alla  
 Progettazione



Consorzio  
 Venezia  
 Nuova  
 Ing. M. Brotto

**Settembre 2011**

revisione	descrizione	elab.	contr.	appr.

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta          DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO          PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
<b>Settembre 2011</b>	<b>C4-REL006</b>	<b>Rev.0</b>

**TERMINAL PLURIMODALE OFF – SHORE**  
**al largo della COSTA VENETA**  
  
**DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO**  
  
**RELAZIONE GEOTECNICA**

Gruppo di progettazione



<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
<b>Settembre 2011</b>	<b>C4-REL006</b>	<b>Rev.0</b>

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....</b>	<b>4</b>
	2.1 AREA LAGUNARE .....	4
<b>3</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE .....</b>	<b>6</b>
	3.1 GEOFISICA .....	6
	3.1.1 Modalità esecutive generali dei rilievi .....	8
	3.1.2 Rilievo batimetrico .....	9
	3.1.3 Acquisizione HRS .....	13
	3.1.4 Rilievo tomografico elettrico .....	17
	3.2 SONDAGGI E PROVE PENETROMETRICHE .....	27
<b>4</b>	<b>GEOTECNICA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>27</b>
<b>ALLEGATO: INDAGINI ESEGUITE</b>		

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
Settembre 2011	C4-REL006	Rev.0

## 1 PREMESSA

La presente relazione ha come oggetto la caratterizzazione geotecnica a larga scala dei siti oggetto d'intervento ovvero il terminal offshore situato a circa 8 miglia al largo della bocca di porto di Malamocco ed il fascio tubiero di collegamento con l'isola dei serbatoi petroliferi presso porto Marghera. La redazione si basa su dati bibliografici ricavati da documenti pubblici, relazioni tecniche specifiche, inerenti la Laguna di Venezia e attraverso il contributo derivato da una campagna di indagini tomografiche elettriche e sismiche ad alta risoluzione, effettuata nell'area del terminal e diga foranea. Il Progetto Preliminare, oggetto della presente relazione, sviluppa le seguenti opere civili/impiantistiche.

- La **diga foranea** prevista a protezione della funzione petrolifera prevista nel presente progetto preliminare e future funzioni containers e rinfuse. Essa, realizzata in massi naturali su di un fondale avente una profondità media di circa 22m s.l.m.m, presenta una lunghezza complessiva di circa 4050 m e quote di coronamento poste a +4.00 m e a +7.00 m s.l.m.m.
- Il **terminal petrolifero** costituito da n° 3 accosti per navi petroliere e dagli impianti e edifici necessari al suo funzionamento
- Le **pipelines** per il convogliamento dei fluidi petroliferi, attraverso il mare Adriatico prima e la laguna di Venezia poi, verso il punto di distribuzione in terraferma ubicato presso l'Isola dei Serbatoi a Porto Marghera in Provincia di Venezia. Tali pipelines prevedono la posa di n°3 tubazioni dedicate rispettivamente a greggio (diam 42") benzina (diam 24") e gasolio (diam 24") oltre a n° 2 tubazioni per i servizi, quali acqua potabile, energia elettrica e trasmissione dati, di collegamento fra il terminal petrolifero ed il Lido di Venezia. Le tubazioni saranno posate in parte in mare (15.7 Km) e in parte in laguna (11.2Km). Le prime saranno posate previo scavo in trincea e successivamente rinterrate garantendo al minimo un ricoprimento di spessore pari a 2.50m. Le tubazioni posate in laguna, invece, verranno installate mediante l'impiego della tecnologia nota come trivellazione orizzontale controllata (TOC) la cui esecuzione prevede la realizzazione di n° 6 apposite isole provvisorie da rimuovere al termine delle lavorazioni. I profili di posa prevedono un interrimento ad una profondità massima pari a 35m dal livello del mare.
- Le **infrastrutture di distribuzione in terraferma**, a partire dalla suddetta Isola dei Serbatoi, verso ciascuna delle destinazioni finali dei fluidi petroliferi realizzata mediante la posa in trincea o mediante microtunneling delle tubazioni di distribuzione.

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
Settembre 2011	C4-REL006	Rev.0

## **2 INQUADRAMENTO GEOTECNICO**

L'origine dei terreni relativamente superficiali, che costituiscono il territorio lagunare, dipende principalmente dalle alluvioni del Bacchiglione, del Brenta e del Piave e, in minor misura, anche dell'Adige e del Po. I depositi del Piave e del Sile prevalgono principalmente nel bacino di Lido, mentre quelli del Brenta e Bacchiglione prevalgono nei bacini di Malamocco e Chioggia.

Il Brenta ha però influenzato parte del bacino di Lido, specialmente nella zona di Mestre e Marghera, in relazione alla vecchia ubicazione di un suo ramo che fino al secolo XV sfociava in laguna a Fusina. D'altra parte i depositi di materiale del Sile e del Piave si trovano nel bacino di Malamocco nelle aree più vicine al mare, in relazione alle notevoli correnti di marea che si sviluppano attraverso la bocca di Malamocco e dell'azione del moto ondoso lungo il litorale.

### **2.1 AREA LAGUNARE**

Nel tratto lagunare del progetto, laddove esistono più informazioni dal punto di vista geotecnico, si possono così riassumere, a larga scala, le caratteristiche geotecniche dei terreni: suddividendo i depositi lagunari dei primi 15 m circa di profondità, in sabbie, limi ed argille, con le relative proprietà geotecniche, è evidente che la loro distribuzione dipende dalle variazioni sia naturali che artificiali avvenute nel corso del tempo delle foci dei fiumi e dell'azione del mare lungo i litorali. Nel campo dei materiali sabbiosi si può osservare che la sabbia che costituisce il litorale è generalmente fine ed a granulometria uniforme, mentre le sabbie delle altre zone occupano un intervallo granulometrico molto più vasto, passando da sabbie medie a limi sabbiosi.

La densità relativa di queste sabbie è generalmente piuttosto bassa, solo con le sabbie medie assume dei valori un po' elevati; la resistenza alla punta determinata con penetrometro statico varia generalmente tra 50 e 100 kg/cm<sup>2</sup> con punte che arrivano a 150 – 200 kg/cm<sup>2</sup>.

Nel campo dei materiali coerenti, argille e limi, si trova una gamma molto estesa distinguendo sabbie argillose e limose, argille di media ed alta plasticità. Per quanto riguarda le loro caratteristiche meccaniche, si trovano specialmente negli strati superficiali argille e argille limose spesso mescolate a materiale organico aventi resistenza al taglio molto bassa ed elevatissima compressibilità arrivando a spessori massimi di tali strati dell'ordine di 8 – 10 m. l'indice di plasticità delle argille varia tra 30 e 110 % e il contenuto in acqua è prossimo o maggiore del limite di liquidità, mentre le argille limose hanno l'indice di plasticità variabile tra 10 e 30 e contenuto in acqua prossimo o maggiore del limite di liquidità.

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
<b>Settembre 2011</b>	<b>C4-REL006</b>	<b>Rev.0</b>

La resistenza al taglio non drenata è sempre molto bassa e variabile tra 0 e 0.15 kg/cm<sup>2</sup>. L'indice di compressione C<sub>C</sub> varia tra 0.4 e 1.0.

Le argille che si trovano più frequentemente, sono le argille di media plasticità normal-consolidate.

L'indice di plasticità varia tra 10 e 35% con i valori più frequenti compresi tra 10 e 25%. La resistenza al taglio senza drenaggio varia tra 0.3 e 1.0 kg/cm<sup>2</sup> in relazione alle profondità alle quali generalmente ci si è spinti nel prelievo dei campioni. La compressibilità è media e l'indice di compressione C<sup>c</sup> varia tra 0.1 e 0.3 con i valori più frequenti intorno a 0.2.

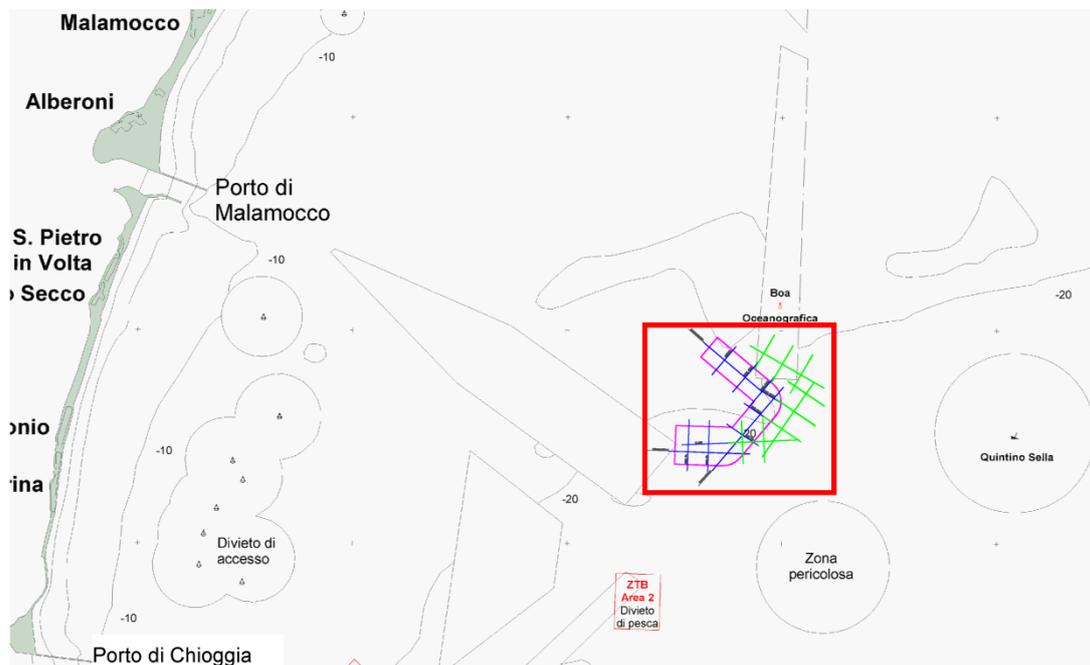
Un altro particolare tipo di argilla (il "caranto") si trova in banchi di spessore variabile da 1 a 5 m, specialmente nella zona di Marghera, Mestre e S. Giuliano, ad una profondità variabile tra 0 e 7 m sotto il medio mare spostandosi da Marghera verso Venezia insulare. È un'argilla molto consistente, di colore grigio-giallo che si differenzia in genere dagli altri materiali della laguna che hanno colorazioni variabili dal grigio chiaro al grigio scuro, salvo in superficie. L'indice di plasticità varia tra 13 e 24% e la resistenza al taglio senza drenaggio varia tra 0.9 e 3.0 kg/cm<sup>2</sup> con i valori più frequenti intorno a 1.5 kg/cm<sup>2</sup>. La precompressione dell'argilla assume valori variabili tra 1.5 e 4.0 kg/cm<sup>2</sup>, da considerare piuttosto notevoli se si tiene conto che la pressione sovrastante attuale raggiunge valori massimi di 0.8 kg/cm<sup>2</sup> in corrispondenza dei depositi di caranto più profondi.

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta</b> <b>DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
Settembre 2011	C4-REL006	Rev.0

### 3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

#### 3.1 GEOFISICA

Per quanto riguarda la zona a mare sede del Terminal Offshore plurimodale e della diga, è stato commissionato all'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS) e alla ditta Morgan srl, l'esecuzione rispettivamente di un rilievo sismico ad alta definizione e di un rilievo tomografico elettrico, con contestuale esecuzione di rilievo batimetrico single-beam. L'incarico è stato suddiviso in due fasi temporali, una in Agosto 2011 e la seconda in Settembre 2011; durante la prima fase è stata indagata un'area ad Est dell'opera di progetto, effettuando rilievi geofisici e batimetrici lungo tre assi (A-A', B-B' e C-C') e 8 sezioni trasversali ad essi, come riportato nell'elaborato grafico C5-DIS-080 e nei profili tomografici allegati alla presente relazione. Durante la seconda fase sono state eseguite indagini in corrispondenza dell'opera, attraverso 4 assi (AX1-AX1', AX2-AX2', AX3-AX3' e CBIS-CBIS') e 7 sezioni trasversali (vedasi allegato C5-DIS-080 e fig. 1).

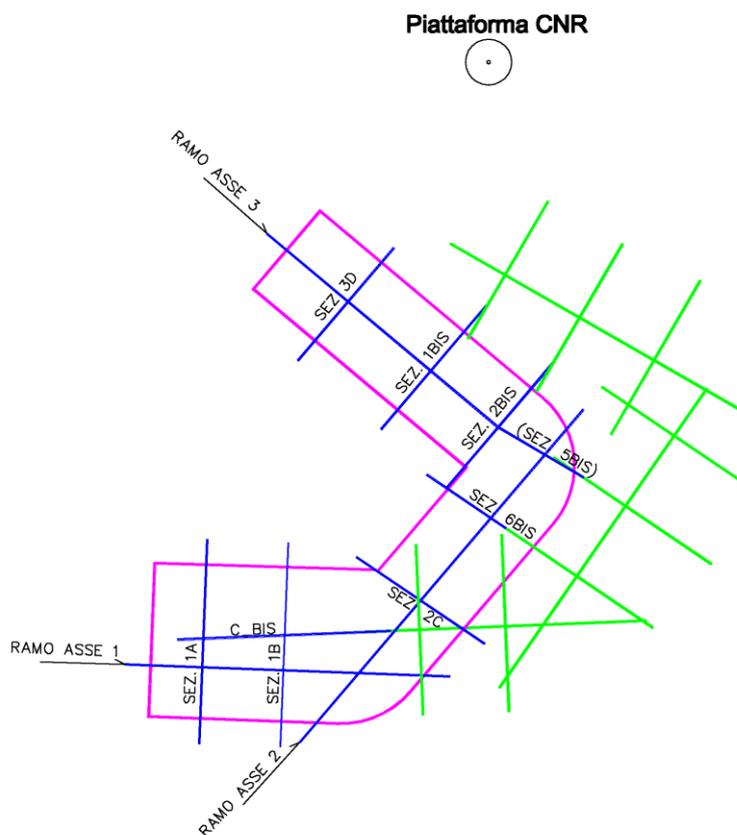


**Figura 1: inquadramento della zona rilevata su carta nautica. Le sezioni/profili rilevati ad Agosto 2011 sono riportati in verde, l'area oggetto della integrazione dei rilievi è indicata dal perimetro viola e le sezioni/profili integrativi sono in blu.**

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta</b> <b>DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
<b>Settembre 2011</b>	<b>C4-REL006</b>	<b>Rev.0</b>

L'unione fra le due fasi di indagine ha permesso di ottenere un inquadramento batimetrico e geofisico di un'area più vasta rispetto l'impronta di progetto in modo da dare continuità laterale alle interpretazioni tomografiche e sismiche.

La lunghezza complessiva dei transetti di scansione effettuati durante le due campagne è pari a circa 22 km. Nella figura 2 si riporta la planimetria di inquadramento con maggior dettaglio.



**Figura 2: planimetria di dettaglio con indicazione di sezioni e profili d'asse rilevati ad Agosto (verde) e a Settembre (blu) e l'area di ubicazione del terminal e diga foranea (viola).**

In prossimità della zona oggetto dei rilievi vengono da più fonti segnalate “tegnùe”. Le tegnùe sono rocce organogene carbonatiche, cioè costruite dagli organismi marini, generalmente sovrimposte a substrati duri precedenti formati per il consolidamento di sabbie. Si tratta in pratica di veri e propri

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
<b>Settembre 2011</b>	<b>C4-REL006</b>	<b>Rev.0</b>

"reef" naturali, sviluppatesi negli ultimi 3-4.000 anni, e che differiscano da quelli tropicali perché i principali organismi costruttori qui non sono i coralli ma bensì le alghe rosse calcaree, chiamate "Corallinacee". Di tagnùe ve ne sono un po' in tutto l'Adriatico settentrionale, a profondità variabili dai 15 ai 40 metri. Hanno dimensioni che vanno dai piccoli massi isolati fino a formazioni estese per centinaia di metri. Le formazioni più estese e meglio conosciute sono quelle al largo di Chioggia.

Si segnala che nella presente fase di progettazione preliminare, oltre alla batimetria della carta nautica, di larga massima, ed ai dati meteomarini acquisiti dalla piattaforma "Acqua Alta" del CNR, consultabili in internet in tempo reale, non sono state reperite altre informazioni stratigrafiche. Anche la ricerca di documenti riferibili alla costruzione della piattaforma ha dato esito negativo, pertanto, i risultati dei rilievi geofisici non possono essere comparati con alcun sondaggio di taratura.

I risultati del rilievo batimetrico, l'analisi della intensità delle riflessioni registrate dall'ecoscandaglio e la diffusa presenza di gas, indicata sia dal rilievo sismico ad alta risoluzione che da locali aumenti di resistività riscontrati con il rilievo tomografico elettrico, non consentono di definire e localizzare la presenza di "tagnùe" nella zona indagata. Le mappe della distribuzione degli affioramenti sono peraltro spesso solo indicative e non finalizzate ad una localizzazione precisa

### **3.1.1 Modalità esecutive generali dei rilievi**

Per l'esecuzione dei rilievi è stata impiegata una imbarcazione appositamente strumentata autorizzata alla navigazione fino alle 12 miglia. La Capitaneria di Porto di Venezia, su richiesta di Morgan srl, ha concesso il nulla osta alla esecuzione dei rilievi nell'area prevista, prescrivendo di inalberare i segnali previsti per le attività in questione e l'obbligo di comunicare l'inizio e la fine di ciascuna giornata di lavoro alla Sala Operativa della Capitaneria di Porto. Ottemperando alle prescrizioni l'inizio ed il termine di ciascun giorno di rilievo sono stati segnalati via radio alla Capitaneria di Porto di Venezia ed è stato mantenuto costante ascolto dual watch sul canale 13 (Piloti) e 16 (Capitaneria).

Durante il lavoro a bordo della imbarcazione è rimasto attivo in acquisizione continua un GPS a doppia frequenza e doppia costellazione TOPCON GR3, operante in modalità WAAS-EGNOS, poichè la distanza dalla costa e la debolezza del campo telefonico non hanno consentito di ricevere le correzioni differenziali e di operare in modalità RTK. Il GPS ha registrato però anche i dati per il post-processing e ciò ha consentito, mediante la successiva elaborazione rispetto alla stazione

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
<b>Settembre 2011</b>	<b>C4-REL006</b>	<b>Rev.0</b>

permanente di Morgan srl a Marghera (inquadrata nella rete di stazioni permanenti del Magistrato alle Acque di Venezia), l'ottenimento di precisione centimetrica nel posizionamento. Il GPS di bordo è stato collegato sia alla strumentazione geofisica che al PC notebook adibito al controllo della navigazione lungo le sezioni ed i tratti di asse previsti. Per il rilievo batimetrico è stato impiegato un secondo GPS NovAtel Millennium DL a doppia frequenza la cui antenna è stata ubicata sulla verticale del trasduttore.

### **3.1.2 Rilievo batimetrico**

Per l'esecuzione del rilievo batimetrico è stato impiegato un ecoscandaglio digitale Kongsberg-Simrad composto da trasduttore a 200 Khz e transceiver configurati e gestiti da PC notebook dedicato. I parametri di configurazione prevedono la possibilità di variare, oltre alla velocità effettiva del suono nell'acqua, che dipende da temperatura e salinità, la cadenza, la durata e l'ampiezza angolare degli impulsi e numerosi altri parametri. Viene inoltre memorizzato l'ecogramma completo e la "risposta" in decibel del fondale, indicativa della intensità della riflessione. Questo dato fornisce in molti casi una buona indicazione sulla natura del fondale: fondali melmosi in genere forniscono una risposta più debole rispetto a fondali sabbiosi o molto consistenti.

La posizione dei punti di misura acquisita in tempo reale in modalità WAAS-EGNOS è stata sostituita con la posizione precisa ottenuta con il post-processing dei dati GPS ed i valori di profondità acquisiti sono stati depurati dalla marea utilizzando la registrazione della marea della piattaforma "Acqua Alta" del CNR. I punti quotati sono stati successivamente importati in ambiente CAD al fine di verificare la quota nei punti di incrocio tra i tratti di asse e le sezioni trasversali, che è risultata sempre essere in ottimo accordo su due sezioni incrociate acquisite in momenti e con direzioni di percorrenza differenti.

I dati rilevati a Settembre 2011 sono stati utilizzati per redigere le sezioni/profili batimetrici ma anche elaborati assieme ai dati batimetrici rilevati ad Agosto allo scopo di ottenere una planimetria complessiva a curve di livello dell'intera zona indagata. Sono stati inclusi nella elaborazione anche tutti i percorsi, generalmente non rettilinei, effettuati tra transetto e transetto, in modo da recuperare tutte le informazioni possibili ed utili per redigere la suddetta planimetria,

Pur tenendo presente che la considerevole distanza tra le sezioni non consente la definizione precisa delle curve di livello si ritiene che il quadro complessivo della morfologia del fondale proposto nella figura 3 sia basato su dati sufficientemente distribuiti e soprattutto concordanti.

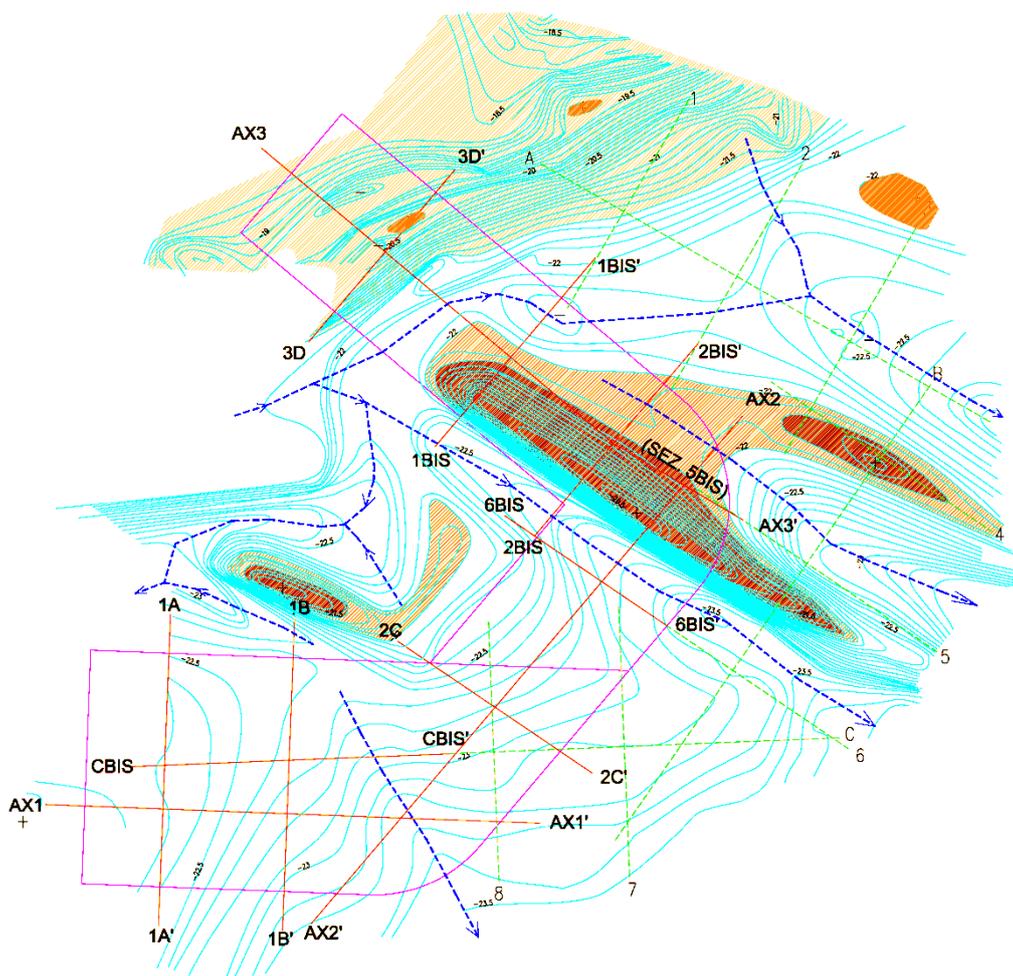


Figura 3 - andamento della altimetria del fondale; i rilievi sono campiti con differenti toni in marrone per farne risaltare la struttura, le strutture di tipo “canale” sono indicate dalle linee tratteggiate blu

Il fondale presenta, in misura maggiore di quanto individuabile nel solo rilievo di Agosto 2011, risalti morfologici significativi, costituiti da rilievi a forma di duna, generalmente asimmetrici, intersecati da depressioni, con pendenza delle scarpate maggiore lungo il fianco rivolto alle depressioni. La duna maggiore, che risulta essere una prosecuzione verso nord-ovest della struttura già individuata nel rilievo di Agosto, ha dimensioni ragguardevoli (circa 2 km di lunghezza), si presenta trasversale rispetto all’andamento generale della altimetria del fondale ed è affiancata da

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta          DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO          PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
Settembre 2011	C4-REL006	Rev.0

dune di minore estensione e da depressioni con morfologia di tipo "canale". Considerato che il rilievo batimetrico è stato eseguito per sezioni, è possibile che la duna principale presenti interruzioni, oppure creste più elevate non rilevate in corrispondenza di tratti compresi tra una sezione ed un'altra e perciò non indagati, tuttavia in tutti i dati batimetrici rilevati in quella zona (includendo tutti i percorsi per passare da un transetto ad un altro) si riscontra la medesima morfologia, e sembra perciò ragionevole ritenere che la struttura corrisponda a quella rappresentata. Il complesso di dune e depressioni si colloca all'incirca nella marcata inflessione delle curve di livello segnalata nella carta nautica: si tratta quindi di strutture morfologiche già almeno in parte rilevate in passato.

Analizzando l'andamento dell'altimetria del fondale in figura 3, si osserva che l'area sede del terminal può essere suddivisa in due zone abbastanza differenti: la prima, sviluppata attorno al transetto d'asse settentrionale (AX3), alle sezioni 3D, 1BIS e 2BIS e alla parte più settentrionale del transetto d'asse centrale (AX2), caratterizzata dalla presenza di dune e depressioni, la seconda, riferibile al transetto d'asse meridionale (AX1) e alla parte centro-meridionale di AX2 e relative sezioni trasversali, più depressa e con morfologia molto più dolce.

Le scarpate della duna principale sono asimmetriche con pendenza maggiore in direzione sud-ovest; la stessa asimmetria è presente in una seconda duna a nord della sezione 1B, rilevata solo parzialmente in quanto esterna all'area da indagare.

La parte settentrionale del transetto AX3 e la sezione 3D interessano una zona che presenta una



<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta</b> <b>DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
<b>Settembre 2011</b>	<b>C4-REL006</b>	<b>Rev.0</b>

morfologia complessiva a piano inclinato, con massimi e minimi relativi di quota circoscritti.

**Figura 4: classificazione della intensità delle riflessioni acquisita dall'ecoscandaglio; il cromatismo è stato scelto in modo da assegnare il colore arancio-rosso alla risposta di maggiore intensità (riflessioni "forti")**

Analizzando l'intensità delle riflessioni del fondale acquisita dall'ecoscandaglio ed interpolata con passo di 20 m, si è ottenuto il risultato riportato in fig.4.

Dalla comparazione delle figure 3 e 4 è evidente la somiglianza di "risposta" del fondale nell'area nord-occidentale e nell'area delle dune. La maggiore intensità relativa della risposta è verosimilmente dovuta alla natura sabbiosa del fondale, meno franca nelle aree in altro colore.

Nella parte meridionale dell'area indagata sono presenti locali massimi di intensità delle riflessioni che non sono collegati a risalti morfologici; è significativa anche la presenza di minimi relativi in corrispondenza delle depressioni tipo "canale", che avvalorano l'ipotesi che la differenza di intensità sia imputabile alla presenza di sedimenti più fini e più facilmente penetrabili dall'onda acustica, distribuiti in superficie.

Per quanto concerne i dati, tutti i punti rilevati sono georeferenziati sia nel sistema WGS84 - UTM 33 che nel sistema ROMA40 - Gauss-Boaga fuso Est. La quota del fondale è riferita al sistema altimetrico nazionale (IGM).

Le costanti di traslazione utilizzate per passare dalle coordinate piane WGS84 - UTM33 alle Gauss-Boaga fuso Est, corrispondono ai valori sottoindicati

$$t_{Est} = 2.020.004,5 \text{ m}$$

$$t_{Nord} = 20,15 \text{ m}$$

Data la modesta estensione complessiva dell'area indagata (circa 4 Km x 4 Km) i parametri di traslazione sono costanti.

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta          DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO          PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
Settembre 2011	C4-REL006	Rev.0

### 3.1.3 *Acquisizione HRS*

Il sistema di energizzazione utilizzato per la prospezione sismica è costituito da una sorgente e da un ricevitore trainati separatamente. La sorgente è composta da una unità di potenza PULSAR 2002 e da un trasduttore elettrodinamico UWAK 05 (fig. 5). Il trasduttore UWAK 05 viene montato su un telaio a catamarano in modo da rimanere sospeso in acqua ad una profondità costante di circa 20 cm minimizzando le turbolenze. Alla luce del target d'indagine (profondità compresa entro qualche decina di metri) si è energizzato a frequenza di 3 pulse/secondo con energia in uscita di 150 Joule/impulso a 3,5 kV.



**Figura 5- Piastra UWAK.**

Il ricevitore degli echi sismici è uno streamer monocanale GeoResources (fig. 6) composto da 8 idrofoni preamplificati connessi in serie, per una lunghezza totale di sezione attiva di 3 m.

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
<b>Settembre 2011</b>	<b>C4-REL006</b>	<b>Rev.0</b>



**Figura 6 - Streamer monocanale GeoResources.**

Il sistema di registrazione impiegato è un SB-LOGGER, della TRITON ELICS, con un range dinamico di 24 bit Sigma/Delta-Conv. I dati sono stati acquisiti in formato SEGY a 32bits (IBM). Il posizionamento delle linee sismiche è stato rilevato con un DGPS che inviava la stringa di posizionamento GPGGA relativa ai tracciati seguiti direttamente all'acquisitore che la immagazzina nelle headers dei dati. Come geometria di acquisizione è stata applicata la seguente:

- sorgente sismica, a traino lungo la fiancata destra della imbarcazione, con offset longitudinale di 6 m dalla antenna GPS
- streamer, a traino lungo la fiancata sinistra della imbarcazione, con offset longitudinale di 11 m. dalla antenna GPS
- offset trasversale (distanza fra sorgente e baricentro dello streamer) di 2 m.

Durante le due fasi di indagine sono state acquisite, nel totale, 22 linee sismiche, fra longitudinali e trasversali rispetto l'opera di progetto. La mappa dei profili è illustrata nell'Allegato C5-DIS-080 e nel "keyplan" associato alla presente relazione.

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta          DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO          PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
<b>Settembre 2011</b>	<b>C4-REL006</b>	<b>Rev.0</b>

Campionamento	20 kHz
Window Time	150 ms
Pulse rate	3/sec

**Tabella 1 - Parametri di acquisizione**



**Figura 7 - Sistema HRS durante la fase di acquisizione**

## **Caratteri geologici delle linee acquisite**

### *Descrizione*

Le linee acquisite sono relativamente omogenee dal punto di vista geologico, presentando una serie di riflettori abbastanza continui a bassa ed alta ampiezza che spesso sono subparalleli al fondo mare. In particolare, un riflettore ad elevata ampiezza è riconoscibile in tutte le linee a circa 30 ms di profondità (circa 24 m) dalla superficie del mare, in media a circa 6 m dal fondo mare. Il riflettore si presenta interrotto in vari punti dove il segnale appare in parte o completamente oscurato, soprattutto nelle linee ve\_30\_11, ve\_32\_11, ve\_33\_11, ve\_34\_11, ve\_35\_11, ve\_40\_11 (vedasi

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
<b>Settembre 2011</b>	<b>C4-REL006</b>	<b>Rev.0</b>

sezioni allegata alla presente relazione). I tratti in cui il segnale è oscurato sembrano avere localmente un aspetto a pennacchio che risale dal basso, in particolar modo dove sono isolati (per esempio nella linea ve\_34\_11).

In alcuni casi, al di sotto del riflettore ad elevata ampiezza ve ne è un altro più discontinuo e localmente con simile ampiezza. I due riflettori in alcuni casi si avvicinano, in altri si allontanano (tra circa 3 e 6 ms; linea ve\_31\_11), principalmente a causa delle irregolarità del riflettore principale, che si presentano come concavità e convessità verso l'alto (per esempio, nella linea ve\_31\_11).

Un terzo riflettore, che mostra anch'esso convessità e concavità e caratterizzato da minore ampiezza è comunemente osservabile tra il riflettore principale ed il fondo mare. Questo riflettore a volte tende a convergere con il fondo mare, e è spesso interrotto da strutture canalizzate di dimensione variabile e comunemente "multistory", che in alcuni casi mostrano accrezione laterale. Le più grandi tra queste sono presenti nelle linee ve\_32\_11 (da shot 1250 in poi), ve\_33\_11 (tra shot 80 e 950), ve\_34\_11 (tra shot 680 e 1100), ve\_35\_11 (tra shot 700 e 1520), ve\_39\_11 (tra shot 250 e 750). Un'altra grossa struttura canalizzata con all'interno accrezione laterale interessa il riflettore principale nella linea ve\_33\_11 tra gli shot 250 e 700.

Lungo il fondo mare sono riconoscibili delle prominente dello spessore di pochi ms rispetto ai tratti piatti adiacenti. Una di esse è ben riconoscibile nella linea ve\_31\_11 (shot 500-800), delimitata verso il basso da un riflettore orizzontale e spesso non più di 3 ms. Altre più blande sono osservabili nelle linee ve\_37\_11 (shot 750-1150) e ve\_38\_11 (shot 400-850). Una struttura superficiale cuneiforme è invece osservabile nella prima parte della linea ve\_30\_11, e si chiude circa a shot 2500. I riflettori al suo interno sono quasi paralleli a quelli sottostanti e discordanti rispetto al fondo mare. La stessa struttura viene intercettata dalla linea ve\_36\_11.

### *Interpretazione*

La continuità laterale dei riflettori, l'alternanza tra riflettori ad elevata ampiezza ed aree più trasparenti, e la presenza di forme canalizzate di dimensioni variabili, sono caratteristiche molto simili a quelle evidenziate nei depositi continentali tardo Pleistocenici in vicine aree dell'alto Adriatico (Stefanon, 1984; Ferretti et al., 1986) e nel sottosuolo della laguna di Venezia (Tosi et al.,

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta          DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO          PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
<b>Settembre 2011</b>	<b>C4-REL006</b>	<b>Rev.0</b>

2007a,b; Zecchin et al., 2008, 2009). Dati di Zecchin et al. (2008) mostrano inoltre che nell'area in oggetto il Pleistocene è affiorante o subaffiorante. La successione sedimentaria attraversata dalle linee è pertanto interpretabile come una piana alluvionale attraversata da ampi canali soggetti a migrazione laterale, e che mostra alcune strutture tipo argine fluviale, rappresentate dalle convessità verso l'alto di alcuni riflettori (Ferretti et al., 1986). I riflettori ad elevata ampiezza probabilmente corrispondono a livelli più induriti a causa di una incipiente pedogenesi e/o a livelli di torba, che possono essere molto continui lateralmente come evidenziato da Zecchin et al. (2011). Le ampie aree che oscurano il segnale sono interpretabili come risalite di gas, che localmente possono avere difficoltà ad attraversare i riflettori ad elevata ampiezza (Zecchin et al., 2008, 2009).

Le prominenze sul fondomare sono interpretabili come dune ed altri affioramenti sabbiosi rimaneggiati dalle correnti di fondo. Queste strutture possono essere il risultato dell'annegamento e successivo rimaneggiamento di antichi prismi costieri e depositi deltizi durante la risalita post-glaciale del livello del mare (Trincardi et al., 1994; Gordini et al., 2002). La superficie che separa la piana alluvionale dai depositi sabbiosi superficiali rappresenta pertanto una superficie di trasgressione marina tra la successione Pleistocenica e quella Olocenica (Zecchin et al., 2008, 2009), quest'ultima in questo caso rappresentata soltanto da spessori modesti e da una distribuzione irregolare. Per motivi di risoluzione strumentale, il grado reale di copertura sabbiosa sul fondo mare nel tratto indagato non è determinabile, perciò la piana alluvionale Pleistocenica appare prevalentemente affiorante.

### **3.1.4 Rilievo tomografico elettrico**

Il rilievo tomografico elettrico in modalità dinamica continua (CERT) viene eseguito mediante impiego di un georesistivimetro, gestito da PC notebook dedicato, in grado di effettuare immissioni di corrente elettrica con intensità e tensione prestabilite a cadenza fissa (tipicamente ogni 1 - 2 secondi) in corrispondenza di due elettrodi di corrente e misurare simultaneamente la differenza di potenziale su N coppie di elettrodi di misura. Gli elettrodi sono disposti su uno o più cavi multipolari flottanti trainati da imbarcazione. La disposizione degli elettrodi nel cavo (o nei cavi) determina la geometria del dispositivo, dalla quale dipendono posizione e profondità (rispetto al livello dell'acqua) degli N punti di misura.

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
<b>Settembre 2011</b>	<b>C4-REL006</b>	<b>Rev.0</b>

La geometria e la predisposizione del cavo (o dei cavi) flottanti rivestono perciò grande importanza, in quanto è da queste e dalla idoneità dei materiali utilizzati per la loro costruzione, che dipende il raggiungimento o meno dello scopo della investigazione, a parità di capacità di energizzazione del georesistivimetro impiegato e del numero N di coppie di elettrodi sui quali è possibile effettuare le misure simultanee di differenza di potenziale.

Poiché è evidente che vanno cercate soluzioni studiate ad hoc per ottenere il maggior numero possibile di misure di resistività apparente al di sotto del fondale e non all'interno della colonna d'acqua, che ovviamente non è interessante dal punto di vista stratigrafico, e dal momento che la quota media del fondale nell'area da indagare è prossima a - 22 m s.l.m.m., si opera in una condizione difficile: bisogna infatti fare i conti con uno strato conduttivo, quale è l'acqua di mare, dello spessore di oltre 20 m che disperde gran parte della corrente elettrica immessa per la esecuzione delle misure e tende a canalizzare il flusso della corrente elettrica al suo interno.

Affinché le misure delle differenze di potenziale tra coppie di elettrodi, utilizzate per il calcolo della resistività apparente, sia significativa è necessario immettere una corrente elettrica di intensità elevata (40 - 50 A), mentre la tensione può essere mantenuta anche relativamente bassa (da 12 a 48 V).

La strumentazione impiegata per il rilievo tomografico elettrico in questa situazione consiste in un georesistivimetro multicanale IRIS Syscal Deep Marine, in grado di erogare fino a 50 A con cadenza di energizzazione di 1 o 2 secondi e di effettuare misure simultanee su 10 coppie di elettrodi. Ad oggi non esistono alternative all'impiego di questo strumento per rilievi tomografici elettrici in mare con profondità paragonabili a quella del fondale nell'area oggetto delle indagini.

Per la esecuzione del rilievo è stato appositamente approntato un cavo multielettrodico di lunghezza complessiva di oltre 200 m, mantenuto teso dal movimento della barca a bassa velocità ed in galleggiamento grazie a boette e gavitelli.

Considerata la notevole lunghezza del cavo, la esecuzione del rilievo tomografico elettrico è stata effettuata in periodo di fermo pesca: si era infatti constatato sia nel corso di un primo sopralluogo che durante il rilievo sismico ad alta risoluzione che numerosi pescherecci operavano in zona interferendo con i percorsi da seguire nel rilievo e senza rispettare alcuna precedenza.

Le condizioni meteomarine durante il rilievo sono state complessivamente discrete, ed il rilievo è stato eseguito in un totale di 6 giornate lavorative da una squadra di quattro tecnici.

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
<b>Settembre 2011</b>	<b>C4-REL006</b>	<b>Rev.0</b>

La gestione del rilievo è stata seguita in modo continuo da due tecnici adibiti a turno al controllo dei dati di resistività apparente rilevati, utilizzando il software Sysmar della IRIS su PC dedicato, mentre altri due tecnici hanno seguito la navigazione, particolarmente onerosa con cavo di oltre 200 m trainato, e controllato costantemente che non vi fossero interferenze con il passaggio di navi o altre imbarcazioni.

Le foto seguenti documentano l'esecuzione del rilievo tomografico.



**Figura 8 - cavo flottante trainato dalla imbarcazione**



**Figura 9 - particolare che documenta l'impiego di boette e gavitelli per mantenere in galleggiamento il cavo**

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  
DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  
PROGETTO PRELIMINARE

Relazione geotecnica

Settembre 2011

C4-REL006

Rev.0



**Figure 10 e 11 - il georesistivimetro IRIS Syscal DEEP Marine (in alto) ed il controllo dei dati di resistività acquisiti sul display del PC notebook dedicato da parte di un tecnico a poppa della imbarcazione**

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta</b> <b>DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
Settembre 2011	C4-REL006	Rev.0

### **Elaborazione delle sezioni tomografiche elettriche**

Tutti i dati di resistività apparente acquisiti sono stati dapprima filtrati per l'eliminazione di valori anomali o rumorosi e successivamente, previa georeferenziazione e associazione con i dati di batimetria, importati in ambiente CAD al fine di ottenere una prima visualizzazione speditiva mediante classificazione dei valori di resistività con opportuna scala cromatica. Nell'allegato grafico C5-DIS-080, si riporta la planimetria delle sezioni e dei tratti di asse rilevati, corrispondenti agli stessi transetti del rilievo batimetrico e sismico.

La fase preliminare di elaborazione in ambiente grafico è indispensabile per separare i tratti rettilinei, nei quali la geometria rimane costante, da tratti di percorso curvilinei (es. percorsi di virata), per i quali non è possibile considerare invariante la geometria del cavo.

Al fine di ottenere i dati di resistività effettivi sono stati applicati, ai soli dati dei tratti rettilinei riferibili alle sezioni trasversali e ai transetti in corrispondenza degli assi della costruenda diga, due distinti procedimenti di inversione, il primo speditivo ma efficace nell'esaltare i contrasti, il secondo implementando un algoritmo basato su tecnica di risoluzione recursiva, già applicata nella interpretazione dei sondaggi elettrici verticali (SEV) e sfruttando il fatto che spessore e resistività del primo strato (l'acqua) sono noti.

Si sono così ottenute, oltre alle pseudosezioni di resistività apparente, le sezioni tomografiche di resistività determinate con i due procedimenti di inversione (speditiva e recursiva) che sono riportate nelle tavole allegate.

L'inversione ha confermato la presenza su tutta l'area, comprendente le due fasi di rilievo, di elettrostrati prevalentemente pianparalleli e, con estensione praticamente continua, di un livello resistivo tra -30 m e -31 m di quota, caratterizzato da un significativo contrasto di resistività, rispetto agli elettrostrati immediatamente superiore ed inferiore.

Dall'esame complessivo delle sezioni tomografiche rilevate ad Agosto 2011 e a Settembre 2011 si rileva la seguente situazione:

primo elettrostrato generalmente basso-resistivo fino a -23 /- 24 m in media, con locali aumenti di resistività a carattere discontinuo

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta          DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO          PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
<b>Settembre 2011</b>	<b>C4-REL006</b>	<b>Rev.0</b>

secondo elettrostrato a resistività più elevata, variabile localmente anche in misura significativa e generalmente crescente tra -24 m e -28 m circa

terzo elettrostrato a resistività medio-alta tra -28 e -29/-29.5 m

quarto elettrostrato discontinuo e basso-resistivo tra -29/-29.5 m e -30,5 m

quinto elettrostrato caratterizzato da netto aumento di resistività mediamente a -30,5 m (circa 9 m al di sotto del fondale) praticamente continuo in tutta l'area indagata.

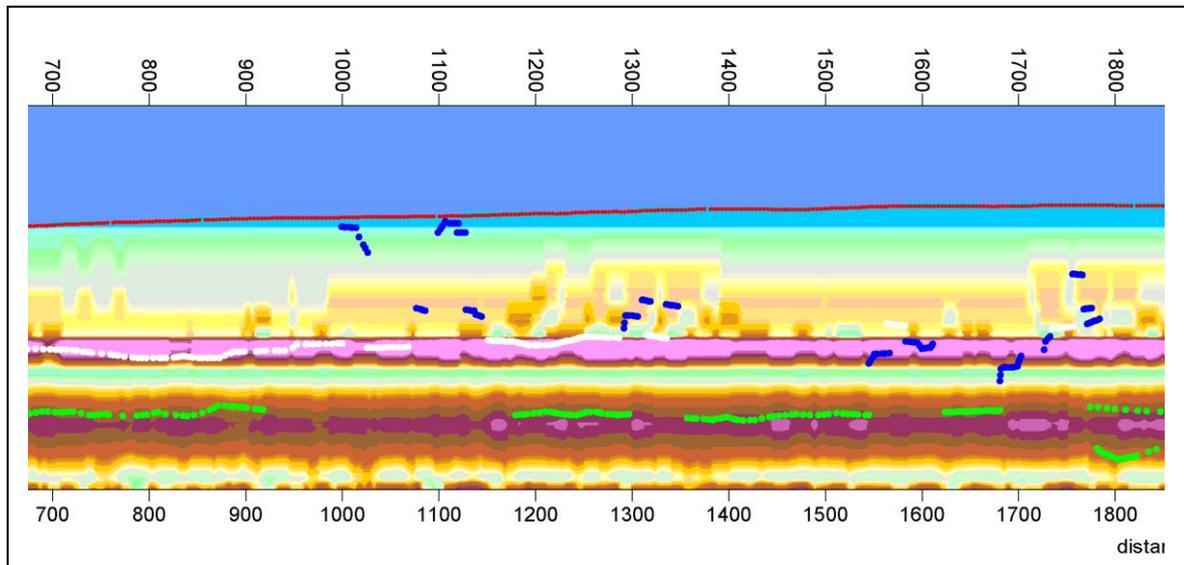
Inferiormente si rileva un insieme di elettrostrati con resistività complessivamente medio alta, talvolta con un livello relativamente meno resistivo al tetto, nei quali si riscontra una stratificazione che non presenta però le caratteristiche di continuità del livello a -30,5 m.

Nel secondo e terzo elettrostrato, che presentano la maggiore variabilità dal punto di vista elettrico, si osservano aumenti di resistività significativi e localizzati, correlabili con la presenza di gas segnalata dal rilievo sismico ad alta risoluzione. In questi tratti il livello a circa - 30 m si mantiene, nelle sezioni tomografiche, complessivamente continuo, mentre nel rilievo sismico ad alta risoluzione si interrompe in corrispondenza degli "spot" di gas.

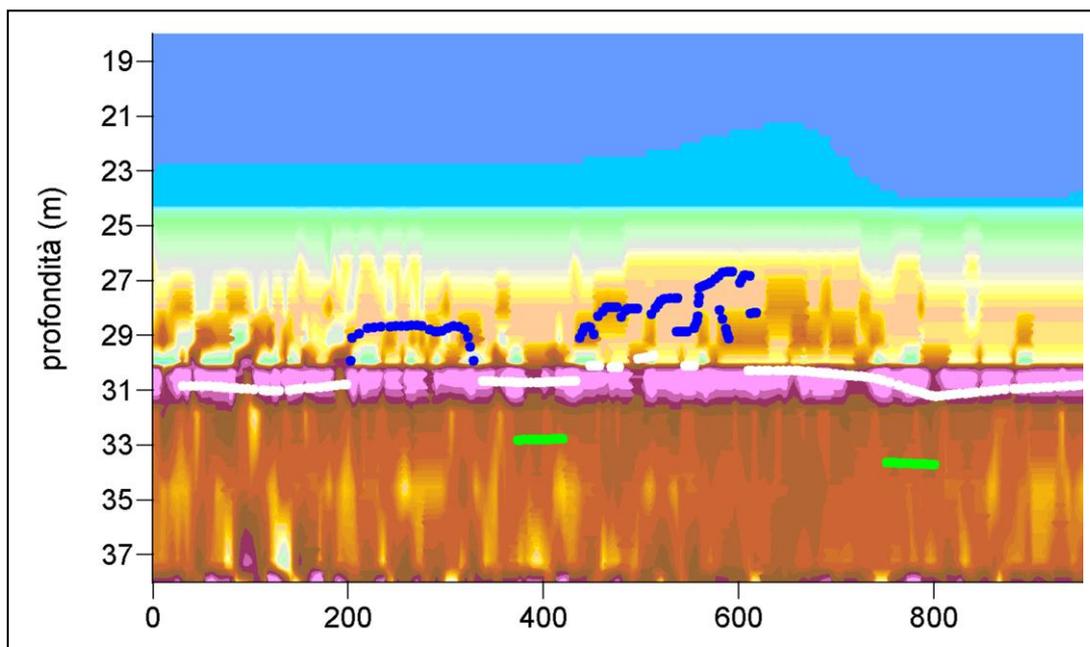
Il quarto elettrostrato, probabilmente a causa della differente geometria di acquisizione adottata nei rilievi di Settembre 2011, risulta essere meno definito rispetto al rilievo di Agosto 2011.

Allo scopo di rendere più facile la comparazione tra il rilievo sismico ed il rilievo tomografico elettrico sono stati digitalizzati i riflettori e le strutture segnalate nelle sezioni sismiche e sovrapposte alle sezioni tomografiche elettriche. Le informazioni ricavate sono in gran parte concordanti: le sezioni sismiche individuano con maggior dettaglio la geometria dei riflettori (ovvero delle interfacce tra i diversi strati) ma risultano in parte "cieche" in presenza di sacche di gas, mentre le tomografie elettriche indicano una sostanziale continuità dei livelli, segnalando variazioni laterali e locali di resistività che non compaiono nelle sezioni sismiche,

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta</b> <b>DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>		
Relazione geotecnica		
Settembre 2011	C4-REL006	Rev.0



**Figura 12:** particolare di un tratto del transetto d'asse meridionale (Asse 1). Presenza di gas segnalata dal rilievo sismico (in blu) in corrispondenza di locali aumenti di resistività (macchie marrone) nell'elettrostrato immediatamente al di sopra del caratteristico livello a circa -30 m (viola) corrispondente al riflettore principale (in colore bianco). Anche il riflettore profondo (verde) indicato nel rilievo sismico trova buona corrispondenza con un elettrostrato avente resistività medio-alta nella sezione tomografica. Nella sezione sismica il riflettore principale scompare in corrispondenza delle sacche di gas, mentre è continuo nella sezione tomografica. Analogamente il riflettore più profondo risulta complessivamente continuo nella sezione tomografica, pur presentando variazioni laterali di resistività.



<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta</b> <b>DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>		
Relazione geotecnica		
Settembre 2011	C4-REL006	Rev.0

Figura 13: particolare del transetto d'asse centrale. Il cromatismo è identico a quello di fig. 10. Il riflettore principale si mantiene continuo nella sezione tomografica, mentre non si riesce ad individuare chiaramente nella stessa il riflettore profondo. Le numerose sacche di gas segnalate nella sezione sismica corrispondono ai locali aumenti di resistività nella tomografia.

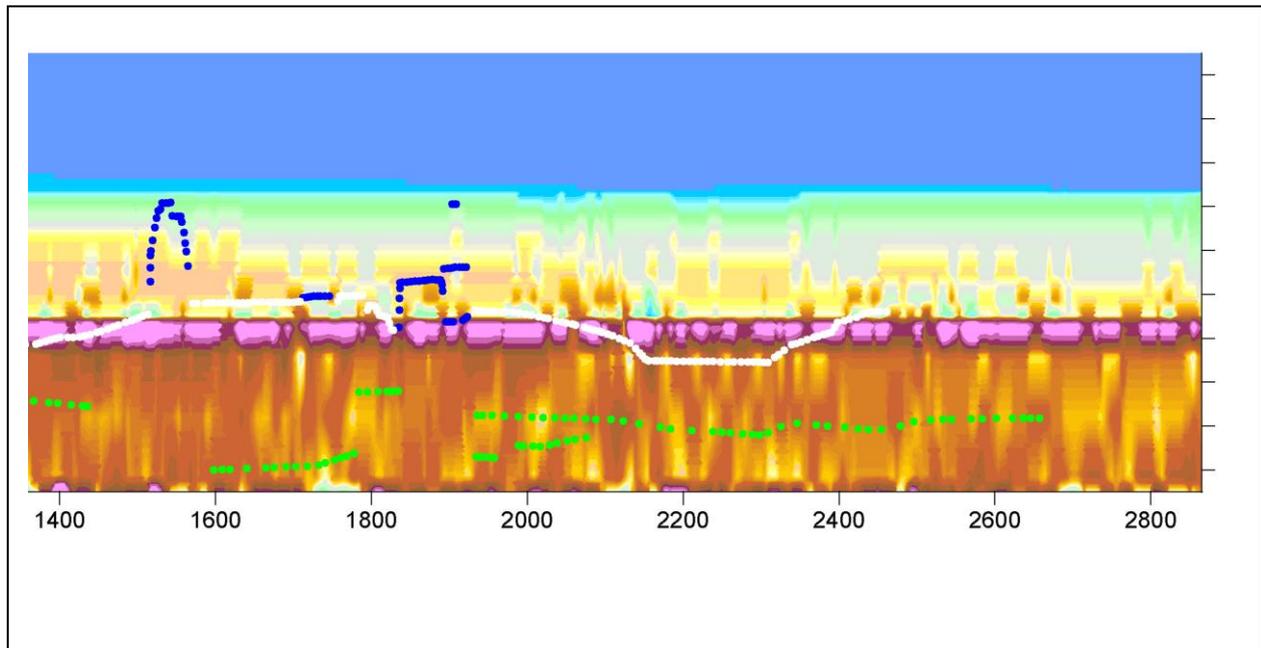
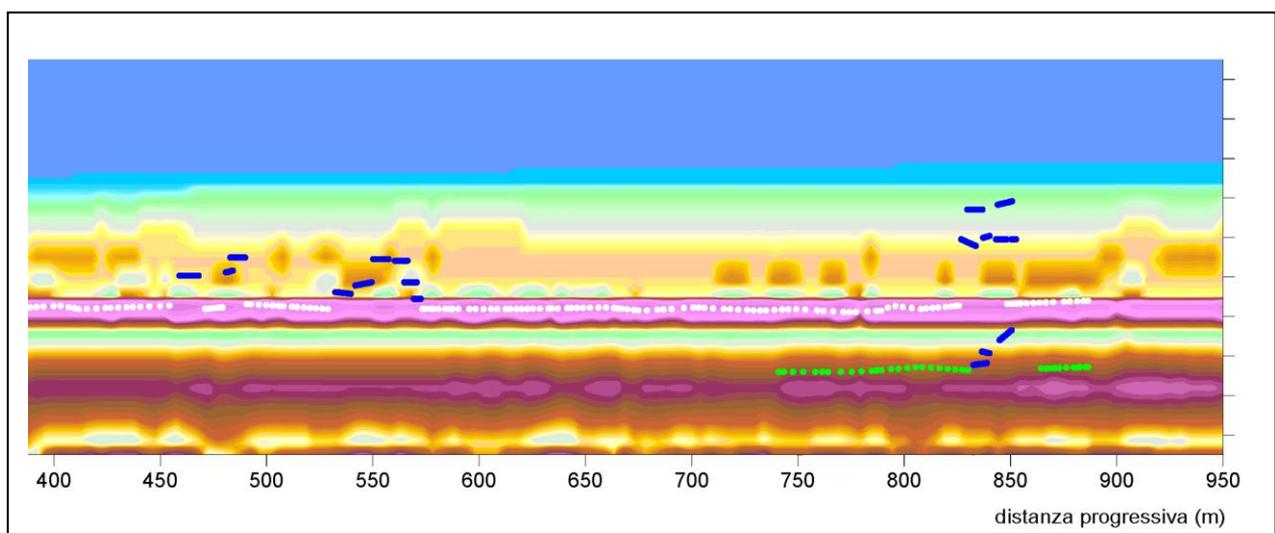
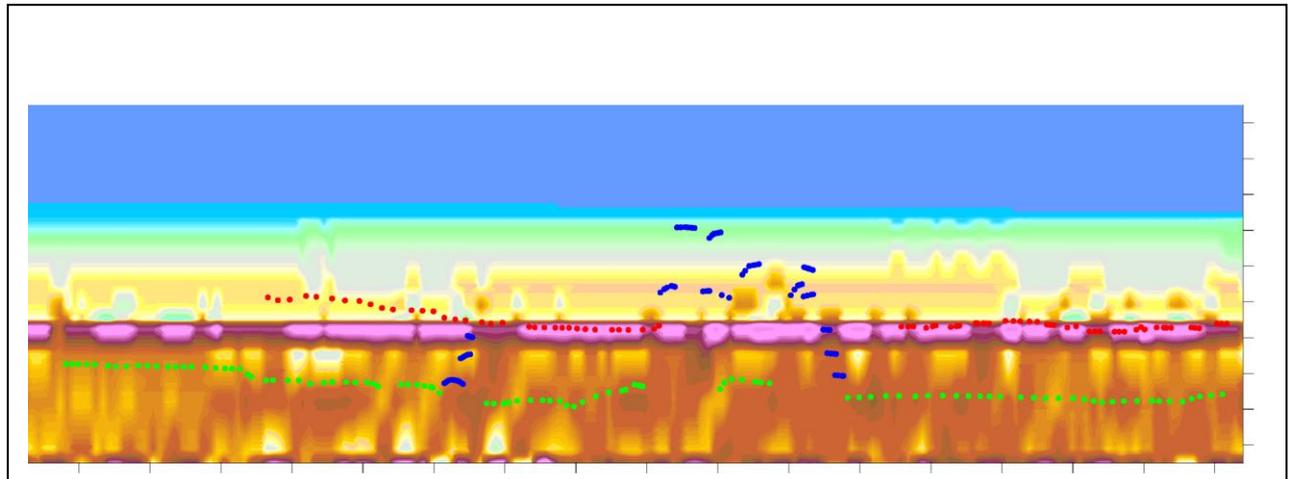


Figura 14 – altro tratto del transetto d'asse centrale. Il riflettore principale presenta inflessioni nell'andamento indicato dalla sezione sismica, mentre, pur risultando meno regolare rispetto alla situazione di fig. 12 e 13, si mantiene complessivamente continuo nella tomografia. In quest'ultima i riflettori profondi non sono distinguibili.



<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta          DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO          PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
<b>Settembre 2011</b>	<b>C4-REL006</b>	<b>Rev.0</b>

**Figura 15: particolare della sezione 6BIS. Il rilievo sismico e tomografico elettrico danno indicazioni sostanzialmente concordi,**



**Figura 16: particolare della sezione 1B. In questo caso il riflettore principale è indicato in colore rosso e si presenta molto più irregolare nella sezione sismica rispetto alla tomografia. Il riflettore più profondo si colloca in corrispondenza di un orizzonte leggermente più resistivo.**

In mancanza di un sondaggio di taratura non è possibile correlare gli elettrostrati ed i riflettori con le caratteristiche geotecniche dei terreni corrispondenti.

Si propone la seguente schematizzazione, desunta da informazioni stratigrafiche riferite a sondaggi effettuati lungo la costa, a distanza di oltre 15 Km dall'area oggetto dei rilievi. In questi sondaggi viene segnalata la presenza ritmica di livelli limoso-argillosi consistenti o molto consistenti associati a torbe ed intercalati a terreni sabbiosi o sabbioso-limosi.

La stratigrafia ipotizzata è indicata di seguito:

- *primo elettrostrato: terreno poroso saturo di acqua di mare, probabilmente a prevalente componente sabbiosa*
- *secondo elettrostrato: terreni limoso-sabbiosi con presenza di gas; laddove al tetto si rileva un livello maggiormente resistivo si ipotizza la presenza di uno strato di modesto spessore più consistente*

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
<b>Settembre 2011</b>	<b>C4-REL006</b>	<b>Rev.0</b>

- *terzo elettrostrato: limo argilloso consistente (aumento di resistività)*
- *quarto elettrostrato: potrebbe corrispondere ad una argilla con presenza di materiale di origine organica, o ad una torba*
- *quinto elettrostrato: livello limoso-argilloso molto consistente, con caratteristiche simili al caranto.*

La presenza di sacche di gas nel secondo e terzo elettrostrato è segnalata da entrambi i rilievi geofisici.

In merito all'individuazione di affioramenti o "tegnùe" si ritiene che strati relativamente sottili di sabbie parzialmente cementate in corrispondenza del fondale non presentino valori di resistività significativamente differenti rispetto a zone adiacenti nella quali non vi è cementazione, pertanto la presente campagna geognostica non può definire in maniera inequivocabile la presenza o meno di tali strutture.

## **Conclusioni**

Il rilievo tomografico elettrico fornisce, in accordo con i risultati del rilievo sismico ad alta risoluzione, la indicazione della presenza di una discontinuità litologica alla quota di circa -30 m. Entrambi i rilievi segnalano inoltre la diffusa presenza di sacche di gas.

Oltre a queste informazioni, in mancanza di un sondaggio di taratura, sono formulabili solo plausibili ipotesi di corrispondenza tra i dati geofisici e le caratteristiche dei terreni, ma non è possibile definire con certezza la tipologia degli stessi.

Il rilievo batimetrico mette in evidenza la esistenza di una morfologia complessa con presenza di grandi dune relitte e depressioni, attribuibili probabilmente ad apparati deltizi tardo-glaciali successivamente sommersi, ma che hanno conservato almeno in parte la struttura originaria.

E' necessaria, al fine di pervenire ad una correlazione tra dati stratigrafico-geotecnici e dati geofisici, l'esecuzione di almeno un sondaggio di taratura fino alla profondità di 35 - 40 m dal livello medio mare.

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta          DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO          PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
Settembre 2011	C4-REL006	Rev.0

### 3.2 SONDAGGI E PROVE PENETROMETRICHE

Per quanto concerne il fascio tubiero che collega il Terminal con l'isola dei serbatoi e, più precisamente, il tratto in laguna, vengo allegate alla presente relazione, n° 9 sondaggi e n° 2 prove penetrometriche provenienti da precedenti indagini. Questi documenti hanno lo scopo di fornire un primo quadro conoscitivo delle proprietà specifiche dei terreni che verranno attraversati dagli scavi in teleguidata.

## 4 GEOTECNICA DI RIFERIMENTO

Le indagini geognostiche eseguite in corrispondenza del terminal offshore ed in particolare la tomografia hanno consentito l'individuazione dei livelli di iso-resistività, che possono essere impiegati per una prima suddivisione geologica e geotecnica dei terreni.

La seguente tabella contiene i parametri geotecnici da utilizzare nelle verifiche, stimati in base alle risultanze della tomografia elettrica ed all'esperienza maturata nella progettazione di opere geotecniche in aree limitrofe a quella in esame e caratterizzate da terreni analoghi.

Descrizione terreno	Quota [m s.l.m.]		Peso di volume	Angolo di attrito	Coesione efficace
	da	a	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]
Sabbia sciolta	-22.0	-23.0	17	26	0
Limo sabbioso	-23.0	-28.0	18	28	2
Limo argilloso	-28.0	-30.0	18	27	5
Argilla organica	-30.0	-31.0	18	24	1
Caranto	-31.0	-33.0	19	27	5

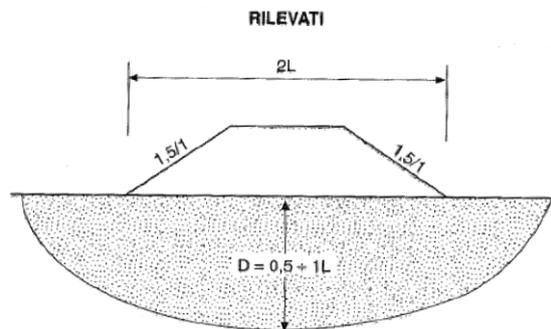
Per quanto riguarda il caranto si evidenzia che la presenza di tale litotipo nella zona in esame è segnalata nella cartografia geologica disponibile (es. "carta della quota della base dei depositi post-*lgm*", Primon S. e Fontana A., Provincia di Venezia e Università degli studi di Padova, anno 2008) e che i rilevamenti geoelettrici sembrano dimostrare la presenza di tale strato.

<b>TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta</b> <b>DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO</b> <b>PROGETTO PRELIMINARE</b>		
<b>Relazione geotecnica</b>		
<b>Settembre 2011</b>	<b>C4-REL006</b>	<b>Rev.0</b>

Tuttavia a livello di calcolo si ritiene cautelativo assegnare a tale strato parametri di resistenza meccanici modesti (rispetto alle caratteristiche del litotipo) per tenere in conto dell'attuale livello di conoscenza dei terreni di fondazione e della elevata variabilità geometrica che solitamente si riscontra.

Si sottolinea sin d'ora che le fasi successive della progettazione dovranno essere supportate da analisi geotecniche specifiche, che dovranno interessare i terreni di fondazione delle future opere dal punto di vista dell'estensione planimetrica. Dovranno inoltre essere spinte sino ad una quota tale per cui le modifiche allo stato tensionale indotte sul terreno dalle opere potranno risultare sufficientemente basse.

A livello indicativo si riporta il volume significativo da indagare, secondo quanto riportato nel testo "Elementi di Geotecnica", Pietro Colombo Francesco Colleselli, ed. Zanichelli, pag. 292 figura 13.1.



Per quanto riguarda la natura ed il numero di prove da effettuare si può fare riferimento a "Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio", redatte dall'Associazione Geotecnica Italiana e pubblicate nel 1994.

Le prove che potranno essere prese in considerazione per la futura caratterizzazione geotecnica dei terreni comprendono:

- Sondaggi con prelievo di campioni disturbati ed indisturbati;
- Prove penetrometriche dinamiche e/o statiche con misura della sovrappressione;
- Prove di laboratorio per la determinazione delle proprietà fisiche (peso di volume, contenuto d'acqua, granulometria, limiti di Atterberg) e meccaniche (resistenza a taglio del terreno, moduli di elasticità e di taglio). Potranno a tal fine essere eseguite prove di taglio diretto, in cella triassiale od edometriche;
- Prove sismiche down-hole e/o cross-hole per la determinazione dei moduli elastici e di taglio a basse deformazioni.

**TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  
DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  
PROGETTO PRELIMINARE**

**Relazione geotecnica**

**Settembre 2011**

**C4-REL006**

**Rev.0**

## **INDAGINI ESEGUITE**



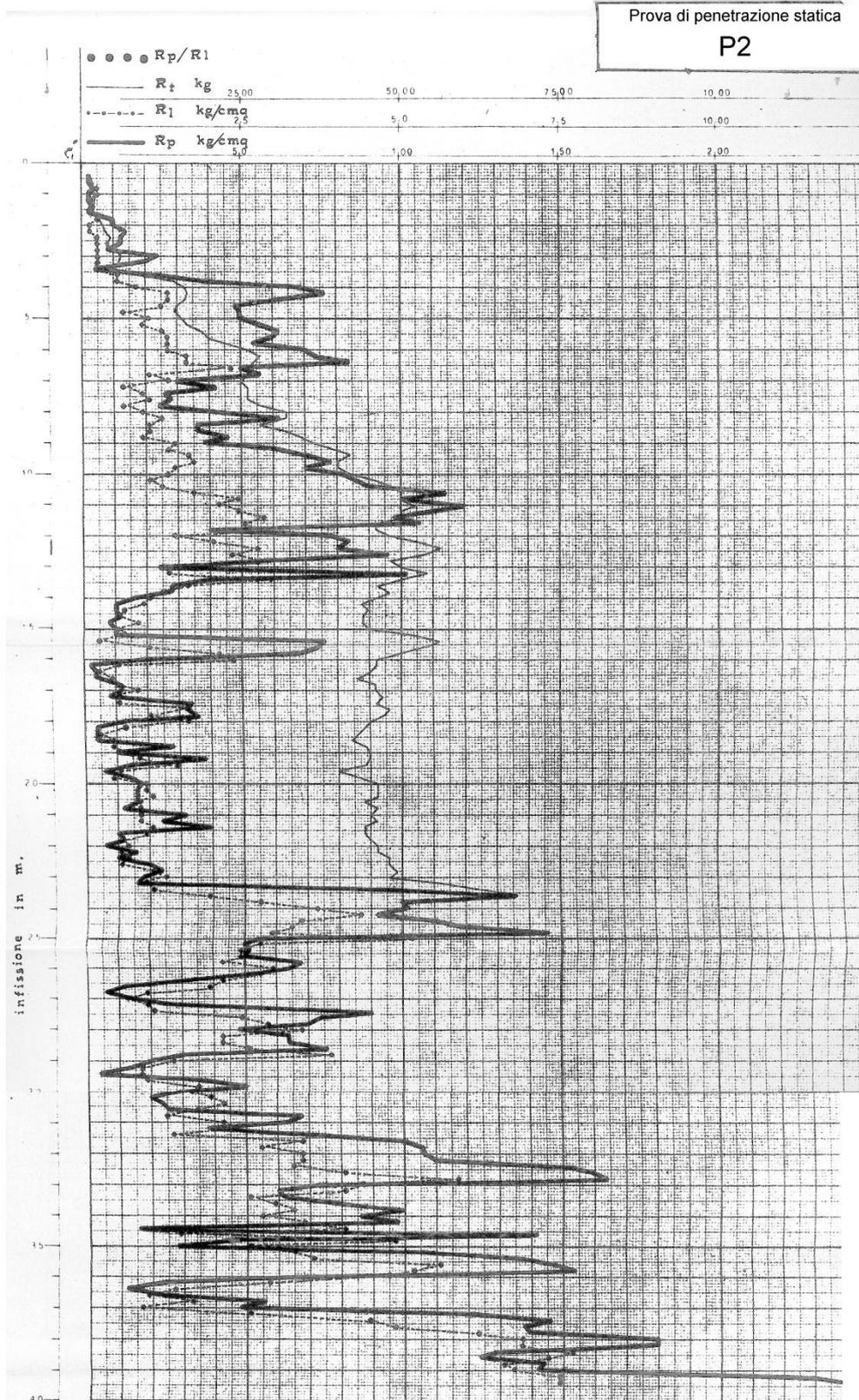
**TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  
DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  
PROGETTO PRELIMINARE**

**Relazione geotecnica**

Settembre 2011

C4-REL006

Rev.0



**TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  
DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  
PROGETTO PRELIMINARE**

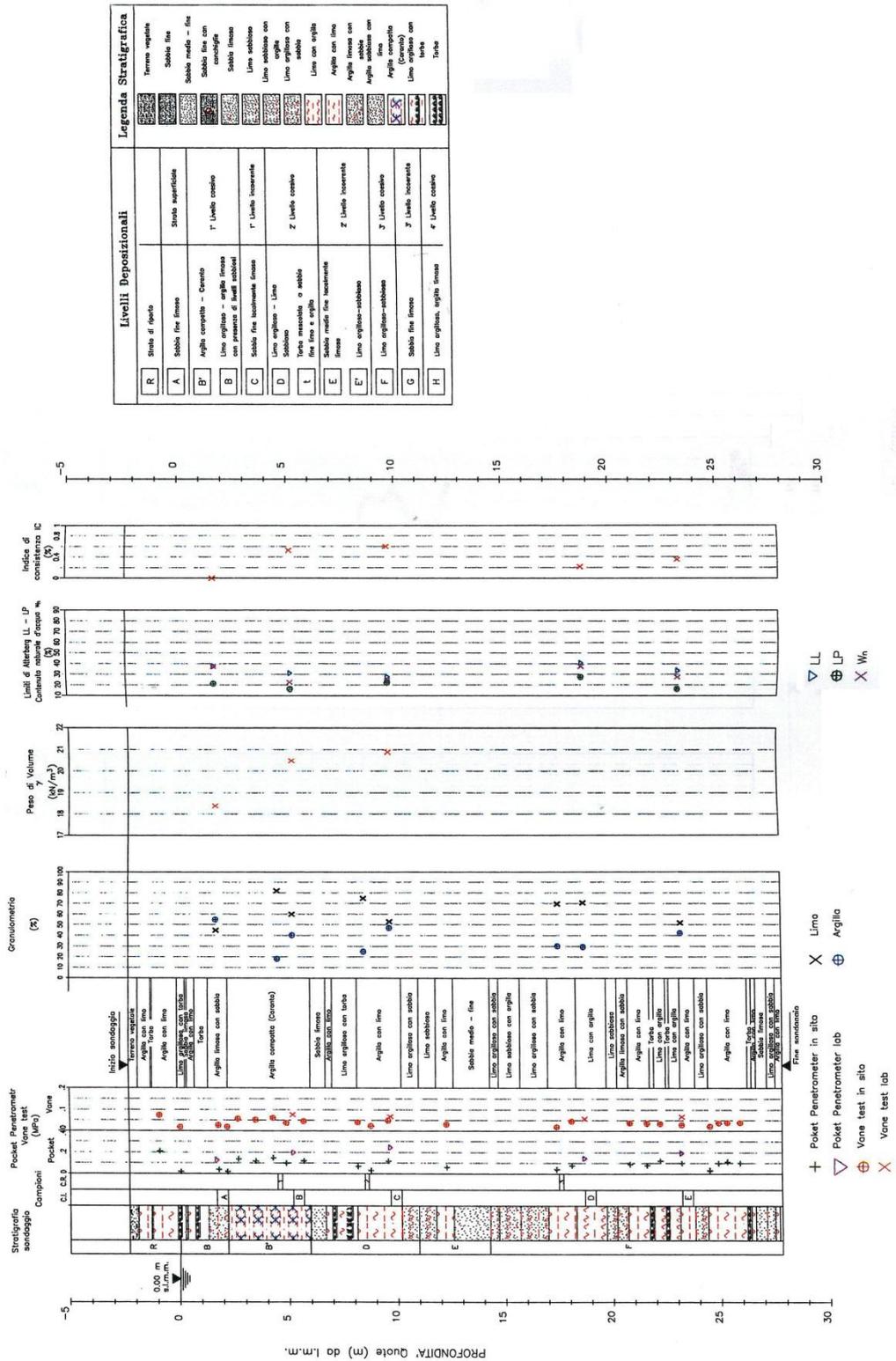
**Relazione geotecnica**

Settembre 2011

C4-REL006

Rev.0

TAVOLA 1/2 – Stratigrafia – SONDAGGIO S1



**TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  
DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  
PROGETTO PRELIMINARE**

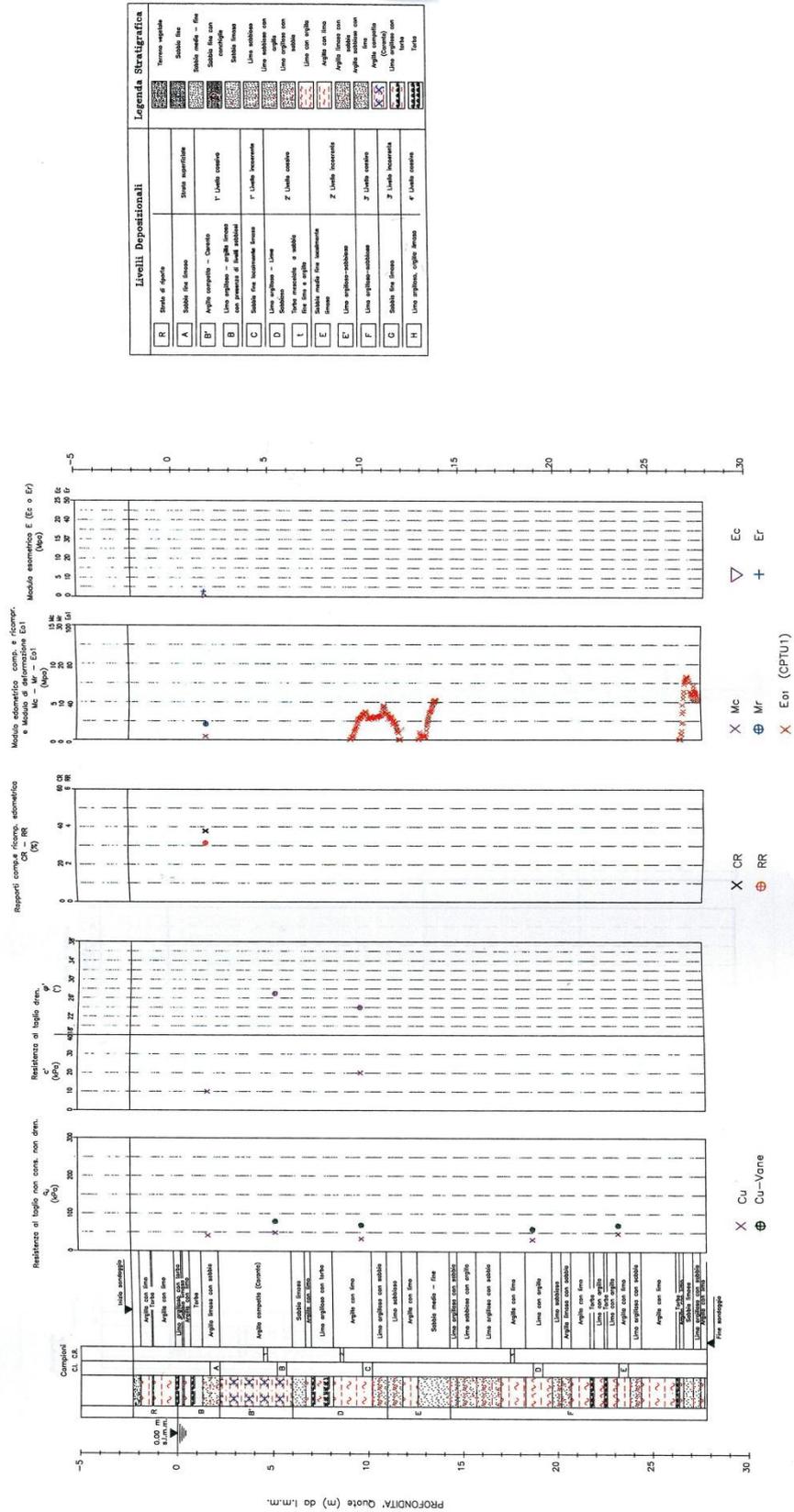
**Relazione geotecnica**

Settembre 2011

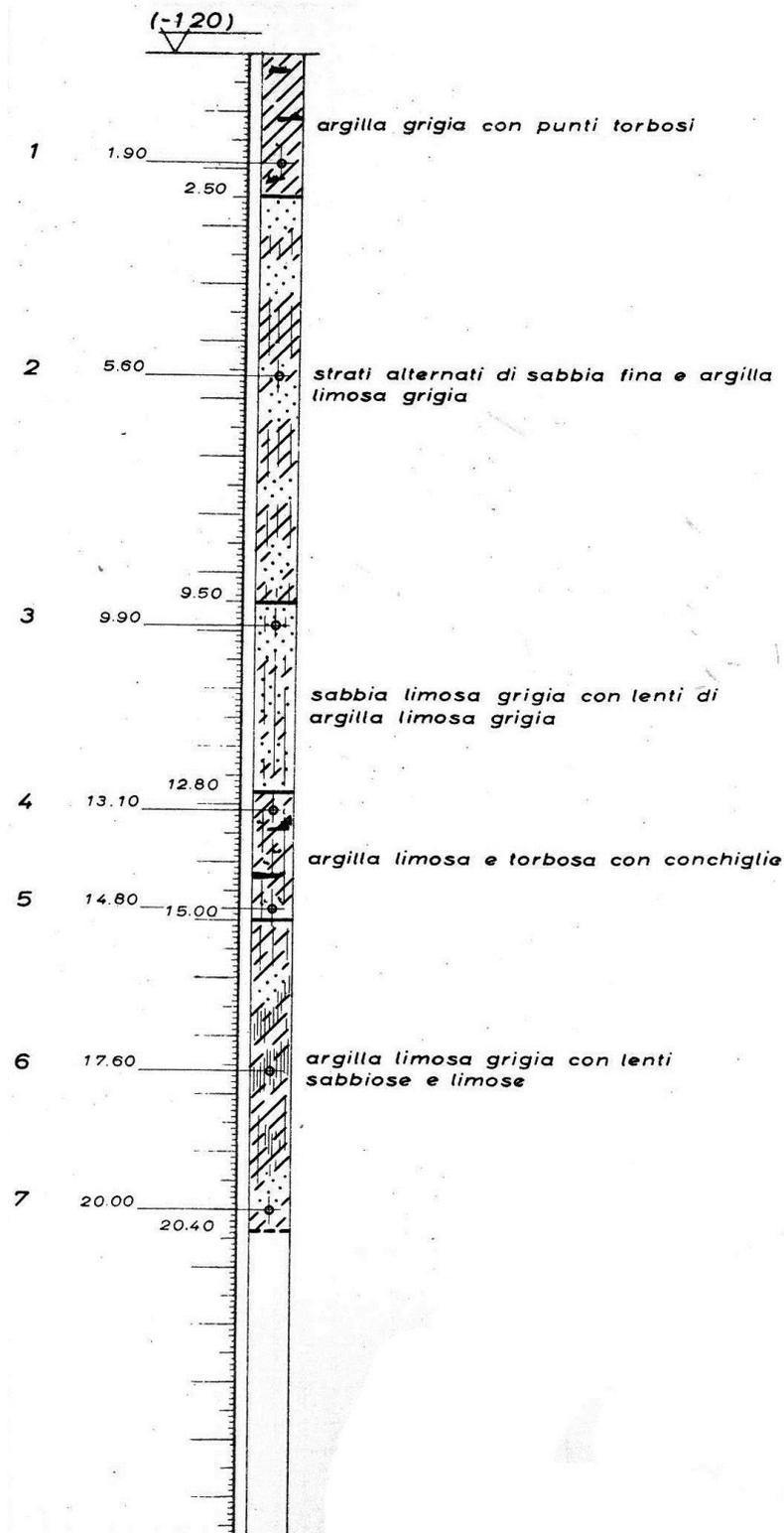
C4-REL006

Rev.0

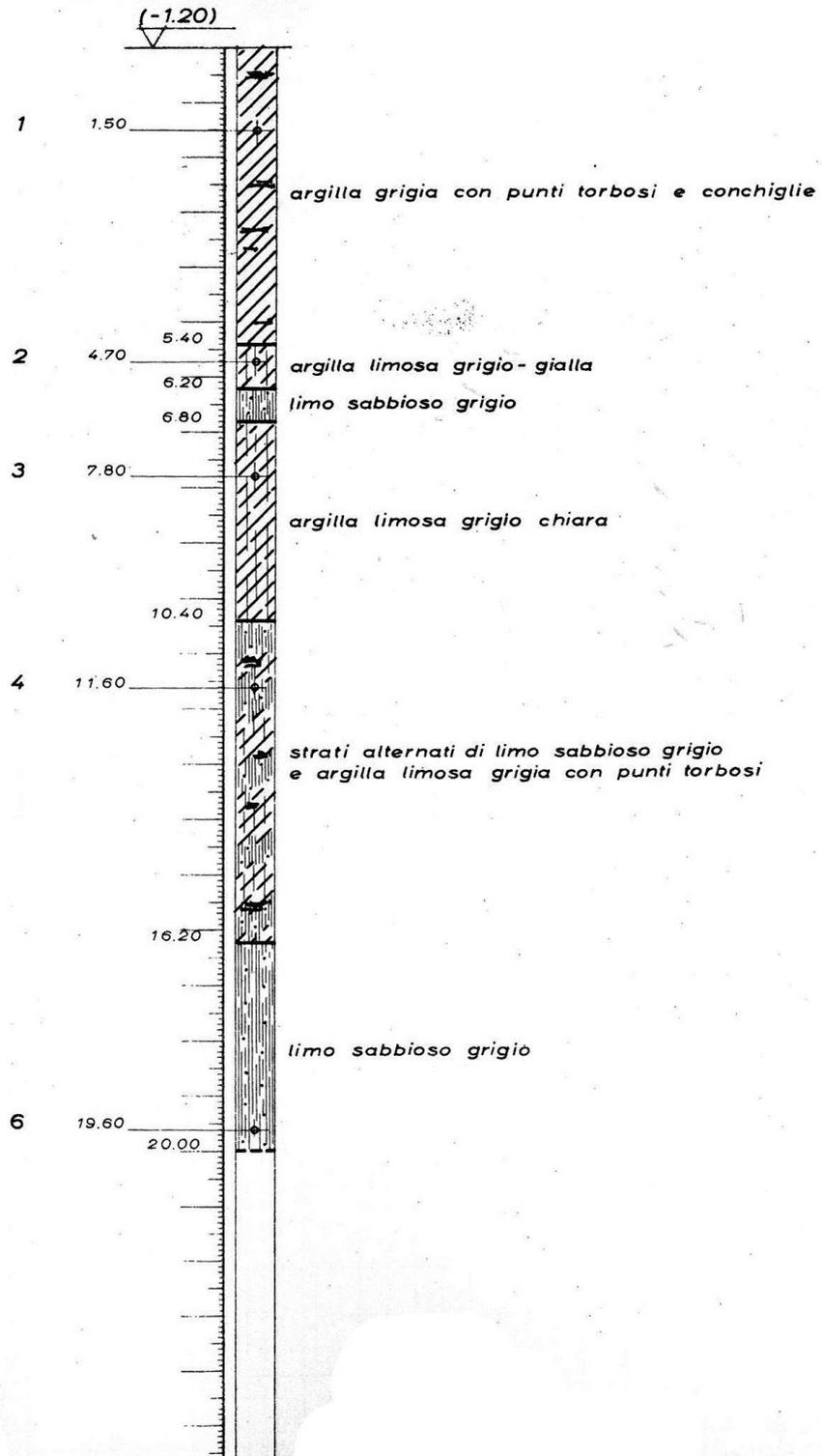
TAVOLA 2/2 – Storia tensionale e resistenza al taglio SONDAGGIO S1



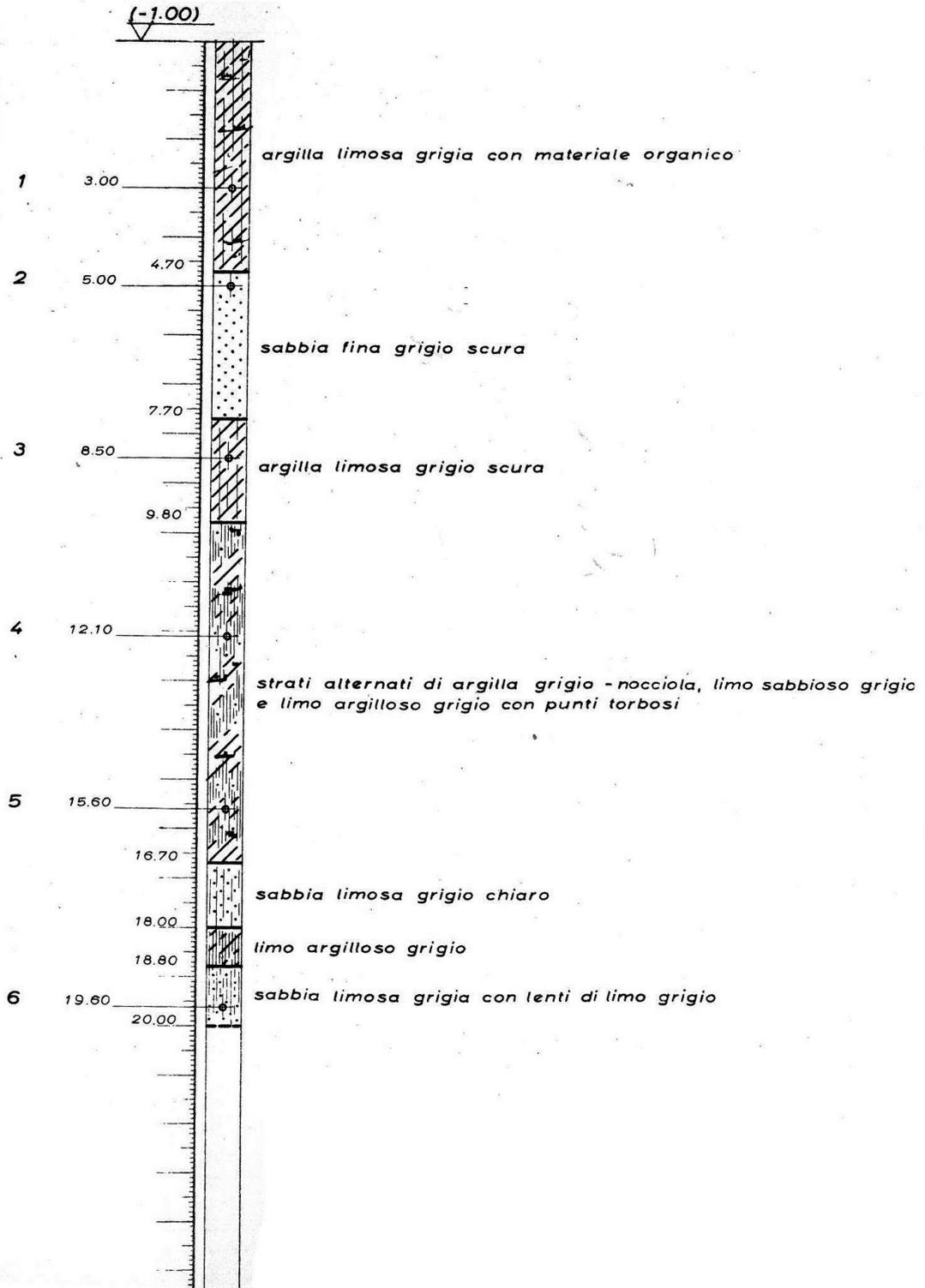
## Sondaggio S2



## Sondaggio S3



## Sondaggio S4



**TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  
DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  
PROGETTO PRELIMINARE**

**Relazione geotecnica**

Settembre 2011

C4-REL006

Rev.0

FORO N. **S5**

Quota +1.75 livello medio mare

SIST. di PERF.	QUOTA s.l.m.m.	PROFONDITA'	h STRATI	SONDAGGIO	TERRENO ATTRAVERSATO	CAROTAGGIO											POCKET PENETR.	TORVANE	NOTE		
						PERCENTUALE															
						%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100				
P E R F O R A Z I O N E  A  C A R O T A G G I O  C O N T I N U O  D I A M E T R O  1 0 1		2,65	2,65		LIMO E SABBIA DI COLORE GRIGIO																
		6,35	3,7		SABBIA GRIGIA CON INTERCALAZIONI LIMOSE PIU' CHIARE																
		6,4	0,05		LIVELLO TORBOSO "GUIDA"																
		8,5	2,1		ARGILLA E ARGILLA LIMOSA DI COLORE GRIGIO AZZURRO CON LIVELLI TORBOSI													0,8	0,35		
		8,85	0,35		ARGILLA LIMOSA RICCA DI TORBA E PICCOLI FRAMMENTI LEGNOSI																
		13,7	7,85		ARGILLE LIMOSE DEBOLMENTE SABBIOSE GRIGIO AZZURRE CON INTERCALAZIONI TORBOSE E LAMINAZIONI CARBONIOSE NERE													1	0,45		
		15,6	1,9		SABBIE FINI LIMOSE E LIMI ARGILLOSI CON INTERCALAZIONI TORBOSE													0,6	0,2		
		16,35	0,75		LIMI E ARGILLE CON INTERCALAZIONI TORBOSE													1,3	0,85		
		18,4	2,05		SABBIA LIMOSA GRIGIA E LIMI ARGILLOSI GRIGIO CHIARI NELLA PARTE BASALE													0,9	0,38		
		20	1,6		SABBIA LIMOSA E SABBIA FINE DI COLORE GRIGIO													0,4	0,22		

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  
 DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  
 PROGETTO PRELIMINARE

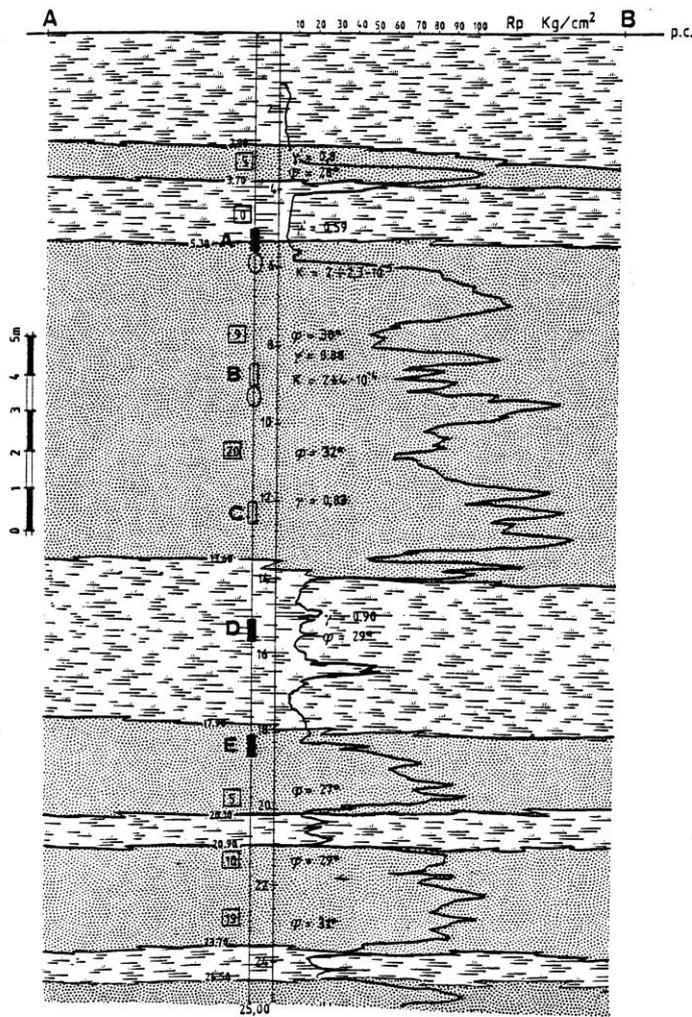
Relazione geotecnica

Settembre 2011

C4-REL006

Rev.0

S6



**LEGENDA**

- AROGLIA LIMOSA GRIGIA  
CON LIVELLETTI SABBIOSI  
E LIMI ARGILLOSI
- SABBIA FINE LIMOSA GRIGIA  
E SABBIA MEDIA LIMOSA  
GRIGIA
- PROVA PENETROMETRICA  
STATICA  $R_p$   $\text{Kg/cm}^2$
- N SPT
- PROVA DI PERMEABILITA' LEPRANC  
 $\text{m/sec}$
- PROVA DI PERMEABILITA' BAT  
 $\text{cm/sec}$

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  
 DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  
 PROGETTO PRELIMINARE

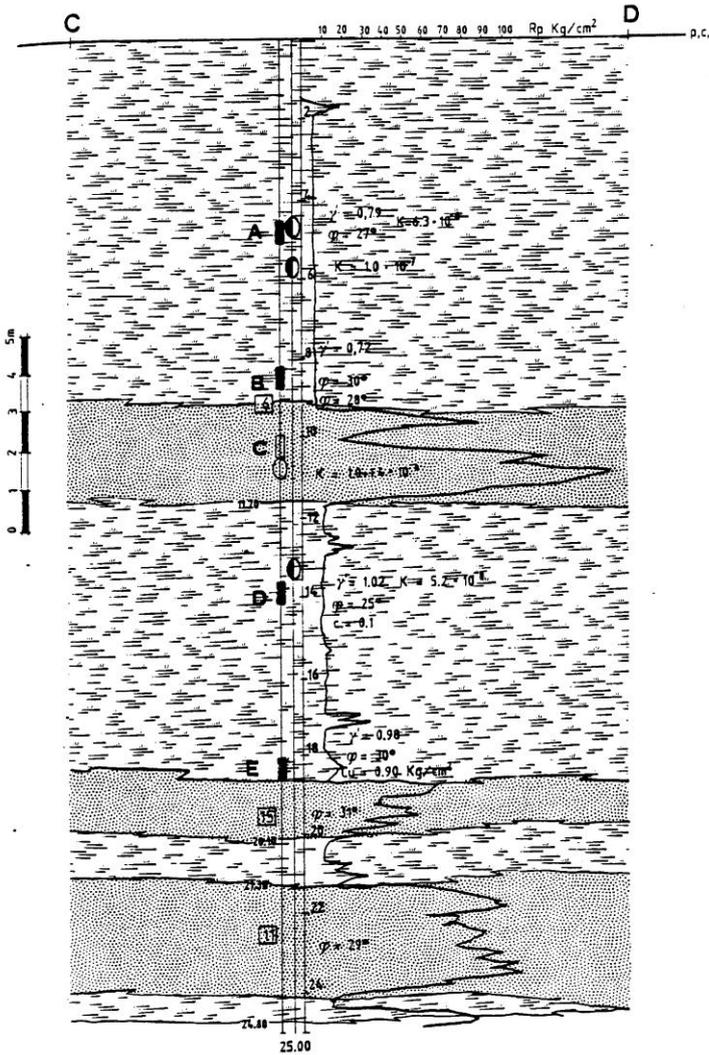
Relazione geotecnica

Settembre 2011

C4-REL006

Rev.0

S7



**LEGENDA**

- ARGILLA LIMOSA GRIGIA  
CON LIVELLETTI SABBIOSI  
E LIMI ARGILLOSI
- SABBIA FINE LIMOSA GRIGIA  
E SABBIA MEDIA LIMOSA  
GRIGIA
- PROVA PENETROMETRICA  
STATICA Rp Kg/cm²
- N SPT
- PROVA DI PERMEABILITA' LEPRANC  
m/sec
- PROVA DI PERMEABILITA' BAT  
cm/sec

**TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  
DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  
PROGETTO PRELIMINARE**

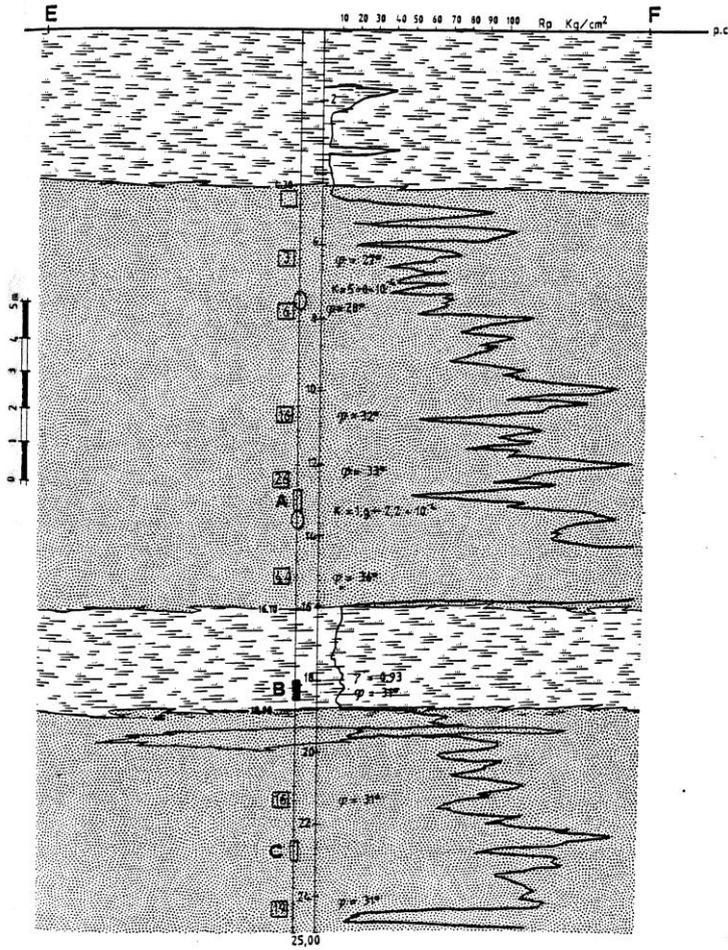
Relazione geotecnica

Settembre 2011

C4-REL006

Rev.0

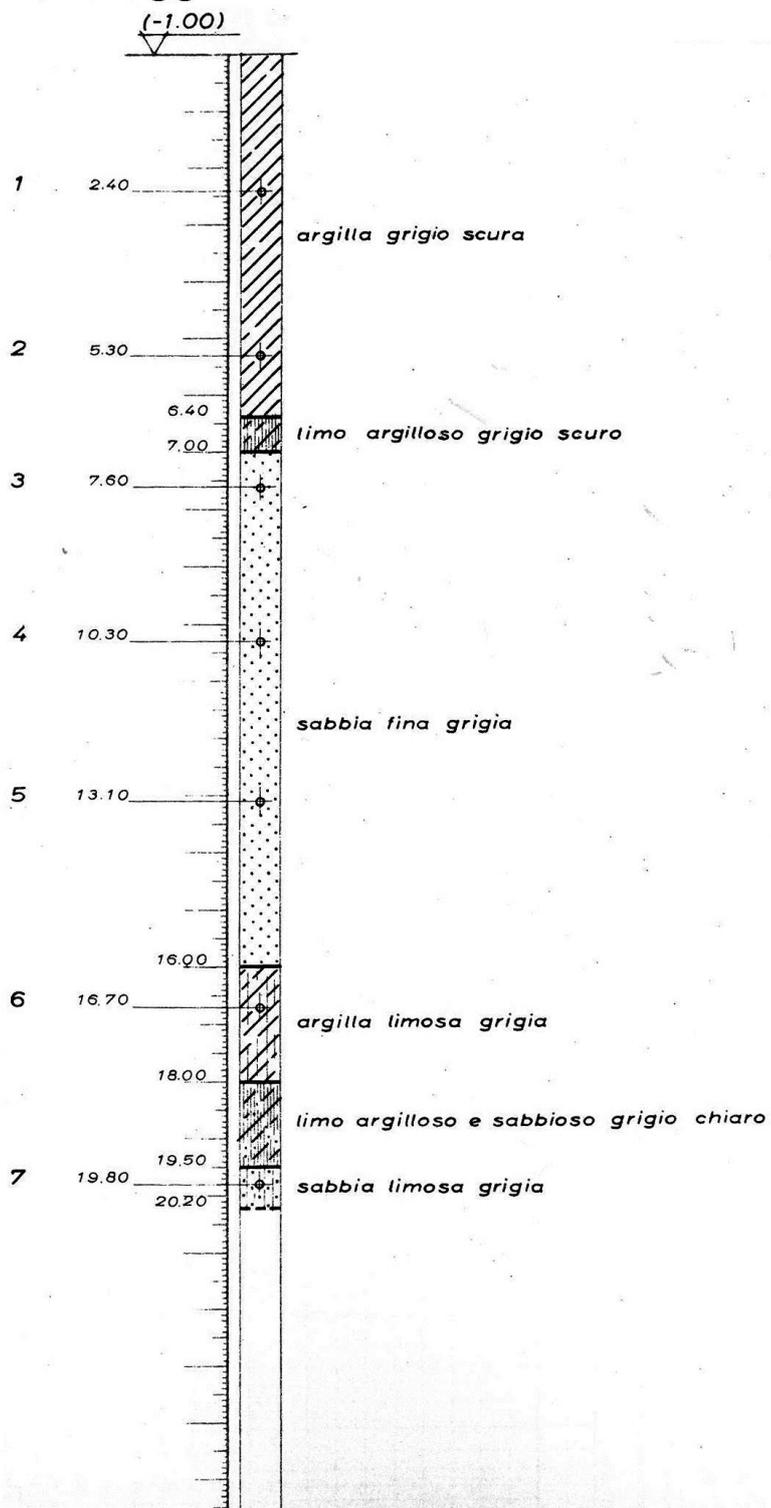
S8



**LEGENDA**

-  ARGILLA LIMOSA GRIGIA  
CON LIVELLETTI SABBIOSI  
E LIMI ARGILLOSI
-  SABBIA FINE LIMOSA GRIGIA  
E SABBIA MEDIA LIMOSA  
GRIGIA
-  PROVA PENETROMETRICA  
STATICA  $R_p$   $\text{Kg/cm}^2$
-  N SPT
-  PROVA DI PERMEABILITA' LEPRANC  
m/sec
-  PROVA DI PERMEABILITA' BAT  
cm/sec

## Sondaggio S9



**TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  
DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  
PROGETTO PRELIMINARE**

**Relazione geotecnica**

**Settembre 2011**

**C4-REL006**

**Rev.0**

## **GEOFISICA**

Keyplan Rilievo simico



TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  
DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  
PROGETTO PRELIMINARE

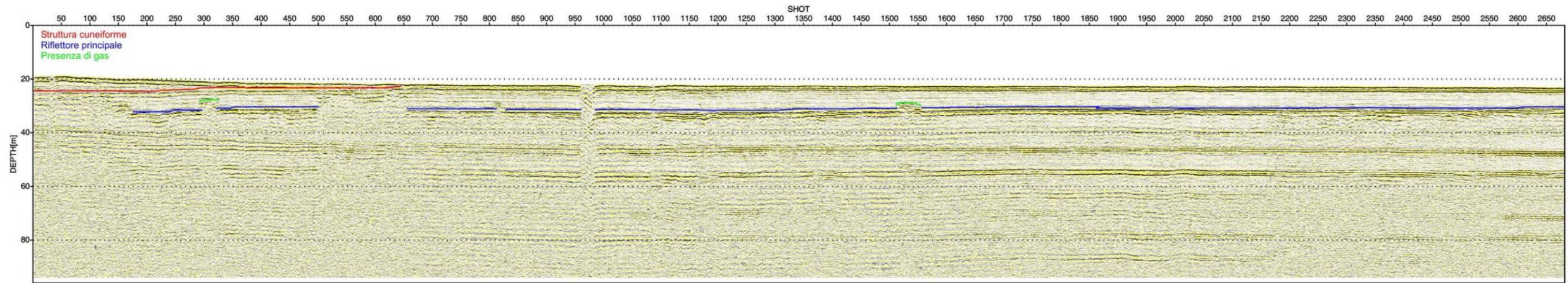
Relazione geotecnica

Settembre 2011

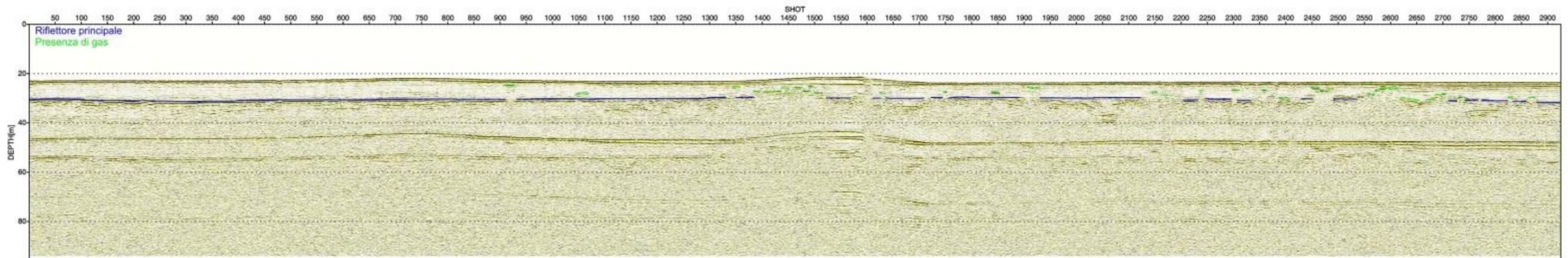
C4-REL-006

Rev.0

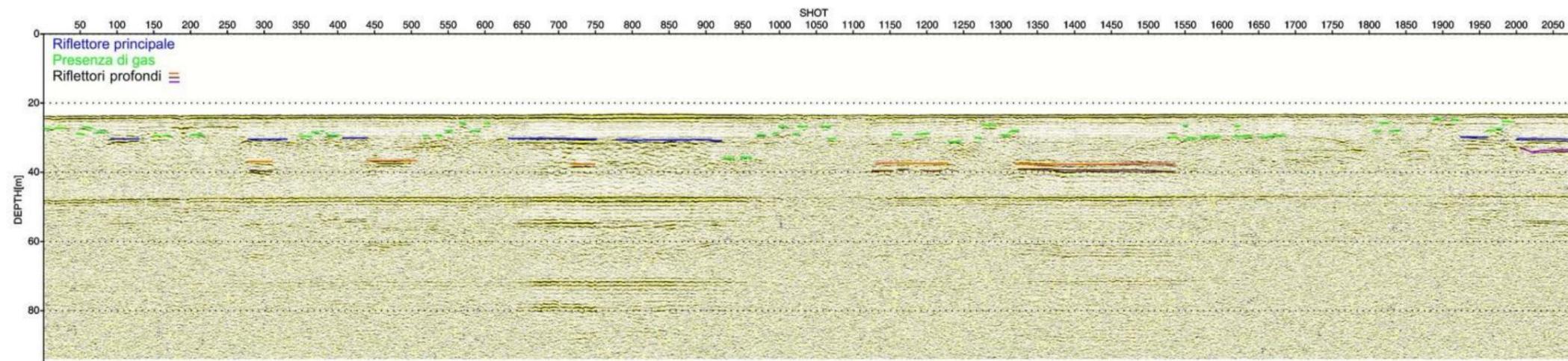
Profili sismici



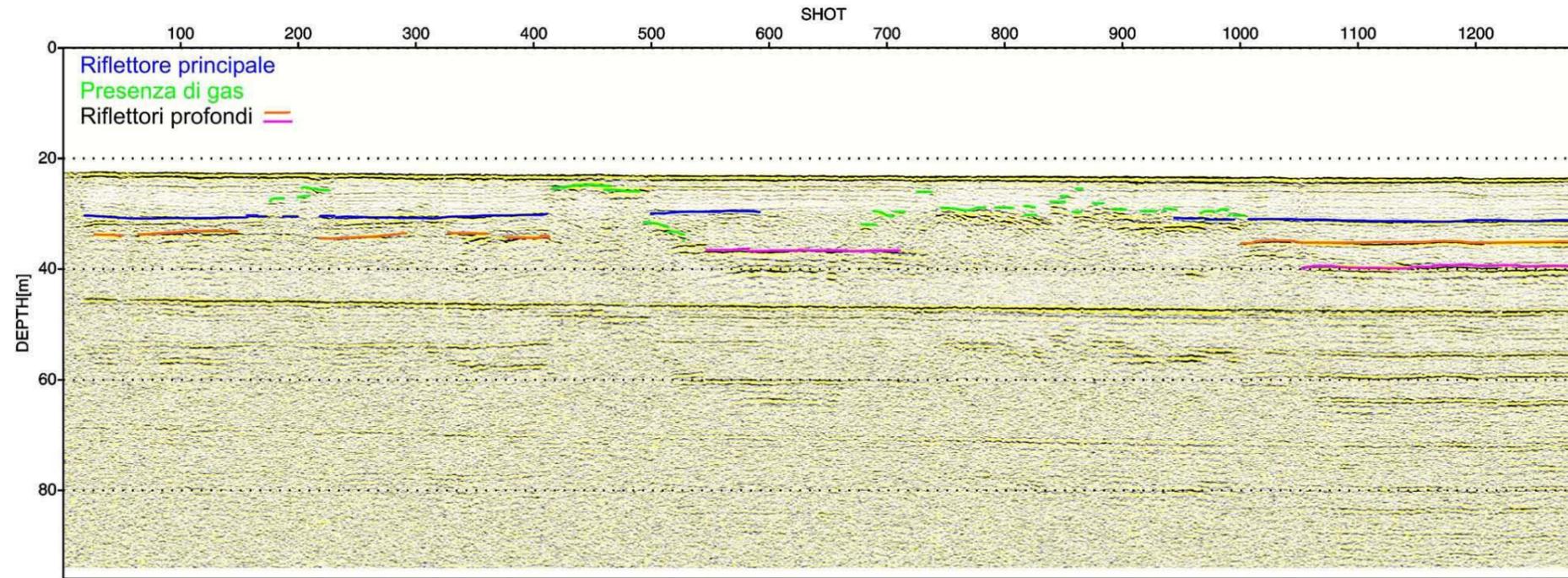
linea ve\_00\_11f.sgy convertita in profondita' con un gradiente di velocita'. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)



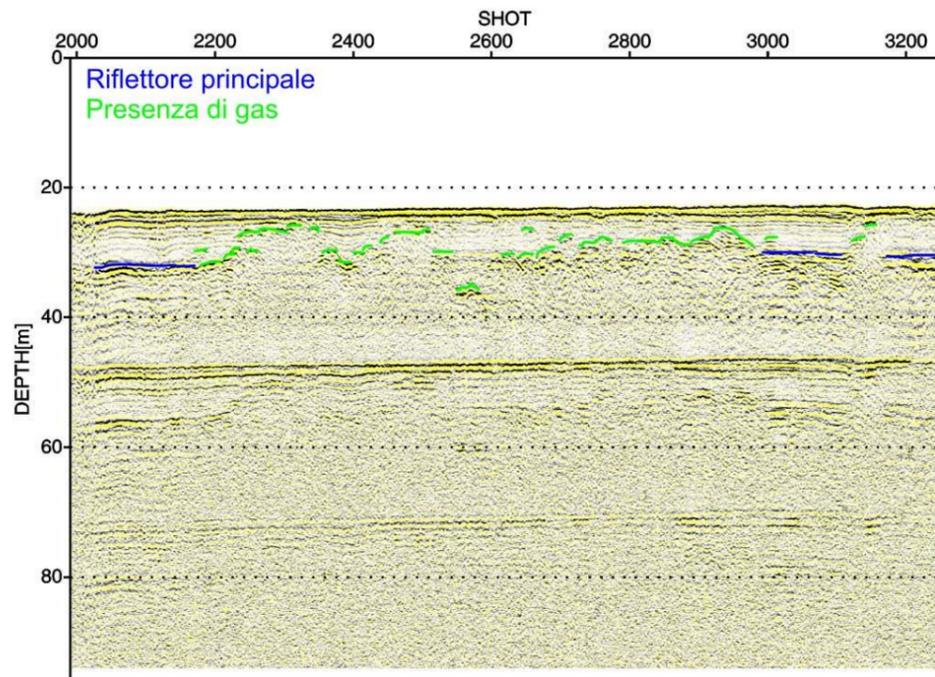
linea ve\_01\_11f.sgy convertita in profondita' con un gradiente di velocita'. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)



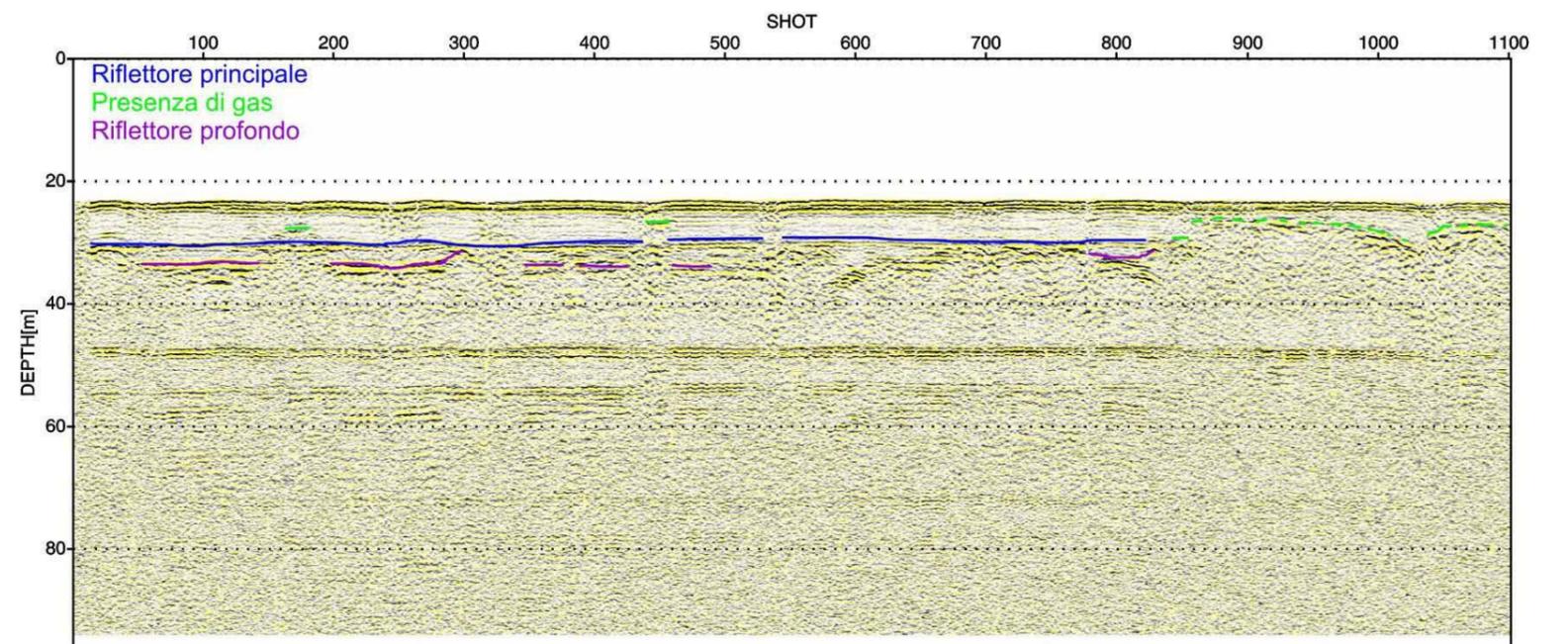
linea ve\_02\_11f.sgy convertita in profondita' con un gradiente di velocita'. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)



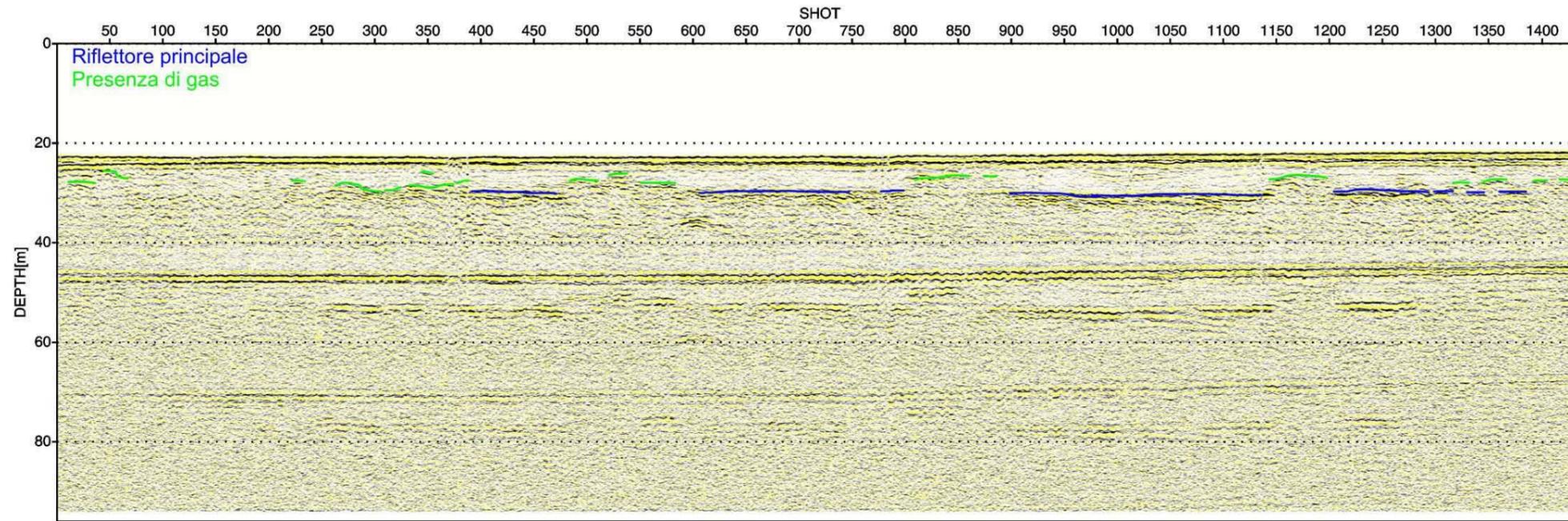
linea ve\_03\_11f.sgy convertita in profondita' con un gradiente di velocita'. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)



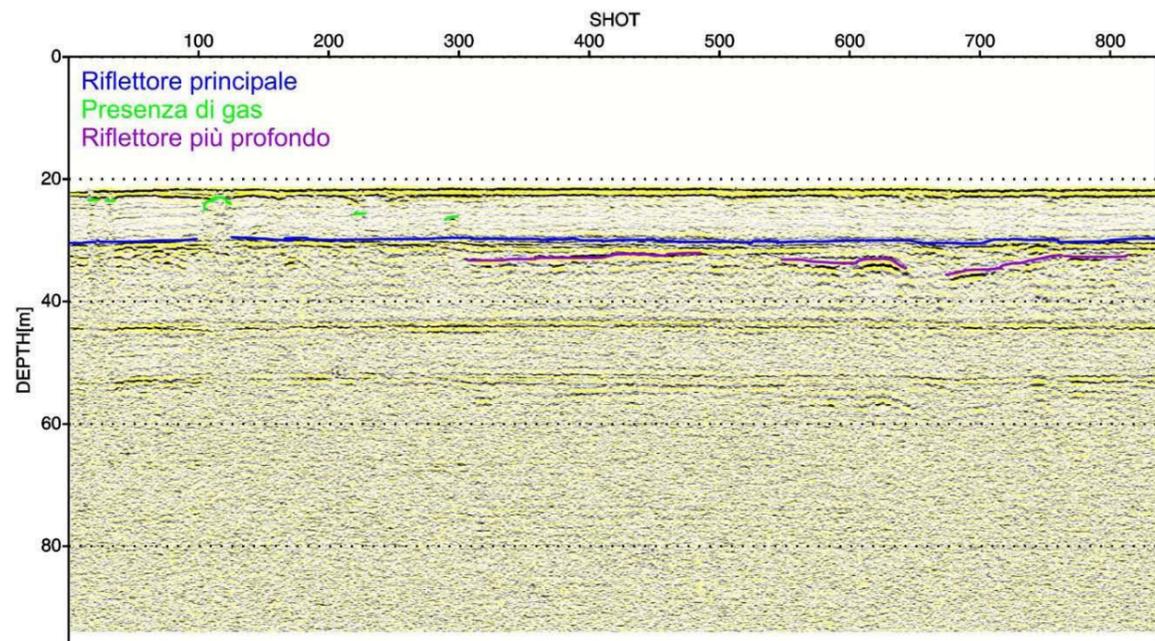
linea ve\_03b\_11f.sgy convertita in profondita' con un gradiente di velocita'.  
Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)



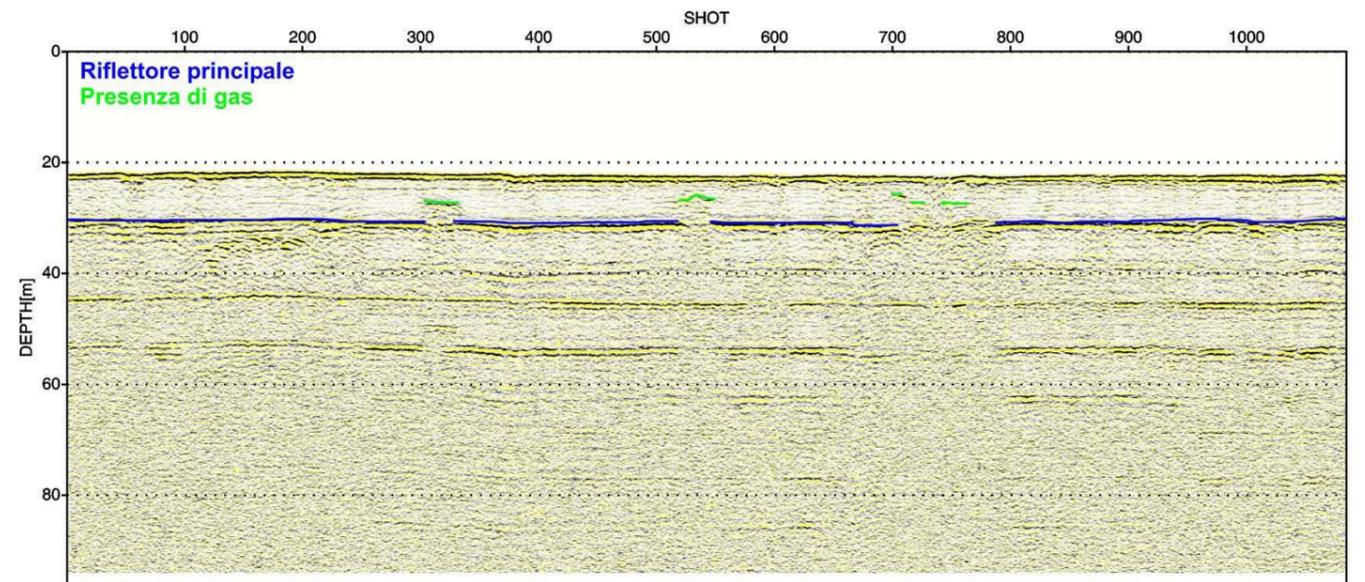
linea ve\_04\_11f.sgy convertita in profondita' con un gradiente di velocita'. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)



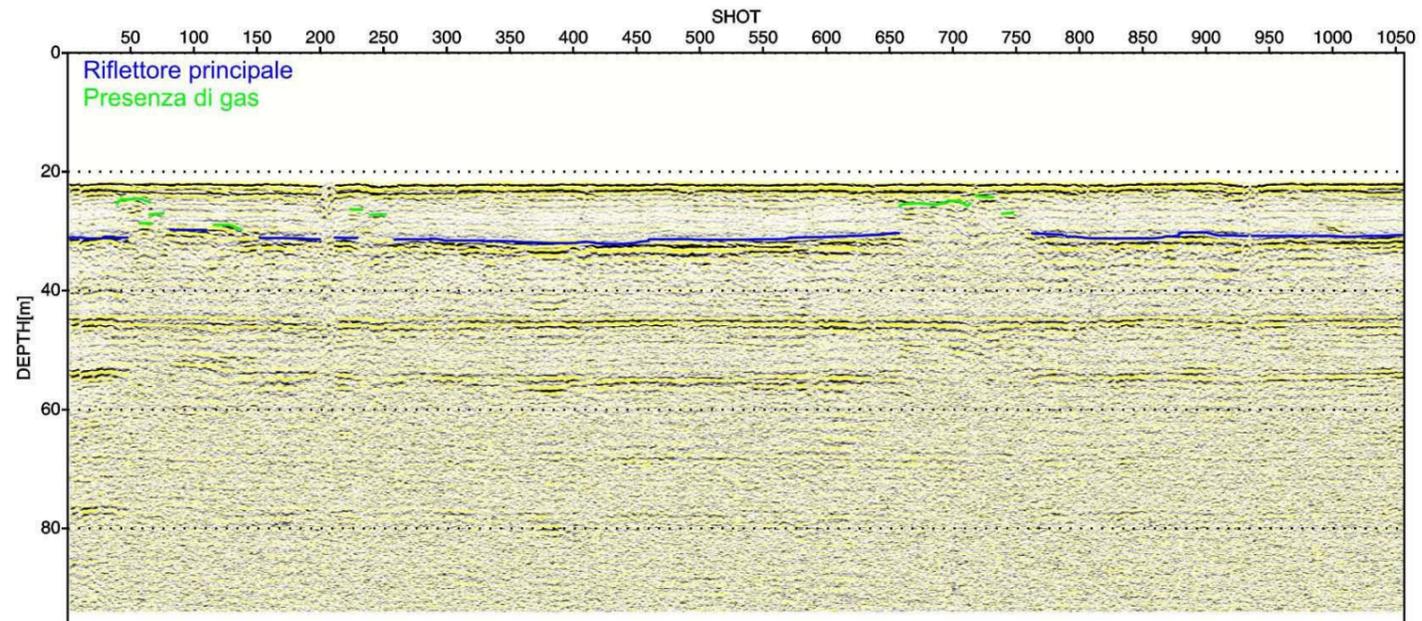
linea ve\_05\_11f.sgy convertita in profondita' con un gradiente di velocita'. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)



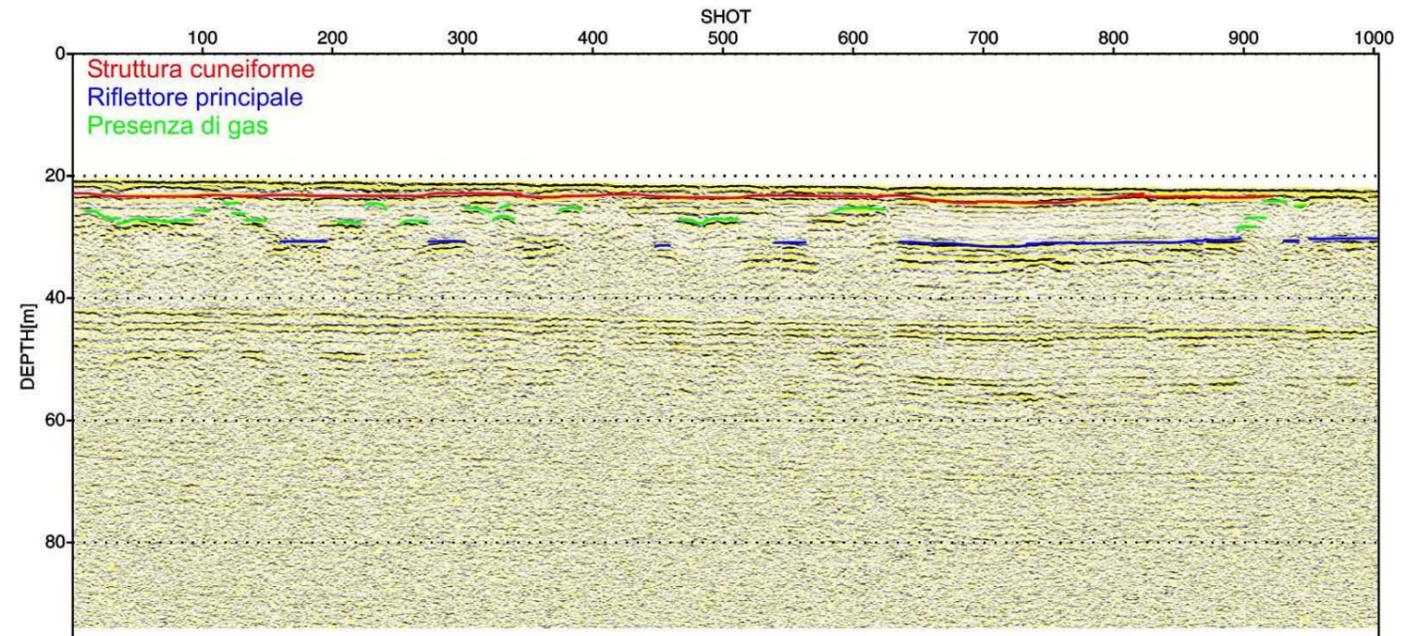
linea ve\_06\_11f.sgy convertita in profondita' con un gradiente di velocita'.  
Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)



linea ve\_07\_11f.sgy convertita in profondita' con un gradiente di velocita'. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)



linea ve\_08\_11f.sgy convertita in profondita' con un gradiente di velocita'. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)



linea ve\_09\_11f.sgy convertita in profondita' con un gradiente di velocita'. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)

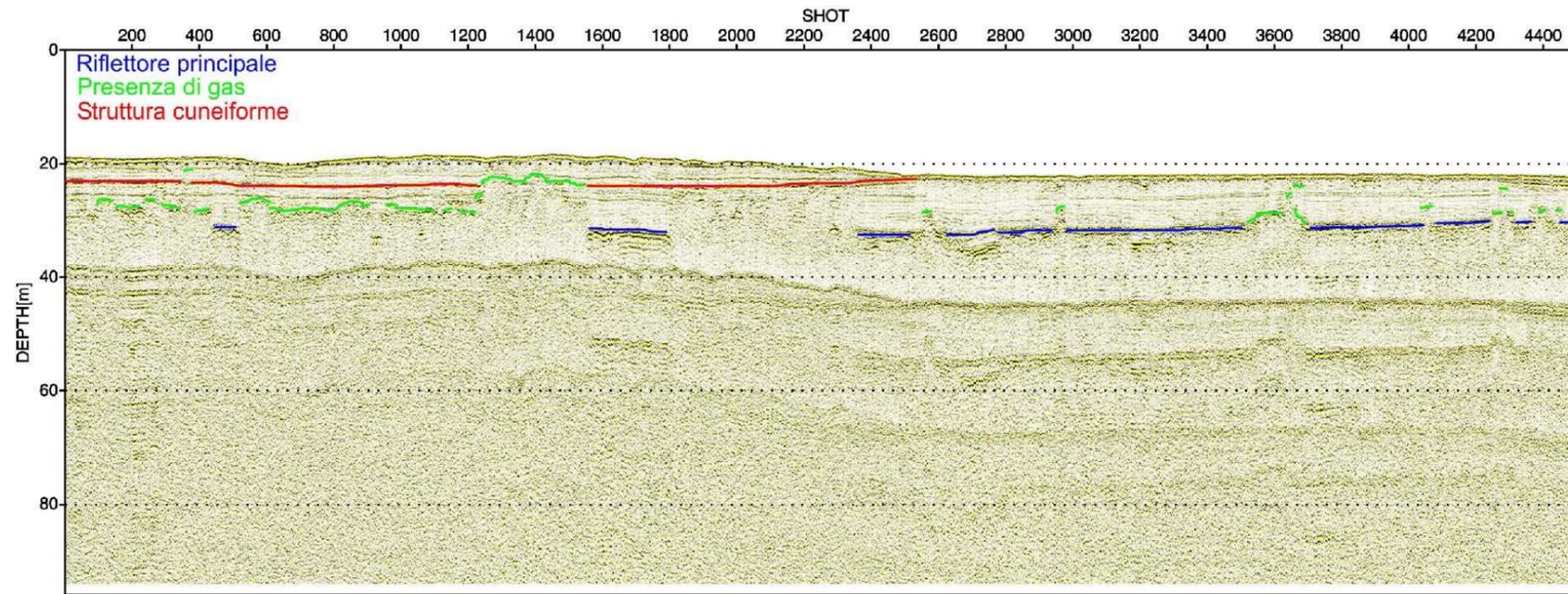
TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  
DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  
PROGETTO PRELIMINARE

Relazione geotecnica

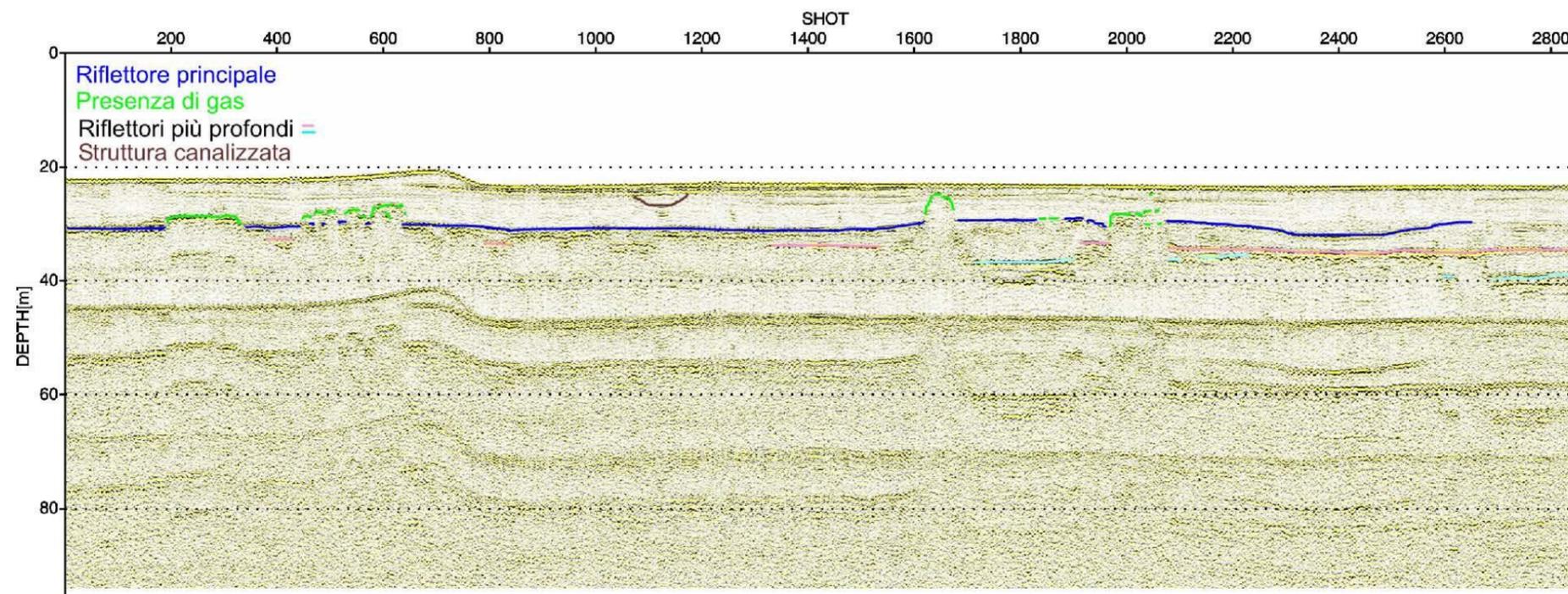
Settembre 2011

C4-REL-006

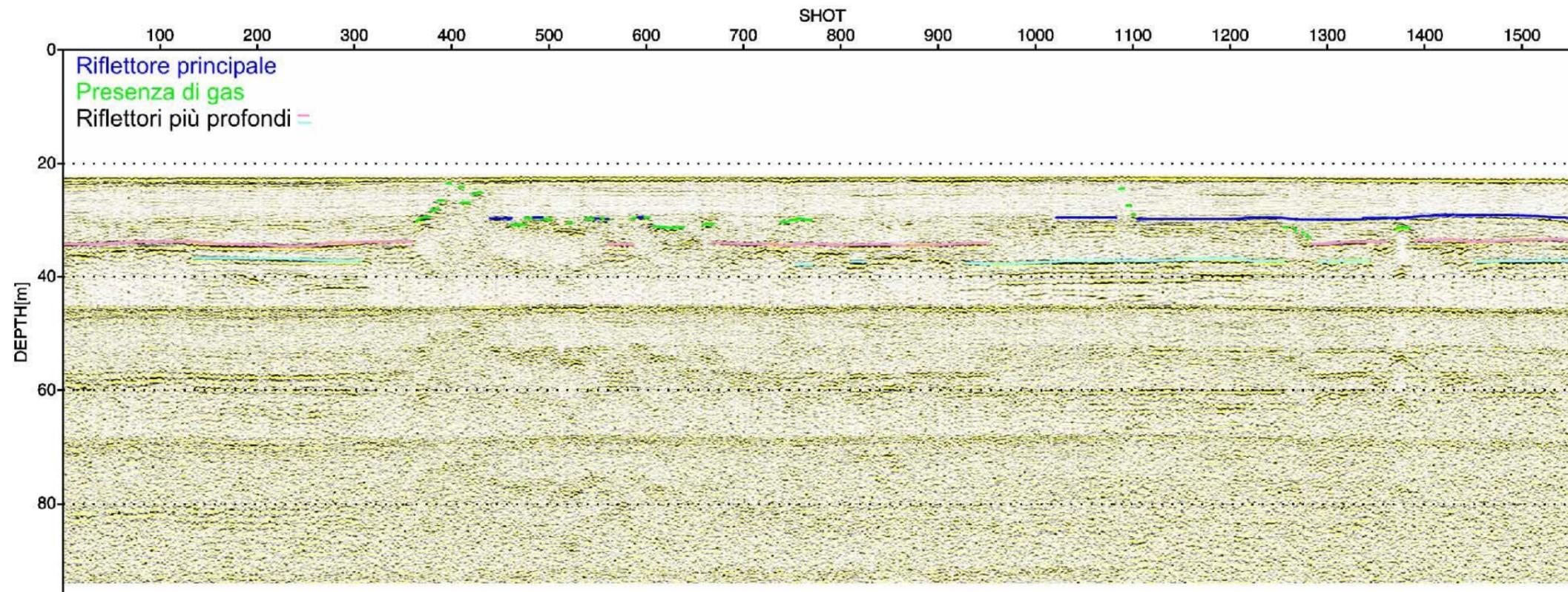
Rev.0



linea ve\_30\_11 convertita in profondita' con un gradiente di velocita'. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)



linea ve\_31\_11 convertita in profondita' con un gradiente di velocita'. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)



linea ve\_32\_11 convertita in profondita' con un gradiente di velocita'. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)

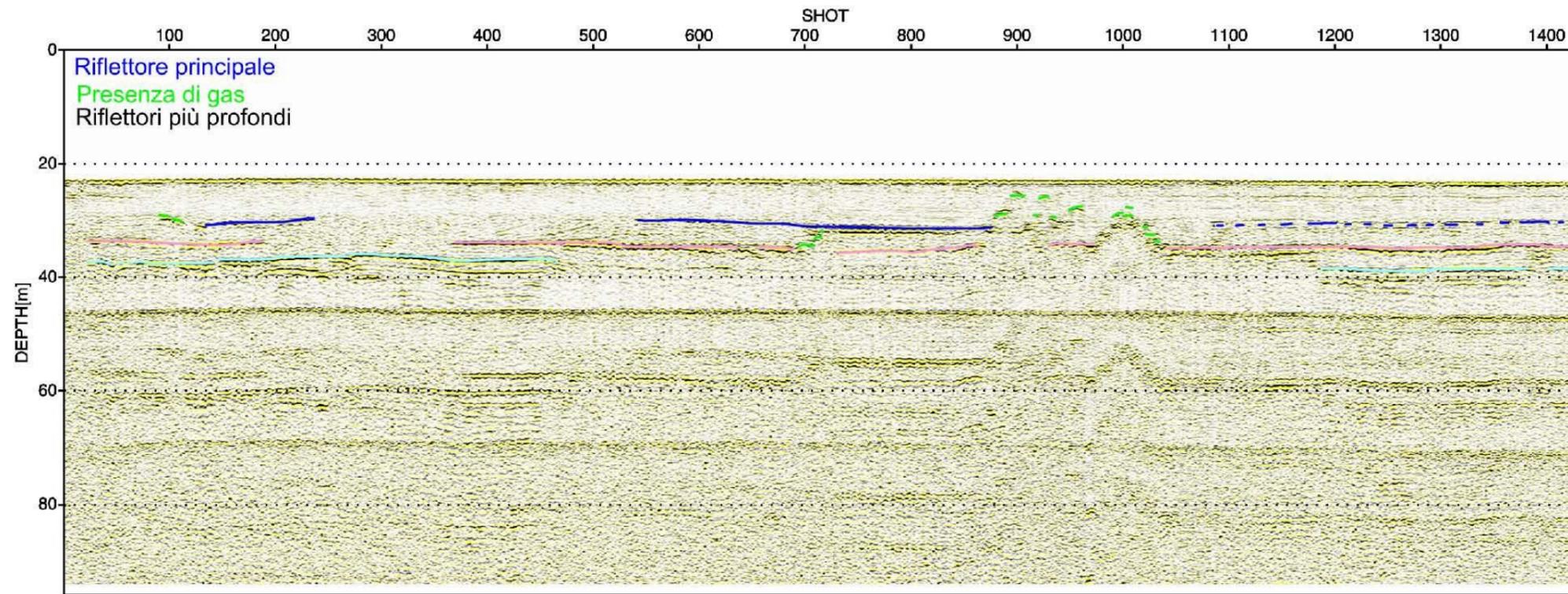
TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  
DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  
PROGETTO PRELIMINARE

Relazione geotecnica

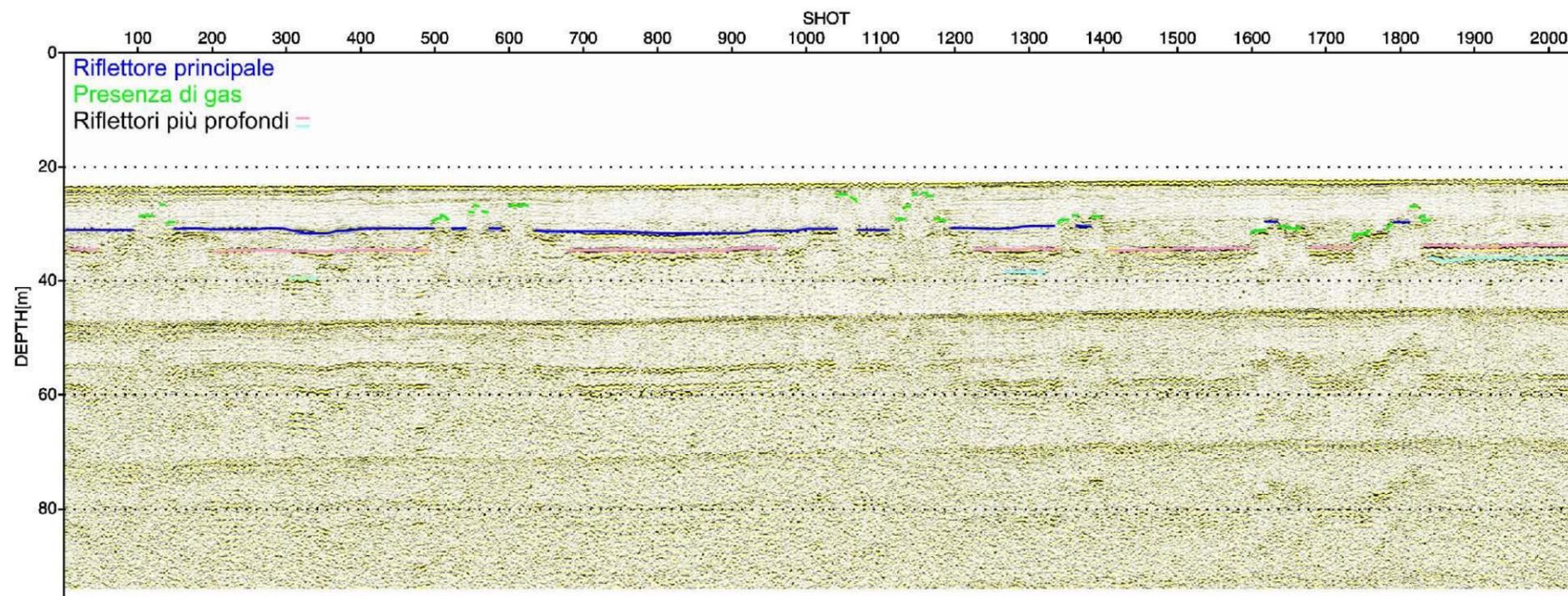
Settembre 2011

C4-REL-006

Rev.0



linea ve\_33\_11 convertita in profondita' con un gradiente di velocita'. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)



linea ve\_34\_11 convertita in profondita' con un gradiente di velocita'. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)

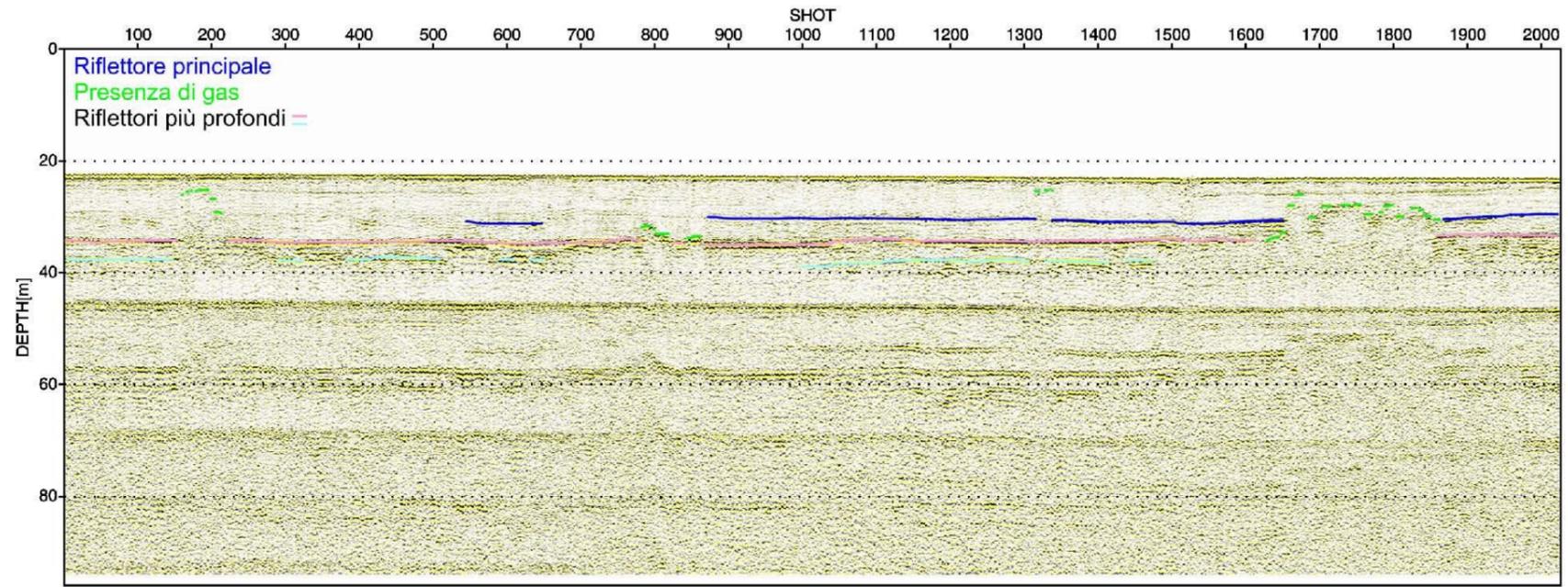
TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  
DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  
PROGETTO PRELIMINARE

Relazione geotecnica

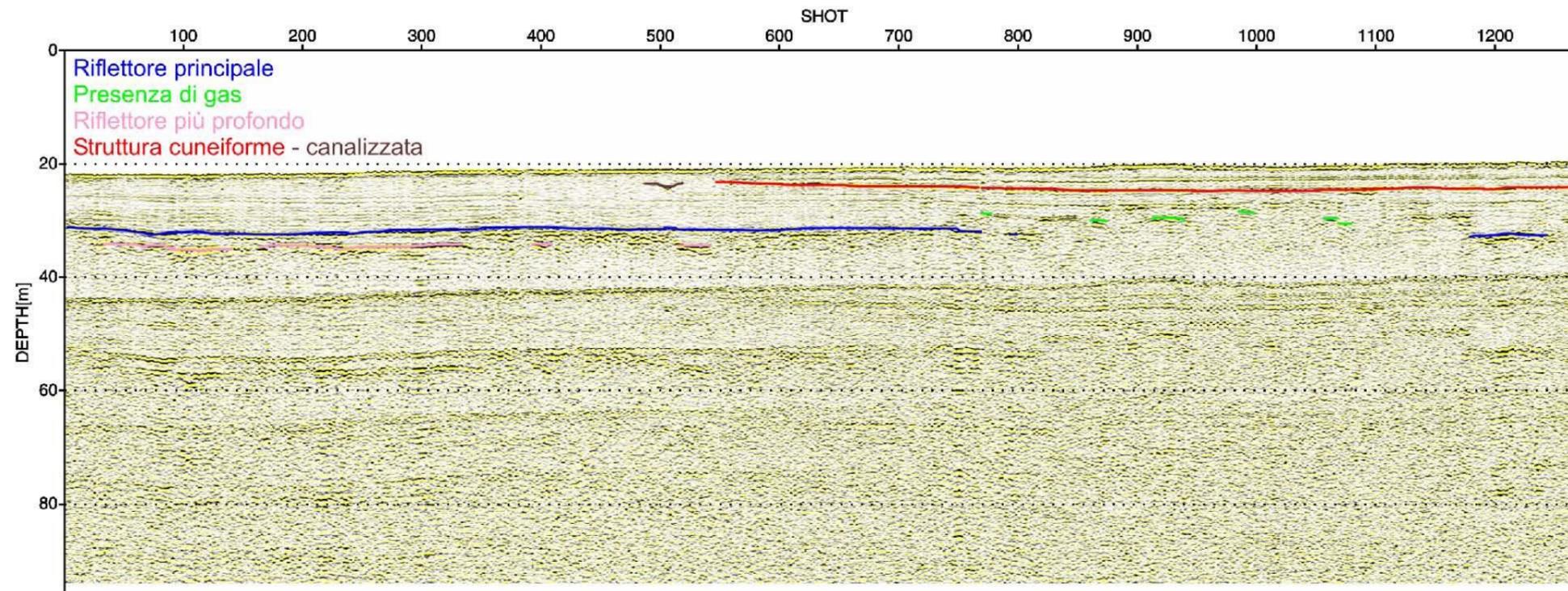
Settembre 2011

C4-REL-006

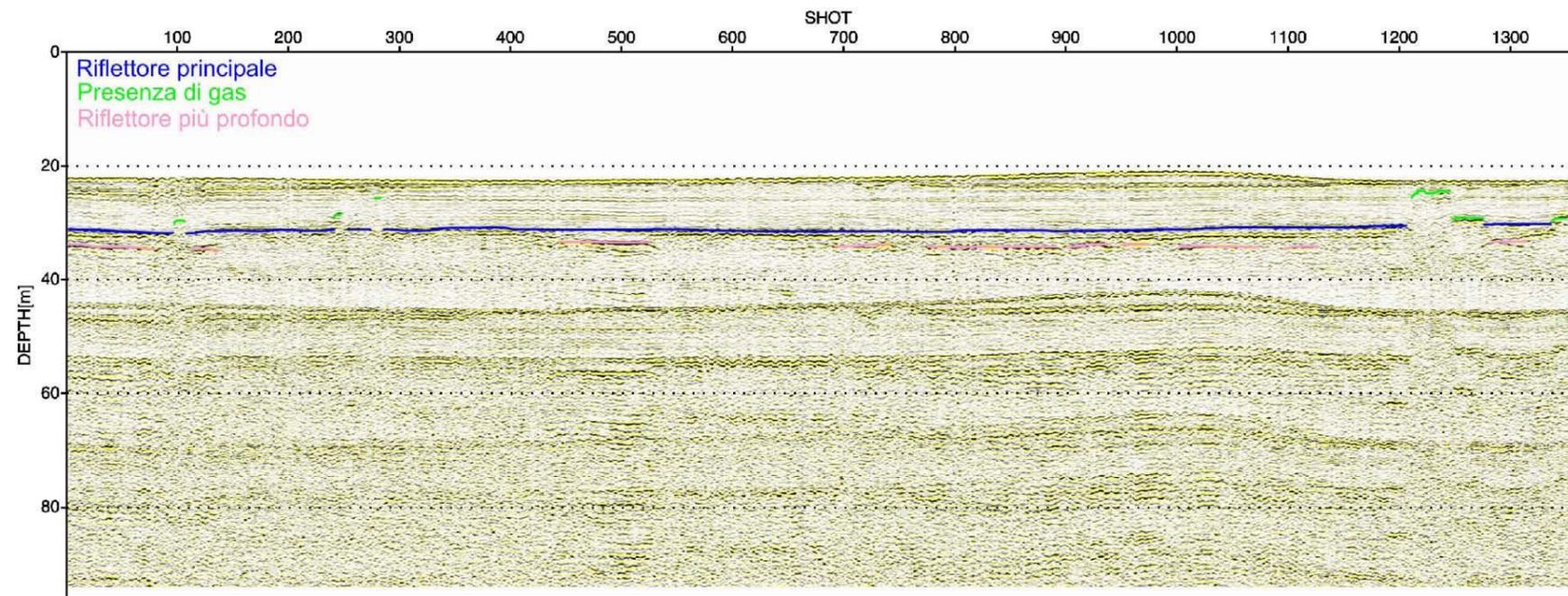
Rev.0



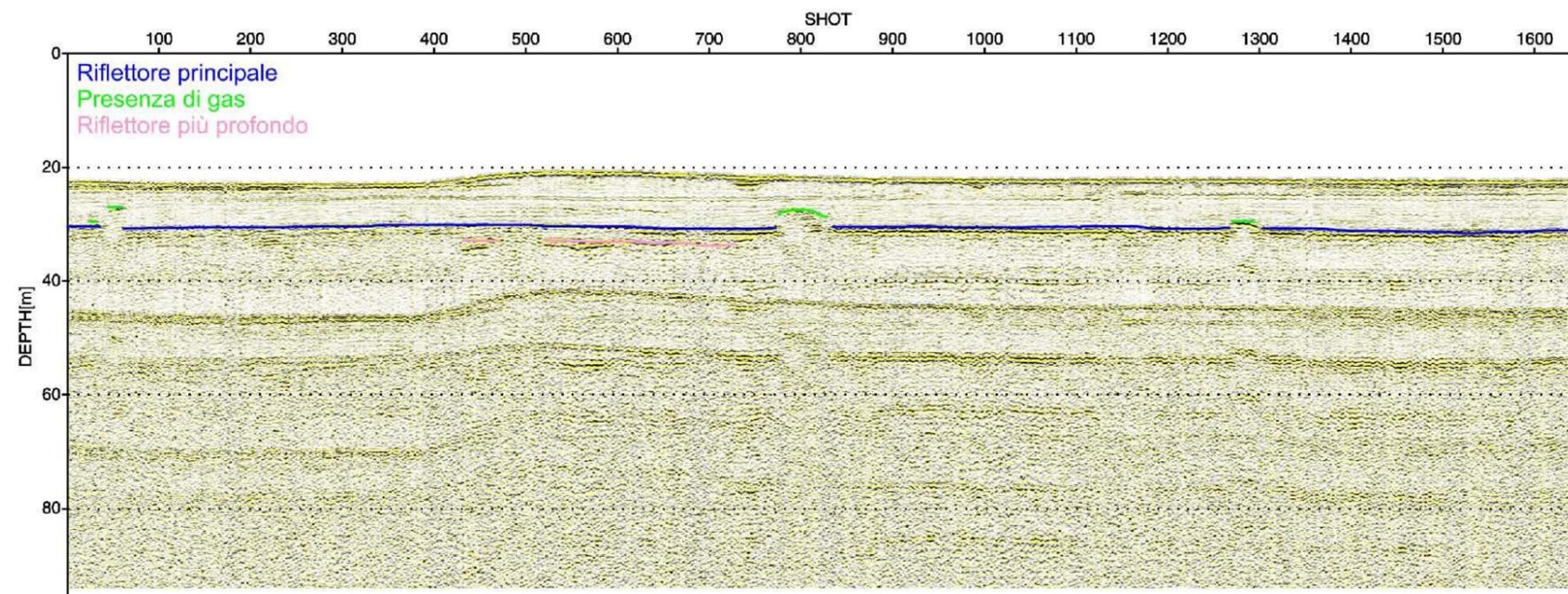
linea ve\_35\_11 convertita in profondità' con un gradiente di velocità'. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)



linea ve\_36\_11 convertita in profondità' con un gradiente di velocità'. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)



linea ve\_37\_11 convertita in profondita' con un gradiente di velocita'. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)



linea ve\_38\_11 convertita in profondita' con un gradiente di velocita'. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)

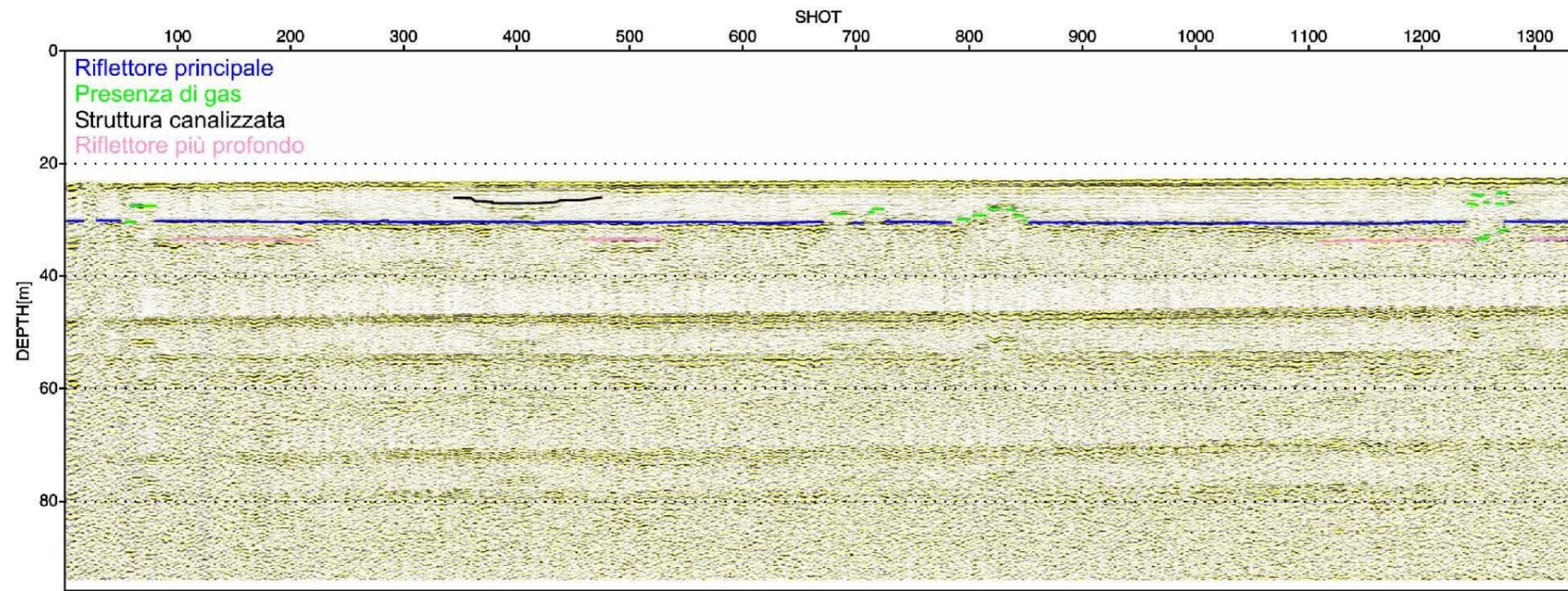
TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta  
DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO  
PROGETTO PRELIMINARE

Relazione geotecnica

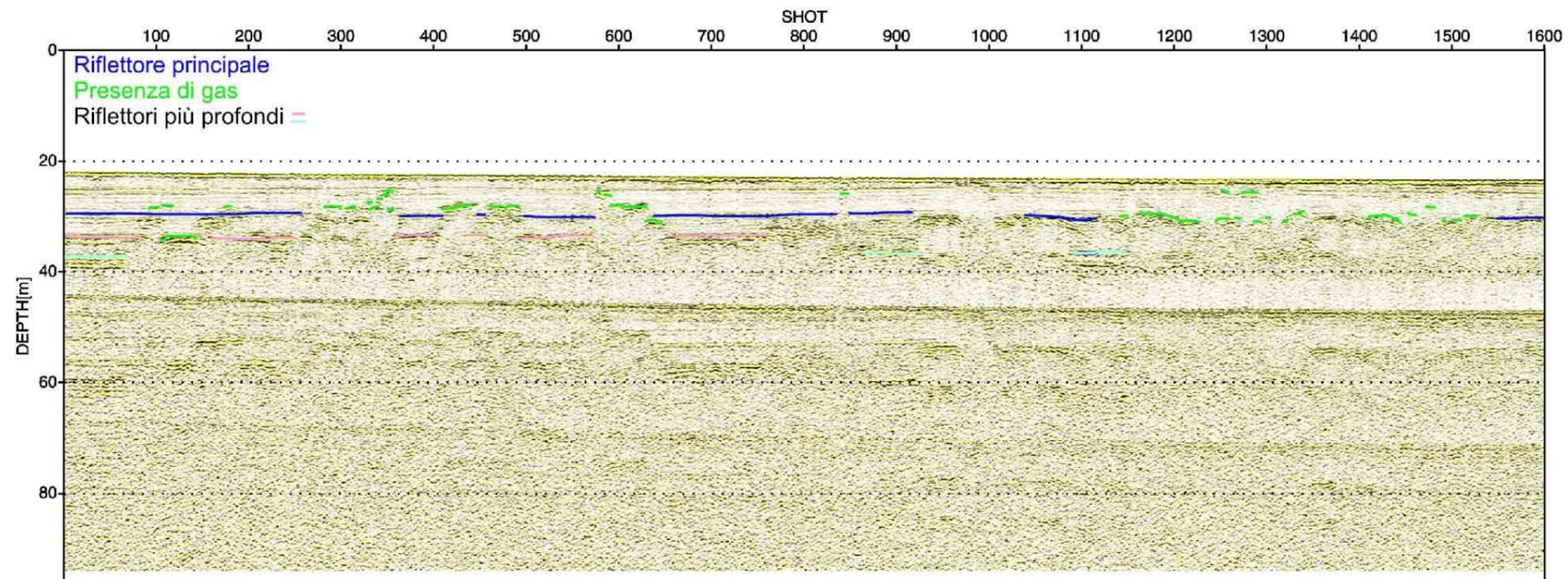
Settembre 2011

C4-REL-006

Rev.0



linea ve\_39\_11 convertita in profondità con un gradiente di velocità. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)

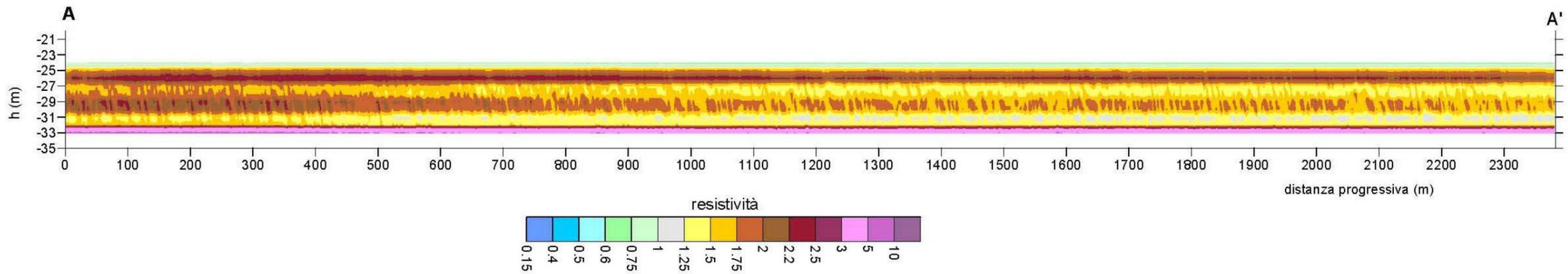
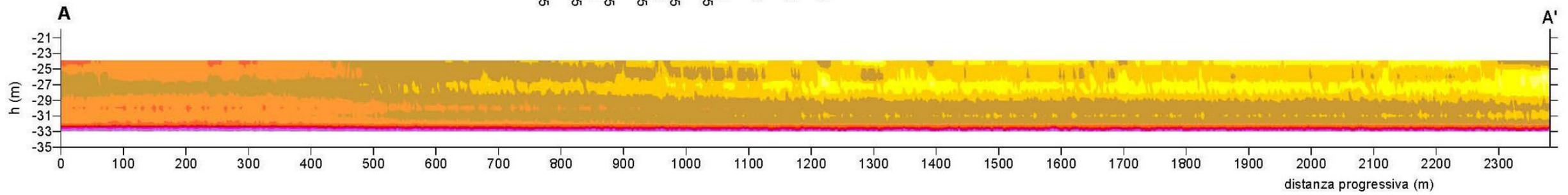
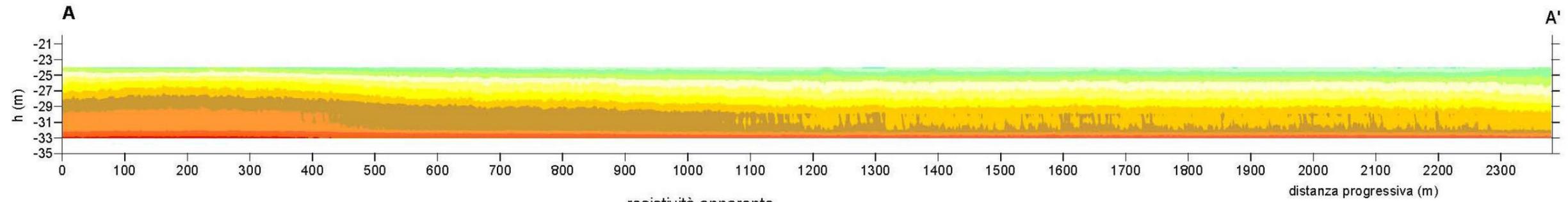


linea ve\_40\_11 convertita in profondità con un gradiente di velocità. Fondo mare=1550 (m/s) - 0.12 (s)=1600 (m/s)

Profili tomografici elettrici

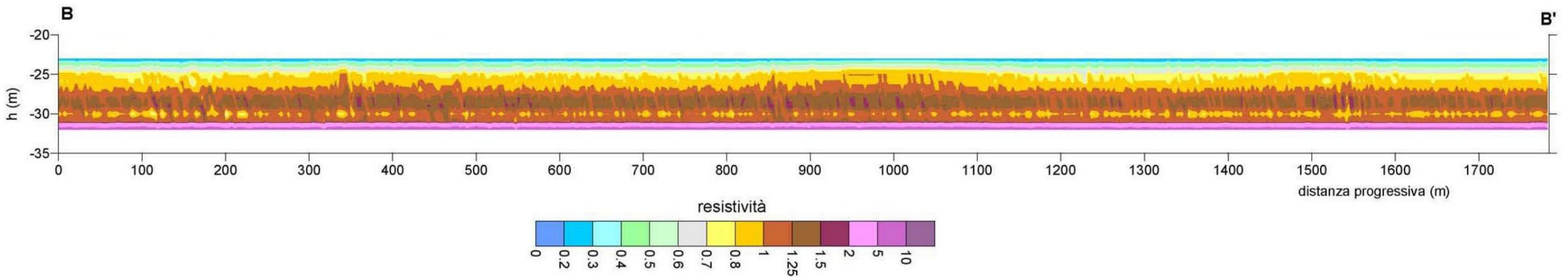
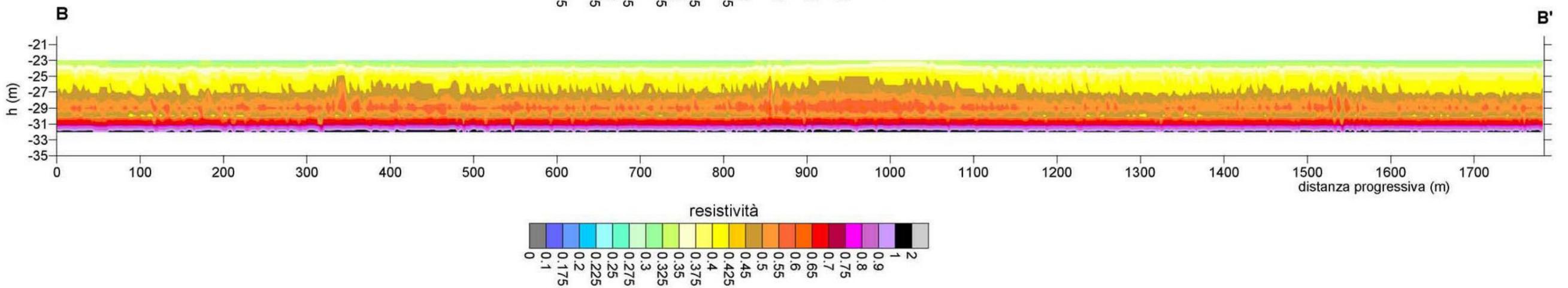
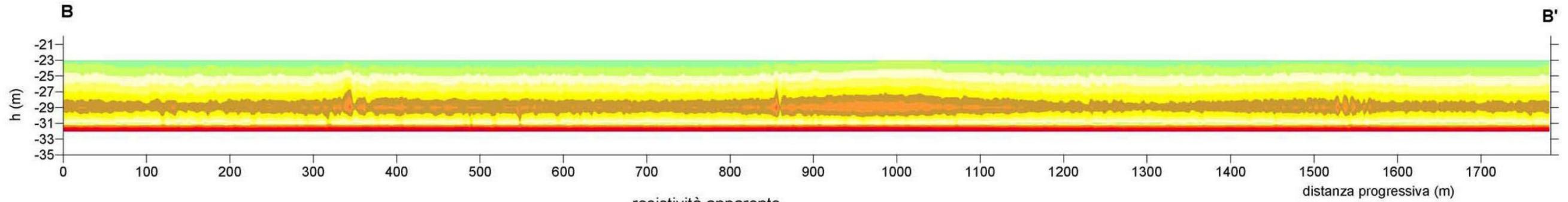
Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare

PROFILO A



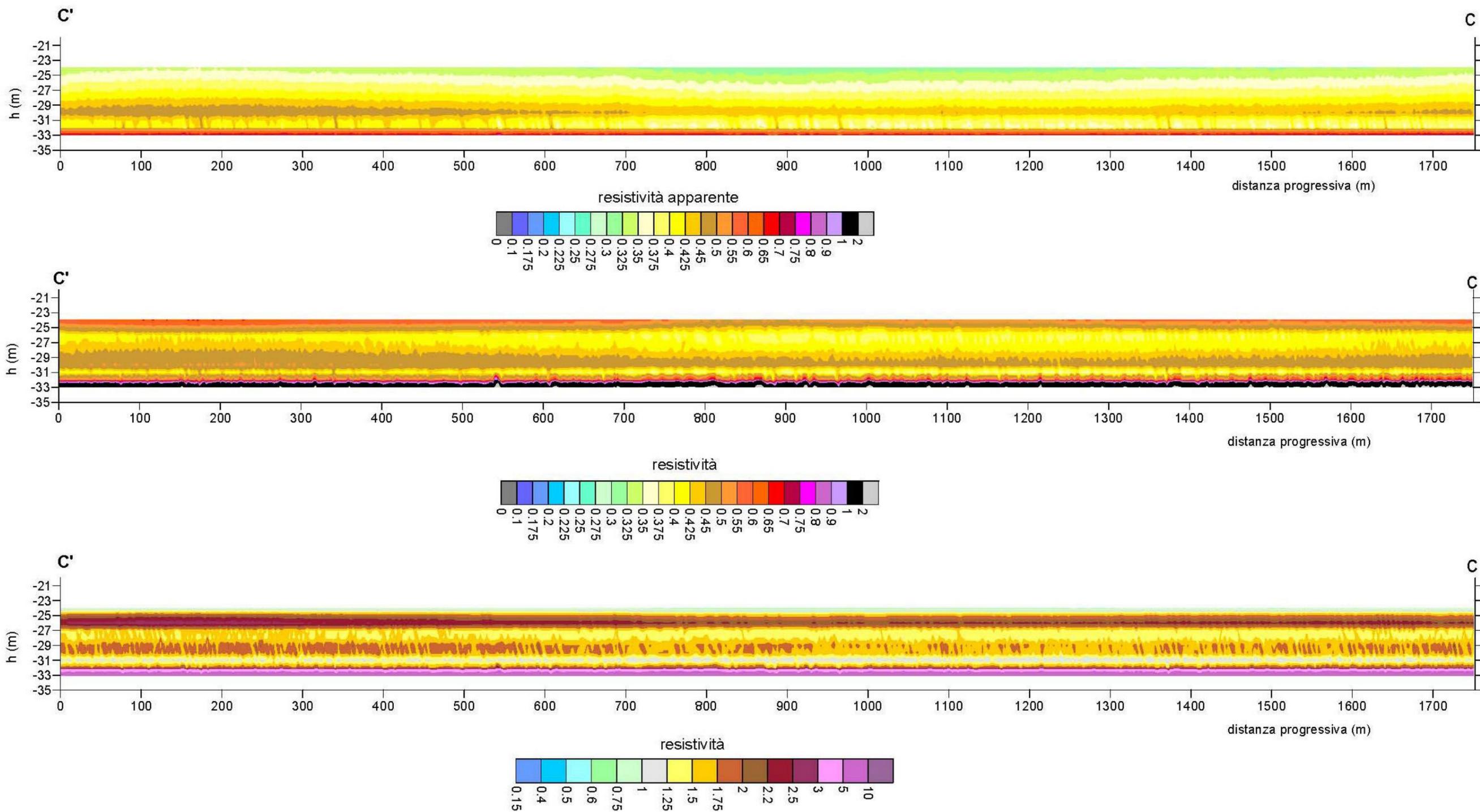
Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare

PROFILO B



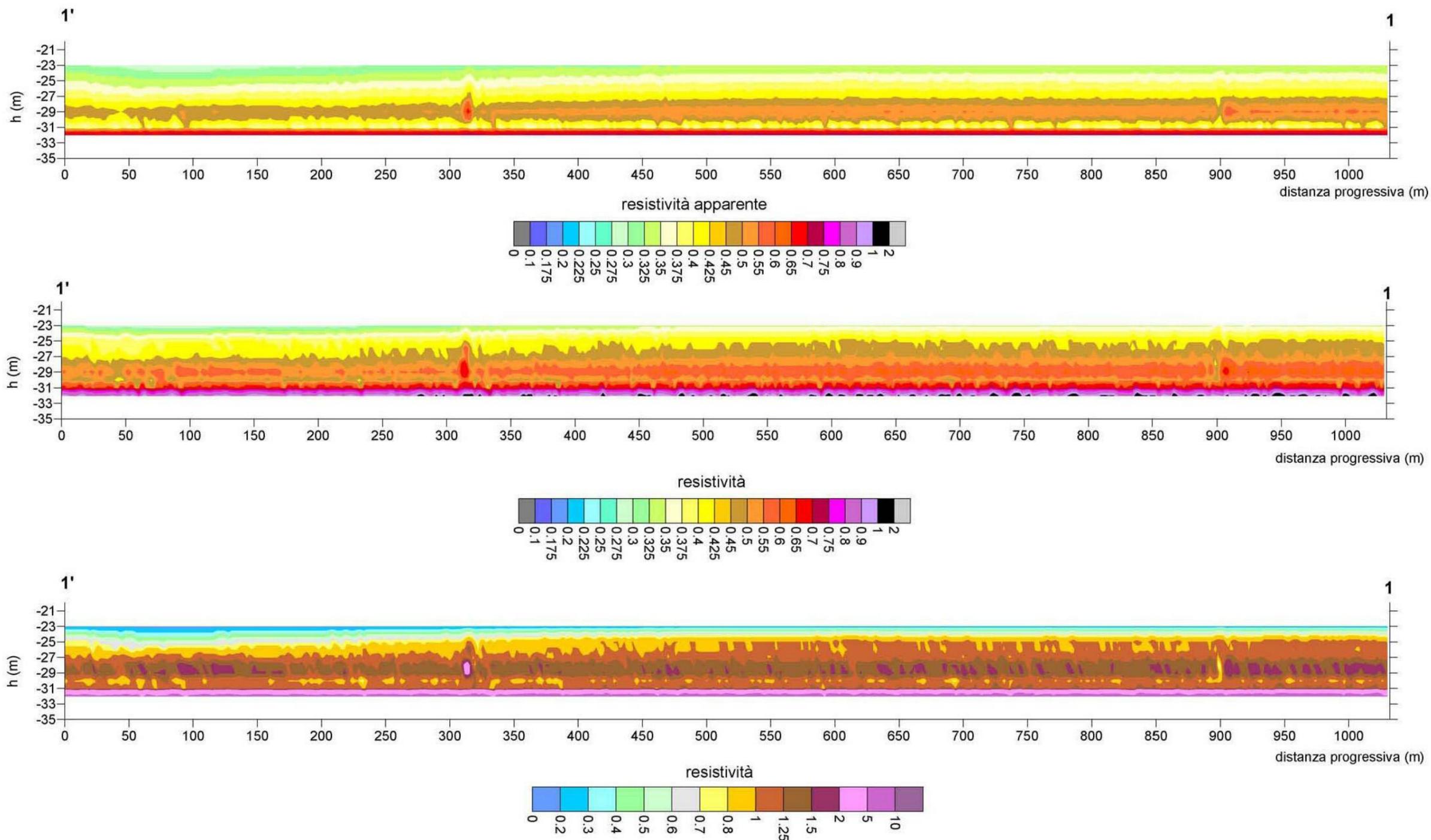
Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare

PROFILO C



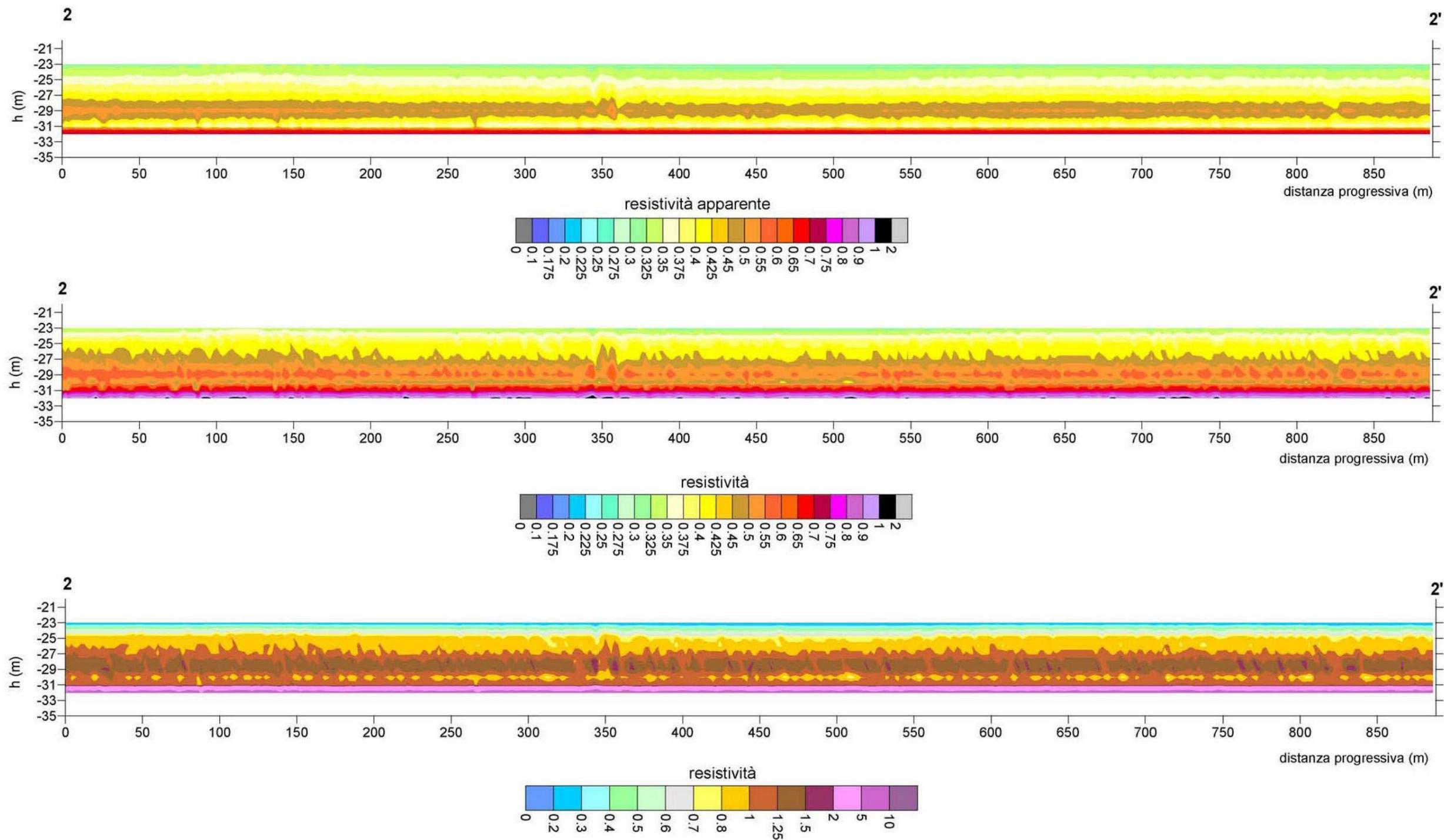
Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare

SEZIONE 1



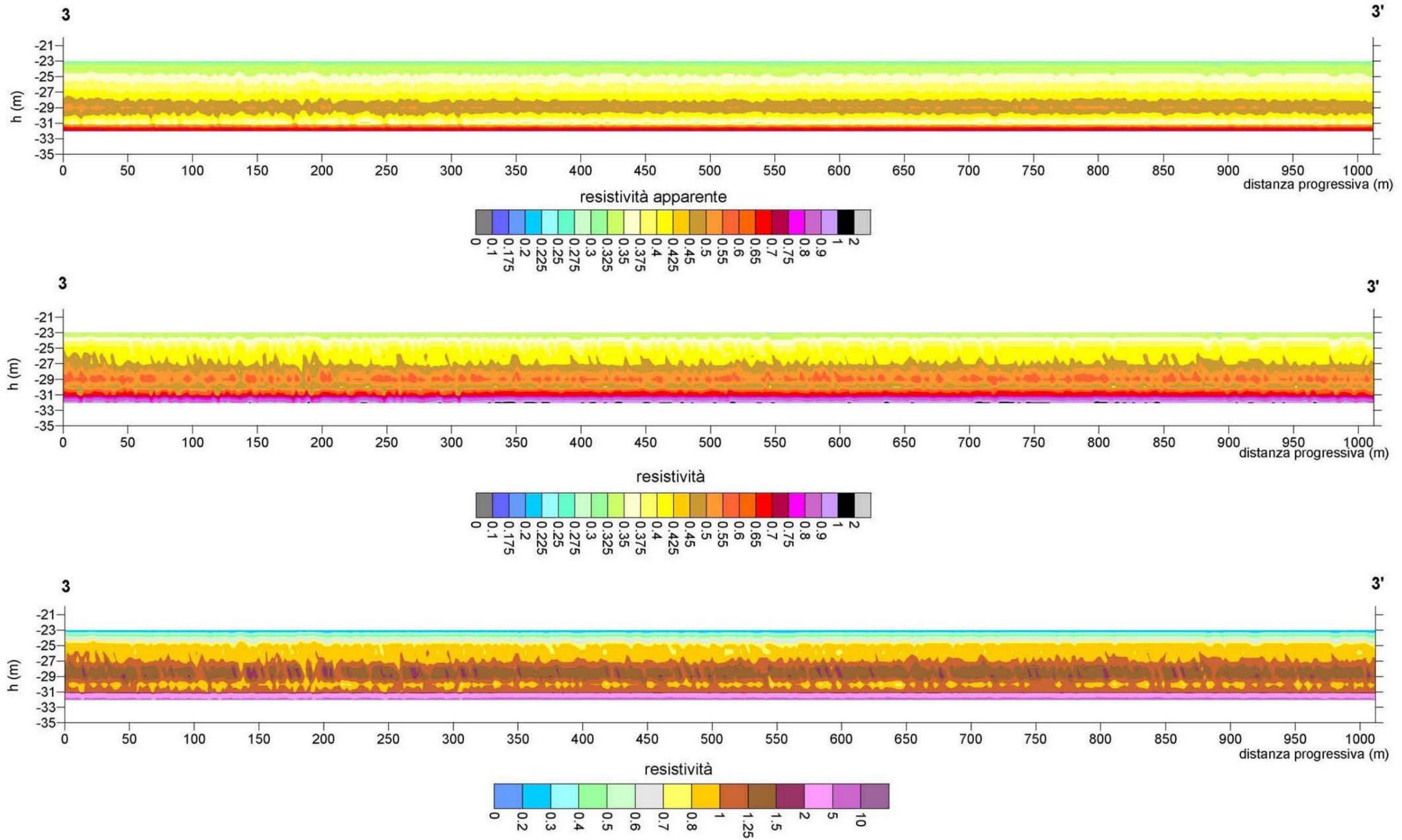
Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare

SEZIONE 2



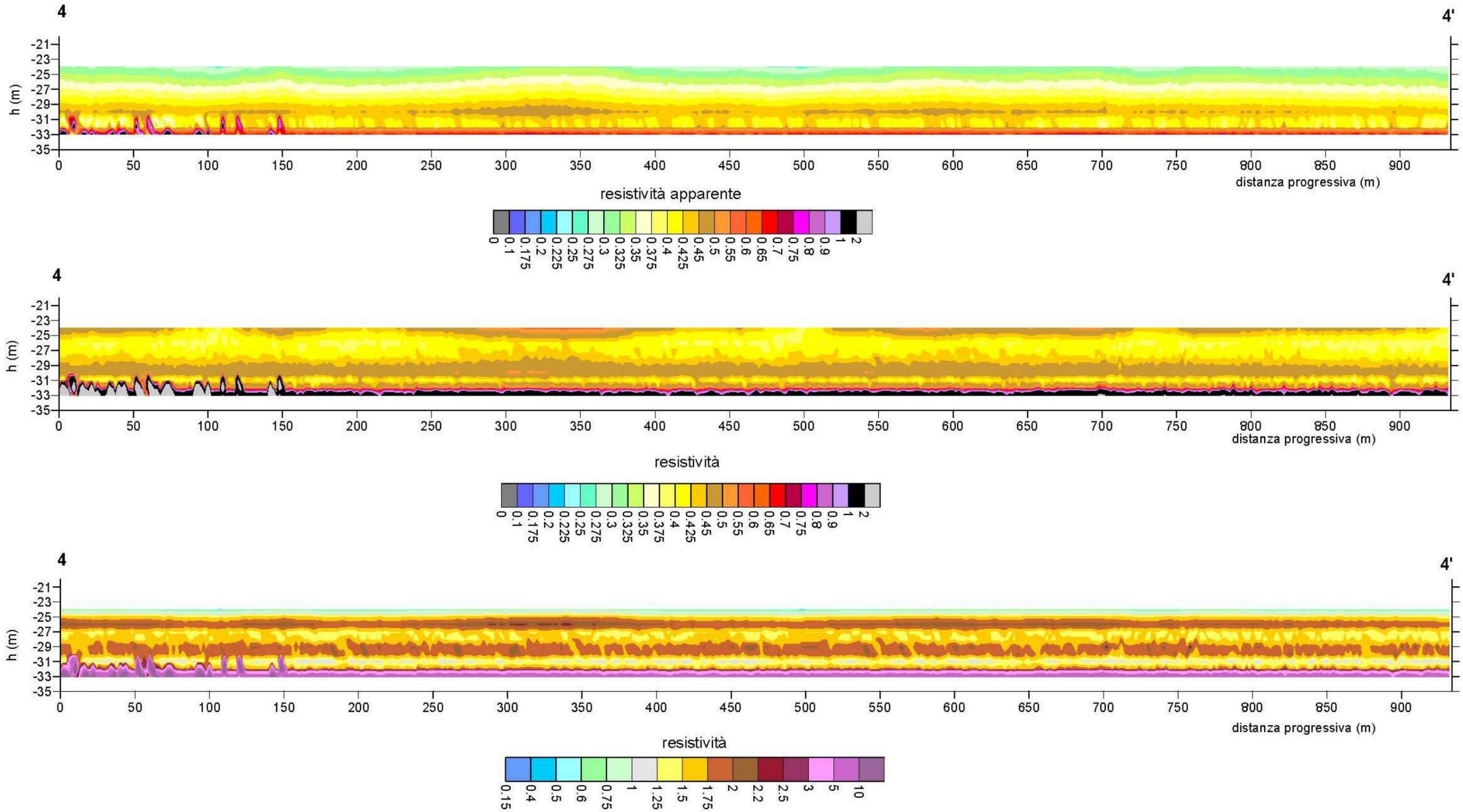
Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare

SEZIONE 3



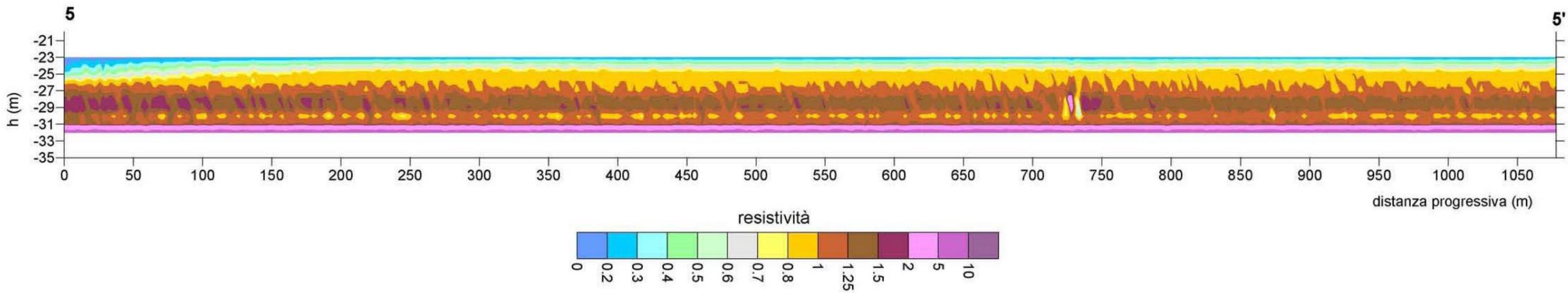
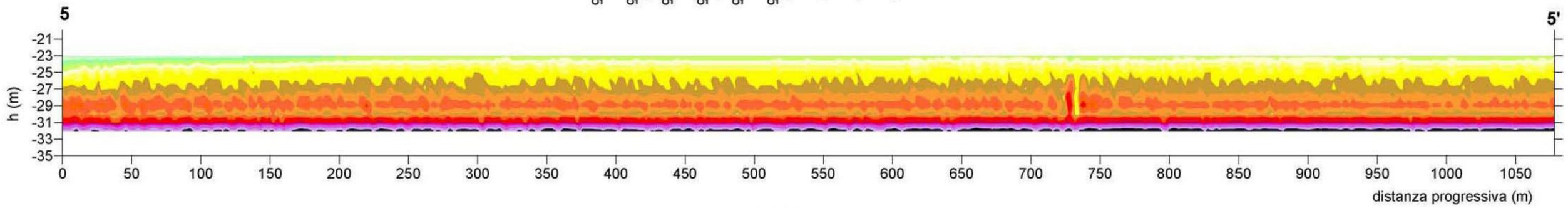
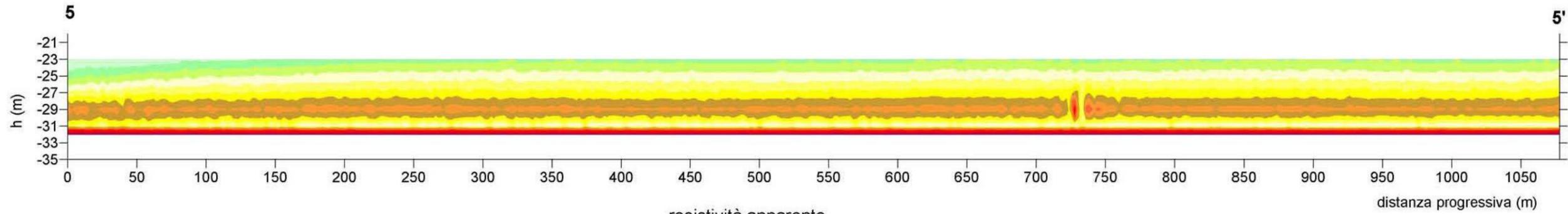
Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare

SEZIONE 4



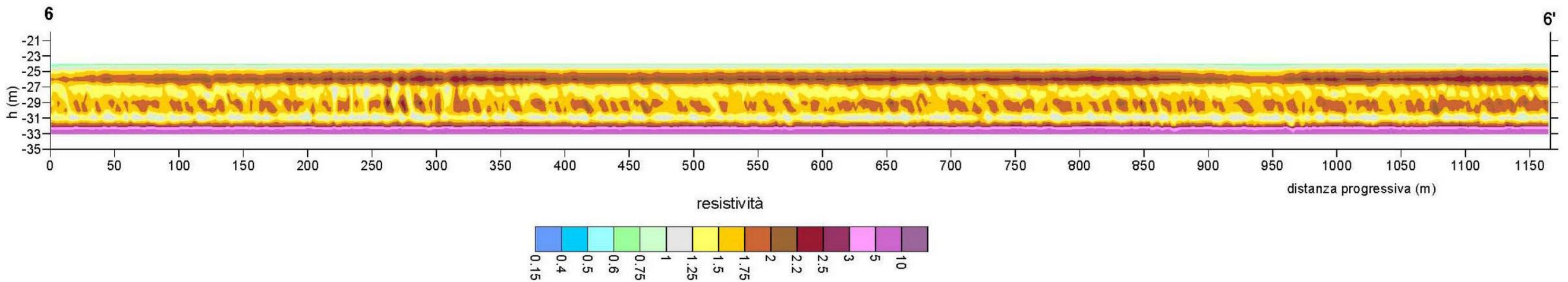
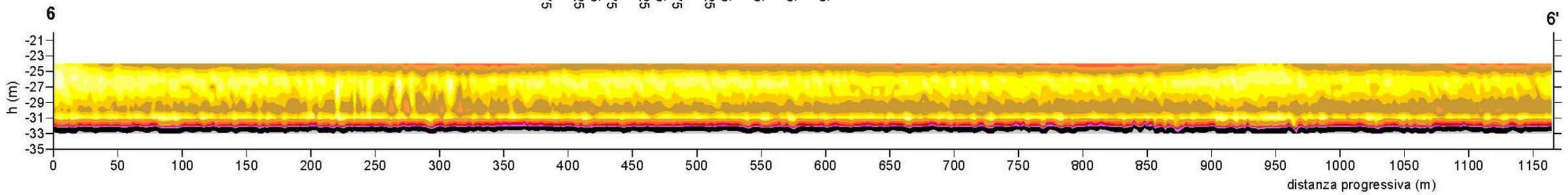
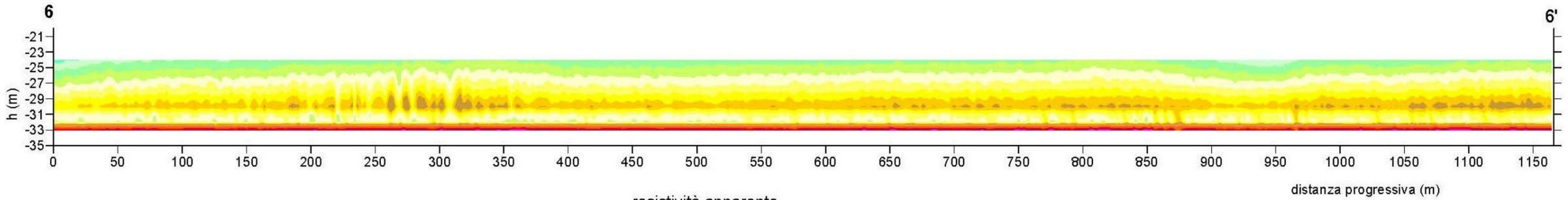
Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare

SEZIONE 5



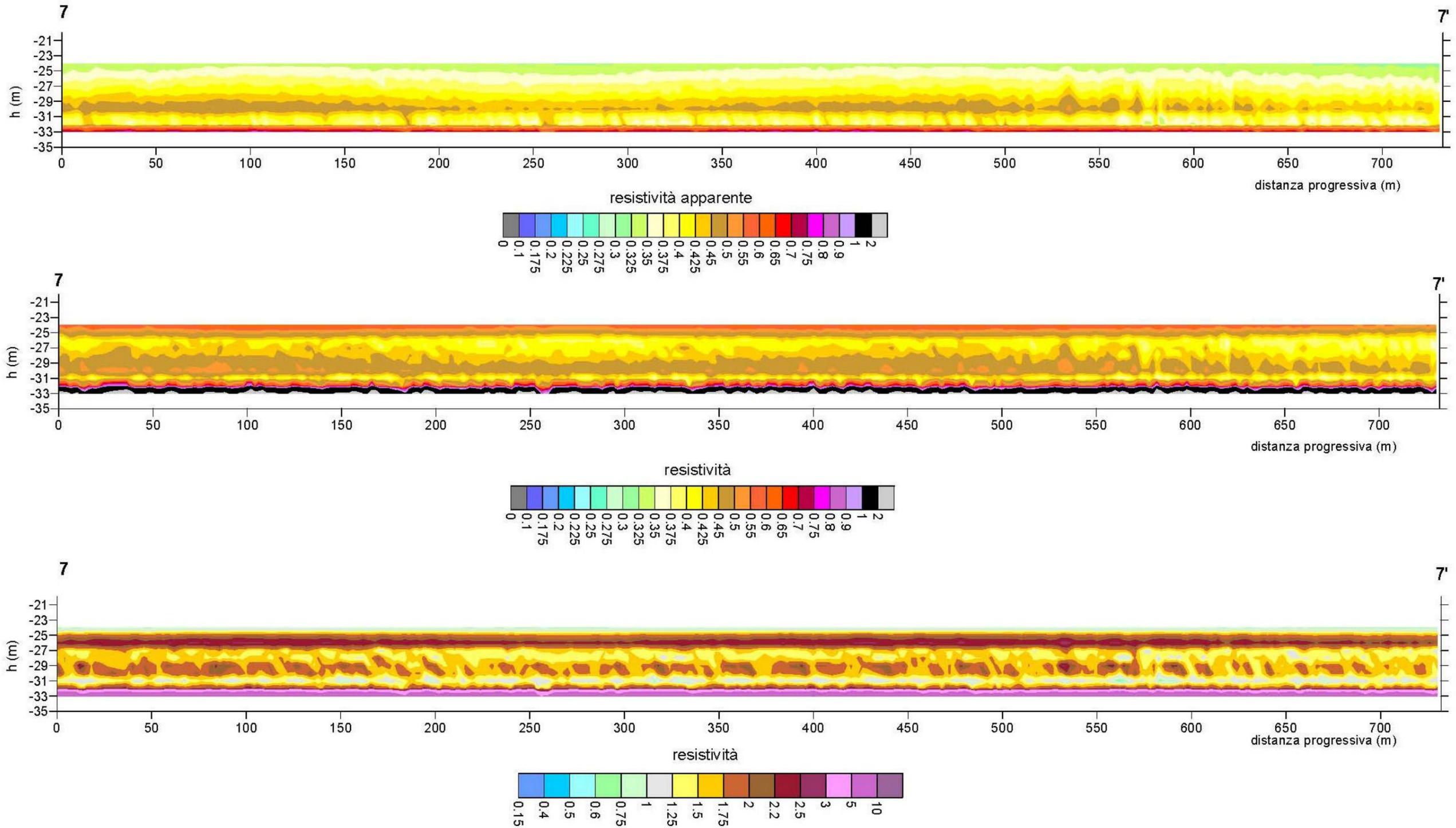
Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare

SEZIONE 6



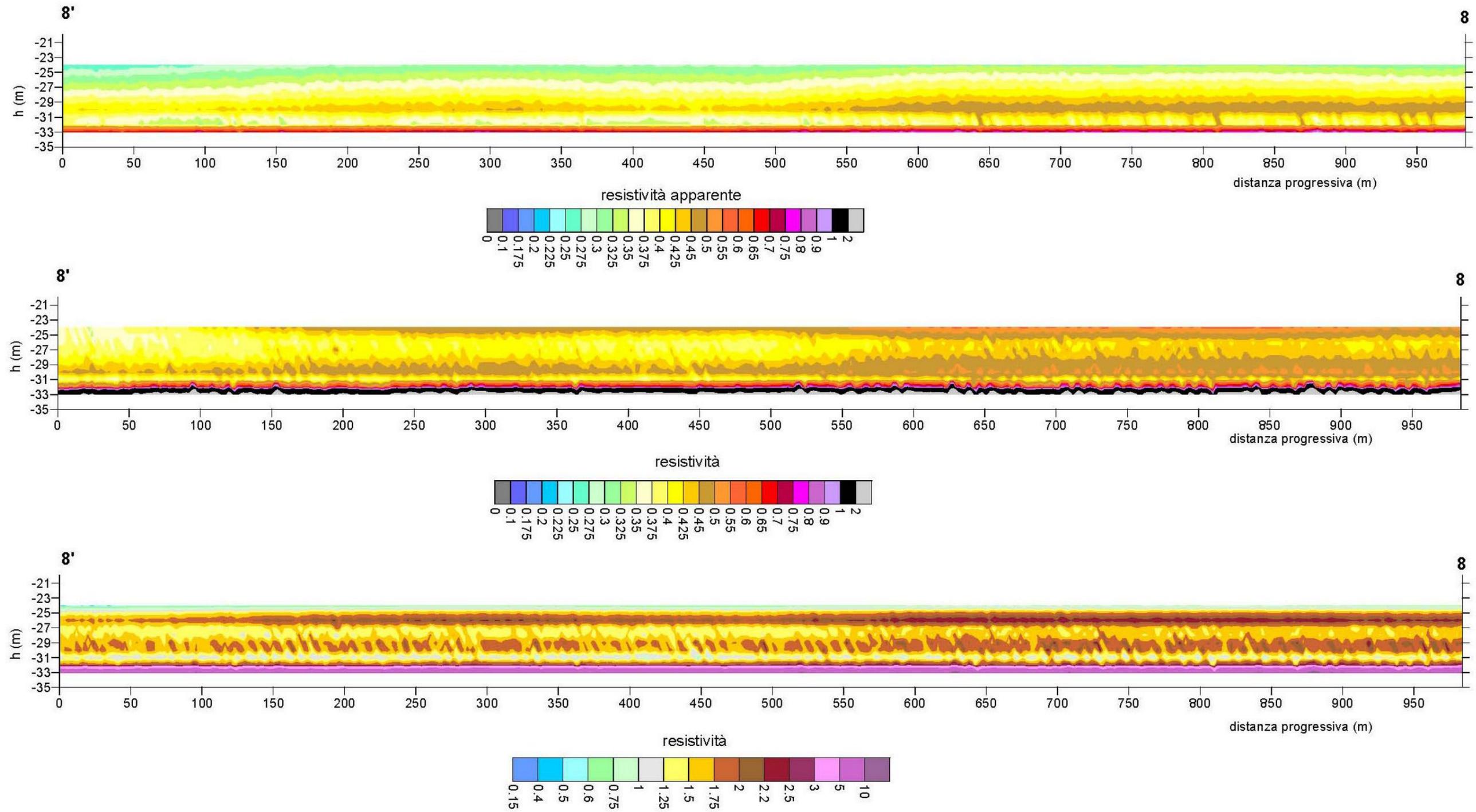
Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare

SEZIONE 7

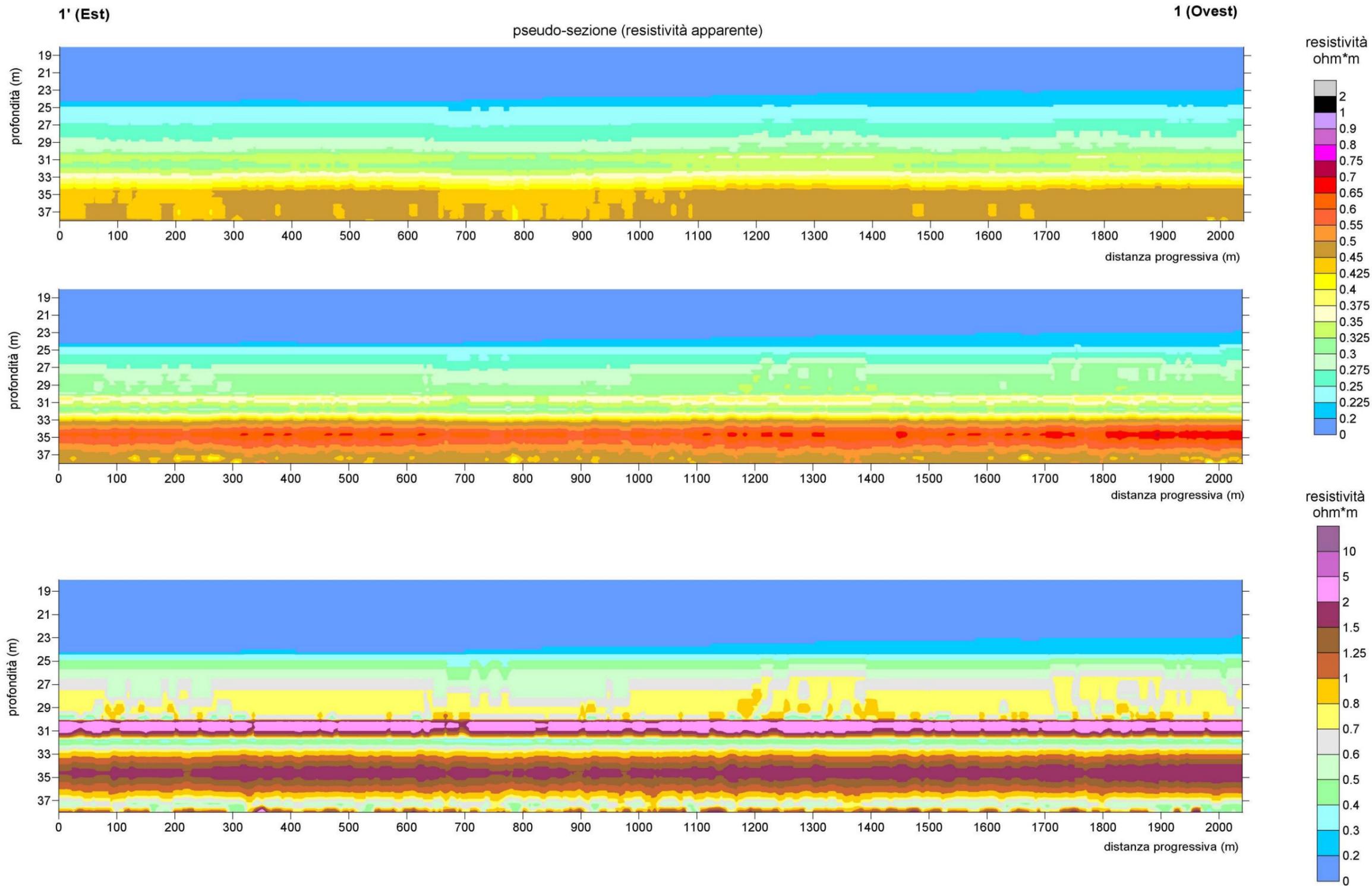


Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare

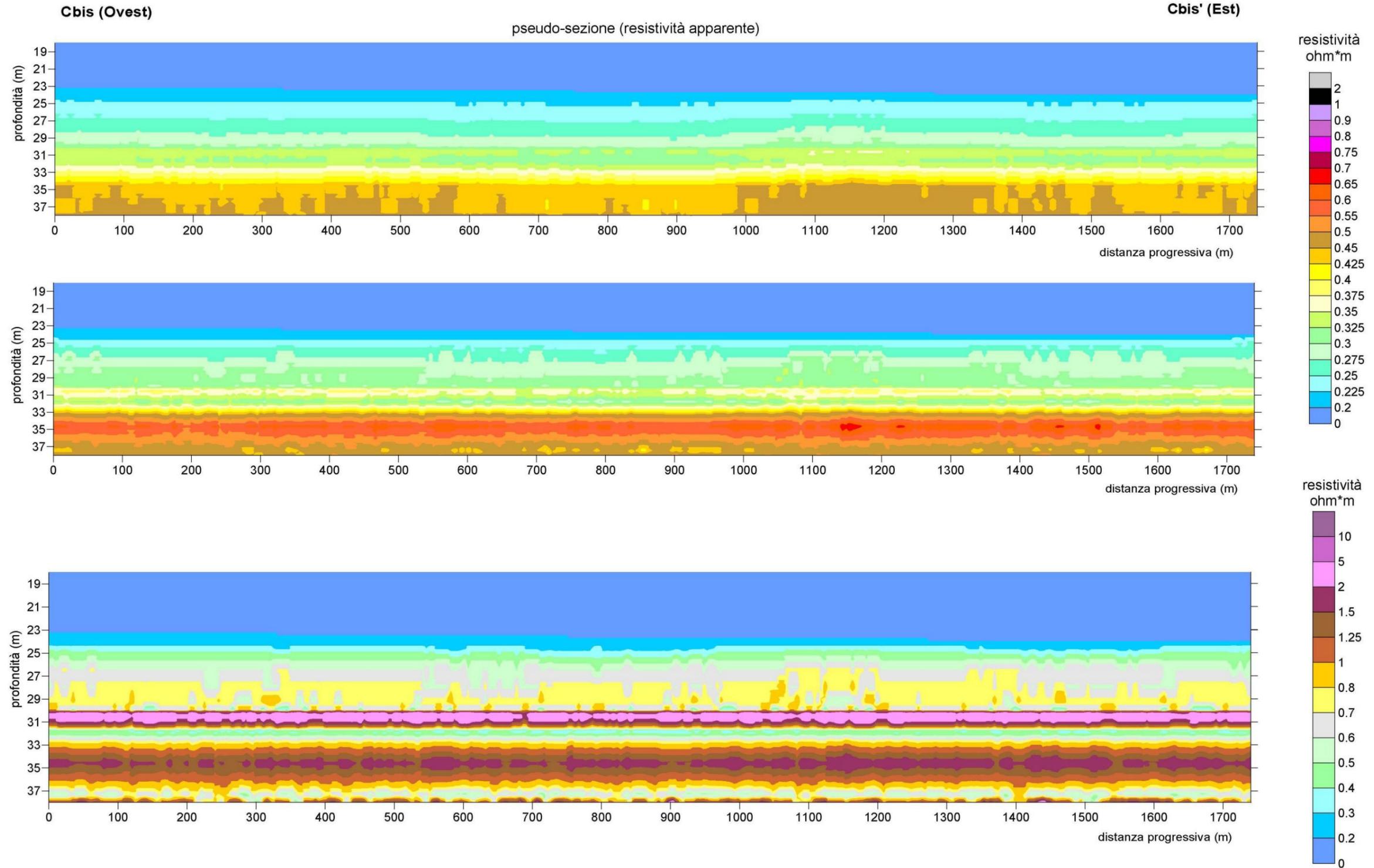
SEZIONE 8



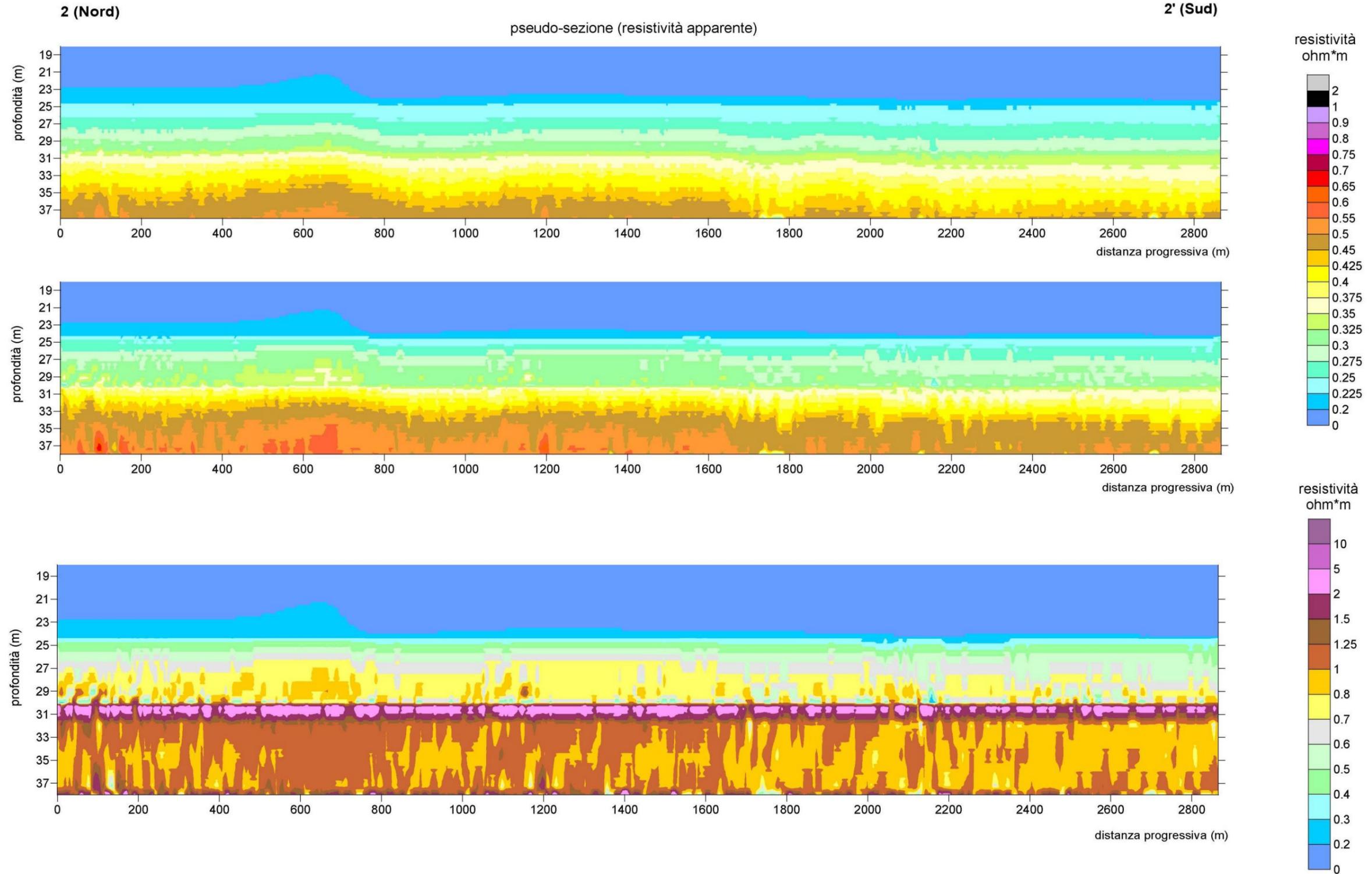
Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare  
ASSE 1



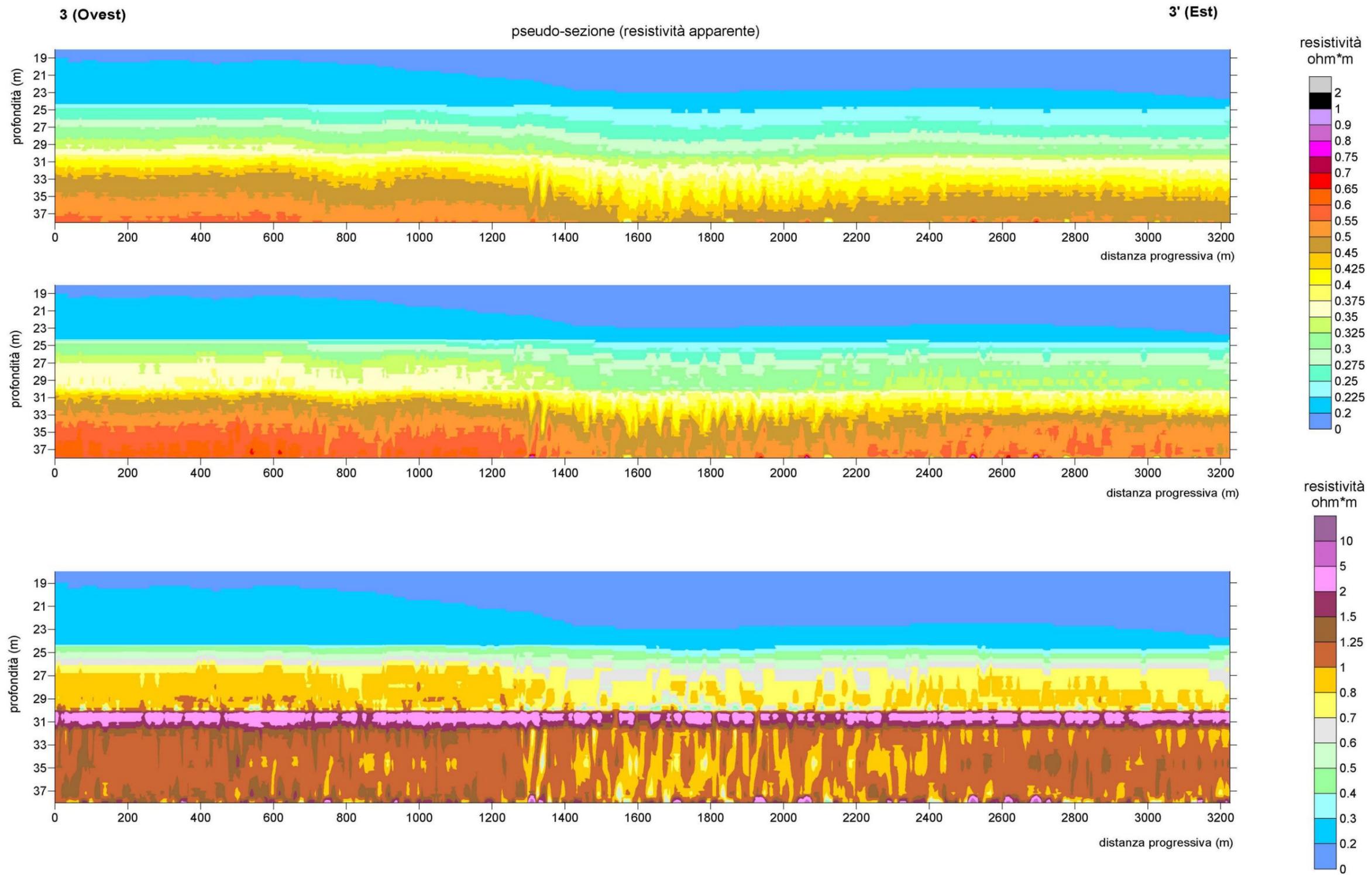
Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare  
SEZIONE Cbis



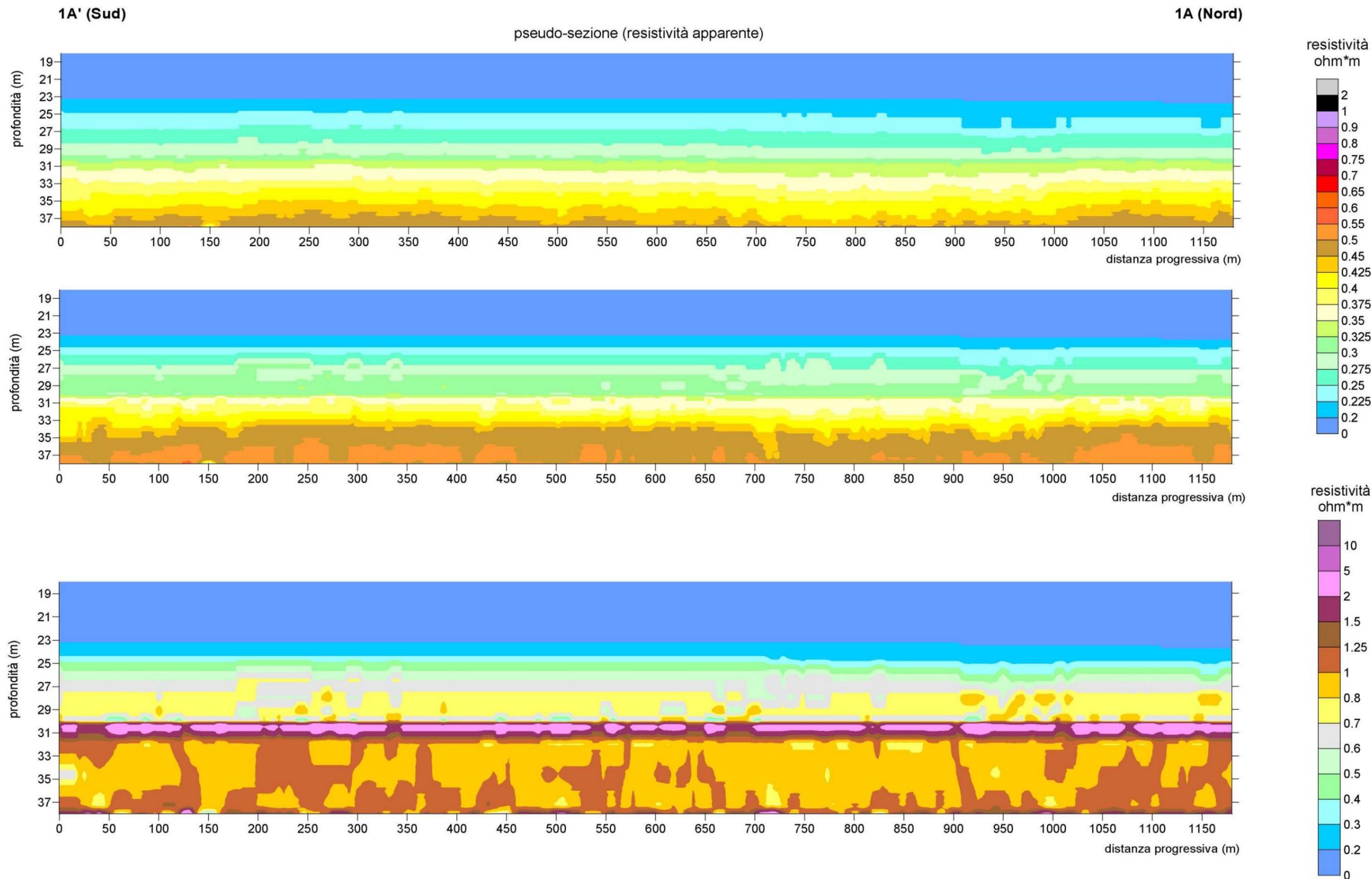
Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare  
ASSE 2



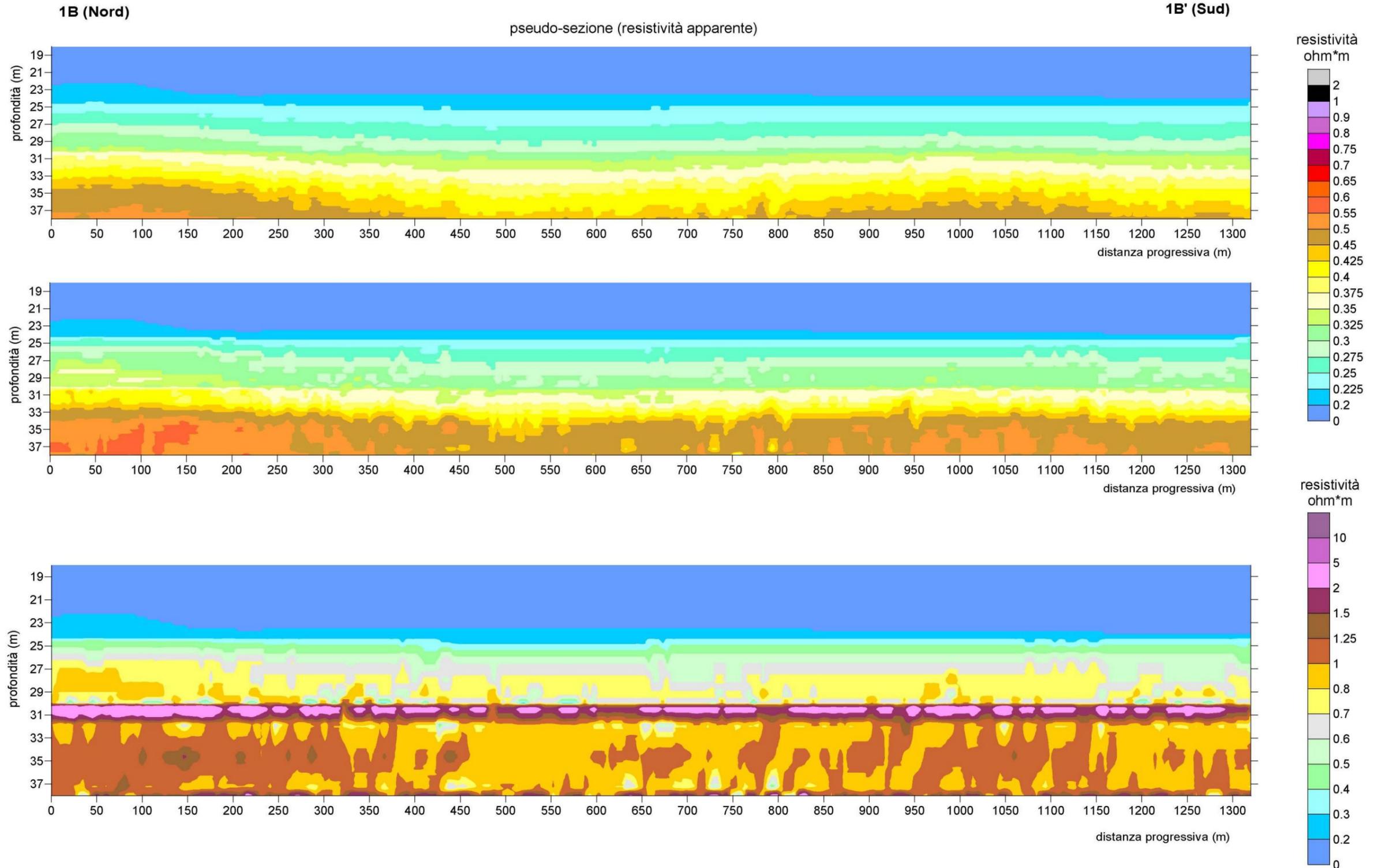
Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare  
ASSE 3



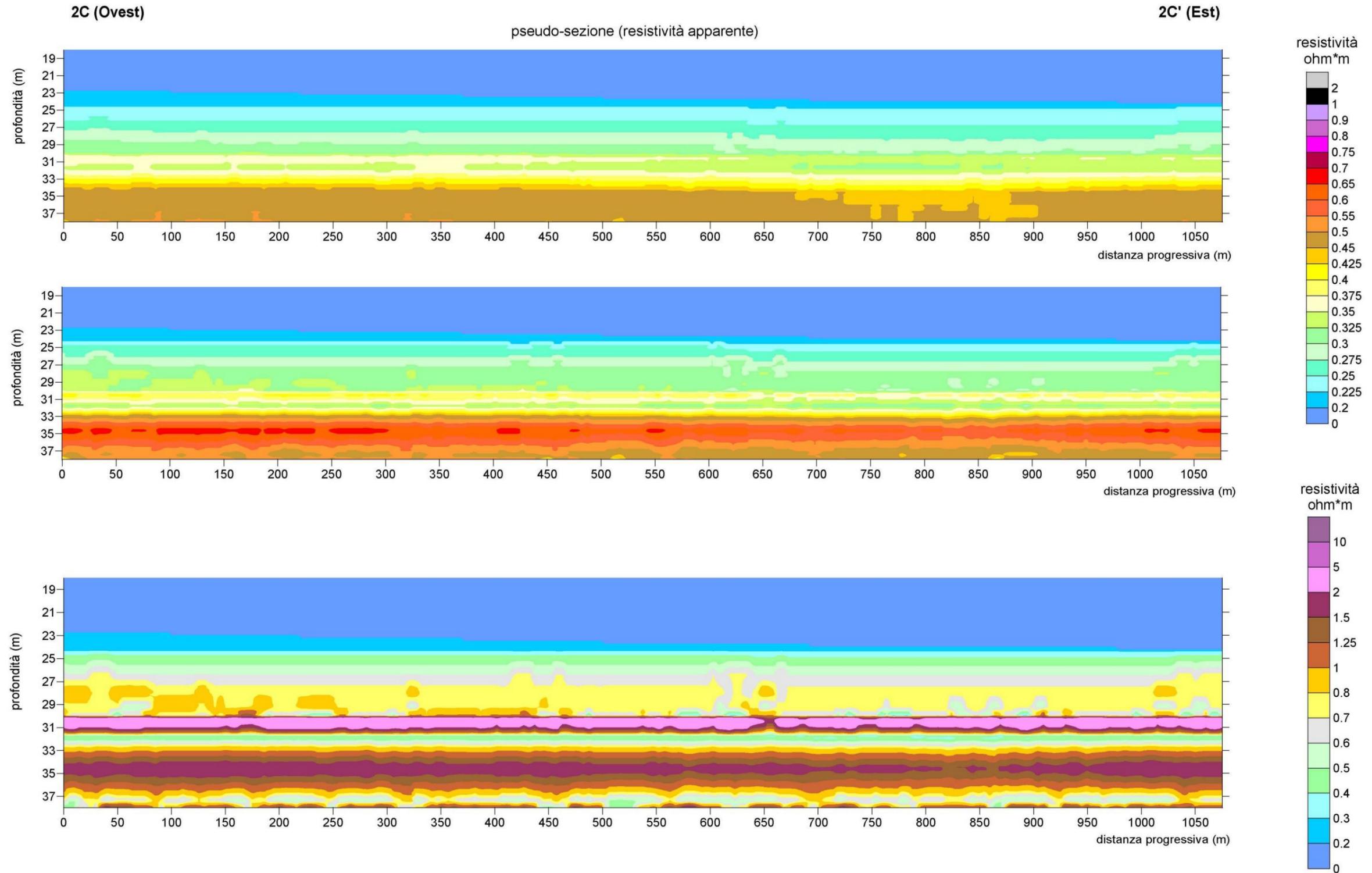
Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare  
SEZIONE 1A



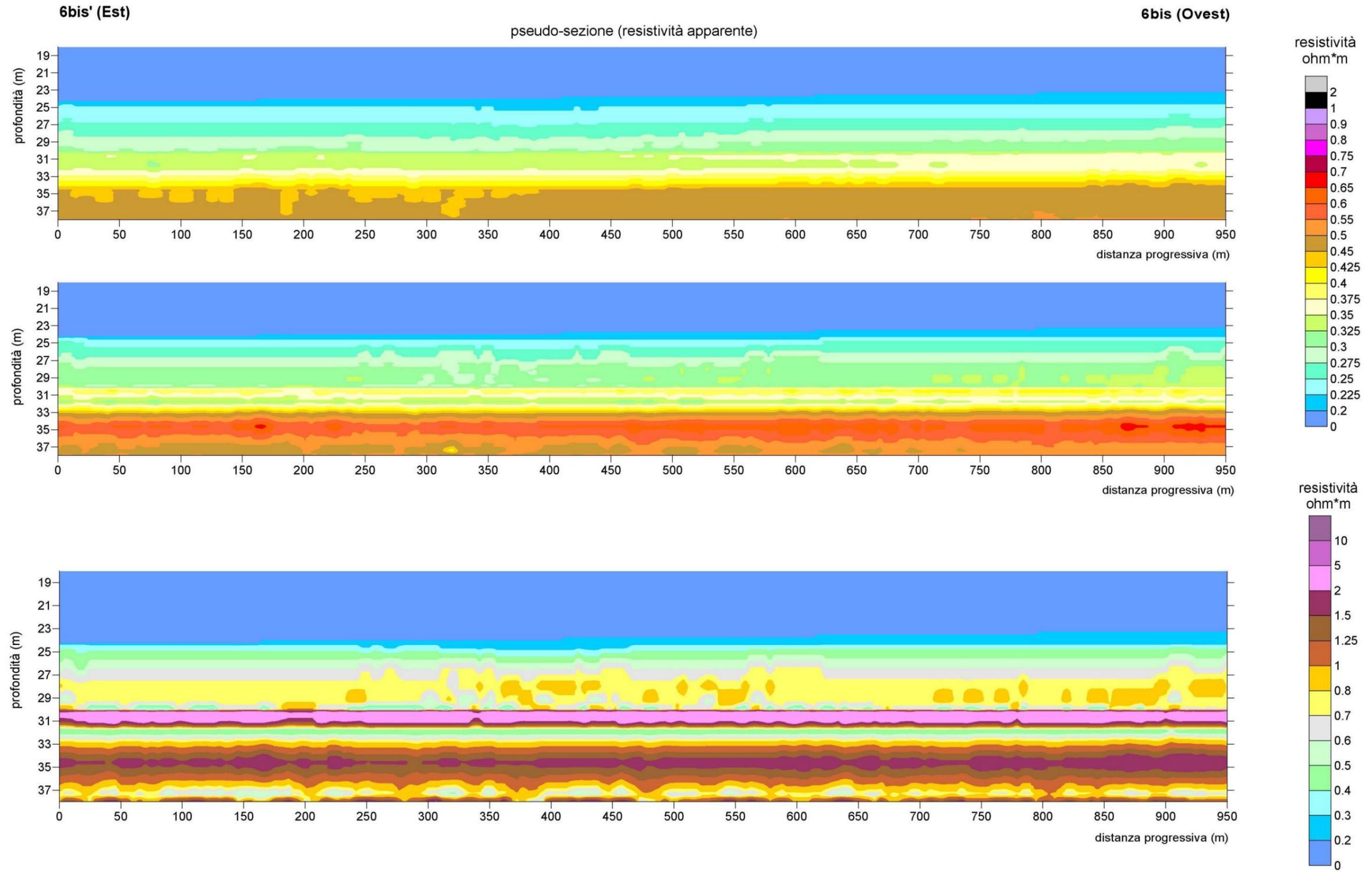
Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare  
SEZIONE 1B



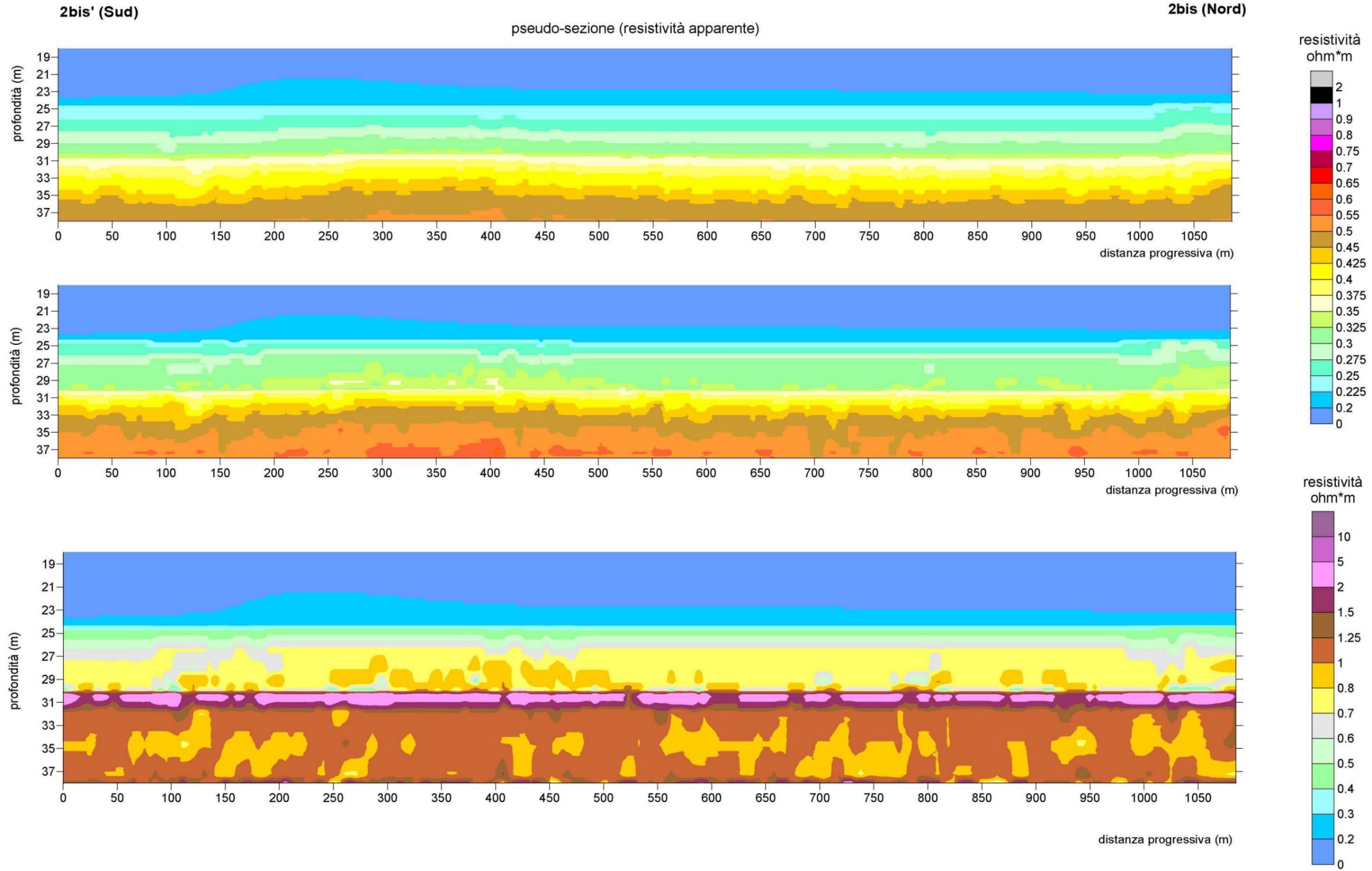
Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare  
SEZIONE 2C



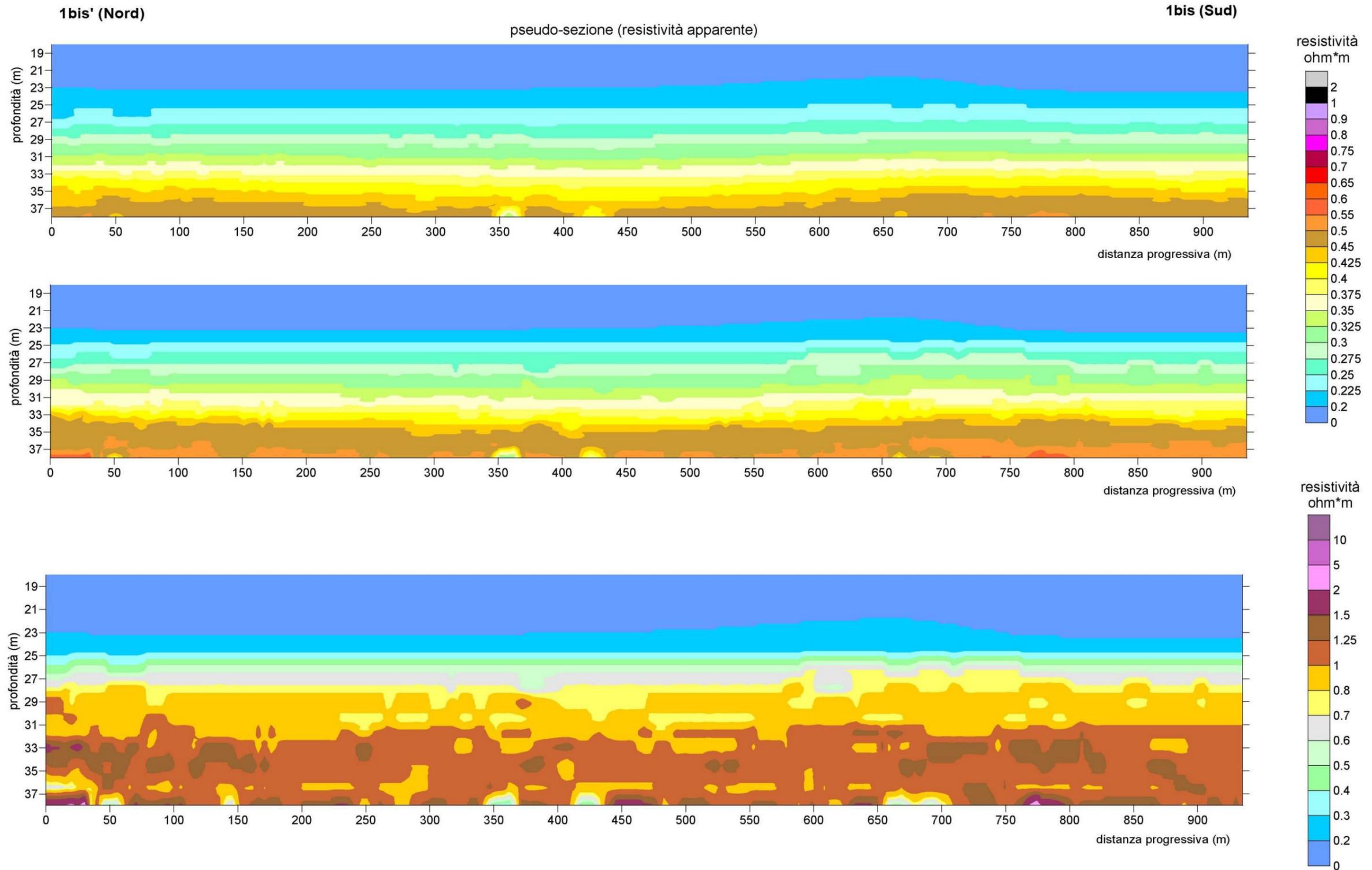
Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare  
SEZIONE 6bis



Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare  
SEZIONE 2bis



Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare  
SEZIONE 1bis



Esecuzione di sezioni tomografiche elettriche CERT (Continuous Electrical Resistivity Tomography) in mare  
SEZIONE 3D

