

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITA' REGIONE SICILIA	REL-GEO-E-03022 ALLEGATO3	
	PROGETTO / IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse		Rev. -

Rif. SAIPEM: 023113-105-SPC-LA-E-83022_r2

Rifacimento Derivazione per Porto Empedocle
DN 300 (12"), DP 24 bar
ed opere connesse

RELAZIONE GEOTECNICA

ALLEGATO 3: Indagini geognostiche indirette



RELAZIONE GEOFISICA

Data
Gennaio 2021

Committente
Saipem S.p.A.

Cantiere
Campofranco (CL)

Tipologia di lavoro
Indagine geofisica con metodologia masw, tomografia
elettrica 2D e tomografia sismica a rifrazione 2D

SaipemSpA-Campofranco-CL-MASW-T-TS.pdf

Data	Gennaio 2021
Riferimento	Comune di Campofranco (CL)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

1. Premessa

GEORES S.r.l. ha eseguito indagini geofisiche del tipo masw (Multichannel Analysis of Surface Waves), tomografia elettrica 2D e tomografia sismica 2D lungo la tratta del metanodotto in progetto "Ricoll. allacciamento Comune di Casteltermini DN 200 (8"), DP 24 bar, variante derivazione per Porto Empedocle DN 250 (10"), DP 24 bar e ricoll. Allacciamento Comune di Bompensiere DN 150 (6"), DP 24 bar".

Le indagini sono state effettuate in 8 settori lungo il tracciato, la cui ubicazione e caratteristiche sono riportati sinteticamente nella immagine di *figura 1* ed in *tabella 1*.

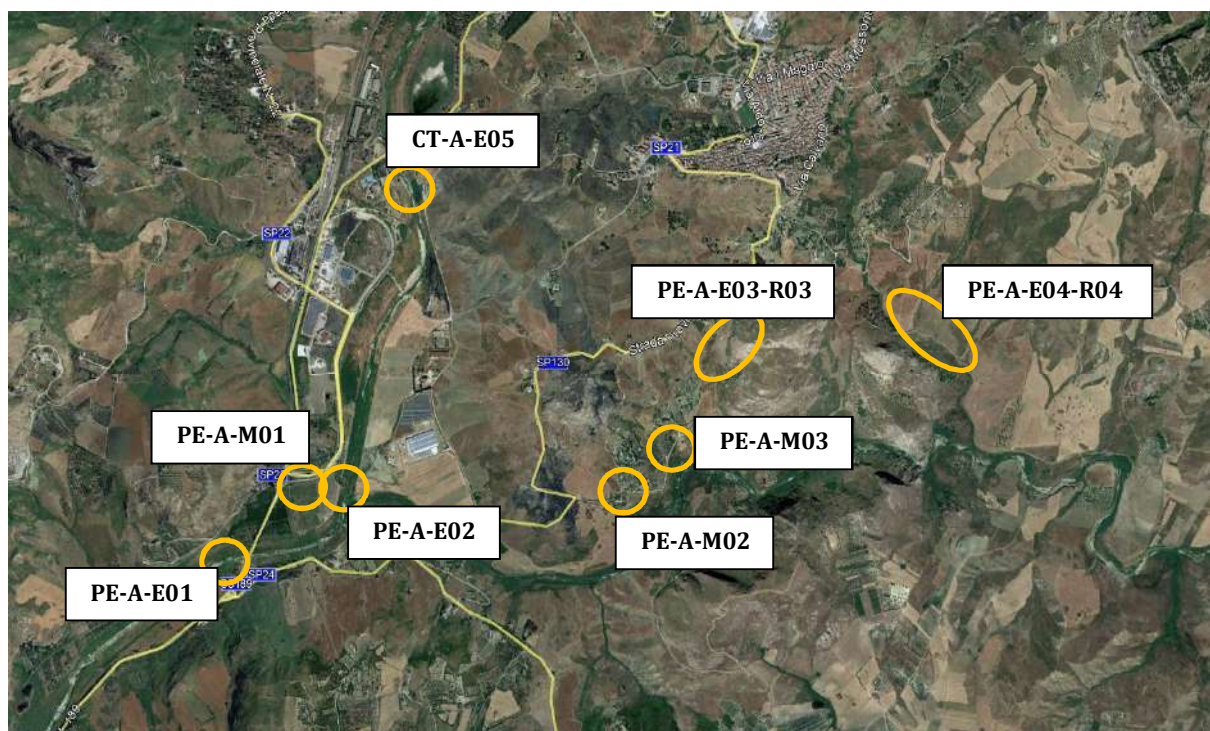


Figura 1: immagine da satellite con indicazione dei punti di realizzazione delle prove geofisiche; l'ubicazione nel dettaglio è riportata negli Annessi grafici

numero	codice	Tipologia di indagine
1	PE-A-E01	Tomografia elettrica 2D
2	PE-A-M01	Masw
3	PE-A-E02	Tomografia elettrica 2D
4	PE-A-M02	Masw
5	PE-A-M03	Masw
6	PE-A-E03/R03	Tomografia elettrica 2D/Tomografia sismica 2D
7	PE-A-E04/R04	Tomografia elettrica 2D/Tomografia sismica 2D
8	CT-A-E05	Tomografia elettrica 2D

Tabella 1: quadro riassuntivo delle indagini eseguite



Data	Gennaio 2021
Riferimento	Comune di Campofranco (CL)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

ANNESSI:

TAVOLA 1 – Risultati indagine sito PE-A-E01

TAVOLA 2 – Risultati indagine sito PE-A-E02

TAVOLA 3 – Risultati indagine sito PE-A-E03/R03

TAVOLA 4 – Risultati indagine sito PE-A-E04/R04

TAVOLA 5 – Risultati indagine sito CT-A-E05

Annesso 1: *Risultati dell'indagine geofisica del tipo masw*

Annesso 2: *documentazione fotografica*

2. ANALISI SISMICA DEL TIPO MASW

L'indagine è consistita, su ciascuno dei 3 settori indicati dalla Committenza, nella realizzazione di n.1 sezione sismica a 24 canali, consentendo la determinazione delle *Vseq* nell'area in oggetto e consentendo la definizione dell'assetto sismo-stratigrafico del sito.

Il sistema Masw consiste nel misurare le velocità delle onde superficiali a differenti frequenze, la variazione delle quali viene chiamata dispersione, dovuta alla stratificazione delle velocità delle onde S nella determinazione dello spettro di velocità. Grazie ad un metodo di inversione della curva di dispersione con software *winMASW 2018 Professional*, le misure permettono di determinare il profilo verticale delle *Vseq* che rappresenta un valore medio della velocità delle onde S entro i litotipi di copertura. Lo strumento è composto da una sorgente di onde sismiche, da 24 geofoni posti a distanza di 3.0 m, con frequenza 4,5 Hz, per la misurazione dell'intensità e dei tempi di arrivo del treno di onde, e da un dispositivo hardware di registrazione dei dati. La sorgente delle onde sismiche è costituita dall'impatto di un martello di 10 kg su una piastra posizionata perpendicolarmente al terreno, in grado di generare un treno di onde sismiche, i cui tempi di arrivo e l'intensità delle stesse vengono registrate dai geofoni ed inviate al sismografo centrale di acquisizione. L'energizzazione è stata realizzata alla distanza di 5 metri dal primo geofono (è stata eseguita sia da un lato che dall'altro dello stendimento). Si eseguono diverse energizzazioni e si misura l'attenuazione del segnale sismico lungo la stesa. I risultati della prova consistono in una curva di dispersione ed in uno spettro di velocità, con un profilo verticale delle onde S.

Per l'acquisizione dei sismogrammi è stato utilizzato un **Sismografo DAQLINK 3 Seismic Source 24 bit**, 24 geofoni a 4.5Hz, mazza da 10 Kg.

Data	Gennaio 2021
Riferimento	Comune di Campofranco (CL)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

SISMOGRAFO DAQLINK III – CARATTERISTICHE TECNICHE



Sismografo compatto a 24 bit, numero di canali per modulo da 3 a 24, ampio range dinamico 144db, output dei dati in SEG-Y, SEG-2 o ASCII, possibilità di scaricare i dati in modalità wireless e opzione per test dei geofoni ed accelerometri. Lunghezza di registrazione : fino a 4 mld di campioni. Intervalli di campionamento: 0.0208, 0.0625, 0.125, 0.250, 0.500, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00 ms.

Figura 2: sismografo Daqlink III

L'elaborazione dei dati con il metodo MASW prevede varie fasi di lavoro tra cui il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) e l'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s ; ciò si ottiene modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e il coefficiente di Poisson, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato. Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali sono stati individuati con procedura manuale, assegnando il numero di strati del modello e il coefficiente di Poisson e variando lo spessore h e la velocità V_s degli strati.

Si sottolinea che le analisi del tipo MASW, determinando valori delle V_{seq} ricavati lungo uno stendimento di lunghezza di circa 69 metri, possono mediare eventuali variazioni laterali delle stratigrafie.

I dati derivati dalla elaborazione delle prove masw consentono la classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

La classificazione del sottosuolo si effettua infatti in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V_{Seq} (in m/s), definita dalla seguente espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

in cui:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.



Data	Gennaio 2021
Riferimento	Comune di Campofranco (CL)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VS_{eq} è definita dal parametro VS_{30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Si riportano in "Annesso 1" i singoli rapporti di prova delle masw elaborate, per ciascun sito, con relativa ubicazione in pianta, dati di output e risultati ottenuti (sismo-stratigrafia e categoria di sottosuolo).

3. TOMOGRAFIA ELETTRICA 2D

3.1 Premessa

L'indagine geoelettrica è stata realizzata nei siti PE-A-E01, PE-A-E02, PE-A-E03, PE-A-E04 E CT-A-E05. Le relative planimetrie ubicative sono riportate nelle tavole allegate (tavola da 01 a 05).

La tecnica della tomografia elettrica si presenta molto vantaggiosa per l'identificazione di variazioni dei terreni legate alle caratteristiche litologiche e stratigrafiche (composizione granulometrica, presenza di falda/terreni umidi, diverso contenuto d'acqua ecc...). Nei siti PE-A-E03, PE-A-E04 è stata effettuata una analisi congiunta tomografia elettrica/tomografia sismica a rifrazione; l'indagine "a rifrazione" consente più dettagliatamente di analizzare le caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi presenti in successione (orizzonti più o meno compatti, individuazione di coltri di alterazione, distinzione tra i litotipi di copertura e quelli di substrato ecc...).

3.2 Metodologia geoelettrica

La resistività elettrica è una delle proprietà fisiche più utilizzate per l'esplorazione del sottosuolo, grazie soprattutto all'elevato intervallo di valori che essa può assumere al variare della natura dei corpi investigati. Il metodo geoelettrico si basa sulla misura tra due elettrodi, detti convenzionalmente MN, della differenza di potenziale ΔV associata alla distribuzione nel sottosuolo di una corrente elettrica I immessa in una diversa coppia di elettrodi, detti AB. Si dimostra che si ottiene un valore di resistività apparente:

$$(\Omega \text{ m}) \rho_a = K (V/I)$$

che è funzione, oltre che della posizione reciproca dei 4 elettrodi anzidetti (dipendenza contenuta nel parametro K , detto fattore geometrico), della distribuzione della resistività elettrica dei sedimenti nel sottosuolo interessato dalla propagazione della corrente I .

I dati acquisiti devono essere opportunamente «interpretati» al fine di ottenere dall'insieme dei valori di ρ_a , un modello realistico dell'effettiva distribuzione delle resistività elettriche reali nel sottosuolo indagato. Da questa distribuzione, con opportune tarature e/o in base alle conoscenze geo-litologiche, il modello geofisico viene trasformato in modello geo-litologico. Spostando e



Data	Gennaio 2021
Riferimento	Comune di Campofranco (CL)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

distanziando gli elettrodi lungo un profilo secondo una sequenza pre-programmata ed automatica, si possono investigare lateralmente ed in profondità le variazioni di resistività apparente ottenendo una sezione di resistività apparente che evidenzia le discontinuità laterali della resistività elettrica reale del sottosuolo. In ogni caso l'informazione ottenuta è una resistività apparente, funzione della distribuzione delle resistività elettriche vere all'interno del corpo e della disposizione reciproca degli elettrodi del quadripolo. Solo un opportuno processo di «inversione» o, in termini più semplici, di interpretazione di tali dati restituisce il più probabile modello di distribuzione delle resistività elettriche reali all'interno del corpo investigato. La cosiddetta «tomografia elettrica» è per l'appunto quella metodologia che permette di acquisire informazioni in simultanea dipendenza sia della profondità che della distanza orizzontale e di interpretarle mediante un processo di inversione dei dati che permette di ricostruire le reali geometrie del sottosuolo.

3.3 Metodologia utilizzata nell'indagine

Il sistema dei profili elettrici superficiali con dispositivo multi-array per Tomografia Elettrica di Resistività è una metodologia innovativa in quanto evoluzione delle misure geoelettriche classiche, intesa ed applicata in modo tale da ottenere risoluzioni spaziali elevate. Il sistema permette di ricostruire la distribuzione in due dimensioni della resistività reale nel sottosuolo con una risoluzione che dipende dalla distanza tra gli elettrodi.

Tutti gli elettrodi sono collegati, mediante un apposito cavo multi-conduttore, allo strumento di acquisizione. La corrente viene applicata ad una coppia di elettrodi misurando poi la differenza di potenziale tra tutte le altre coppie di elettrodi disponibili nella configurazione scelta. Si passa poi ad una seconda coppia di trasmissione e così via fino a raggiungere il numero massimo di misure indipendenti sui poli e dipoli disponibili. Si ottengono così centinaia di misure per ciascuna sezione di interesse e, con un apposito algoritmo di inversione, è possibile ricostruire la distribuzione bidimensionale di resistività reale del sottosuolo (*figura 3*).



Figura 3: georesistivimetro IRIS SYSCAL PRO; immagini modalità operative tomografia elettrica 2D eseguita in sito



Data	Gennaio 2021
Riferimento	Comune di Campofranco (CL)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

Nel caso di specie, sono stati eseguiti degli stendimenti con passo interelettrodico 5.0 m utilizzando degli array del tipo "dipolo-dipolo" e "wenner".

Le misure sono state interpretate mediante uno specifico software dedicato (RES2D INV) capace di ricostruire la distribuzione di resistività reale in due dimensioni legata alle caratteristiche geologico stratigrafiche, idrogeologiche e strutturali di ciascun sito indagato.

Si sono utilizzati, per la corretta modellazione degli stendimenti lungo il tracciato di progetto del metanodotto, i dati topografici ricavati attraverso strumentazione GPS.

3.4 Strumentazione utilizzata

Lo strumento di acquisizione utilizzato, il georesistivimetro multielettrodo multicanale IRIS SYSCAL PRO, è capace di gestire contemporaneamente oltre 256 elettrodi e di personalizzare, tramite specifico software applicativo, tutte le misure desiderate e la loro posizione nel sottosuolo. Questo strumento ha una precisione strumentale di circa 0,5% ed utilizza una alimentazione in corrente continua fino a 2,5 A.

Caratteristiche tecniche:

Iris SYSCAL Pro acquisition unit

- 10 canali di acquisizione
- Voltaggio utilizzato per l'indagine: 400 V
- Durata immissione corrente: 500 ms
- Cavi multipolari schermati ad alta sensibilità (multicore cables)
- 48 elettrodi di misura
- passo interelettrodico utilizzato: 5 metri
- array: Dipolo-dipolo/Wenner

Software di processing:

- RES 2D INV Geotomo®

3.5 Rappresentazione dei risultati

Il risultato dell'indagine è rappresentato da profili di resistività in cui sono riportati i valori acquisiti dallo strumento, attraverso una scala colorimetrica del tipo logaritmico:

- ✓ con i colori *blu*, *azzurro*, *verde* e *giallo* sono indicati i settori a bassa o media resistività (litologie conduttive possono essere considerate, ad es., le argille, i depositi argilloso-marnosi, le coperture in granulometria fine e media, o anche depositi saturi).
- ✓ con i colori *arancione* e *rosso* sono indicati i settori a più elevata resistività (litologie resiste sono invece generalmente quelle arenacee, evaporitiche, calcaree, dolomitiche ecc...).



Data	Gennaio 2021
Riferimento	Comune di Campofranco (CL)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

Nella tabella 2, di seguito riportata, sono indicati i valori indicativi di resistività (ohm-m) tipici di alcuni litotipi.

LITOTIPO	ρ (Ω m)	ϕ (%)
Acqua	10÷100	-
Acqua di mare	2÷3	-
Arenarie	200÷5000	7÷30
Argille	1÷50	40÷70
Calcari	300÷10000	2÷30
Detrito alluvionale	50÷1000	15÷60
Dolomie	500÷10000	2÷20
Sabbie e Ghiaie	70÷700	30÷60
Graniti	1000÷20000	0.2÷0.8
Marne	100÷500	8÷15
Piroclastiti	50÷600	15÷60
Rocce ignee	100÷10000	30÷10
Suolo di copertura	10÷200	60÷90
Tufi	150÷900	10÷40

Tabella 2 (in sinistra) – Valori indicativi di resistività (Ohm-m) di alcuni litotipi; Tabella 2 (in destra) – Valori indicativi di resistività (Ohm-m) e di porosità (%) di alcuni litotipi.

4. Tomografia sismica 2D

4.1 Premessa

L'indagine di tomografia sismica 2D è stata realizzata nei siti PE-A-R03, PE-A-R04. Le relative planimetrie ubicative sono riportate nelle tavole allegate (tavole 03 e 04).

La tomografia sismica a rifrazione consente, più dettagliatamente rispetto alla tomografia elettrica, di stimare le proprietà fisico-meccaniche dei depositi presenti in successione (orizzonti più o meno compatti, individuazione di coltri di alterazione, distinzione tra i litotipi di copertura e quelli di substrato ecc...).

4.2 Metodologia della prospezione sismica a rifrazione

Le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo, per cui nella prospezione sismica a rifrazione, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione") per determinare spessori e andamento dei livelli presenti. La tecnica di indagine consiste nel generare un'onda sismica di compressione attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da detta onda a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino ai sensori di rilevazione (geofoni) secondo le leggi di rifrazione dell'ottica (Legge di Snell), nel rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente. La rifrazione si basa sull'analisi,



Data	Gennaio 2021
Riferimento	Comune di Campofranco (CL)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

secondo diversi modelli, dei primi arrivi rispetto a geofoni posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, per ricostruire una serie di curve tempo distanza (dromocrone).

Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali (V_p) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti. Per lo stesso tipo di materiale, può variare in funzione di numerosi parametri quali il grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione per i materiali litoidi, ed in funzione dello stato di consistenza/addensamento, grado di saturazione, per i materiali granulari e fini.

Sensibili differenze si possono avere anche con riferimento all'assetto morfologico rispetto alle velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. Inoltre la velocità delle onde P compressionali, rispetto alle SH trasversali, è fortemente influenzata dalla presenza di eventuale acquifero e/o dal grado di saturazione.

Il principale limite della sismica a rifrazione risiede nell'impossibilità teorica di rilevare successioni stratigrafiche composte da strati a velocità decrescente con la profondità, in tal caso lo strato o gli strati non possono essere messi in evidenza dalle onde rifratte in quanto l'energia incidente, al contatto fra la sommità dello strato e la base dello strato sovrastante a più alta velocità, subisce una flessione verso il basso e non può venire di conseguenza rifratta, tale situazione è nota come "orizzonte muto".

Nonostante alcune limitazioni (insite in qualsiasi tecnica di esplorazione del sottosuolo di tipo indiretto), il metodo di indagine della tomografia a rifrazione rientra tra le metodologie geofisiche più affidabili e versatili.

4.3 Metodologia di indagine utilizzata - tomografia sismica

Al fine di definire con maggior grado di dettaglio l'assetto stratigrafico del sito sono stati effettuati degli stendimenti con la tecnica della tomografia sismica 2D.

I profili di tomografia sismica sono stati realizzati utilizzando un sismografo DAQlink III System 24 bit, con 24 geofoni verticali per la registrazione delle onde di compressione o onde "P" (*figura 4*).



Data	Gennaio 2021
Riferimento	Comune di Campofranco (CL)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.



Figura 4: sismografo Daqlink III; immagine modalità esecutive tomografia sismica 2D eseguita in sito

La sorgente delle onde sismiche è costituita da un martello da 10 kg, collegato ad un geofono starter, che genera un treno di onde di cui risulta esaltata la componente verticale, i cui tempi di arrivo e l'intensità delle stesse vengono registrate dai geofoni, posizionati con passo di 5 metri, ed inviati al sismografo di acquisizione. L'energizzazione per la generazione delle onde è stata ripetuta 13 volte per ciascuno stendimento sismico (effettuato con n° di canali pari a 48), al fine di permettere una interpretazione dei dati di tipo "tomografico". Al fine di indagare le lunghezze prefissate, sono stati eseguiti più stendimenti in configurazione "roll along". Come risulta evidente dalle tavole allegate, la risoluzione ottenuta permette di apprezzare variazioni di velocità dettagliate sia nella copertura che nei depositi sottostanti. Il sismografo registra i tempi di arrivo delle onde di compressione P (o primarie), ovvero le prime onde a raggiungere i geofoni di misura. L'elaborazione dei dati ha permesso la ricostruzione della stratigrafia sismica locale, lungo i profili, con l'attribuzione delle velocità caratteristiche dei terreni e la profondità e la giacitura dei rifrattori presenti nel sottosuolo, per una profondità d'indagine media di circa 45/50 metri dal p.c. I dati del *picking* dei primi arrivi sono stati inseriti, insieme alle informazioni topografiche dei vari punti di posizionamento dei geofoni e dei tiri (shot), in specifici files di input per il software di ricostruzione tomografica RAYFRAC (Rowdewahl, 2003), che ha permesso la rappresentazione ed evoluzione delle velocità sismiche delle onde P nel sottosuolo.

4.4 Rappresentazione dei risultati

I risultati dell'indagine con tomografia a rifrazione sono espressi attraverso differenti colorazioni (dal blu, basse velocità delle onde sismiche, al rosso, elevate velocità delle onde sismiche) ed attraverso delle linee di iso-velocità; nel caso di specie la sismica a rifrazione in onde P ha permesso di individuare due sismo-strati principali (per la definizione sismo-stratigrafica di dettaglio si rimanda invece alla lettura dei "profili interpretativi" in Annesso):

- un primo sismo-strato (V_p generalmente comprese tra 400 e 1200/1400 m/s) è verosimilmente riferibile alla coltre di depositi di "copertura", in granulometria variabile, da poco a mediamente addensati/consistenti, o anche depositi di substrato fortemente alterati/fratturati;



Data	Gennaio 2021
Riferimento	Comune di Campofranco (CL)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

- un secondo sismo-strato ($V_p > 1200/1400$ m/s) è verosimilmente riconducibile a litotipi di substrato;

Nella tabella 3, di seguito riportata, sono indicati i valori tipici di V_p per alcune litologie.

	V_p (km/s)
<i>Sedimenti non consolidati</i>	
Colluvioni	0.1-0.5
Sabbie (asciutte)	0.2-1.0
Sabbie (sature)	1.5-2.0
Ghiaie (asciutte)	0.5-1.3
Ghiaie (sature)	1.5-2.0
Argille	0.5-2.0
<i>Rocce Sedimentarie</i>	
Arenarie	2.0-4.5
Conglomerati	2.0-5.0
Calcari di piattaforma	5.0-6.0
Dolomie	5.8-6.5
Sale	4.5-5.0
Anidridi	4.5-6.5
<i>Rocce Ignee e Metamorfiche</i>	
Granito	5.5-6.0
Gabbro	6.5-7.0
Rocce ultramafiche	7.5-8.5
Filladi	2.5-3.5
Scisti	4.0-5.5
Gneiss	5.5-6.5
<i>Fluidi</i>	
Aria	0.3
Acqua	1.5
Petrolio	1.3-1.4

Tabella 3 alcuni valori tipici di V_p per sedimenti, rocce e fluidi



Data	Gennaio 2021
Riferimento	Comune di Campofranco (CL)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

5. Risultati indagine

Nelle tavole allegate è possibile osservare i profili di tomografia elettrica a sismica elaborati con relativa sezione interpretativa (basata, per i siti PE-A-E03 e PE-A-E04, sulla analisi congiunta dei dati sismici ed elettrici); è inoltre rappresentata l'ubicazione dei profili in pianta; laddove disponibili, sono stati utilizzati dati di sondaggio a "taratura" dell'indagine geofisica.

È stata utilizzata, per quanto concerne i risultati dell'indagine della tomografia elettrica 2D, una scala colorimetrica logaritmica che consente una più chiara visualizzazione dei valori di resistività.

Le sezioni sismiche ricostruiscono gli andamenti in onde compressive P nel sottosuolo. Le velocità sono visualizzate attraverso una scala cromatica di colori che parte dal blu scuro e incrementa verso il rosso. Le variazioni di velocità sono associabili al diverso grado di addensamento dei depositi o al passaggio a substrato dapprima alterato e poi più compatto.

Per i siti PE-A-E01, PE-A-E02 e CT-A-E05 si osserva una elevata corrispondenza tra i dati geofisici e quelli derivanti dai sondaggi geognostici. In generale si evidenzia la presenza di un primo elettro-strato più superficiale ad elevata resistività, corrispondente alle coperture in granulometria medio-grossolana (sabbie con limi calcaree, con ghiaia, e ghiaie e ciottoli poligenici di natura alluvionale) intercettate nel corso delle perforazioni, e di un secondo elettro-strato più profondo a bassa resistività (argille o limi da debolmente marnosi a marnosi, da rigidi a duri - "argille marnose grigio-azzurre") - figura 5. Talora l'indagine mostra dei settori maggiormente resistivi (circa 30 - 60 ohm m) a quote medio-elevate di sottosuolo, verosimilmente riferibili a depositi in granulometria maggiormente grossolana (ad es. orizzonti sabbiosi nella formazione delle Argille grigio-azzurre, interstrati arenacei, livelli brecciati ecc...) Il modello geofisico appare per tali siti piuttosto omogeneo, con una situazione elettro-stratigrafica regolare in senso verticale ed orizzontale.

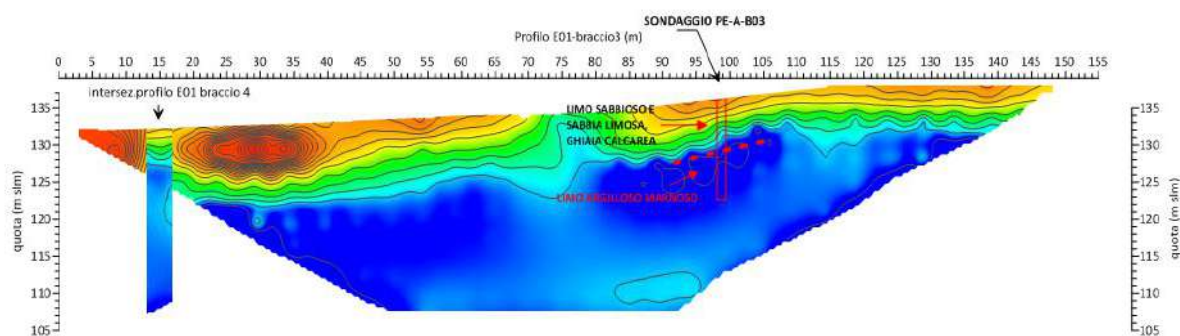


Figura 5: esempio di risultati indagine, profilo di resistività PE-A-E01; la situazione elettro-stratigrafica appare regolare con la presenza di 2 elettro-strati orizzontalmente continui: il più superficiale è caratterizzato da elevate resistività (sabbie e ghiaie prevalenti); più in profondità sono presenti litotipi conduttivi (argille e limi marnosi)



Data	Gennaio 2021
Riferimento	Comune di Campofranco (CL)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

Per il sito "PE-A-E03/R03" si è evidenziata una maggiore complessità geologica del sottosuolo. Sono state qui eseguite sia l'indagine di tomografia elettrica 2D che l'indagine di tomografia sismica 2D. L'analisi geoelettrica mostra la presenza prevalente lungo il profilo, ed in particolare nel settore più a valle e a maggiori profondità, di litotipi basso-resistivi, in base ai dati di sondaggio riferibili ai depositi di substrato, da alterati a compatti, in litologie argillose, limose e marnose (questi litotipi sono stati intercettati in tutti i carotaggi eseguiti lungo il profilo).

Nella porzione topograficamente più rilevata emerge tuttavia la presenza di depositi da resistivi a molto resistivi (valori da circa 20/30 a circa 1800 ohm m); in base anche ai dati relativi al carotaggio PE-A-B16, realizzato alla progressiva circa 507 m del profilo (e inclinato di circa 50° rispetto alla verticale), è plausibile che questi valori di resistività siano riferibili ai depositi pre-evaporitici ed evaporitici (trattasi di diatomiti, calcari solfiferi, gessi ecc.), o anche a litotipi fortemente arenati / in granulometria grossolana (ad es. il sondaggio PE-A-B16 individua, in superficie, una prima coltre in "clasti calcarei biancastri eterometrici, con vuoti decimetrici tra i clasti", ed una sottostante successione in prevalenza rappresentata da gessi bianchi o biancastri).

Sempre nel carotaggio PE-A-B16, alla quota di circa -37.5 metri, si osserva il passaggio stratigrafico tra i depositi evaporitici (gessi bianchi, livello caotico con elementi grossolani di natura gessosa) e le argille marnose basali; questo passaggio stratigrafico coincide perfettamente con una variazione in senso verticale riscontrata nel profilo di resistività, ovvero il passaggio da litotipi maggiormente resistivi superficiali (verosimilmente i gessi) a litotipi basso-resistivi (le argille marnose). In questo caso si evidenzia una ottima corrispondenza tra i dati di sondaggio e quelli geofisici, figura 6.

Ulteriori settori resistivi individuati lungo il profilo di resistività è più probabile invece siano riferibili a orizzonti o lenti a prevalente composizione arenacea (o anche a livelli brecciati / livelli sabbiosi) alternati ai litotipi a prevalente composizione argilloso-marnosa.

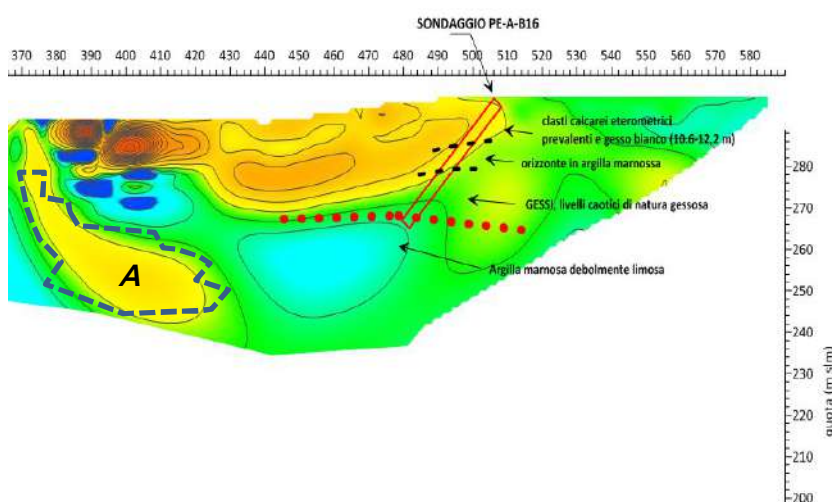


Figura 6: profilo PE-A-E03, progressive circa 370-590 m; è ben visibile in corrispondenza del sondaggio PE-A-B16 un passaggio elettro-stratigrafico tra depositi resistivi superficiali (successione prevalentemente in detrito calcareo e gessi) e basso-resistivi più profondi (argille marnose) – linea tratteggiata rossa; nell'immagine si osserva la presenza di ulteriori zone resistive, anch'esse verosimilmente imputabili alle litologie evaporitiche (es. settore "A" in figura)

Data	Gennaio 2021
Riferimento	Comune di Campofranco (CL)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

Più in generale dunque, in base anche ai risultati delle indagini, sembrerebbero presenti nella porzione più superficiale della successione, nel tratto sommitale del pendio, i litotipi evaporitici o pre-evaporitici (talora livelli caotici); più in profondità si assiste invece in generale alla prevalenza di litotipi basso-resistivi (le argille marnose) – *figura 6-7*.

Il sondaggio geognostico PE-A-B15 è stato eseguito grossomodo alla progressiva 330 m del profilo elettrico/sismico, ad una certa distanza da questo (circa 37-38 metri) ed a quote topografiche inferiori; in tale sondaggio sono state rinvenute litologie argilloso-marnose e argilloso-limoso marnose. Il dato derivante della perforazione anche in tale caso apparirebbe *“in linea”* con quello relativo all’indagine geofisica: il sondaggio avrebbe infatti intercettato i depositi basso-resistivi individuati a medio-elevate profondità sul profilo (litotipo B) – litotipi argillosi, limosi e marnosi – *figura 7*.

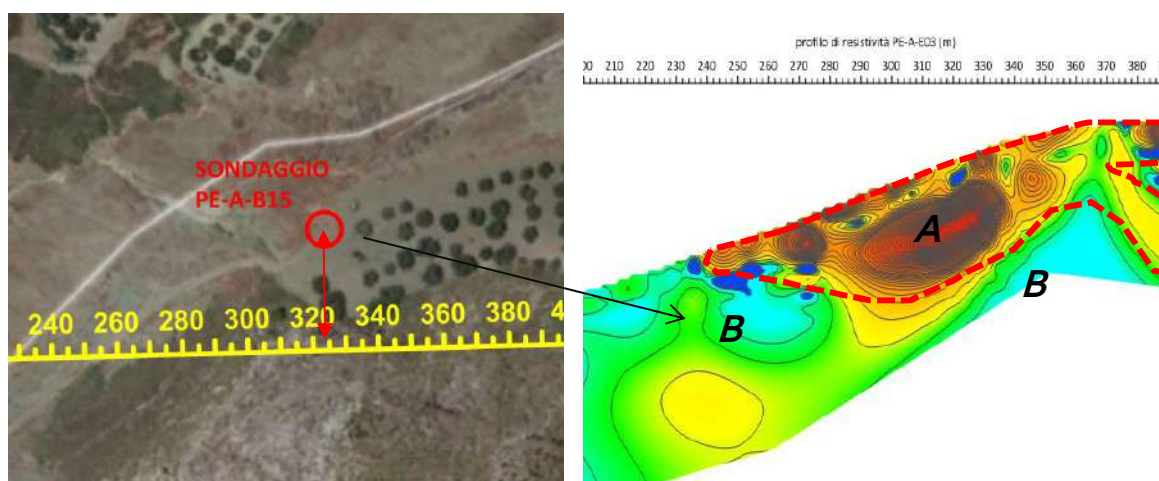


Figura 7: profilo PE-A-E03; è individuato un settore fortemente resistivo alla sommità topografica del profilo (litotipi “A”); può trattarsi di depositi evaporitici (range di resistività da circa 20/30 a circa 1800 ohm m); al di sotto e nell’intorno del “litotipo A” sono presenti depositi caratterizzati da resistività basse, dell’ordine di 1-30 ohm m; tali valori sono caratteristici dei litotipi argillosi e argilloso-marnosi. La presenza di questi depositi in granulometria fine in profondità è confermata dai dati di sondaggio (PE-A-B14, PE-A-B15. PE-A-B16).

Si evidenzia che il sondaggio PE-A-B15 è stato eseguito ad una certa distanza rispetto al profilo, dunque il dato stratigrafico può divergere lievemente rispetto a quello derivante dall’indagine geofisica

Dalla consultazione dell’archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo ISPRA (Legge 464/ 1984) è emersa la presenza di un sondaggio geognostico in posizione limitrofa rispetto al settore in cui è stato eseguito lo stendimento. La stratigrafia fornisce ulteriori dati utili alla comprensione del modello geologico-geofisico (*figura 8*); in tale caso è riscontrata la presenza di depositi evaporitici (gesso a grossi blocchi con fratture) per uno spessore di circa 30 metri, seguiti da litotipi argillosi.

Data	Gennaio 2021
Riferimento	Comune di Campofranco (CL)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

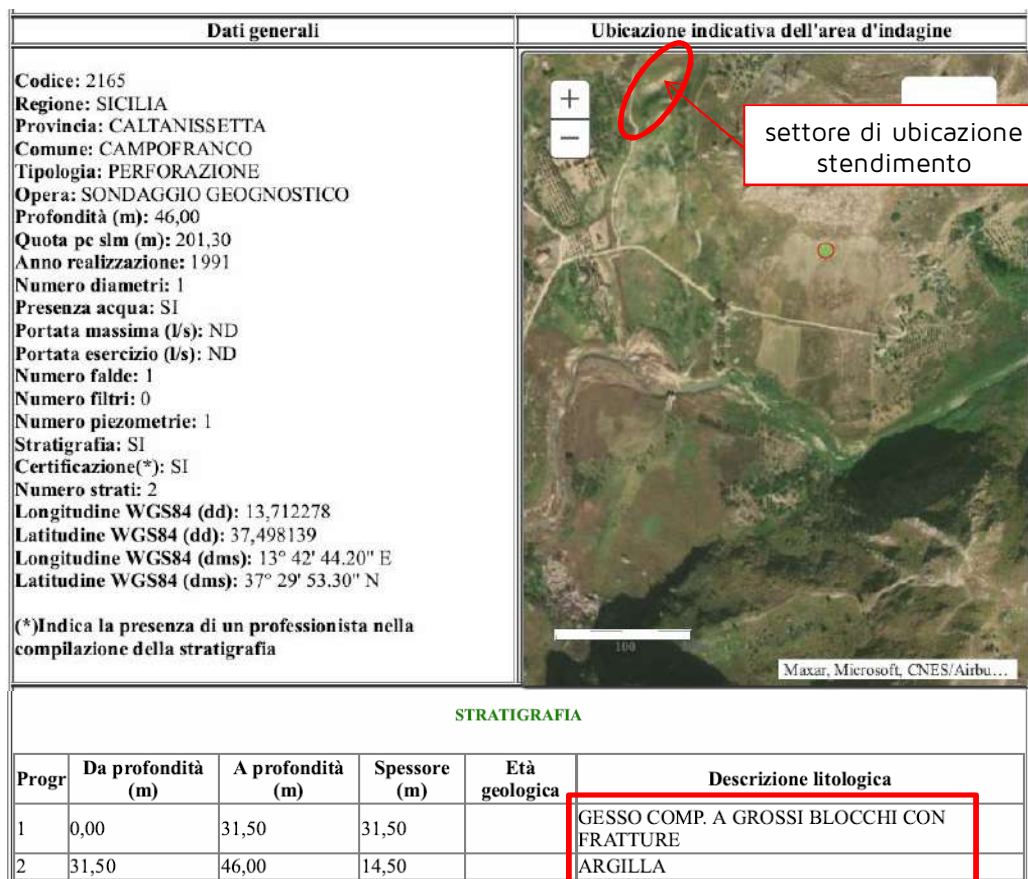


Figura 8: dati stratigrafici derivati da sondaggio database ISPRA (ulteriori dati utili alla comprensione del modello geofisico)

Il profilo sismico nel caso di PE-A-R03 mostra la presenza di una prima coltre in materiali caratterizzati da medio-basse velocità; ciò è imputabile alla presenza di litotipi di copertura alla sommità della successione verosimilmente alterati e/o rimaneggiati; nei settori "di monte" ed in corrispondenza dei depositi evaporitici si registra un minor spessore di questo sismo-strato; può comunque presumersi che anche i litotipi evaporitici si presentino in superficie piuttosto fratturati o anche in facies detritica, come dimostrato dal sondaggio PE-A-B16 ("clasti calcarei biancastri eterometrici, con vuoti decimetrici tra i clasti", tra 4.2 e 8.3 m dal p.c.).

L'assetto stratigrafico appare piuttosto omogeneo anche per il sito "PE-A-E04/R04"; l'indagine geoelettrica individua la presenza quasi esclusiva di depositi basso-resistivi, dunque associabili anche in base ai dati di sondaggio, alle litologie argillose e argilloso-marnose di substrato. Esclusivamente nell'estremo margine finale del profilo sono intercettati litotipi fortemente resistivi; anche in tale caso è pertanto formulata l'ipotesi della presenza di litotipi evaporitici e pre-evaporitici. L'indagine sismica mostra la presenza, più superficialmente, di litotipi caratterizzati da basse e medie velocità delle onde P (spessori medi da 1/2 a 5/6 metri), ovvero litotipi di copertura e/o di substrato particolarmente alterati/degradati (figura 9).



Data	Gennaio 2021
Riferimento	Comune di Campofranco (CL)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

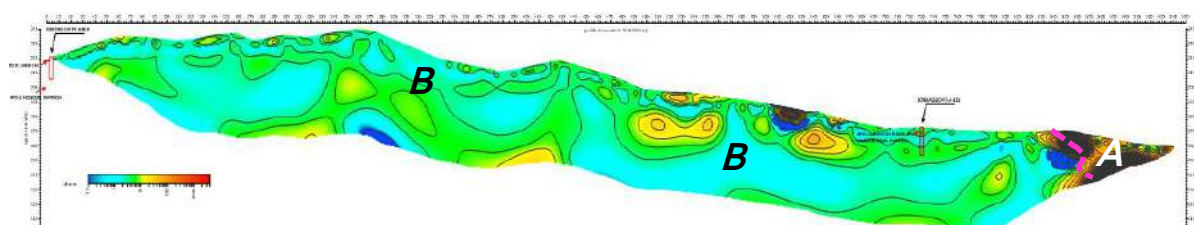


Figura 9: profilo di resistività PE-A-E04; il profilo mostra la presenza prevalente dei litotipi del tipo B (argille marnose); nella porzione finale del profilo, viste le elevate resistività registrate, si ipotizza la presenza dei depositi "A" (evaporitici e pre-evaporitici, o livelli caotici di natura gessosa) – settore evidenziato con linea di colore magenta.

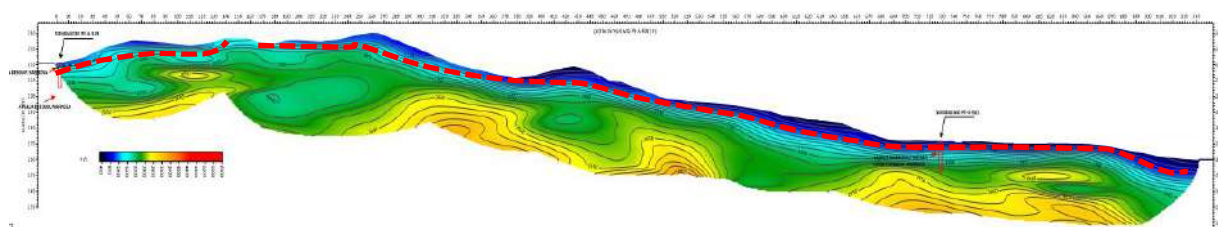


Figura 10: profilo sismico PE-A-R04; il profilo mostra la presenza, più superficialmente, di depositi di copertura e/o di substrato particolarmente alterati ($V_p < 1000-1200$ m/s); al di sotto sono intercettati litotipi di substrato ($V_p > 1200 - 1400$ m/s)

In alcuni settori sono state identificate delle brusche variazioni di resistività laterali in profondità, e/o dei "salti" o "elevata dispersione" delle linee di isovelocità; sono state pertanto indicate nei profili interpretativi delle potenziali zone "di allentamento" o marcata fratturazione dei litotipi di substrato, anche potenzialmente associabili a discontinuità (faglie o fratture).

Sulla base degli strumenti interpretativi forniti e per un maggior dettaglio sui risultati dell'indagine si rimanda alla visione degli Annessi grafici (tavole 1-5 e Annesso 1).

Frosinone, 25 Gennaio 2021

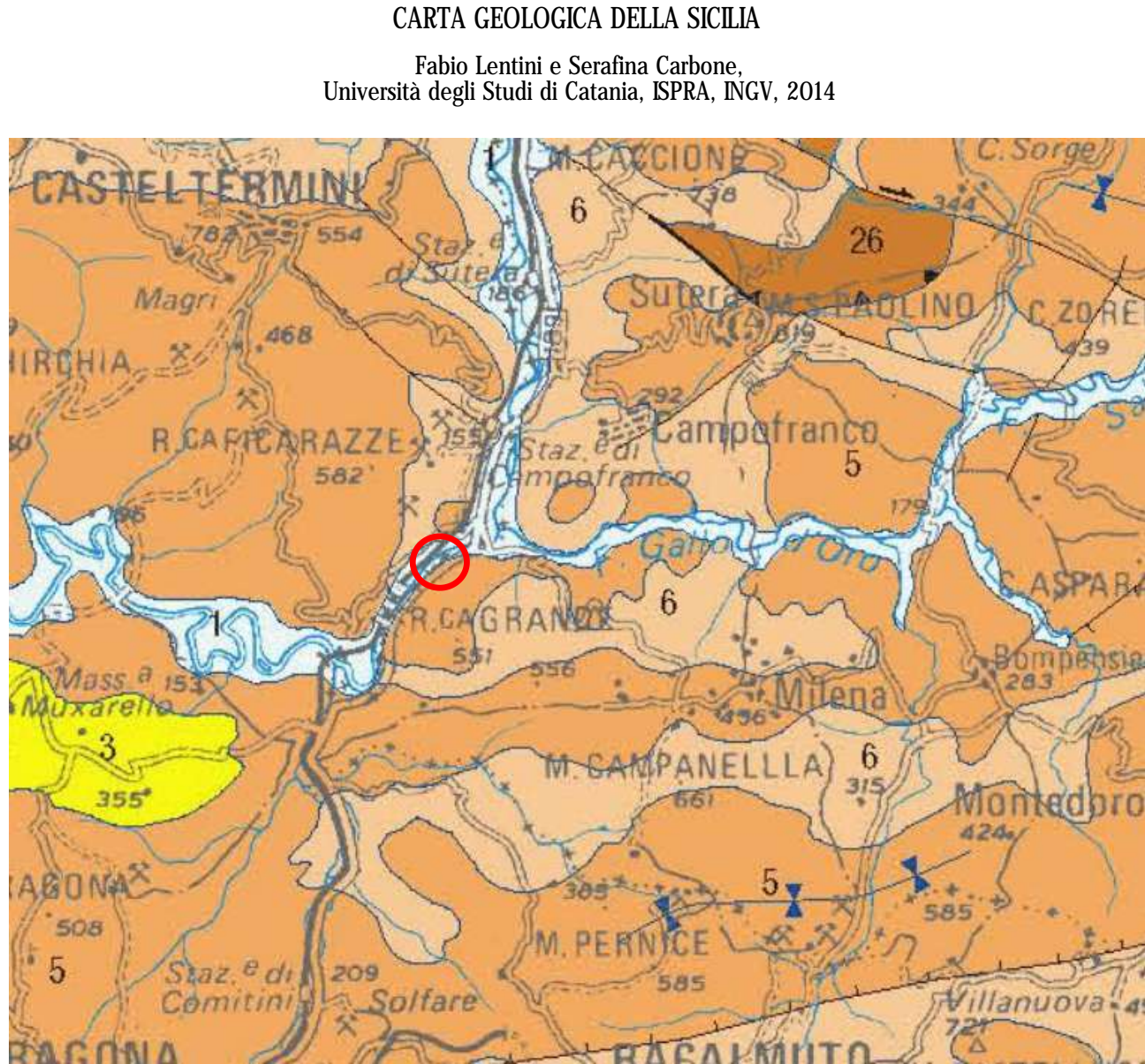


Geores S.r.l.
Geores S.r.l.
 Via Marittima 406
 03100 Frosinone
 P.I. e C.F. 02535760603

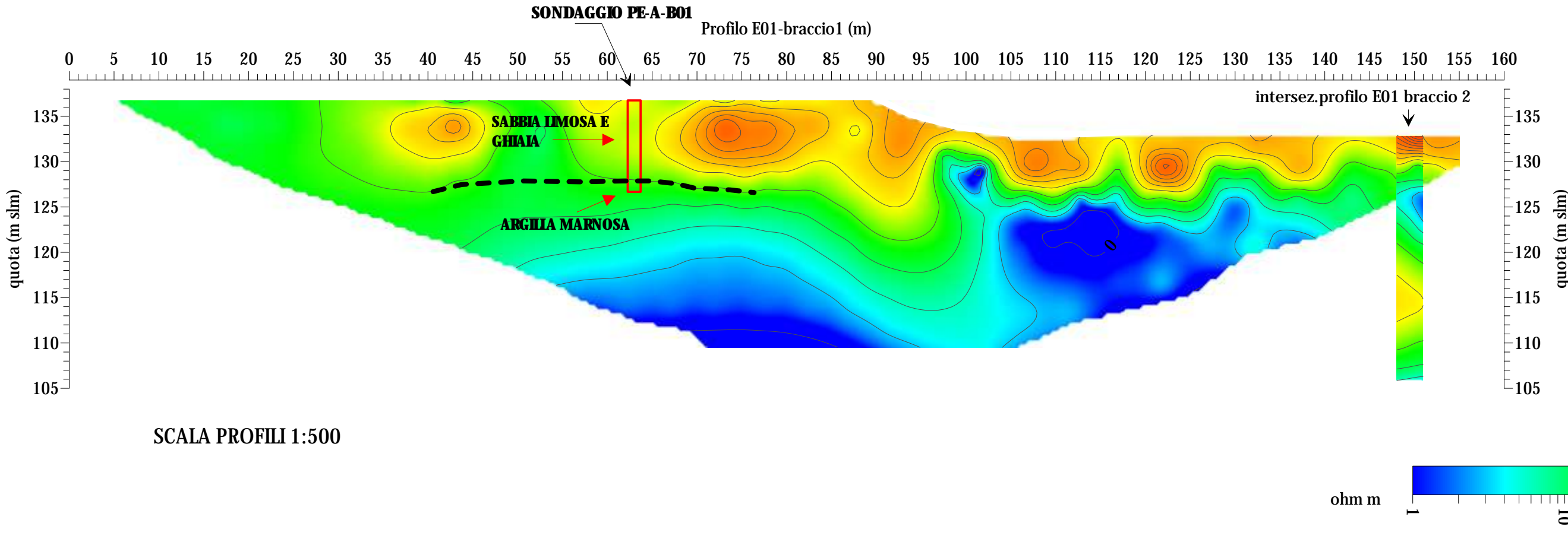


Data	Gennaio 2021
Riferimento	Campofranco (CL)
Tipologia di lavoro	Analisi MASW, tomografia elettrica e tomografia a rifr.
Committente	Saipem S.p.A.

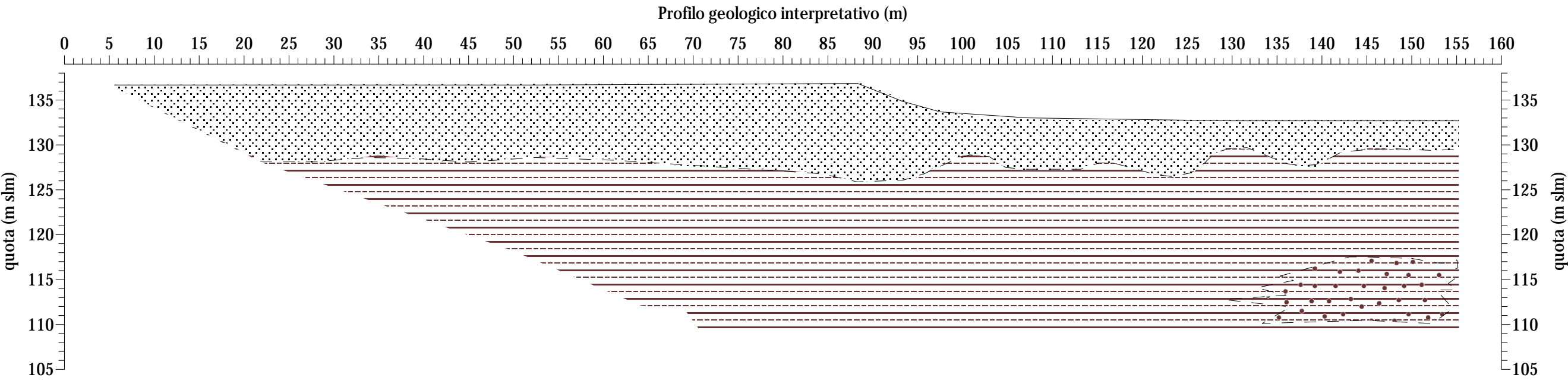
RISULTATI PROVE GEOFISICHE del tipo TOMOGRAFIA ELETTRICA 2D e TOMOGRAFIA SISMICA 2D



- Depositi continentali e marini talora terrazzati, spiagge. PLEISTOCENE MEDIO-OLOCENE
Un differentiated continental, marine and terrace deposits. MIDDLE PLEISTOCENE-HOLOGENE
- Depositi marini terrigeni e argilloso-calcareitici: Ciclo di Geracelo (Piazza Armerina); parte alta del Gruppo Fibiera (Agrigento, Butera); calcareniti di Marsala (Agrigento, Palermo, Balestrale, Fungine) e depositi argilloso-sabbiosi (Fungine di Palermo); sabbie di S. Margherita Belice (Castelvetrano, Marsi). PLOCCENE SUPERIORE-PLEISTOCENE MEDIO
Marine terrigenous deposits, calcarenitic and clayey: Geracelo Cycle (Piazza Armerina); upper part of the Fibiera Group (Agrigento, Butera); Marsala calcarenite (Agrigento, Palermo, Balestrale, Fungine) and clayey-sandy deposits (Fungine di Palermo); S. Margherita Belice sands (Castelvetrano, Marsi). LATE PLOCCENE-MIDDLE PLEISTOCENE
- Depositi argilloso-sabbiosi-calcareitici: Ciclo di Enna-Capodarso; marnoso-arenacei della Valle del Belice; parte inferiore del Gruppo Fibiera (M. Narbonne, Agrigento, Butera); sabbie di Altamira Milica. PLOCCENE INFERIORE (parte alta) SUPERIORE p.p. Depositi pleistocenici dei Monti Paleontini. Clayey-sandy-calcareitici deposits: Enna-Capodarso Cycle, Belice Valley marls and sandstones, lower interval of the Fibiera Group (M. Narbonne, Agrigento, Butera); Altamira Milica sands. LOWER (upper part) UPPER p.p. PLOCCENE. Ploocene-Pleistocene deposits of Monti Paleontini.
- Trubi: calcari marnosi bianchi e a foraminiferi, discendenti su differenti unità tettoniche del versante tirreno e dei Monti Sicani (Sambuca Burgio); calcareniti ad Amphistegina di Lascari. PLOCCENE INFERIORE
Trubi Fm.: whitish foraminifera-bearing marly limestones, unconformably overlying different tectonic units of the Tyrrhenian sector and Sicani Mts. (Sambuca Burgio). Lascari sands and calcarenites with Amphistegina. EARLY PLOCCENE
- Depositi pre-evaporitici ed evaporitici, e Trubi: diatomiti (Trubi); calcari solitici, gessi primari e secondari; sabbie con limi calcarei, con ghiaia, e ghiaie e ciottoli poligenici. MESSINIANO SUPERIORE-PLOCCENE INFERIORE
Pre-evaporitic and evaporitic deposits and Trubi Fm.: diatomites, evaporitic limestones, primary and diagenetic siliceous gypsum, sabbie, terrigenous deposits (clays, sandstones, conglomerates, gypsumites), interbedded olistostromes ("argille brecciate"), Ghignone cherty limestones (Trubi Fm.). LATE MESSINIAN-EARLY PLOCCENE
- Argille marnose grigio-azzurre (Enna Licata) LANGHIANE INFERIORE-TORTONIANE SUPERIORE. Argille, sabbie e conglomerati, licheni e coralli (Interno del Landes) (Enna Terravecchia); banchi e coralli (Enna Baucina); olistostromi a vari livelli (argille brecciate). TORTONIANE SUPERIORE-MESSINIANO INFERIORE
Grey-blue marly clays (Licata Fm.). EARLY LANGHIAN-LATE TORTONIAN. Clays, sands and conglomerates, reef



SCALA PROFILI 1:500



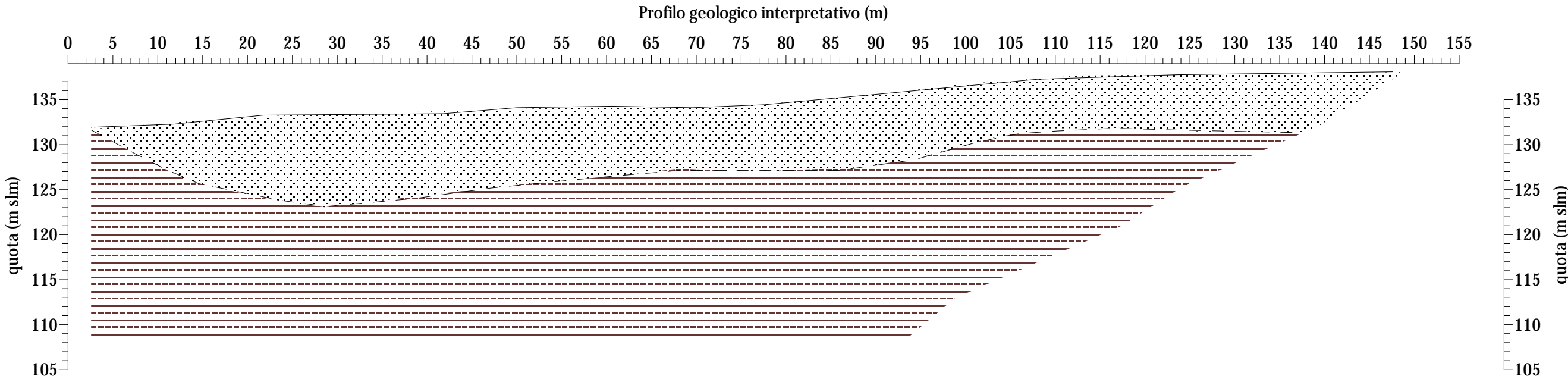
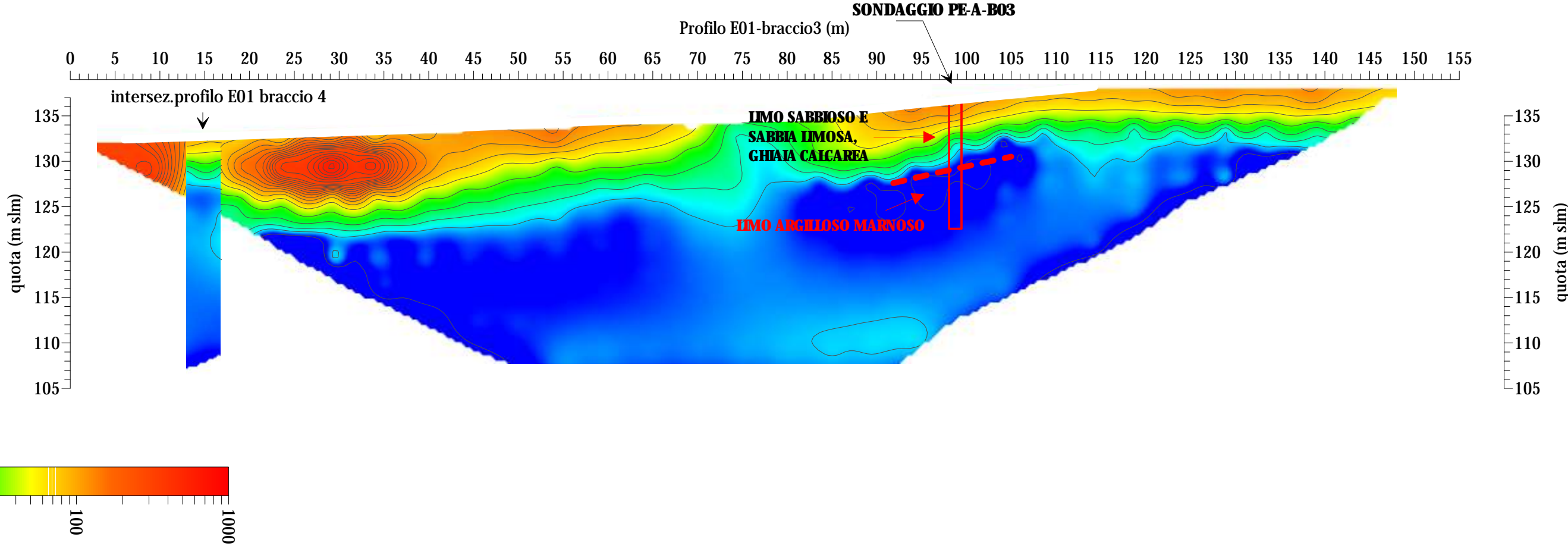
SCALA PROFILI 1:500

LEGENDA del PROFILO INTERPRETATIVO (interpretazione basata sui dati di sondaggio PE-A-B01/B03)

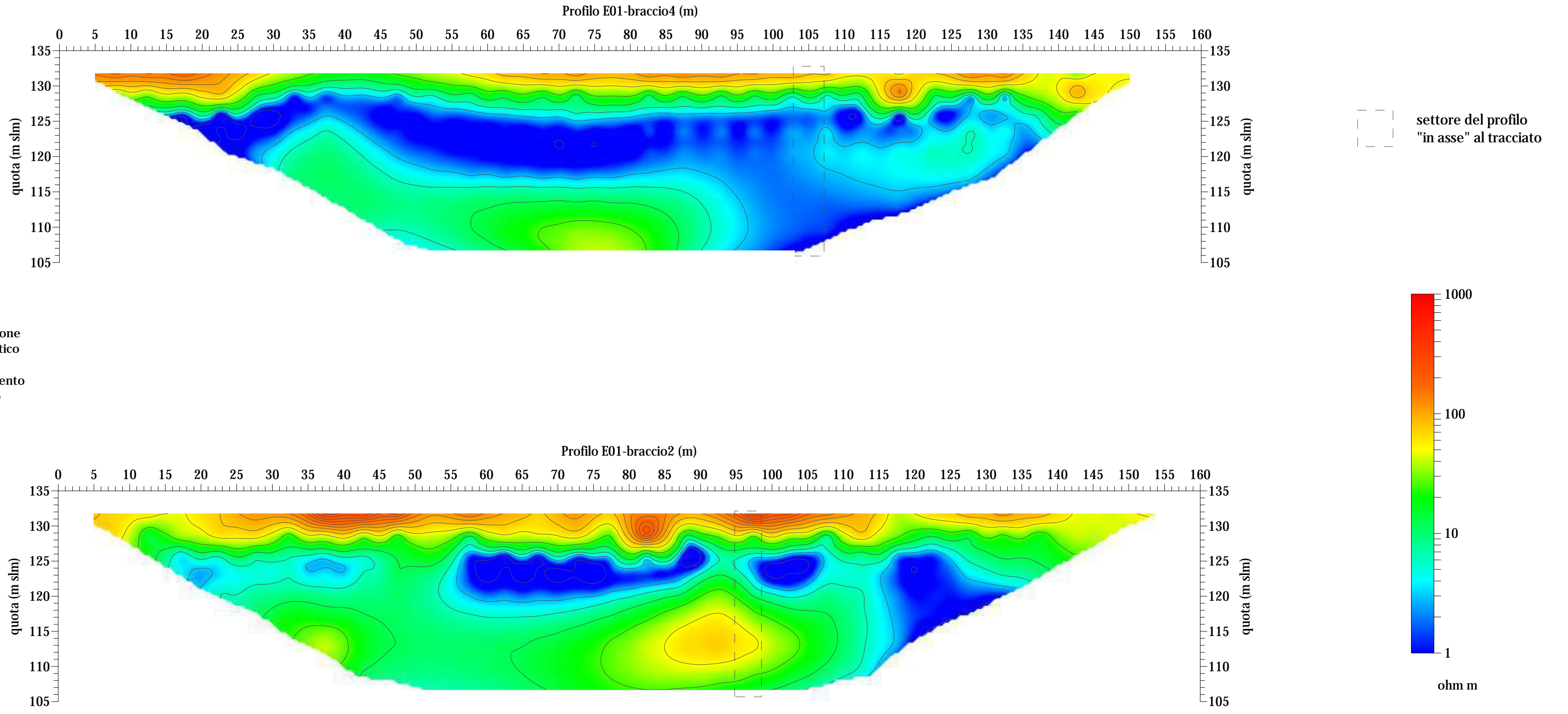
- litotipi fortemente resistivi
coperture in granulometria medio-grossolana:
sabbie con limi calcarei, con ghiaia, e ghiaie
e ciottoli poligenici
- litotipi basso-resistivi
argille o limi da debolmente marnose a marnose,
da rigide a dure

incremento delle resistività con la profondità
verosimilmente imputabile alla presenza di
depositi in granulometria maggiormente grossolana
(ad es. orizzonti sabbiosi nella formazione delle
Argille grigio-azzurre, interstrati arenacei, livelli
brecciati ecc...)

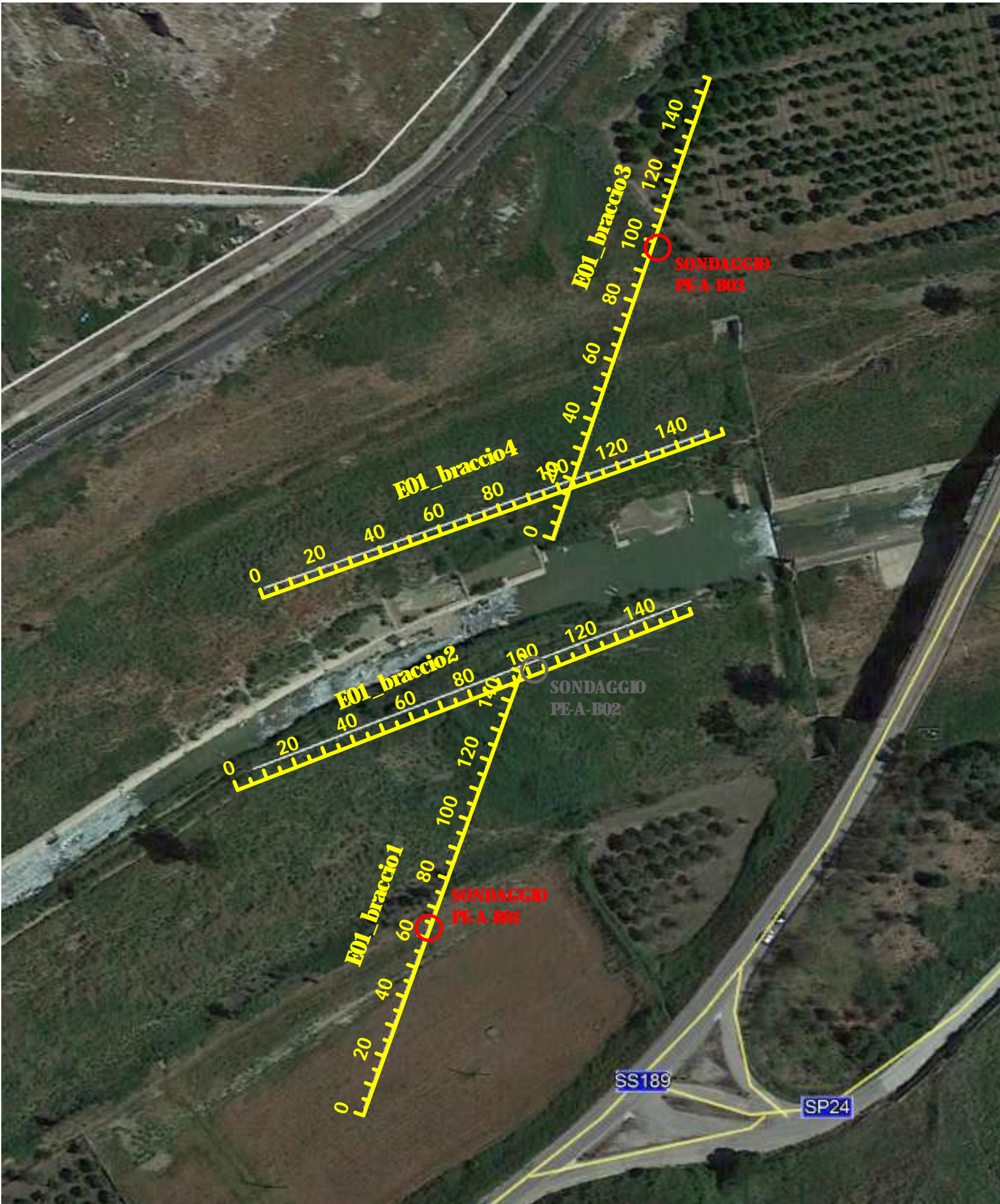
PE-A-B01
sondaggio geognostico (con linea
continua, in asse al profilo; con
linea tratteggiata, non
in asse rispetto al profilo)



SCALA PROFILI 1:500



SCALA PLANIMETRIA 1:1.500



RISULTATI INDAGINE GEOFISICA
PROFILI PE-A-E01

geores

Geores Srl
Via Marittima 406
03100 Frosinone
+39 0775 871376
info@geores.it
info@geores@pec.it

P.I. e C.F. 02535760603

Data:
Gennaio 2021

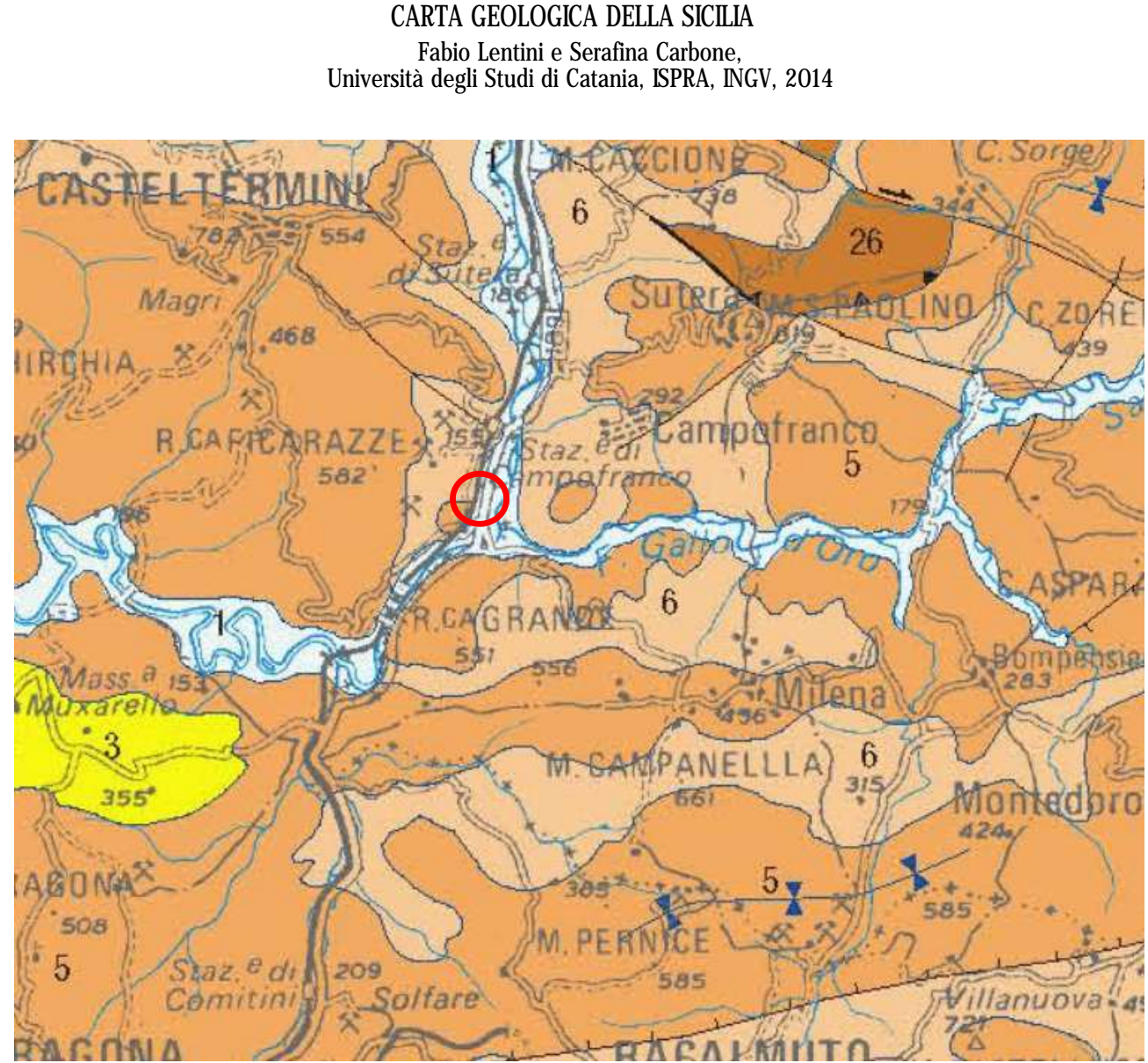
Committente:
SAIPEM

Cod. Comm:
20-107

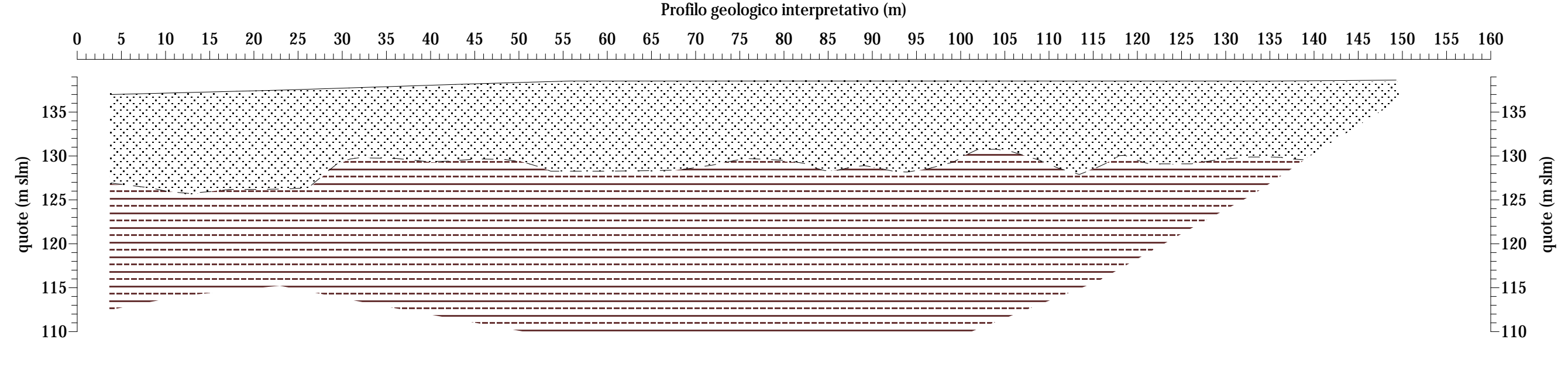
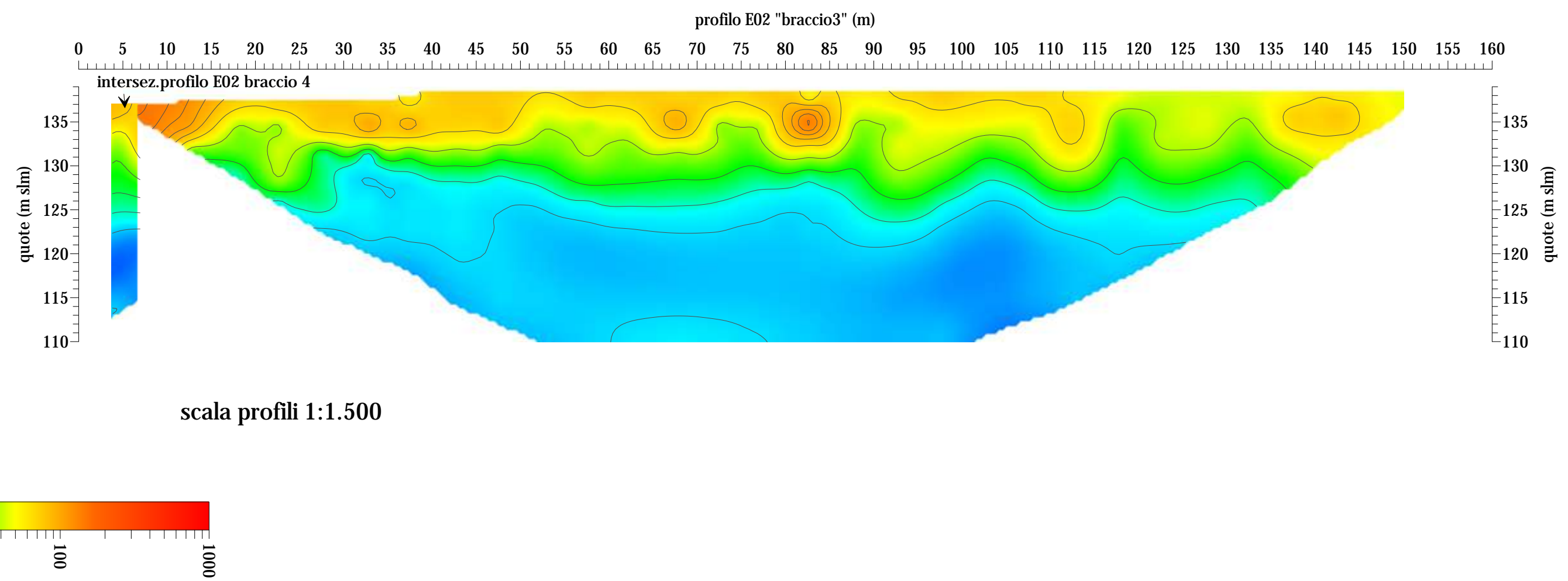
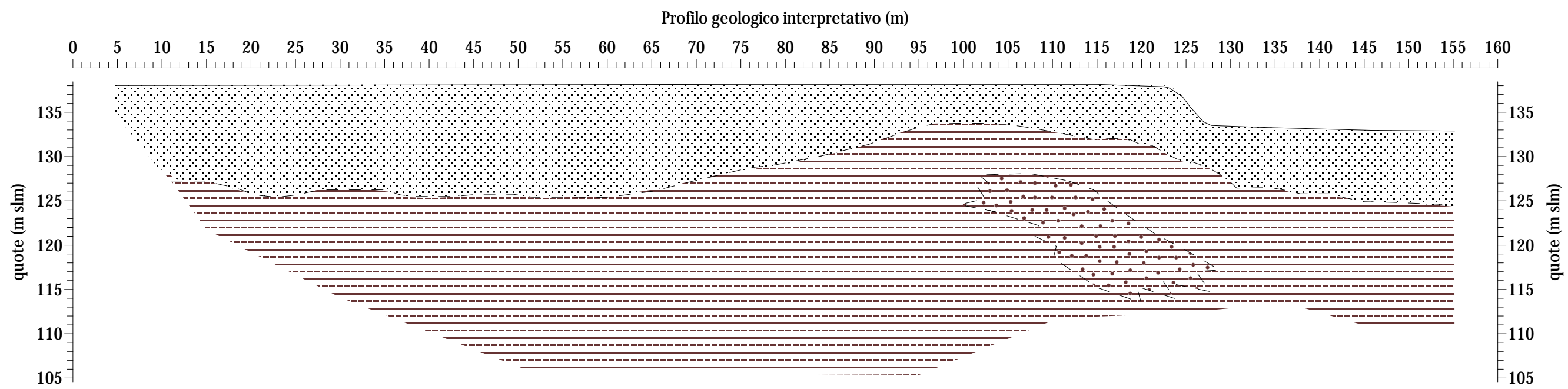
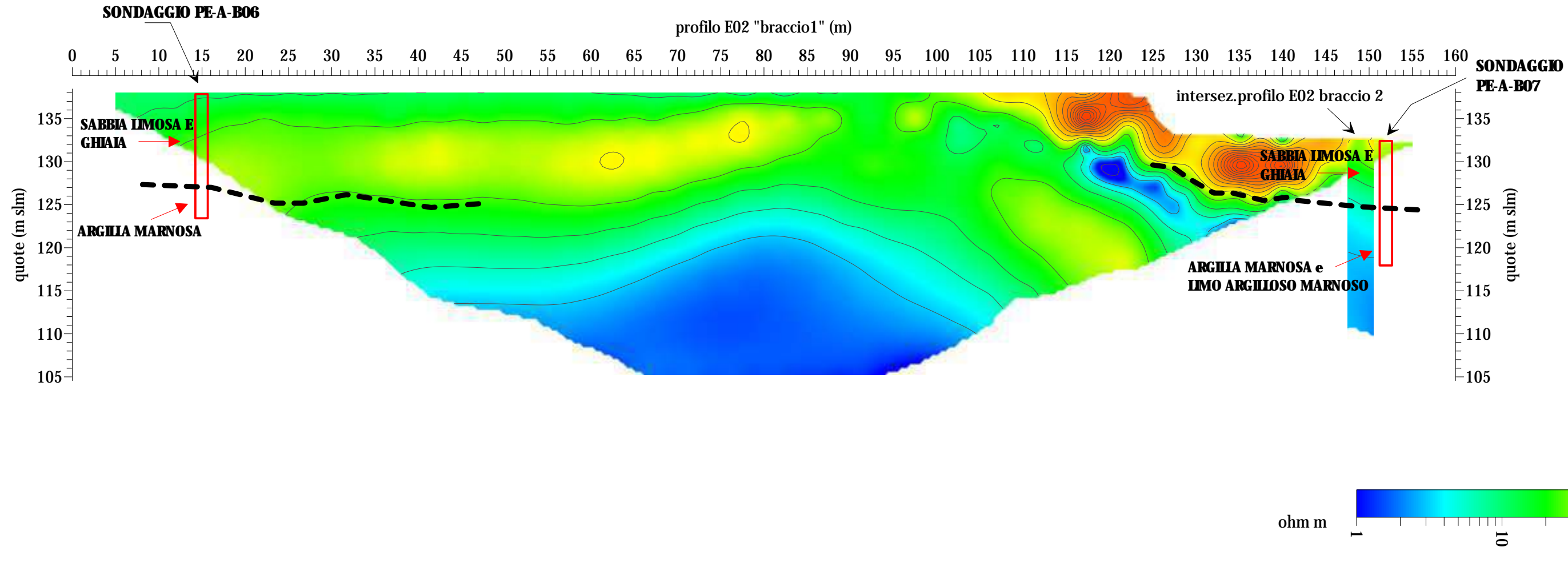
PROSPERAZIONE GEOELETRICA E SISMICA FINALIZZATA ALLO STUDIO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO
Ricolli, allacciamento Comune di Casteltermini DN 200 (8'), DP 24 bar, variante derivazione per Porto Empedocle DN 250 (10'), DP 24 bar e ricolli, allacciamento Comune di Bompensiere DN 150 (6'), DP 24 bar

TAVOLA
PROFILI PE-A-E01

TAVOLA 01



- Depositi continentali e marini talora terrazzati, spiagge. PLEISTOCENE MEDIO-OLOCENE
Unconfined continental, marine and terrace deposits. MIDDLE PLEISTOCENE-HOLOCENE
- Depositi marini terrigeni e argilloso-calcarei: Ciclo di Geracelo (Piazza Armerina); parte alta del Gruppo Ribera (Agrigento, Butera); calcareniti di Marsala (Agrigento, Butera, Belpasso, Favignana) e depositi argilloso-sabbiosi (Favignana di Palermo); sabbie di S. Margherita Belice (Castelvetrano, Menta). PLEISTOCENE SUPERIORE-PLEISTOCENE MEDIO
Marine terrigenous deposits, calcarenites and clays. Geracelo Cycle (Piazza Armerina); upper part of the Ribera Group (Agrigento, Butera); Marsala calcarenites (Agrigento, Butera, Belpasso, Favignana) and clayey-sandy deposits (Favignana di Palermo); S. Margherita Belice sands (Castelvetrano, Menta). LATE PLEISTOCENE-MIDDLE PLEISTOCENE
- Depositi argilloso-sabbiosi-calcarei: Ciclo di Enna-Capodorso; marnoso-arenacea della Valle del Belice; parte inferiore del Gruppo Ribera (M. Nubione, Agrigento, Butera); sabbie di Altavilla Milicia. PLEISTOCENE SUPERIORE-PLEISTOCENE MEDIO
Clayey-sandy-calcareous deposits: Enna-Capodorso Cycle, Belice Valley marls and sandstones; lower interval of the Ribera Group (M. Nubione, Agrigento, Butera); Altavilla Milicia sands. LOWER (upper part)-UPPER p.p. PLEISTOCENE
- Trubi: calcari marnosi biancastri a foraminiferi, discendenti su differenti unità tettoniche del versante tirrenico e dei Monti Sicani (Santuzza-Burgio); calcareniti ad Amphistegina di Lascari. PLEISTOCENE INFERIORE
Trubi Fin.: white to brown fine to medium limestone, unconformably capping different tectonic units of the Tyrrhenian sector and Sicani Mts. (Santuzza-Burgio). Lascari sands and calcarenites with Amphistegina. EARLY PLEISTOCENE
- Depositi pre-evaporitici ed evaporitici: e Trubi: diatomiti (Trapani), calcari solfitici, gessi primari e secondari, sali, depositi litorali rappresentati da argille, arenarie, conglomerati, gessareniti, olistostromi (argille brecciate) intercalati a più livelli. Calcari marnosi a globigerina (Trubi). MESSINIANO SUPERIORE-PLEISTOCENE INFERIORE
Pre-evaporitic and evaporitic deposits and Trubi Fin.: diatomites, evaporitic limestone, primary and diagenetic salt; gypsum, salts, terrigenous deposits (clays, sandstones, conglomerates, gessarenites), interbedded olistostromes ("argille brecciate"). Globigerina chalky-limestones (Trubi Fin.). LATE MESSINIAN-EARLY PLEISTOCENE
- Argille marnose grigio-azzurre (fine Licata) LANGHIANO INFERIORE-TORTONIANO SUPERIORE; Argille, sabbie e conglomerati, bioturmo a coralli (monte dei Landi) (fine Torrevicchia), bacioli a coralli (fine Baucina), olistostromi a vari livelli (argille brecciate). TORTONIANO SUPERIORE-MESSINIANO INFERIORE
Graupius marly clay (Licata fin.). EARLY LANGHIAN-LATE TORTONIAN; clays, sands and conglomerates, reef



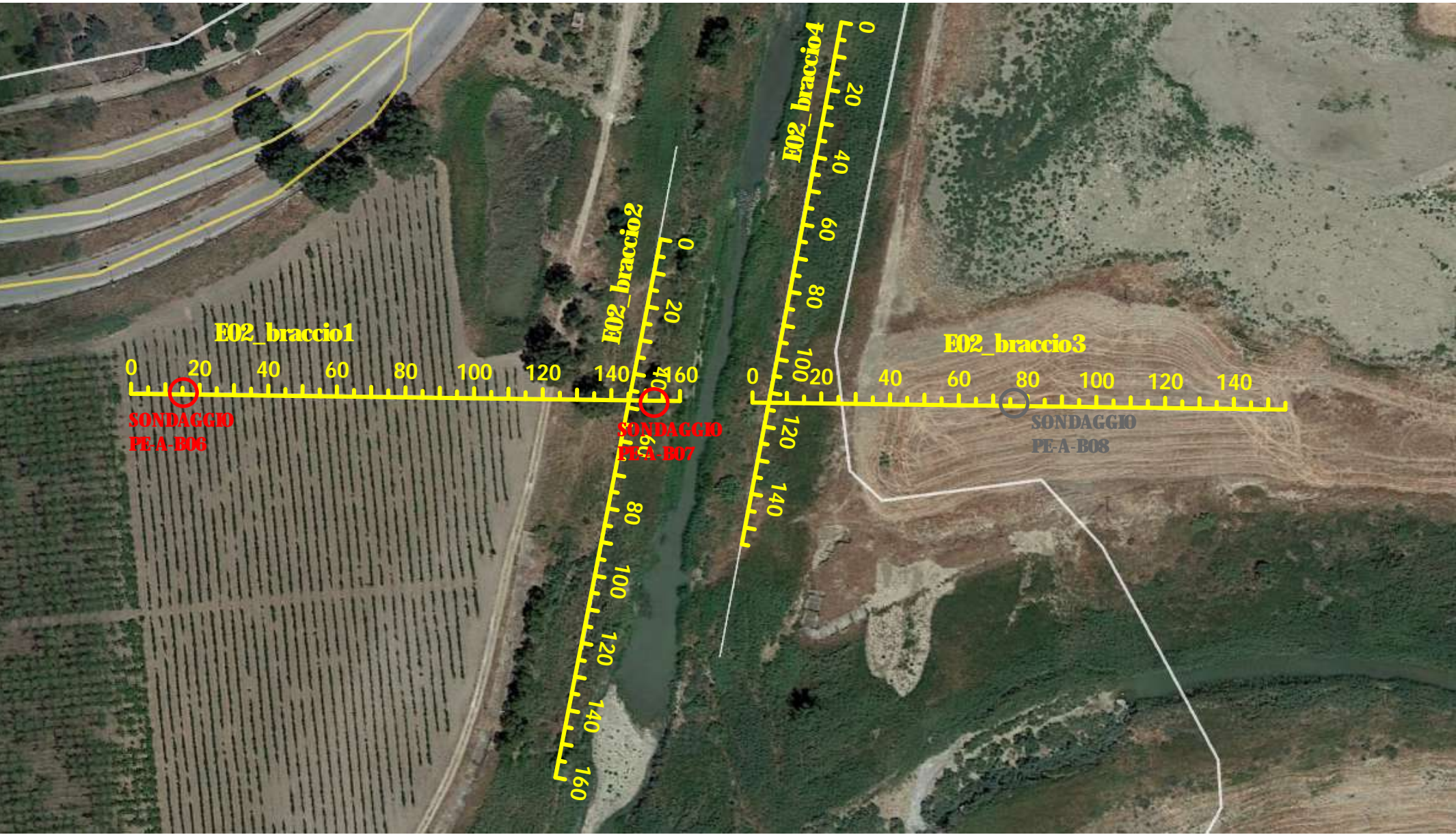
RESULTATI INDAGINE GEOFISICA PROFILI PE-A-E02



Geores Srl
Via Marittima 406
03100 Frosinone
+39 0775 871376
info@geores.it
info@geores@pec.it
P.I. e C.F. 02535760603

Data: GENNAIO 2021	Committente: SAIPEM
Cod. Comm: 20-107	PROSPEZIONE GEOELETTRICA E SISMICA FINALIZZATA ALLO STUDIO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO Ricoll. allacciamento Comune di Castell'Almè DN 200 (8"), DP 24 bar, variante derivazione per Porto Empedocle DN 250 (10"), DP 24 bar e ricoll. allacciamento Comune di Bompensiere DN 150 (6"), DP 24 bar

TAVOLA PROFILI PE-A-E02



scala planimetria 1:1.500

settore di realizzazione
sondaggio geognostico

0.5
ubicazione stendimento
elettro-tomografico

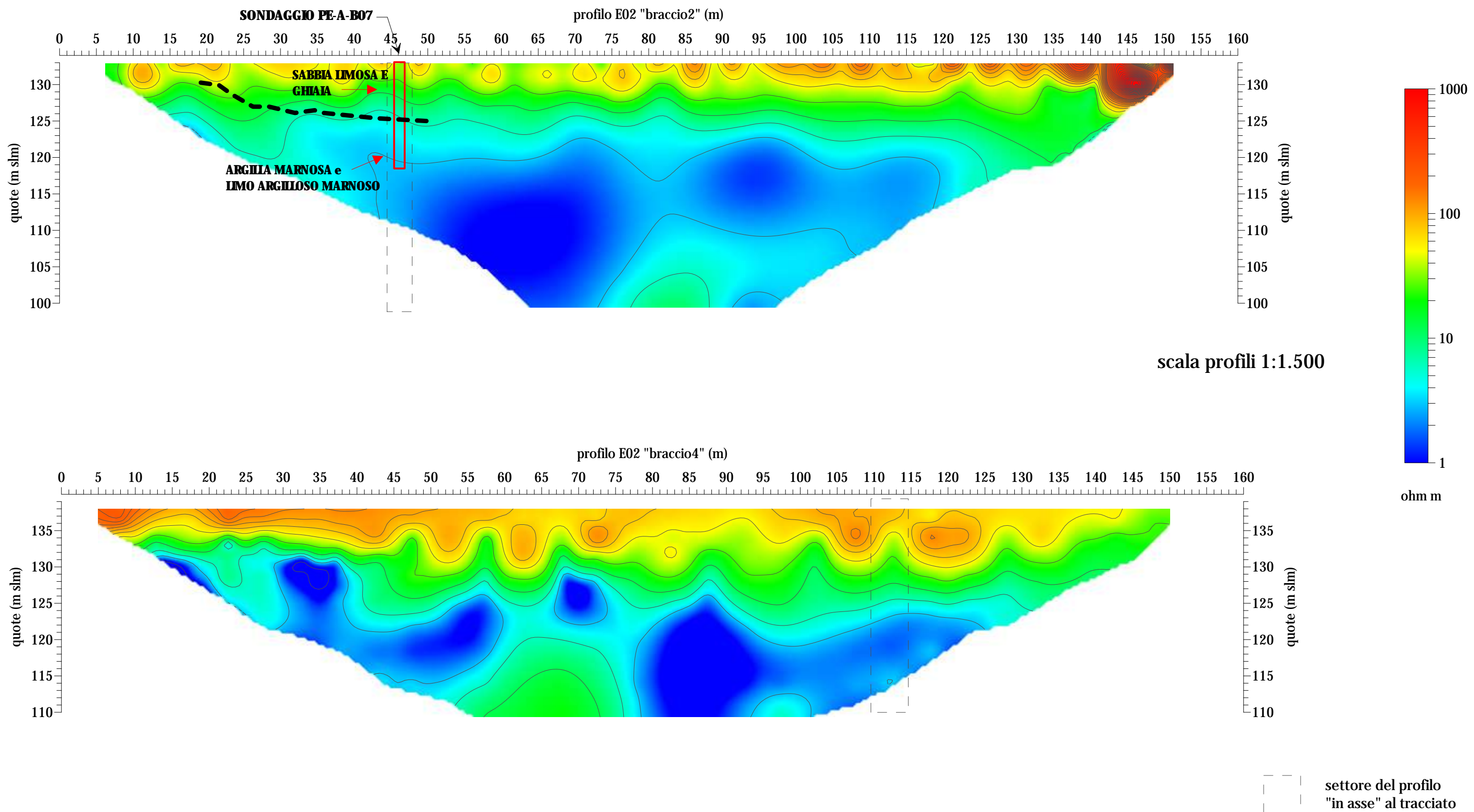
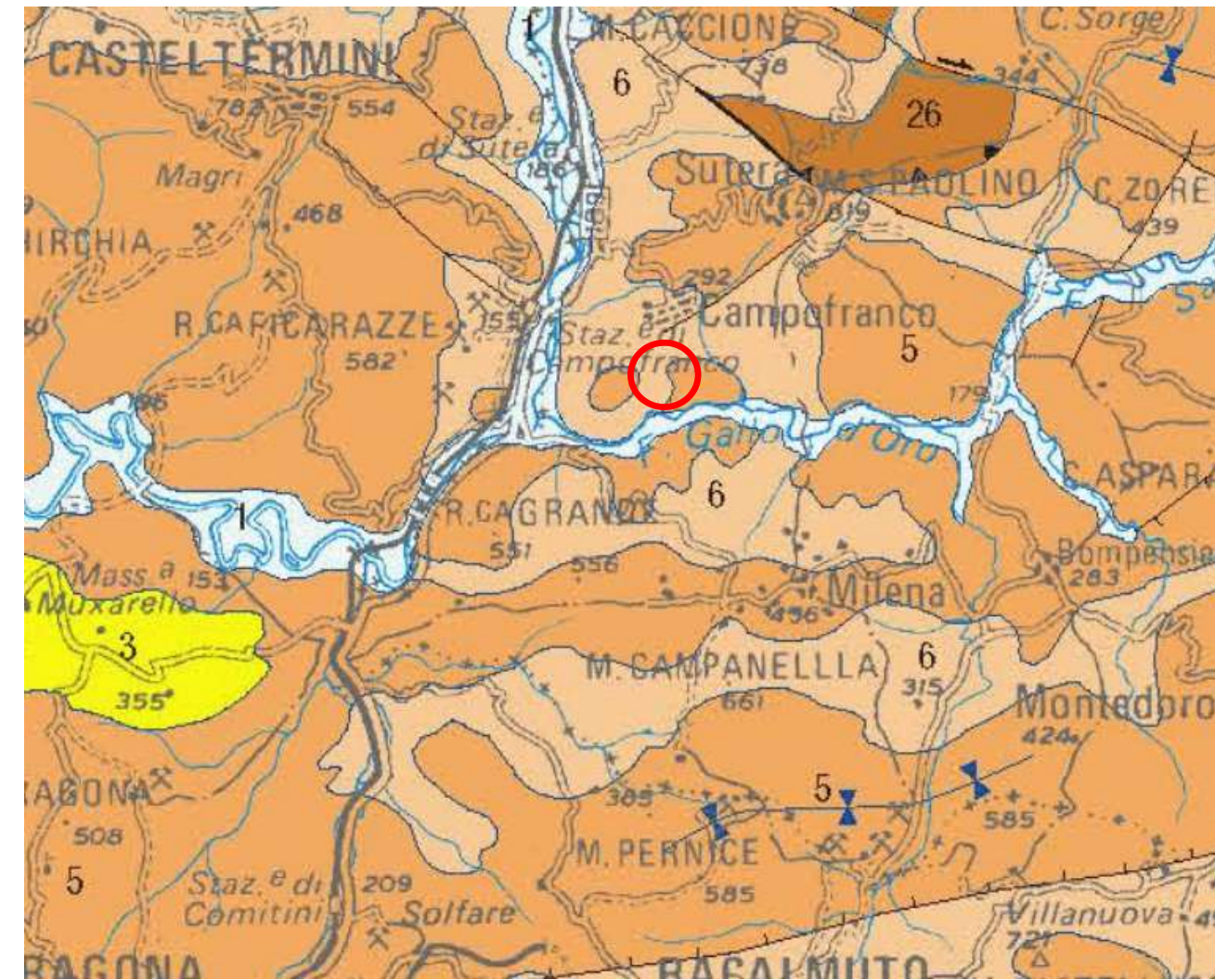


TAVOLA PROFILI
PE-A-E03 / PE-A-R03

CARTA GEOLOGICA DELLA SICILIA
Fabio Lentini e Serafina Carbone,
Università degli Studi di Catania, ISPRA, INGV, 2014



- Depositi continentali e marini talora terrazzati, spiagge. PLEISTOCENE MEDIO-GIOVINE.
Unifluviale continentali, marine and terrace deposits. MIDDLE PLEISTOCENE-GIOVINE.
- Depositi marini tergeni e argilloso-calcarei. Ciclo di Geracelo (Piazza Armerina); parte alta del Gruppo Ribera (Agrigento, Butera); calcareniti di Marsala (Aspra, Palermo, Balestrate, Fangiarena) e depositi argilloso-sabbiosi (Ficcarazzi di Palermo); sabbie di S. Margherita Belice (Castelvetrano, Mont).
FLUCCINE SUPERIORE-PLEISTOCENE MEDIO.
Marine terrigenous deposits, calcarenites and clays. Geracelo Cycle (Piazza Armerina); upper part of the Ribera Group (Agrigento, Butera); Marsala calcarenites (Aspra, Palermo, Balestrate, Fangiarena) and clayey sands deposits (Ficcarazzi di Palermo); S. Margherita Belice sands (Castelvetrano, Mont). LATE FLUCCINE-MIDDLE PLEISTOCENE.
- Depositi argilloso-sabbiosi-calcarei. Ciclo di Enna-Capodanno, marino-terrestre della Valle del Belice; parte inferiore del Gruppo Ribera (M. Natone, Agrigento, Butera); sabbie di Altavilla Milicia.
FLUCCINE INFERIORE (parte alta) SUPERIORE, p.p. Depositi pleistocenici dei Monti Palatani.
Clayey-sandy-calcareous deposits; Enna-Capodanno Cycle, Belice Valley (marine and landward); lower third of the Ribera Group (M. Natone, Agrigento, Butera); Altavilla Milicia sands. LOWER (upper part)-UPPER p.p. FLUCCINE.
Fluvio-lacustrine deposits of Monti Palatani.
- Trubi: calcari marnosi bianchi o fiammati, discordati su differenti unità tettoniche del versante tirreno o dei Monti Sicani (Sambuca-Burgio); calcareniti ad Amphitegna di Leuca. FLUCCINE INFERIORE.
Trubi Fm.: whitish fossiliferous-bearing marly limestone, unconformably overlying different tectonic units of the Tyrrhenian sector and Sicani Mts. (Sambuca-Burgio); Limestone sands and calcarenites with Amphitegna. EARLY FLUCCINE.
- Depositi pre-evaporitici ed evaporitici, e Trubi (diatomiti (ripoli), calcari solfiferi, gessi primari e secondari, sali depositi tergeni rappresentati da argille, selenite, conglomerati, gessature); diatomiti (argille brecciate) intercalati a più livelli. Calcari marnosi a globigerine (Trubi). MESSINIANO SUPERIORE-FLUCCINE INFERIORE.
Pre-evaporitic and evaporitic deposits and Trubi Fm.: diatomites, evaporitic limestones, primary and diagenetic salt deposits; marine, terrigenous deposits (clays, sandstones, conglomerates, gypsiferous), interbedded oolitic limestone (argille brecciate); diagenetic oolitic limestones (Trubi Fm.). LATE MESSINIAN-EARLY FLUCCINE.
- Argille marnose grigio-azzurre (fino Licata) LANGHIANE INFERIORE-TORTONIANE SUPERIORE; Argille, sabbie e conglomerati, banchine a coralli (incombe del Lardo) (fino Iseroachia); banchine a coralli (fino Baucina); diatomiti a vari livelli (argille brecciate). TORTONIANE SUPERIORE-MESSINIANO INFERIORE.
Grey-blue marly clays (Licata Mts). EARLY LANGHIAN-LATE TORTONIAN. Clays, sands and conglomerates, reef

RESULTATI INDAGINE GEOFISICA
PROFILO PE-A-E03 PE-A-R03

Geores Srl
Via Marittima 406
03100 Frosinone
+39 0775 871376
info@geores.it
info@geores@pec.it

P.I. e C.F. 02535760603

Data:
Gennaio 2021

Comittente:

Cod. Comm:
20-107

PROSPERAZIONE GEOELETTRICA E SISMICA FINALIZZATA ALLO STUDIO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO Ricoll. allacciamento Comune di Casteltermini DN 200 (8"), DP 24 bar, variante derivazione per Porto Empedocle DN 250 (10"), DP 24 bar e ricoll. allacciamento Comune di Bompensiere DN 150 (6"), DP 24 bar

TAVOLA PROFILI:
PROFILO PE-A-E03 / PE-A-R03

profilo di resistività PE-A-E03 (m)

SONDAGGIO PE-A-B16

clasti calcarei eterometrici prevalenti e gesso bianco (10.6-12.2 m)

orizzonte in argilla marnosa

GESSI livelli caotici di natura gessosa

Argilla marnosa debolmente limosa

SONDAGGIO PE-A-B14

ARGILLA MARNOSA e ARGILLA LIMOSA MARNOSA

profilo sismico PE-A-R03 (m)

SONDAGGIO PE-A-B16

clasti calcarei eterometrici prevalenti e gesso bianco (10.6-12.2 m)

orizzonte in argilla marnosa

GESSI livelli caotici di natura gessosa

Argilla marnosa debolmente limosa

SONDAGGIO PE-A-B14

ARGILLA MARNOSA e ARGILLA LIMOSA MARNOSA

SCALA PROFILO 1:1.000

profilo geologico interpretativo (m)

SONDAGGIO PE-A-B16

clasti calcarei eterometrici prevalenti e gesso bianco (10.6-12.2 m)

orizzonte in argilla marnosa

GESSI livelli caotici di natura gessosa

Argilla marnosa debolmente limosa

2 Gesso o arenaria prevalente

SONDAGGIO PE-A-B14

SONDAGGIO PE-A-R03

LEGENDA del PROFILO INTERPRETATIVO (interpretazione basata sui dati di sondaggio PE-A-B14/B15)

- litotipi di copertura e/o di substrato alterati, in prevalente granulometria fine e medio-fine
- zone di allentamento e/o marcata fratturazione
- discontinuità (faglie, fratture, zone cataclastiche)
- depositi di substrato, verosimilmente con prevalenza di litotipi argillosi, limosi e marnosi
- settori di sottosuolo con prevalenza dei litotipi pre-evaporitici ed evaporitici (diatomiti, calcari solfiferi, gessi ecc...) e/o livelli caotici di natura gessosa
- incremento delle resistività con la profondità verosimilmente imputabile alla presenza di depositi in granulometria maggiormente grossolana (ad es. orizzonti sabbiosi nella formazione delle Argille grigio-azzurre, interstrati arenacei, livelli brecciatii ecc...)
- sondaggio geognostico (con linea continua, in asse al profilo; con linea tratteggiata, non in asse rispetto al profilo)

PE-A-B14

SONDAGGIO PE-A-B14

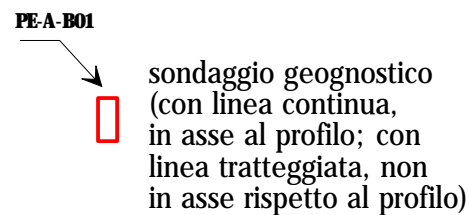
SONDAGGIO PE-A-R03

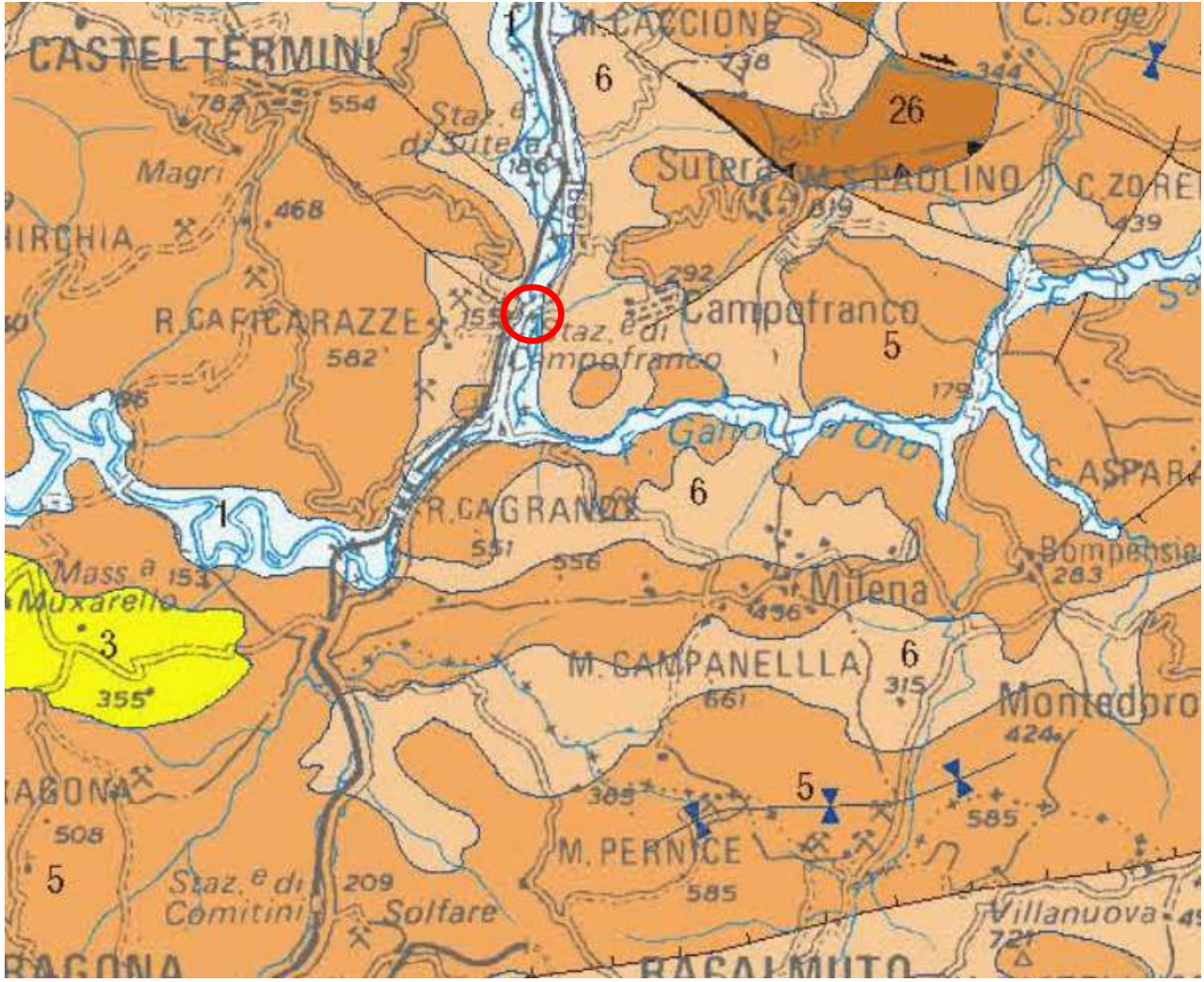
NORD

TAVOLA 03



TAVOLA 04





- 1

Depositi continentali e marini talora terrazzati, spiagge. PLEISTOCENE MEDIO-OLOCENE
Unfossiliferous continental, marine and terrace deposits. MIDDLE PLEISTOCENE-HOLOGENE
- 2

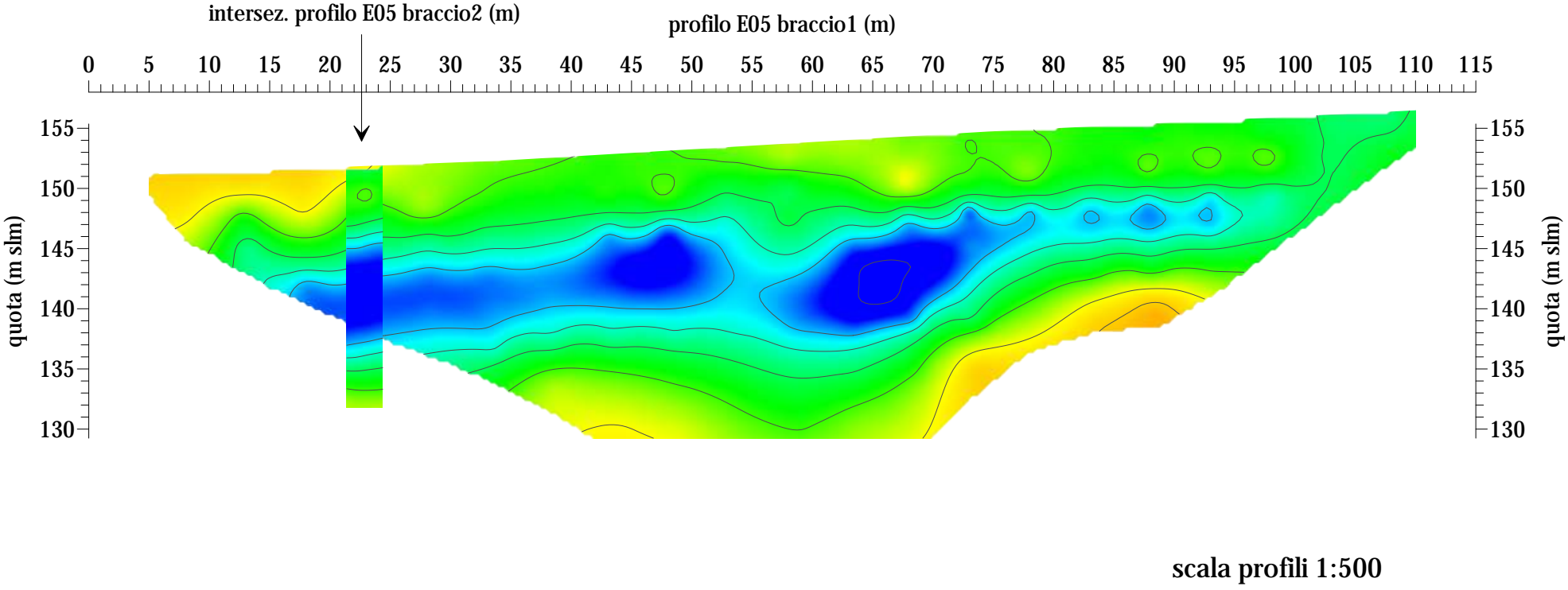
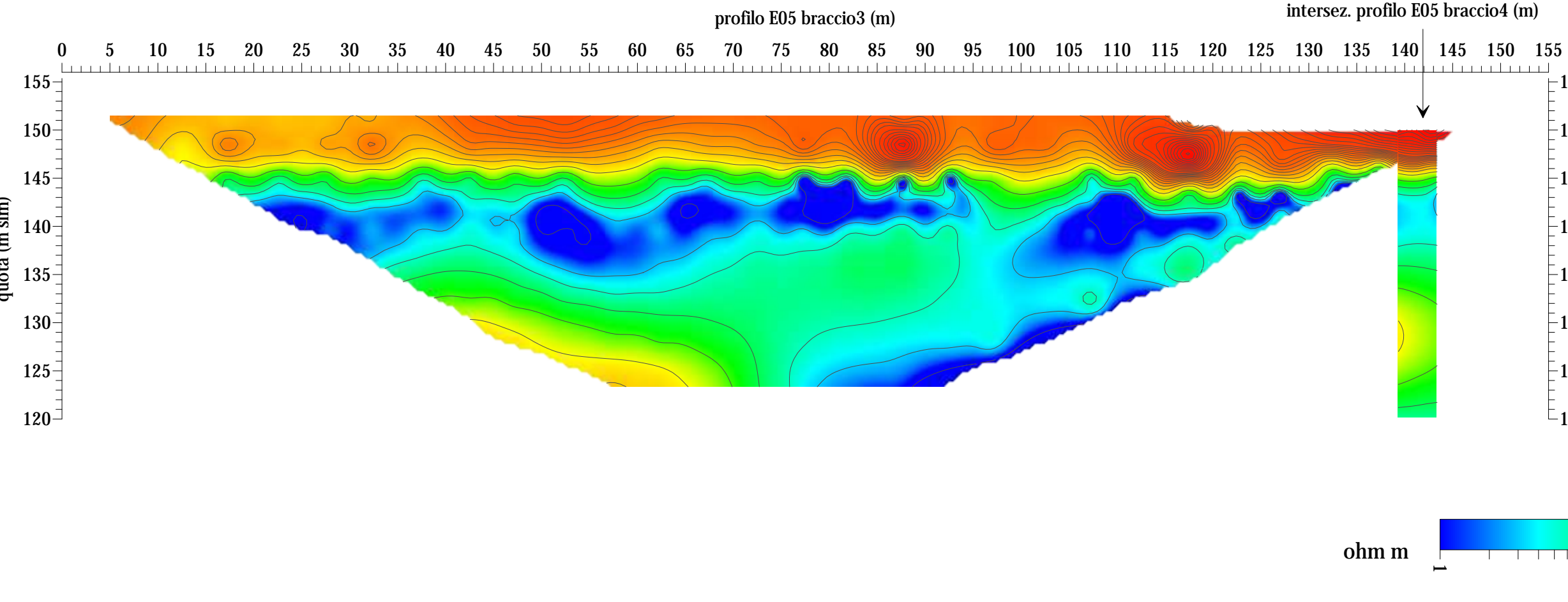
Depositi marini terrigeni e argilloso-calcarentici. Ciclo di Gela (Piazza Armerina), parte alta del Gruppo Ribera (Argento, Butera), calcareniti di Marsala (Pezza, Palermo, Balotola, Fingrana) e depositi argilloso-sabbiosi (Ficarella di Palermo), sabbia di S. Margherita Belice (Castelvetrano, Merli), PLOCIENE SUPERIORE-PLEISTOCENE MEDIO
Marine terrigenous deposits, calcarenites and clayey Gela Cycle (Piazza Armerina), upper part of the Ribera Group (Argento, Butera), Marsala calcarenites (Pezza, Palermo, Balotola, Fingrana) and clayey-sandy deposits (Ficarella di Palermo), S. Margherita Belice sands (Castelvetrano, Merli). LATE PLOCIENE-MIDDLE PLEISTOCENE
- 3

Depositi argilloso-sabbiosi-calcarentici. Ciclo di Enna-Capodirso, marino-arenaceo della Valle del Belice, parte inferiore del Gruppo Ribera (M. Nerbone, Argento, Butera), sabbie di Altavilla Milicia. PLOCIENE INFERIORE (parte alta) SUPERIORE p.p. Depositi pleistocenici dei Monti Peliccioli.
Clayey-sandy-calcarentic deposits: Enna-Capodirso Cycle, Belice Valley marls and sandstones; lower interval of the Ribera Group (M. Nerbone, Argento, Butera), Altavilla Milicia sands. LOWER (upper part)-UPPER p.p. PLOCIENE. Peliccioli-Pleistocene deposits of Monti Peliccioli.
- 4

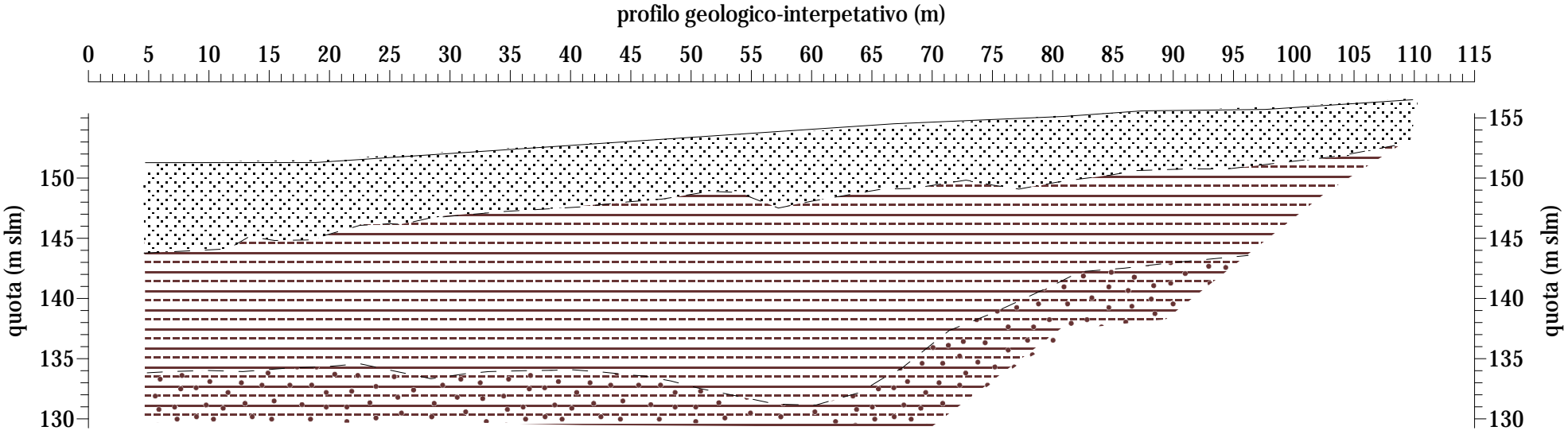
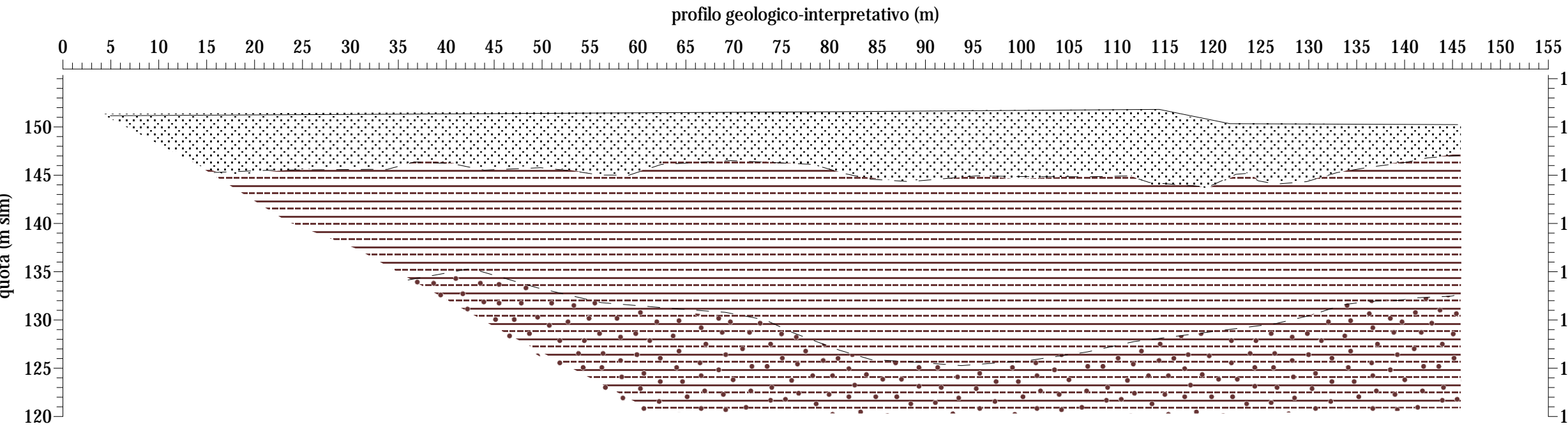
Trubi calcarei marnosi biancastri a foraminiferi, discordanti su differenti unità tettoniche del versante tirreno e dei Monti Sicani (Sambuca Burgio), calcareniti ad Amphistegina di Lascari. PLOCIENE INFERIORE
Trubi (fin.: white foraminifera bearing marls) arenaceous, unconformably overlying different tectonic units of the Tyrrhenian sector and Sicani Mts. (Sambuca Burgio). Lascari sandy and calcarenites with Amphistegina. EARLY PLOCIENE
- 5

Depositi pre-evaporitici ed evaporitici, e Trubi distoniti (Tipoli), calcari soliflori, gessi primari e secondari, sali, depositi terrigeni rappresentati da argille, arenarie, conglomerati, gessoliti, olistostromi (argille brocciate) intercalati a più livelli. Calcari marnosi a globigerina (Trubi). MESSINIANO SUPERIORE-PLIOCENE INFERIORE
Pre-evaporitic and evaporitic deposits and Trubi (fin.: disconformities, evaporitic limestone, primary and diagenetic solonch, gypsum, salts, terrigenous deposits (clays, sandstones, conglomerates, gypsumites), interbedded olistostromes (argille brocciate), Globigerina clayey-limestones (Trubi fin.). LATE MESSINIAN-EARLY PLOCIENE
- 6

Argille marnose grigio-azzurre (fine liscia) LANGHIANE INFERIORE-TORTONIANE SUPERIORE. Argille, sabbie e conglomerati, banchine a coralli (monte dei Larderi) (fine Terravecchia), banchine a coralli (fine Buccina), olistostromi a vari livelli (argille brocciate). TORTONIANO SUPERIORE-MESSINIANO INFERIORE
Grey-blue marly clays (Liscia fin.). EARLY LANGHIAN-LATE TORTONIAN. Clays, sands and conglomerates, reef



scala profili 1:500



RESULTATI INDAGINE GEOFISICA

PROFILI CT-A-E05

Geores Srl

Via Marittima 406

03100 Frosinone

+39 0775 871376

info@geores.it

info@geores@pec.it

P.I. e C.F. 02535760603

Data: Gennaio 2021	Committente: <div></div>
Cod. Comm: 20-107	PROSPERAZIONE GEOELETTICA E SISMICA FINALIZZATA ALLO STUDIO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO Ricoll. allacciamento Comune di Casteltermini DN 200 (8"), DP 24 bar, variante derivazione per Porto Empedocle DN 250 (10"), DP 24 bar e ricoll. allacciamento Comune di Bompensiere DN 150 (6"), DP 24 bar

TAVOLA PROFILO CT-A-E05

LEGENDA del PROFILO INTERPRETATIVO (interpretazione basata sui dati di sondaggio CT-A-B23)

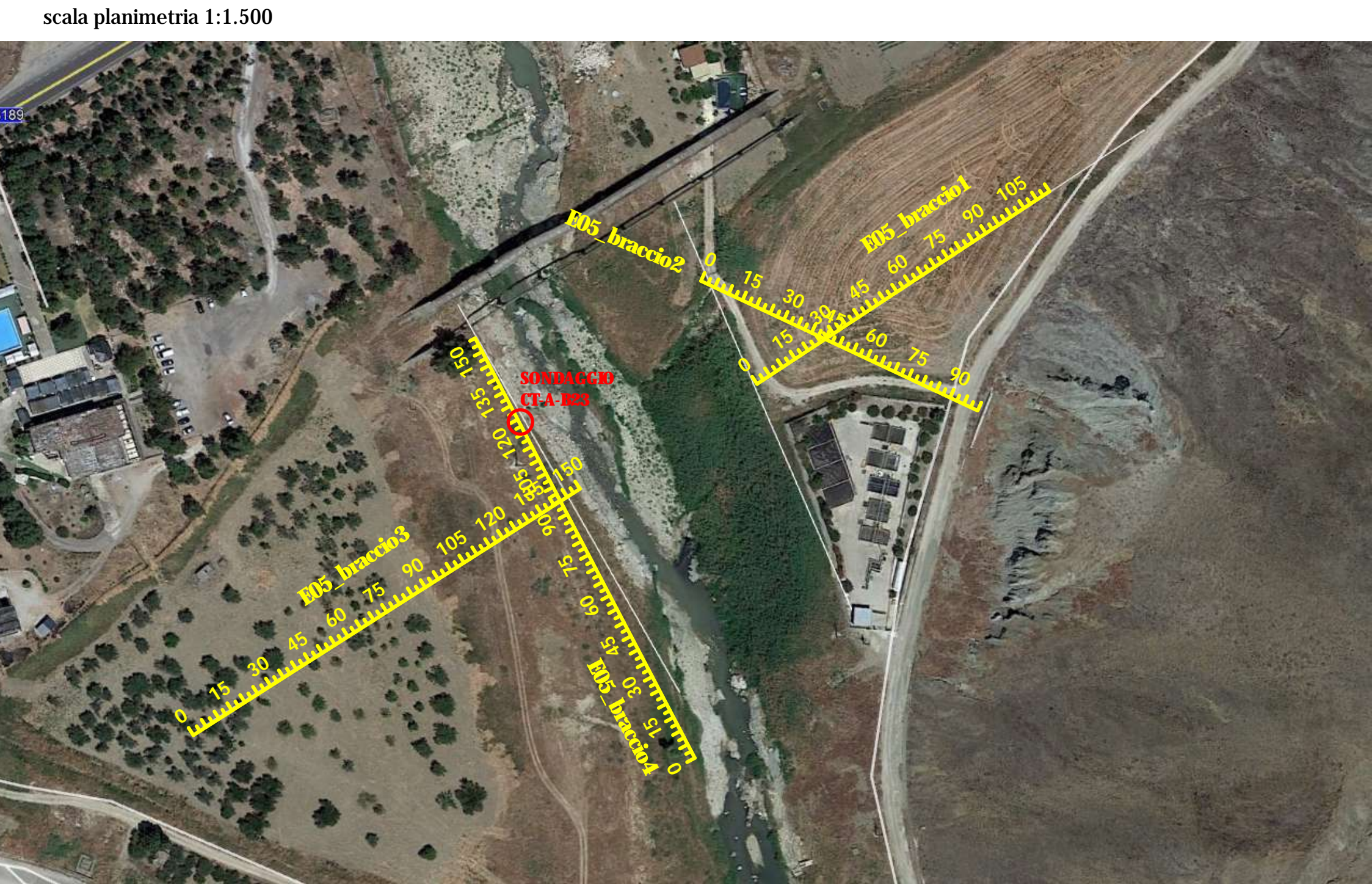
litotipi fortemente resistivi
coperture in granulometria medio-grossolana:
sabbie con limi calcaree, con ghiaia, e ghiaie
e ciottoli poligenici

litotipi basso-resistivi
argille da debolmente marnose a marnose,
da rigide a dure

incremento delle resistività con la profondità
verosimilmente imputabile alla presenza di
depositi in granulometria maggiormente grossolana
(ad es. orizzonti sabbiosi nella formazione delle
Argille grigio-azzurre, interstrati arenacei, livelli
brecciati ecc...)

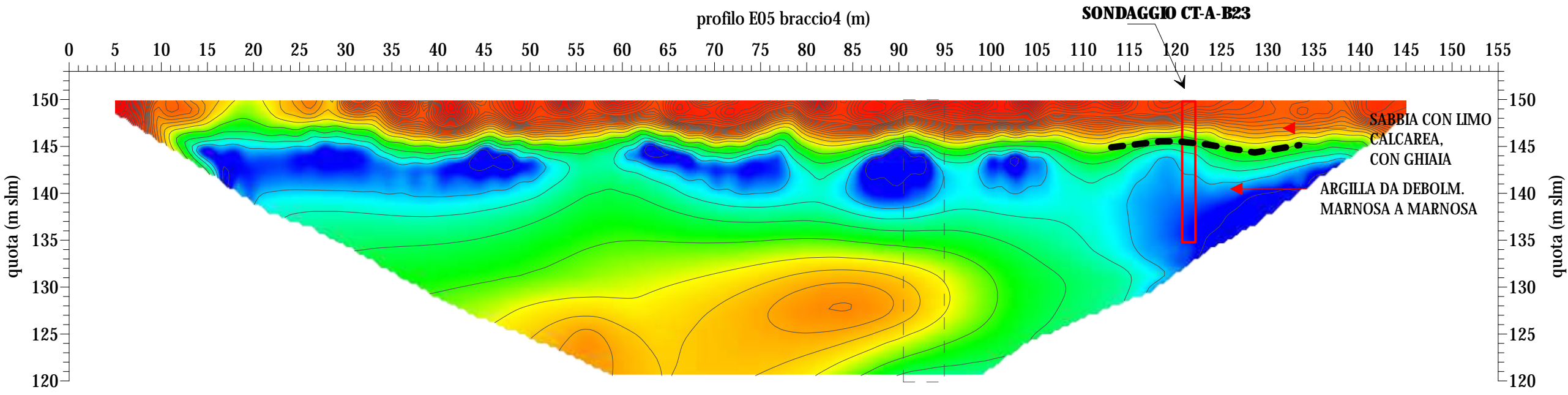
PE-A-B01

sondaggio geognostico
(con linea continua,
in asse al profilo; con
linea tratteggiata, non
in asse rispetto al profilo)

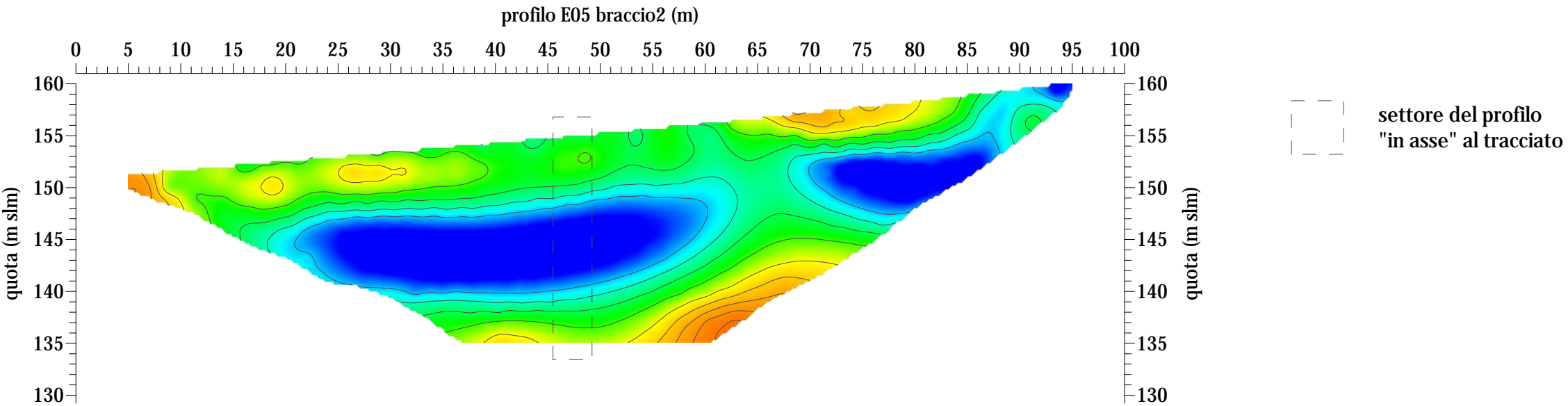


- settore di realizzazione
sondaggio geognostico
- 0.5 E05

ubicazione stendimento
eletto-tomografico



scala profili 1:500



- settore del profilo
"in asse" al tracciato



Data	Gennaio 2021
Riferimento	Campofranco (CL)
Tipologia di lavoro	Analisi MASW
Committente	Saipem S.p.A.

ANNESSO 1 – RISULTATI PROVE MASW



RISULTATI DELLA PROVA PE-A-M01

ubicazione prova masw



Ubicazione prova masw

dati generali prova masw



Committente: Saipem S.p.A.

Sito: PE-A-M01

Data inizio e fine prova: 19/11/2020

Strumento: sismografo 24 bit DAQLink III

Energizzazione: massa battente 10 kg

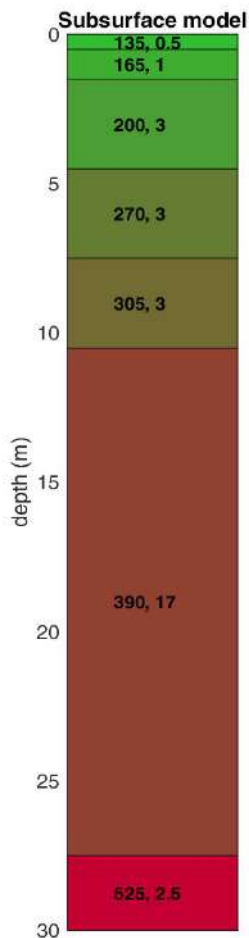
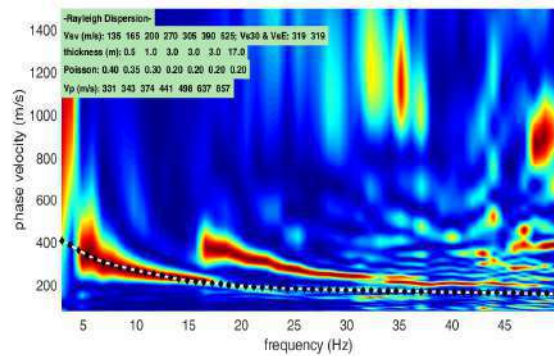
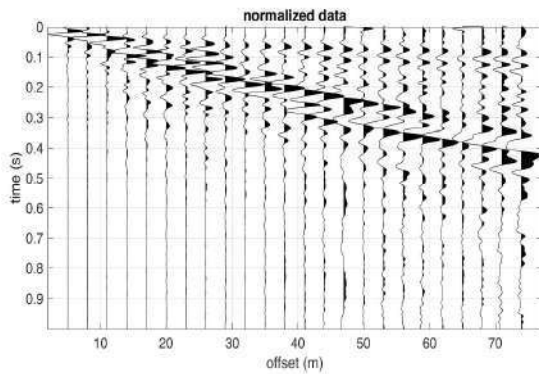
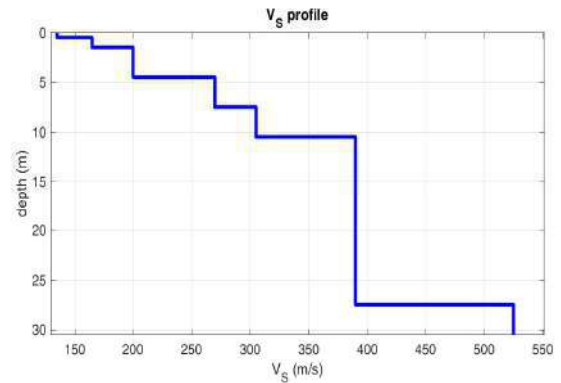
N° geofoni: 24 con interspazio 3 metri

Software di processing: winMASW 2018 Professional

Tipologia di processing: modelling diretto

output prova MASW

www.winmasw.com



Vs (m/s): 135 165 200 270 305 390 525
 Thickness (m): 0.5, 1.0, 3.0, 3.0, 3.0, 17.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.79 1.80
 1.82 1.86 1.89 1.94 2.02
 Shear modulus (MPa) (approximate values): 33
 49 73 135 175 296 556

Analyzing Phase velocities
 Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please see manual)

Vp (m/s): 331 343 374 441 498 637 857
 Poisson: 0.40 0.35 0.30 0.20 0.20 0.20 0.20

Vs30 and VsE (m/s): 319 319

Vs (m/s), Thickness (m)

risultati prova MASW

In base ai risultati ottenuti la categoria del suolo di fondazione del sito esaminato è: **C** (la categoria di sottosuolo è calcolata dall'attuale p.c.).

Dalla normativa (NTC 2018):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.



RISULTATI DELLA PROVA PE-A-M02

ubicazione prova masw



Ubicazione prova masw

dati generali prova masw



Committente: Saipem S.p.A.

Sito: PE-A-M02

Data inizio e fine prova: 19/11/2020

Strumento: sismografo 24 bit DAQLink III

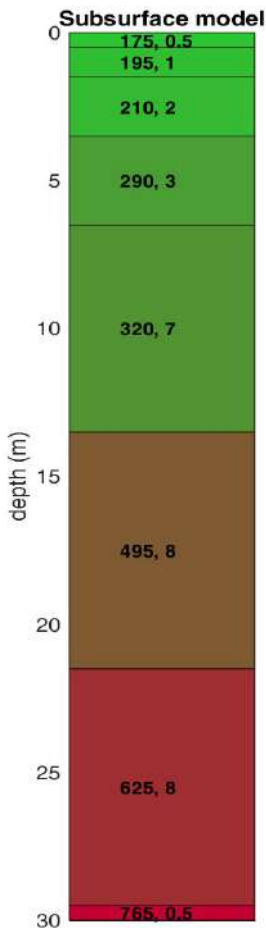
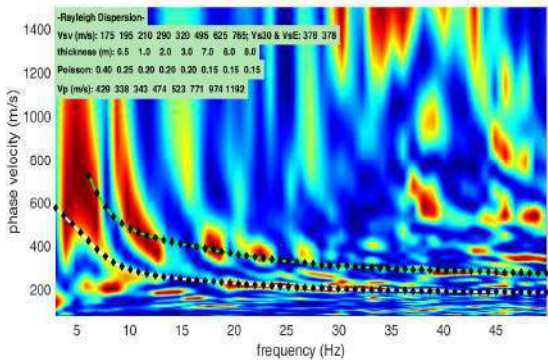
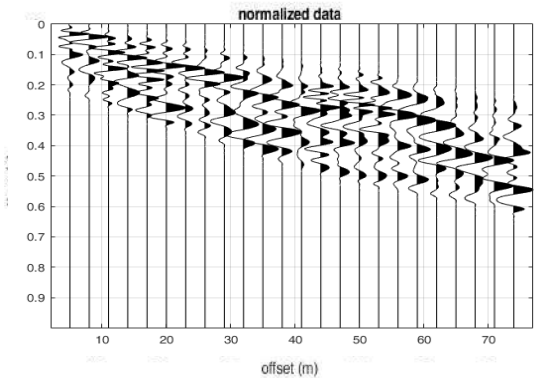
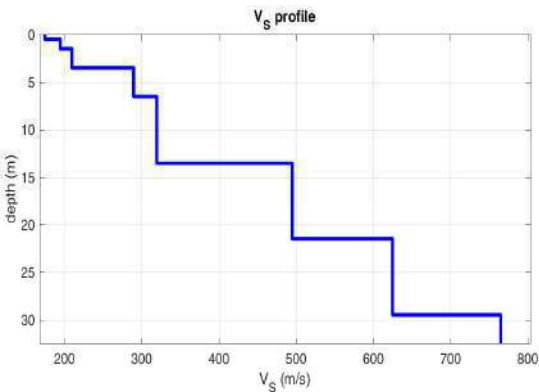
Energizzazione: massa battente 10 kg

N° geofoni: 24 con interspazio 3 metri

Software di processing: winMASW 2018 Professional

Tipologia di processing: modelling diretto

output prova MASW



Vs (m/s): 175 195 210 290 320 495 625 765
 Thickness (m): 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 7.0, 8.0, 8.0

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.85 1.79
 1.80 1.87 1.90 1.99 2.05 2.10
 Shear modulus (MPa) (approximate values): 57 68
 79 158 194 488 800 1227

Analyzing Phase velocities
 Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please see manual)

Vp (m/s): 429 338 343 474 523 771 974 1192
 Poisson: 0.40 0.25 0.20 0.20 0.20 0.15 0.15
 0.15

Vs30 and VsE (m/s): 378 378

← Vs (m/s), Thickness (m)

risultati prova MASW

In base ai risultati ottenuti la categoria del suolo di fondazione del sito esaminato è: **B** (la categoria di sottosuolo è calcolata dall'attuale p.c.).

Dalla normativa (NTC 2018):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

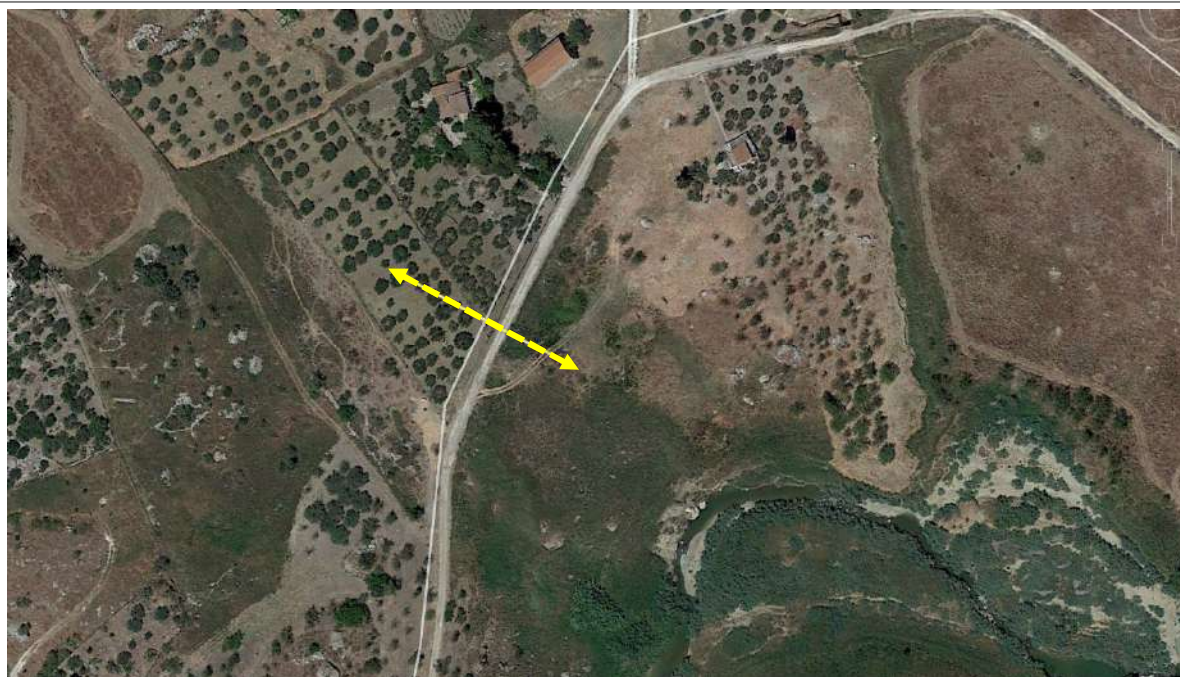
D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.



RISULTATI DELLA PROVA PE-A-M03

ubicazione prova masw



Ubicazione prova masw

dati generali prova masw



Committente: Saipem S.p.A.

Sito: PE-A-M03

Data inizio e fine prova: 19/11/2020

Strumento: sismografo 24 bit DAQLink III

Energizzazione: massa battente 10 kg

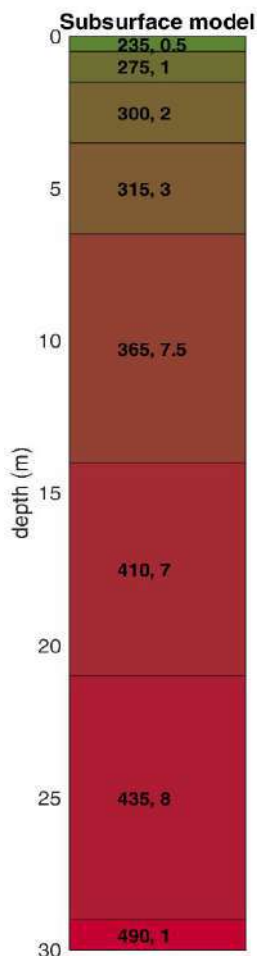
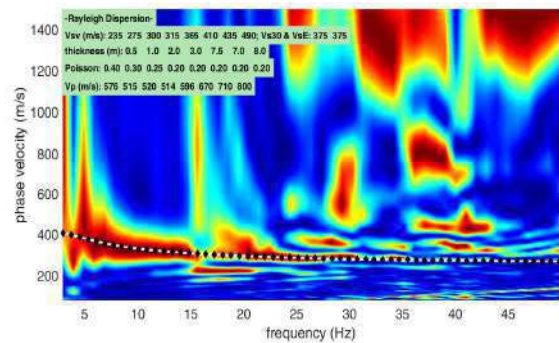
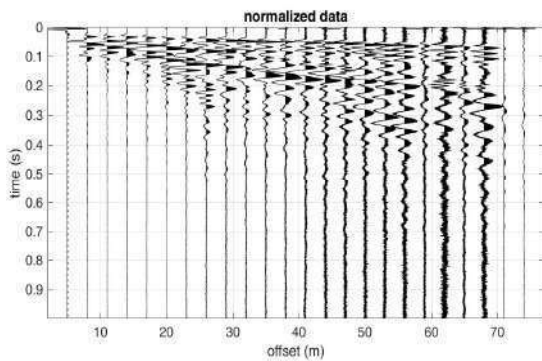
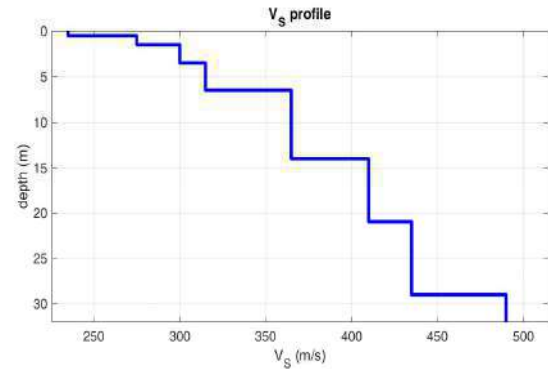
N° geofoni: 24 con interspazio 3 metri

Software di processing: winMASW 2018
Professional

Tipologia di processing: modelling diretto

output prova MASW

www.winmasw.com



Vs (m/s): 235 275 300 315 365 410 435 490

Thickness (m): 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 7.5, 7.0, 8.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.92 1.89 1.90
1.89 1.93 1.96 1.97 2.00

Shear modulus (MPa) (approximate values): 106 143 171
188 257 329 373 480

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 576 515 520 514 596 670 710 800

Poisson: 0.40 0.30 0.25 0.20 0.20 0.20 0.20 0.20

Vs30 and VsE (m/s): 375 375

← Vs (m/s). Thickness (m)

risultati prova MASW

In base ai risultati ottenuti la categoria del suolo di fondazione del sito esaminato è: **B** (la categoria di sottosuolo è calcolata dall'attuale p.c.).

Dalla normativa (NTC 2018):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.



Data	Gennaio 2021
Riferimento	Campofranco (CL)
Tipologia di lavoro	Analisi MASW, tomografia elettrica e tomografia a rifr.
Committente	Saipem S.p.A.

ANNESSO 2 – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

CANTIERE

Campofranco (CL), indagine di tomografia elettrica e sismica 2D



1. Stendimento E01 "braccio1"



2. Stendimento E01 "braccio2"



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

CANTIERE

Campofranco (CL), indagine di tomografia elettrica e sismica 2D



3. Stendimento E01 "braccio3"



4. Stendimento E01 "braccio4"



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

CANTIERE

Campofranco (CL), indagine di tomografia elettrica e sismica 2D



5. Stendimento E02 “braccio1”



6. Stendimento E02 “braccio2”



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

CANTIERE

Campofranco (CL), indagine di tomografia elettrica e sismica 2D



7. Stendimento E02 "braccio3"



8. Stendimento E02 "braccio4"



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

CANTIERE

Campofranco (CL), indagine di tomografia elettrica e sismica 2D



9. Stendimento E03



10. Stendimento R03



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

CANTIERE

Campofranco (CL), indagine di tomografia elettrica e sismica 2D



11. Stendimento E04



12. Stendimento R04



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

CANTIERE

Campofranco (CL), indagine di tomografia elettrica e sismica 2D



13. Stendimento E05 “braccio1”



14. Stendimento E05 “braccio2”



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

CANTIERE

Campofranco (CL), indagine di tomografia elettrica e sismica 2D



15. Stendimento E05 “braccio3”



16. Stendimento E05 “braccio4”



RELAZIONE GEOFISICA

Data
25 Febbraio 2022

Committente
Saipem S.p.A.

Cantiere
Derivazione per Porto Empedocle (AG)

Tipologia di lavoro
Indagine geofisica con metodologia masw, tomografia
elettrica 2D e tomografia sismica a rifrazione 2D

SaipemSpA-Derivazione-Porto-Empedocle-MASW-T-TS.pdf



Data	Febbraio 2022
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

1. Premessa

GEORES S.r.l. ha eseguito indagini geofisiche del tipo masw (Multichannel Analysis of SurfaceWaves), tomografia elettrica 2D e tomografia sismica 2D lungo la tratta del metanodotto in progetto "Ricoll. allacciamento Comune di Casteltermini DN 200 (8"), DP 24 bar, variante derivazione per Porto Empedocle DN 250 (10"), DP 24 bar e ricoll. Allacciamento Comune di Bompensiere DN 150 (6"), DP 24 bar".

Le indagini sono state effettuate in n°24 settori lungo il tracciato, la cui ubicazione è riportata nelle tavole allegate. Le caratteristiche degli stendimenti sono invece sintetizzate nella tabella 1.

stendimento	lunghezza (m)	tipologia indagine	passo (m)
AG-B-E12	170	t.elettrica	5
AG-B-E13	210	t.elettrica	5
AG-B-E14	500	t.elettrica	5
AG-B-R14	500	t.sismica	5
PE-B-E06a	250	t.elettrica	5
PE-B-E06b	200	t.elettrica	5
PE-B-E07a	155	t.elettrica	5
PE-B-E07b	135	t.elettrica	5
PE-B-E08a	130	t.elettrica	5
PE-B-E08b	75	t.elettrica	5
PE-B-E09	175	t.elettrica	5
PE-B-R10	170	t.sismica	5
PE-B-E11	500	t.elettrica	5
PE-B-M04	60	masw	3
PE-B-M05	60	masw	3
PE-B-M06	60	masw	3
PE-B-M07	60	masw	3
PE-B-M08	60	masw	3
PE-B-M09	60	masw	3
PE-B-M10	60	masw	3
PE-B-M11	60	masw	3
PE-B-R09	175	t.sismica	5
PE-B-R11	500	t.sismica	5
PE-B-M10A	60	masw	3

Tabella 1: quadro riassuntivo delle indagini eseguite

ANNESI:

TAVOLA 1 – Risultati indagine AG-B-E12

TAVOLA 2 – Risultati indagine AG-B-E13

TAVOLA 3 – Risultati indagine AG-B-E14/R14

TAVOLA 4 – Risultati indagine AG-B-E06a/b

TAVOLA 5 – Risultati indagine AG-B-E07a/b

TAVOLA 6 – Risultati indagine AG-B-E08a/b

TAVOLA 7 – Risultati indagine PE-B-E09



Data	Febbraio 2022
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

TAVOLA 8 – Risultati indagine PE-B-R10

TAVOLA 9 – Risultati indagine PE-B-E-R11

Annesso 1: *Risultati dell'indagine geofisica del tipo masw*

Annesso 2: *documentazione fotografica*

2. ANALISI SISMICA DEL TIPO MASW

L'indagine è consistita, su ciascuno dei settori indicati dalla Committenza, nella realizzazione di n.1 sezione sismica a 24 canali, consentendo la determinazione delle V_{seq} nell'area in oggetto e consentendo la definizione dell'assetto sismo-stratigrafico del sito.

Il sistema Masw consiste nel misurare le velocità delle onde superficiali a differenti frequenze, la variazione delle quali viene chiamata dispersione, dovuta alla stratificazione delle velocità delle onde S nella determinazione dello spettro di velocità. Grazie ad un metodo di inversione della curva di dispersione con software *winMASW 2018 Professional*, le misure permettono di determinare il profilo verticale delle V_{seq} che rappresenta un valore medio della velocità delle onde S entro i litotipi di copertura. Lo strumento è composto da una sorgente di onde sismiche, da 24 geofoni posti a distanza di 3.0 m, con frequenza 4,5 Hz, per la misurazione dell'intensità e dei tempi di arrivo del treno di onde, e da un dispositivo hardware di registrazione dei dati. La sorgente delle onde sismiche è costituita dall'impatto di un martello di 10 kg su una piastra posizionata perpendicolarmente al terreno, in grado di generare un treno di onde sismiche, i cui tempi di arrivo e l'intensità delle stesse vengono registrate dai geofoni ed inviate al sismografo centrale di acquisizione. L'energizzazione è stata realizzata alla distanza di 5 metri dal primo geofono (è stata eseguita sia da un lato che dall'altro dello stendimento). Si eseguono diverse energizzazioni e si misura l'attenuazione del segnale sismico lungo la stesa. I risultati della prova consistono in una curva di dispersione ed in uno spettro di velocità, con un profilo verticale delle onde S.

Per l'acquisizione dei sismogrammi è stato utilizzato un **Sismografo DAQLINK 3 Seismic Source 24 bit**, 24 geofoni a 4.5Hz, mazza da 10 Kg.

Data	Febbraio 2022
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

SISMOGRAFO DAQLINK III – CARATTERISTICHE TECNICHE



Sismografo compatto a 24 bit, numero di canali per modulo da 3 a 24, ampio range dinamico 144db, output dei dati in SEG-Y, SEG-2 o ASCII, possibilità di scaricare i dati in modalità wireless e opzione per test dei geofoni ed accelerometri. Lunghezza di registrazione : fino a 4 mld di campioni. Intervalli di campionamento: 0.0208, 0.0625, 0.125, 0.250, 0.500, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00 ms.

Figura 1: sismografo Daqlink III

L'elaborazione dei dati con il metodo MASW prevede varie fasi di lavoro tra cui il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) e l'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs; ciò si ottiene modificando opportunamente lo spessore h, le velocità delle onde di taglio Vs e il coefficiente di Poisson, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato. Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali sono stati individuati con procedura manuale, assegnando il numero di strati del modello e il coefficiente di Poisson e variando lo spessore h e la velocità Vs degli strati.

Si sottolinea che le analisi del tipo MASW, determinando valori delle V_{seq} ricavati lungo uno stendimento di lunghezza di circa 69 metri, possono mediare eventuali variazioni laterali delle stratigrafie.

I dati derivati dalla elaborazione delle prove masw consentono la classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, Vs.

La classificazione del sottosuolo si effettua infatti in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V_{Seq} (in m/s), definita dalla seguente espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

in cui:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.



Data	Febbraio 2022
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VS_{eq} è definita dal parametro VS_{30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Si riportano in "Annesso 1" i singoli rapporti di prova delle masw elaborate, per ciascun sito, con relativa ubicazione in pianta, dati di output e risultati ottenuti (sismo-stratigrafia e categoria di sottosuolo).

3. TOMOGRAFIA ELETTRICA 2D

3.1 Premessa

L'indagine geoelettrica è stata realizzata nei siti AG-B-E12, AG-B-E13, AG-B-E14, AG-B-E06a/b, AG-B-E07a/b, AG-B-E08a/b, PE-B-E09, PE-B-E11. Le relative planimetrie ubicative sono riportate nelle tavole allegate.

La tecnica della tomografia elettrica si presenta molto vantaggiosa per l'identificazione di variazioni dei terreni legate alle caratteristiche litologiche e stratigrafiche (composizione granulometrica, presenza di falda/terreni umidi, diverso contenuto d'acqua ecc...). In alcuni siti è stata effettuata una analisi congiunta tomografia elettrica/tomografia sismica a rifrazione; l'indagine "a rifrazione" consente più dettagliatamente di analizzare le caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi presenti in successione (orizzonti più o meno compatti, individuazione di coltri di alterazione, distinzione tra i litotipi di copertura e quelli di substrato ecc...).

3.2 Metodologia geoelettrica

La resistività elettrica è una delle proprietà fisiche più utilizzate per l'esplorazione del sottosuolo, grazie soprattutto all'elevato intervallo di valori che essa può assumere al variare della natura dei corpi investigati. Il metodo geoelettrico si basa sulla misura tra due elettrodi, detti convenzionalmente MN, della differenza di potenziale ΔV associata alla distribuzione nel sottosuolo di una corrente elettrica I immessa in una diversa coppia di elettrodi, detti AB. Si dimostra che si ottiene un valore di resistività apparente:

$$(\Omega \text{ m}) \rho_a = K(V/I)$$

che è funzione, oltre che della posizione reciproca dei 4 elettrodi anzidetti (dipendenza contenuta nel parametro K , detto fattore geometrico), della distribuzione della resistività elettrica dei sedimenti nel sottosuolo interessato dalla propagazione della corrente I .

I dati acquisiti devono essere opportunamente «interpretati» al fine di ottenere dall'insieme dei valori di ρ_a , un modello realistico dell'effettiva distribuzione delle resistività elettriche reali nel sottosuolo indagato. Da questa distribuzione, con opportune tarature e/o in base alle conoscenze geo-litologiche, il modello geofisico viene trasformato in modello geo-litologico. Spostando e distanziando gli elettrodi lungo un profilo secondo una sequenza pre-programmata ed automatica,



Data	Febbraio 2022
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

si possono investigare lateralmente ed in profondità le variazioni di resistività apparente ottenendo una sezione di resistività apparente che evidenzia le discontinuità laterali della resistività elettrica reale del sottosuolo. In ogni caso l'informazione ottenuta è una resistività apparente, funzione della distribuzione delle resistività elettriche vere all'interno del corpo e della disposizione reciproca degli elettrodi del quadripolo. Solo un opportuno processo di «inversione» o, in termini più semplici, di interpretazione di tali dati restituisce il più probabile modello di distribuzione delle resistività elettriche reali all'interno del corpo investigato. La cosiddetta «tomografia elettrica» è per l'appunto quella metodologia che permette di acquisire informazioni in simultanea dipendenza sia della profondità che della distanza orizzontale e di interpretarle mediante un processo di inversione dei dati che permette di ricostruire le reali geometrie del sottosuolo.

3.3 Metodologia utilizzata nell'indagine

Il sistema dei profili elettrici superficiali con dispositivo multi-array per Tomografia Elettrica di Resistività è una metodologia innovativa in quanto evoluzione delle misure geoelettriche classiche, intesa ed applicata in modo tale da ottenere risoluzioni spaziali elevate. Il sistema permette di ricostruire la distribuzione in due dimensioni della resistività reale nel sottosuolo con una risoluzione che dipende dalla distanza tra gli elettrodi.

Tutti gli elettrodi sono collegati, mediante un apposito cavo multi-conduttore, allo strumento di acquisizione. La corrente viene applicata ad una coppia di elettrodi misurando poi la differenza di potenziale tra tutte le altre coppie di elettrodi disponibili nella configurazione scelta. Si passa poi ad una seconda coppia di trasmissione e così via fino a raggiungere il numero massimo di misure indipendenti sui poli e dipoli disponibili. Si ottengono così centinaia di misure per ciascuna sezione di interesse e, con un apposito algoritmo di inversione, è possibile ricostruire la distribuzione bidimensionale di resistività reale del sottosuolo (*figura 2*).



Figura 2: georesistivimetro IRIS SYSCAL PRO; immagini modalità operative tomografia elettrica 2D eseguita in sito



Data	Febbraio 2022
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

Nel caso di specie, sono stati eseguiti degli stendimenti con passo interelettrodico 5.0 m utilizzando degli array del tipo "dipolo-dipolo" e "wenner".

Le misure sono state interpretate mediante uno specifico software dedicato (RES2D INV) capace di ricostruire la distribuzione di resistività reale in due dimensioni legata alle caratteristiche geologico stratigrafiche, idrogeologiche e strutturali di ciascun sito indagato.

Si sono utilizzati, per la corretta modellazione degli stendimenti lungo il tracciato di progetto del metanodotto, i dati topografici ricavati attraverso strumentazione GPS.

3.4 Strumentazione utilizzata

Lo strumento di acquisizione utilizzato, il georesistivimetromultielettrodo multicanale IRIS SYSCAL PRO, è capace di gestire contemporaneamente oltre 256 elettrodi e di personalizzare, tramite specifico software applicativo, tutte le misure desiderate e la loro posizione nel sottosuolo. Questo strumento ha una precisione strumentale di circa 0,5% ed utilizza una alimentazione in corrente continua fino a 2,5 A.

Caratteristiche tecniche:

Iris SYSCAL Pro acquisitionunit

- 10 canali di acquisizione
- Voltaggio utilizzato per l'indagine: 400 V
- Durata immissione corrente: 500 ms
- Cavi multipolari schermati ad alta sensibilità (multicorecables)
- 48/72 elettrodi di misura
- passo interelettrodico utilizzato: 5 metri
- array: Dipolo-dipolo/Wenner

Software di processing:

- RES 2D INV Geotomo®

3.5 Rappresentazione dei risultati

Il risultato dell'indagine è rappresentato da profili di resistività in cui sono riportati i valori acquisiti dallo strumento, attraverso una scala colorimetrica del tipo logaritmico:

- ✓ con i colori *blu*, *azzurro*, *verde* e *giallo* sono indicati i settori a bassa o media resistività (litologie conduttive possono essere considerate, ad es., le argille, i depositi argilloso-marnosi, le coperture in granulometria fine e media, o anche depositi saturi).
- ✓ con i colori *arancione* e *rosso* sono indicati i settori a più elevata resistività (litologie resistenti sono invece generalmente quelle arenacee, evaporitiche, calcaree, dolomitiche ecc...).

Data	Febbraio 2022
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

Nella tabella 2, di seguito riportata, sono indicati i valori indicativi di resistività (ohm·m) tipici di alcuni litotipi.

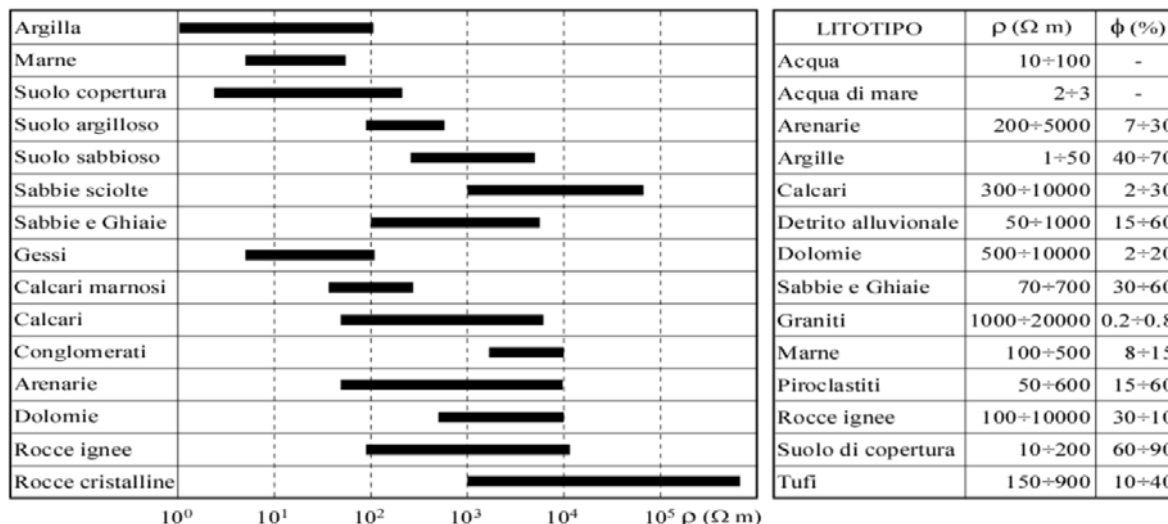


Tabella 2 (in sinistra) – Valori indicativi di resistività (Ohm·m) di alcuni litotipi; Tabella2 (in destra) – Valori indicativi di resistività (Ohm·m) e di porosità (%) di alcuni litotipi.

4. Tomografia sismica 2D

4.1 Premessa

L'indagine di tomografia sismica 2D è stata realizzata nei siti AG-B-R14, PE-B-R09, PE-B-R10, PE-B-R11. Le relative planimetrie ubicative sono riportate nelle tavole allegate.

La tomografia sismica a rifrazione consente, più dettagliatamente rispetto alla tomografia elettrica, di stimare le proprietà fisico-meccaniche dei depositi presenti in successione (orizzonti più o meno compatti, individuazione di coltri di alterazione, distinzione tra i litotipi di copertura e quelli di substrato ecc...).

4.2 Metodologia della prospezione sismica a rifrazione

Le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo, per cui nella prospezione sismica a rifrazione, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione") per determinare spessori e andamento dei livelli presenti. La tecnica di indagine consiste nel generare un'onda sismica di compressione attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da detta onda a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino ai sensori di rilevazione (geofoni) secondo le leggi di rifrazione dell'ottica (Legge di Snell), nel rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente. La rifrazione si basa



Data	Febbraio 2022
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

sull'analisi, secondo diversi modelli, dei primi arrivi rispetto a geofoniposti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, per ricostruire una serie di curve tempodistanza (dromocrone).

Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali (V_p) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti. Per lo stesso tipo di materiale, può variare in funzione di numerosi parametri quali il grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione per i materiali litoidi, ed in funzione dello stato di consistenza/addensamento, grado di saturazione, per i materiali granulari e fini.

Sensibili differenze si possono avere anche con riferimento all'assetto morfologico rispetto alle velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. Inoltre la velocità delle onde P compressionali, rispetto alle SH trasversali, è fortemente influenzata dalla presenza di eventuale acquifero e/o dal grado di saturazione.

Il principale limite della sismica a rifrazione risiede nell'impossibilità teorica di rilevare successioni stratigrafiche composte da strati a velocità decrescente con la profondità, in tal caso lo strato o gli strati non possono essere messi in evidenza dalle onde rifratte in quanto l'energia incidente, al contatto fra la sommità dello strato e la base dello strato sovrastante a più alta velocità, subisce una flessione verso il basso e non può venire di conseguenza rifratta, tale situazione è nota come "orizzonte muto".

Nonostante alcune limitazioni (insite in qualsiasi tecnica di esplorazione del sottosuolo di tipo indiretto), il metodo di indagine della tomografia a rifrazione rientra tra le metodologie geofisiche più affidabili e versatili.

4.3 Metodologia di indagine utilizzata - tomografia sismica

Al fine di definire con maggior grado di dettaglio l'assetto stratigrafico del sito sono stati effettuati degli stendimenti con la tecnica della tomografia sismica 2D.

I profili di tomografia sismica sono stati realizzati utilizzando un sismografo DAQlink III System 24 bit, con 24 geofoni verticali per la registrazione delle onde di compressione o onde "P" (*figura 3*).

Data	Febbraio 2022
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.



Figura 3: sismografo Daqlink III; immagine modalità esecutive tomografia sismica 2D eseguita in sito

La sorgente delle onde sismiche è costituita da un martello da 10 kg, collegato ad un geofono starter, che genera un treno di onde di cui risulta esaltata la componente verticale, i cui tempi di arrivo e l'intensità delle stesse vengono registrate dai geofoni, posizionati con passo di 5 metri, ed inviati al sismografo di acquisizione. L'energizzazione per la generazione delle onde è stata ripetuta 13 volte per ciascuno stendimento sismico (effettuato con n° di canali pari a 48), al fine di permettere una interpretazione dei dati di tipo "tomografico". Al fine di indagare le lunghezze prefissate, sono stati eseguiti più stendimenti in configurazione "rollalong". Come risulta evidente dalle tavole allegate, la risoluzione ottenuta permette di apprezzare variazioni di velocità dettagliate sia nella copertura che nei depositi sottostanti. Il sismografo registra i tempi di arrivo delle onde di compressione P (o primarie), ovvero le prime onde a raggiungere i geofoni di misura. L'elaborazione dei dati ha permesso la ricostruzione della stratigrafia sismica locale, lungo i profili, con l'attribuzione delle velocità caratteristiche dei terreni e la profondità e la giacitura dei rifrattori presenti nel sottosuolo, per una profondità d'indagine media di circa 45/50 metri dal p.c. I dati del *picking* dei primi arrivi sono stati inseriti, insieme alle informazioni topografiche dei vari punti di posizionamento dei geofoni e dei tiri (shot), in specifici files di input per il software di ricostruzione tomografica RAYFRAC (Rowdewahl, 2003), che ha permesso la rappresentazione ed evoluzione delle velocità sismiche delle onde P nel sottosuolo.

4.4 Rappresentazione dei risultati

I risultati dell'indagine con tomografia a rifrazione sono espressi attraverso differenti colorazioni (dal blu, basse velocità delle onde sismiche, al rosso, elevate velocità delle onde sismiche) ed attraverso delle linee di iso-velocità; nel caso di specie la sismica a rifrazione in onde P ha permesso di individuare alcuni sismo-strati principali (per la definizione sismo-stratigrafica di dettaglio si rimanda invece alla lettura dei "profili interpretativi" in Annesso):



Data	Febbraio 2022
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

- un primo sismo-strato (V_p generalmente comprese tra 400 e 1200/1400 m/s) è verosimilmente riferibile alla coltre di depositi di "copertura", in granulometria variabile, da poco a mediamente addensati/consistenti, o anche depositi di substrato fortemente alterati/fratturati;
- un secondo sismo-strato (V_p generalmente comprese tra 1200/1400 e 1800/2000 m/s) è verosimilmente riconducibile a litotipi di copertura maggiormente consistenti o di substrato e intensamente alterati/fratturati;
- un terzo sismo-strato (V_p generalmente >1800/2000 m/s) è verosimilmente riconducibile a litotipi di substrato compatti;

Nella tabella 3, di seguito riportata, sono indicati i valori tipici di V_p per alcune litologie.

	V_p (km/s)
Sedimenti non consolidati	
Colluvioni	0.1-0.5
Sabbie (asciutte)	0.2-1.0
Sabbie (sature)	1.5-2.0
Ghiaie (asciutte)	0.5-1.3
Ghiaie (sature)	1.5-2.0
Argille	0.5-2.0
Rocce Sedimentarie	
Arenarie	2.0-4.5
Conglomerati	2.0-5.0
Calcari di piattaforma	5.0-6.0
Dolomie	5.8-6.5
Sale	4.5-5.0
Anidridi	4.5-6.5
Rocce Ignee e Metamorfiche	
Granito	5.5-6.0
Gabbro	6.5-7.0
Rocce ultramafiche	7.5-8.5
Filladi	2.5-3.5
Scisti	4.0-5.5
Gneiss	5.5-6.5
Fluidi	
Aria	0.3
Acqua	1.5
Petrolio	1.3-1.4

Tabella 3: alcuni valori tipici di V_p per sedimenti, rocce e fluidi

5. Risultati indagine

Nelle tavole allegate è possibile osservare i profili di tomografia elettrica a sismica elaborati con relativa sezione interpretativa (basata, per i siti PE-B-E09 / PE-B-R09, AG-B-E14 / AG-B-R14, PE-B-E11 / AG-B-R11, sulla analisi congiunta dei dati sismici ed elettrici); è inoltre rappresentata l'ubicazione dei profili in pianta.

È stata utilizzata, per quanto concerne i risultati dell'indagine della tomografia elettrica 2D, una scala colorimetrica logaritmica che consente una più chiara visualizzazione dei valori di resistività.

Data	Febbraio 2022
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

Le sezioni sismiche ricostruiscono gli andamenti in onde compressive P nel sottosuolo. Le velocità sono visualizzate attraverso una scala cromatica di colori che parte dal blu scuro e incrementa verso il rosso. Le variazioni di velocità sono associabili al diverso grado di addensamento dei depositi o al passaggio a substrato dapprima alterato e poi più compatto.

Nei siti AG-B-E12, ed AG-B-E13 (tavole 01-02) è stata riscontrata una situazione elettro-stratigrafica piuttosto omogenea con la presenza di litotipi basso-resistivi imputabili alle litologie argillose qui presenti (Formazione di Monte Narbone: marne argillose grigio-azzurre più o meno siltose del Pliocene Medio-Superiore) - fig.4.

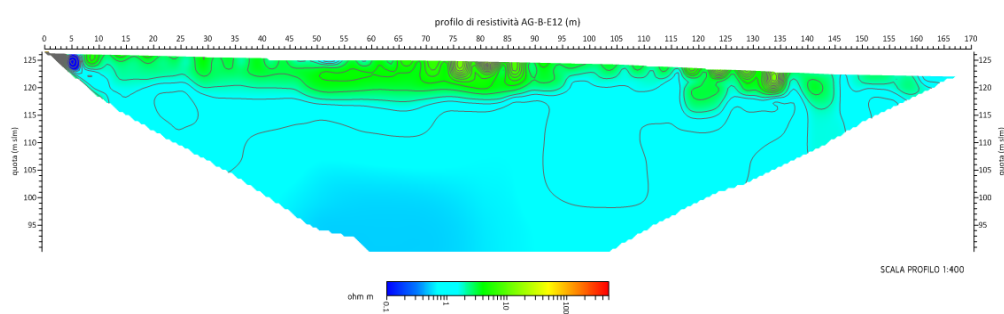


Figura 4: sostanziale uniformità elettro-stratigrafica e litologica in AG-B-E12 (colore verde chiaro ed azzurro)

Maggiormente articolato appare il modello geofisico elaborato per il sito AG-B-E14 / AG-B-R14 (tavola 3 e fig.5); il profilo elettro-stratigrafico "lato ovest" mette in luce la presenza di litotipi conduttivi ($< 2/3$ ohm m - litologie in prevalente granulometria fine), mentre il profilo sul "lato est" mostra la presenza di litotipi caratterizzati da resistività più elevate (mediamente 5-50 ohm m) forse attribuibili a depositi sabbiosi, arenacei o anche argillo-gessosi. I profili sismici mettono in luce la presenza di una coltre più superficiale in litotipi maggiormente areati/alterati, caratterizzati da medio-basse velocità V_p e di potenza di circa 6/8 m. In profondità il grado di rigidità diventa più elevato: $V_p > 1600-1800$ m/s.

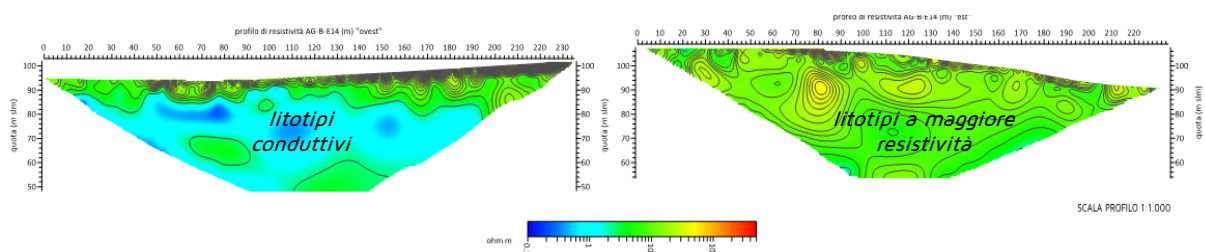


Figura 5: sono individuati, nel profilo AG-B-E14 (m) "ovest", litotipi conduttivi (colore azzurro); le resistività incrementano procedendo verso est AG-B-E14 (m) "est" (colori verde e giallo)

Anche in AG-B-E06a/b (tavola 4 - fig.6) emerge la presenza di significative variazioni elettro-stratigrafiche: il profilo di resistività lato sud-ovest (AG-B-E06a) evidenzia, sino all'incirca alla progressiva 185-190 m, bassi valori di resistività (per la probabile presenza di litotipi in granulometria fine), mentre nella porzione finale del profilo ed ancora



Data	Febbraio 2022
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

più a nord-est (in AG-B-E06b) i valori di resistività dei litotipi risultano elevati. Si ipotizza dunque il passaggio a formazioni con prevalenza di sabbie, arenarie o anche argillo-gessose.

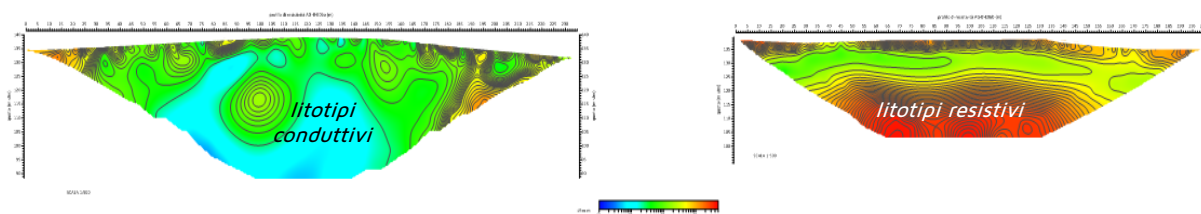


Figura 6: prevalente presenza di litotipi conduttivi nel tratto iniziale e mediano di AG-B-E06a (colore azzurro); in AG-B-E06b si riscontra la presenza di resistività molto elevate a partire dalla quota -12/-14 m dal p.c.

I profili PE-B-E07a/b e PE-B-E08a/b (tavole 5-6) sono realizzati in coincidenza della valle del Fiume Platani; si individua qui un orizzonte superficiale resistivo, presumibilmente attribuibile a litologie in granulometria media o medio-grossolana, ed uno più profondo a bassa resistività, in relazione al probabile passaggio stratigrafico (a quote di molto variabili), a litologie fini e medio-fini (fig. 7).

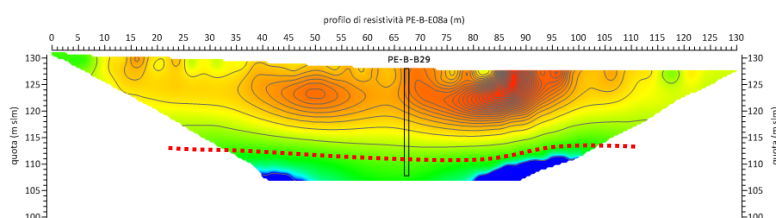


Figura 7: profilo PE-B-E08a; il primo sottosuolo è decisamente molto resistivo, rappresentato dai colori rosso e arancione (litotipi alluvionali/detritici in granulometria grossolana) mentre oltre i 14/15 m di prof. la resistività diminuisce, in relazione alla presenza di litologie in prevalente granulometria fine

Nel sito PE-B-E09 / PE-B-R09 (tavola 7) si riscontra nuovamente una predominanza di litologie basso-resistive, in accordo con quanto evidenziato dalla cartografia geologica ("argille sabbiose mioceniche"). La tomografia sismica mette in luce la presenza di una coltre superficiale in terreni caratterizzati da basse velocità Vp, ovvero litotipi a consistenza da bassa a moderata.

La ricostruzione sismo-stratigrafica del sito PE-B-R10 (tavola 8) ha evidenziato la presenza di una copertura poco addensata/consistente fino a circa 6/8 m dal p.c. locale caratterizzata da una Vp massima di 1000/1200 m/s. Per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato: Vp \approx 1600-1800 m/s. Ad una profondità di circa 20/25 m dal p.c. locale si riscontra un aumento delle velocità di propagazione delle onde di compressione probabilmente legato alla presenza di litotipi di substrato.



Data	Febbraio 2022
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine MASW, tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

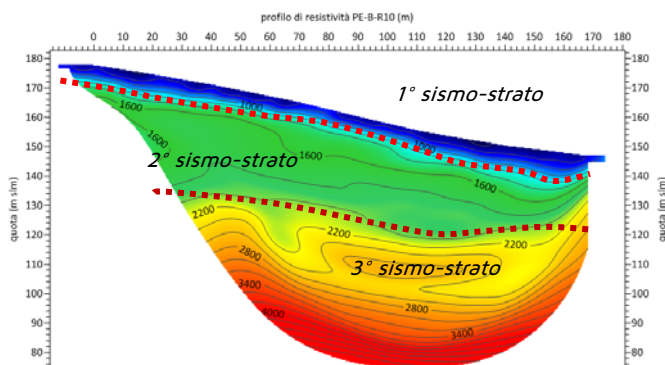


Figura 8: PE-B-R10; graduale incremento delle velocità V_p registrato

Nel sito PE-B-E11 / AG-B-R11 (tavola 9) la tomografia sismica mostra la presenza, più in superficie, di terreni poco addensati/consistenti sia nel tratto iniziale che in quello finale del profilo. Le resistività risultano variabili; in generale alla sommità della successione predominano i litotipi resistivi, da mettere in relazione con la presenza di formazioni gessose, argillo-gessose o calcaree. Più in profondità e nel settore terminale del profilo sono individuate litologie conduttive (terreni di natura argillosa o argillo-marnosa). Questi terreni sono presenti in prossimità del p.c. tra le progressive di circa 250 e circa 300 metri.

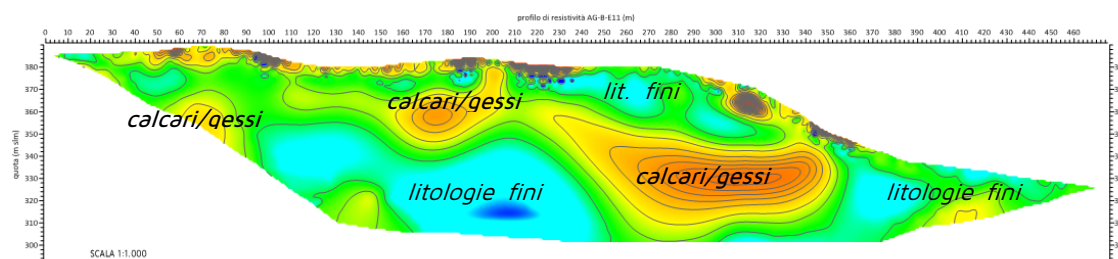


Figura 9: articolata situazione elettro-stratigrafica in PE-B-E11; si alternano litotipi resistivi (verosimilmente formazioni arenacee, calcaree o gessose) e conduttivi (argille o argille marnose)

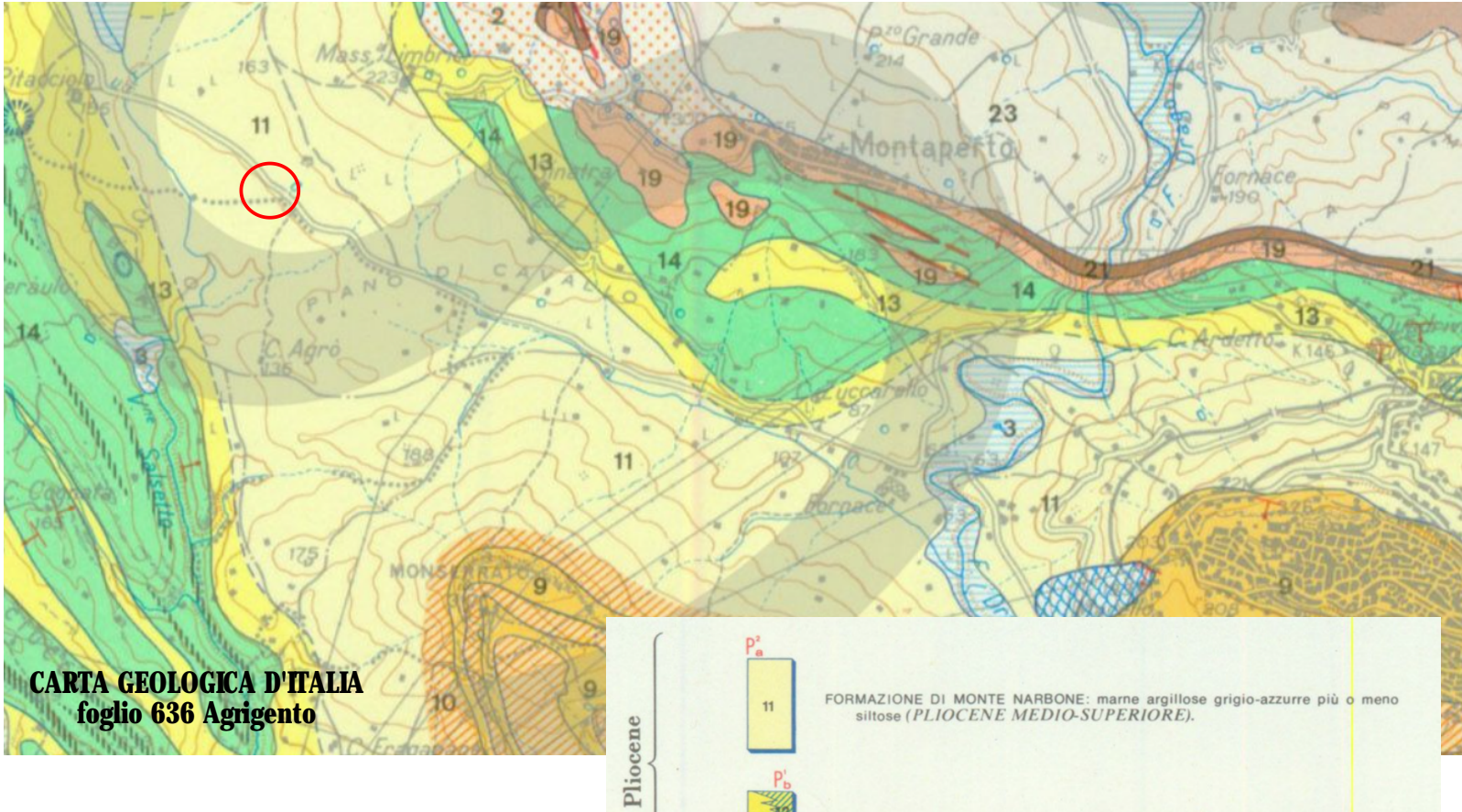
In alcuni settori sono state identificate delle brusche variazioni di resistività laterali in profondità, e/o dei "salt" o "elevata dispersione" delle linee di isovelocità; sono state pertanto indicate nei profili interpretativi delle potenziali zone "di allentamento" o marcata fratturazione dei litotipi di substrato, anche potenzialmente associabili a discontinuità (faglie o fratture).

Sulla base degli strumenti interpretativi forniti e per un maggior dettaglio sui risultati dell'indagine si rimanda alla visione degli Annessi grafici (tavole 1-9 e Annesso 1).

Frosinone, 25 Febbraio 2022



Geores S.r.l.
Geores S.r.l.
Via Marittima 406
03100 Frosinone
PI e C.F. 02535760603



RISULTATI INDAGINE GEOFISICA
PROFILO AG-B-E12

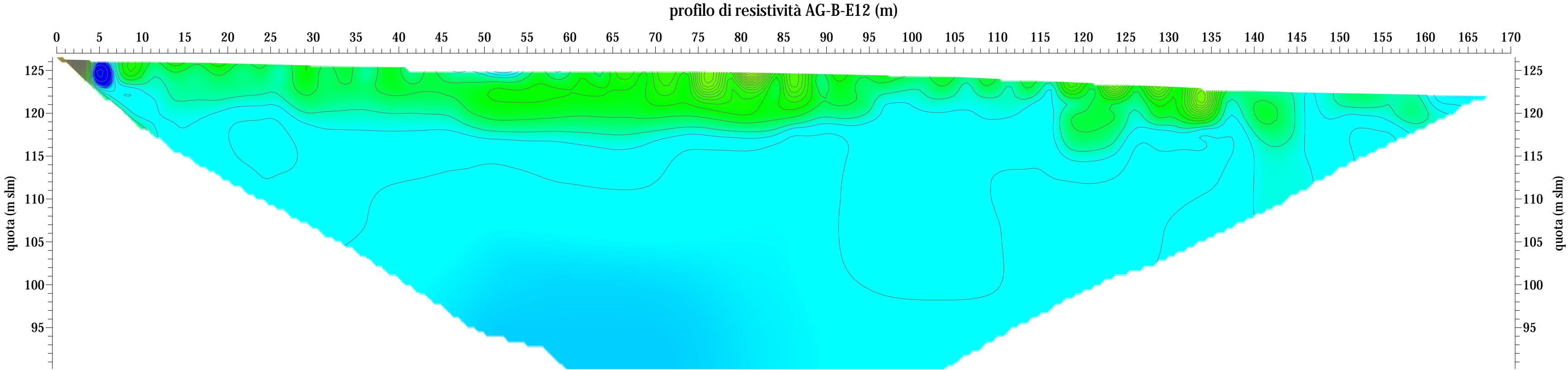


Geores Srl
Via Marittima 406
03100 Frosinone
+39 0775 871376
info@geores.it
info@geores@pec.it

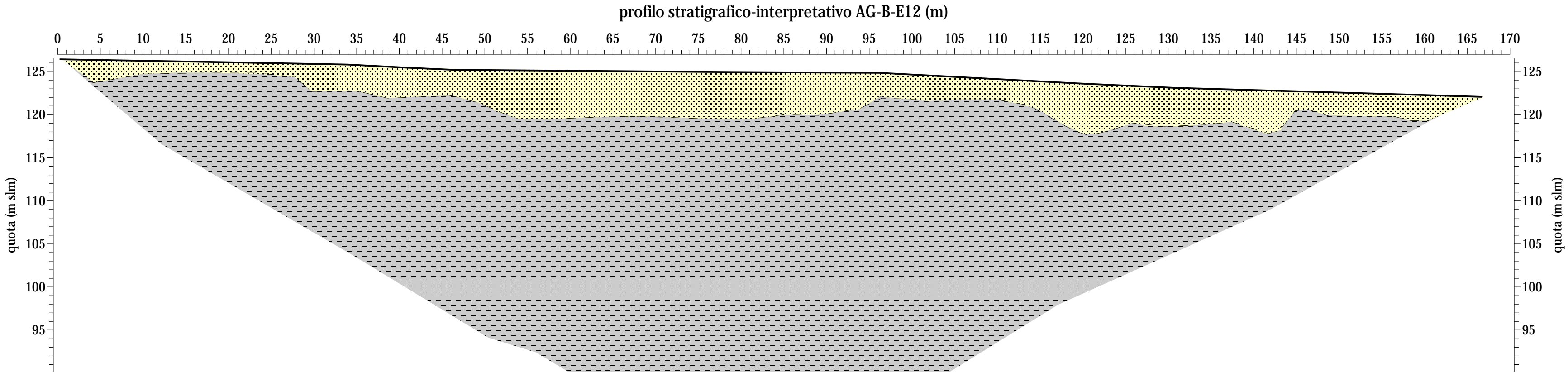
P.I. e C.F. 02535760603

Data: Febr. 2022	Committente:  SAIPEM
Cod. Comm: 21-118	PROSPEZIONE GEOELETTRICA E SISMICA FINALIZZATA ALLO STUDIO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO Ricoll. allacciamento Comune di Casteltermini DN 200 (8"), DP 24 bar, variante derivazione per Porto Empedocle DN 250 (10"), DP 24 bar e ricoll. allacciamento Comune di Bompensiere DN 150 (6"), DP 24 bar

PROFILO AG-B-E12





SCALA PROFILO 1:400



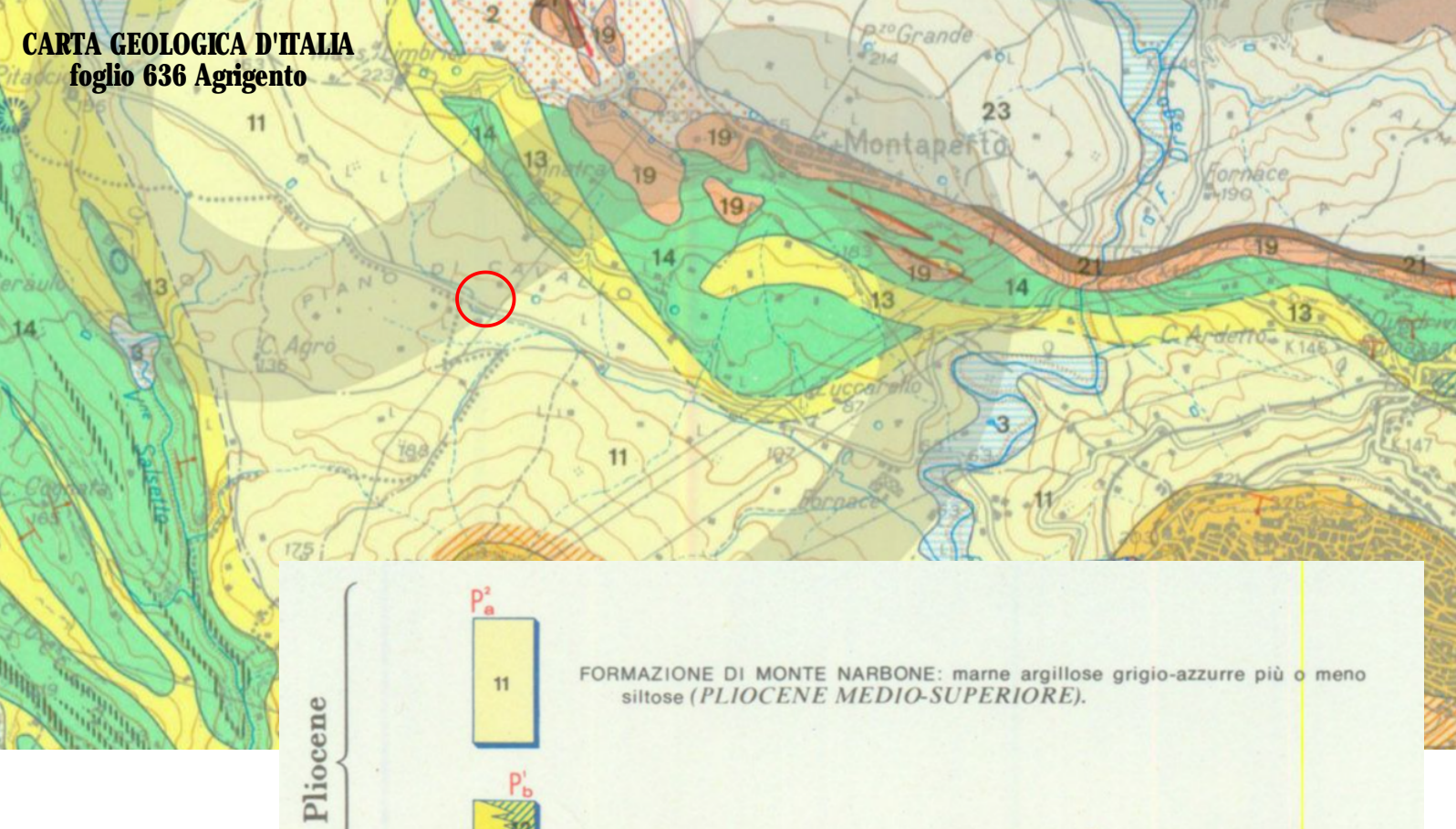
SCALA PROFILO 1:400

LEGENDA del PROFILO INTERPRETATIVO

-  litotipi a bassa resistività, riferibili a terreni in granulometria medio-fine (limi, argille, argille marnose...) e/o terreni rimaneggiati / alterati
-  litotipi a bassissima resistività, riferibili a terreni in granulometria fine (argille e limi, argille marnose)



ubicazione stendimento scala 1:2.000



RISULTATI INDAGINE GEOFISICA
PROFILO AG-B-E13

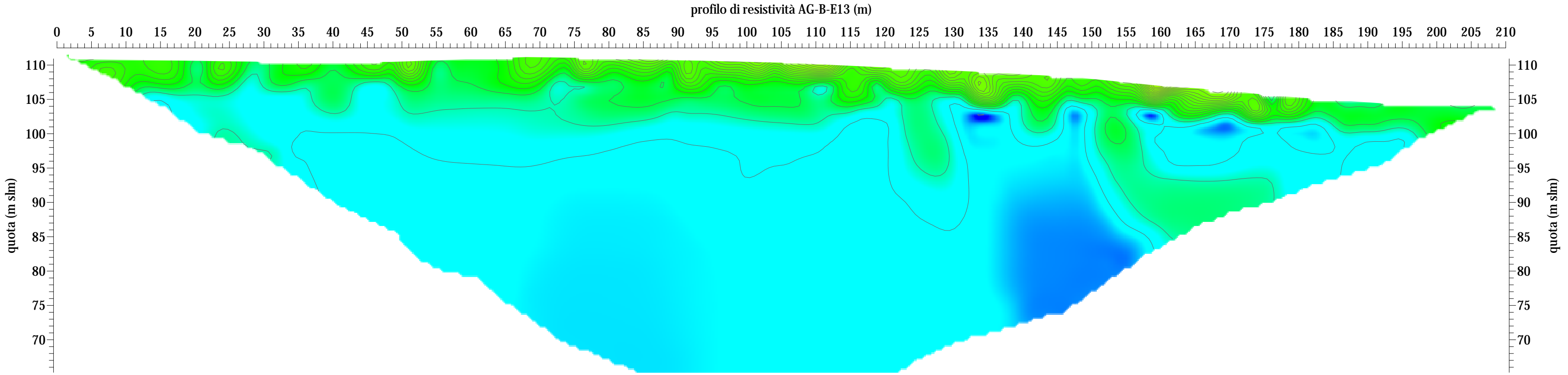


Geores Srl
Via Marittima 406
03100 Frosinone
+39 0775 871376
info@geores.it
info@geores@pec.it

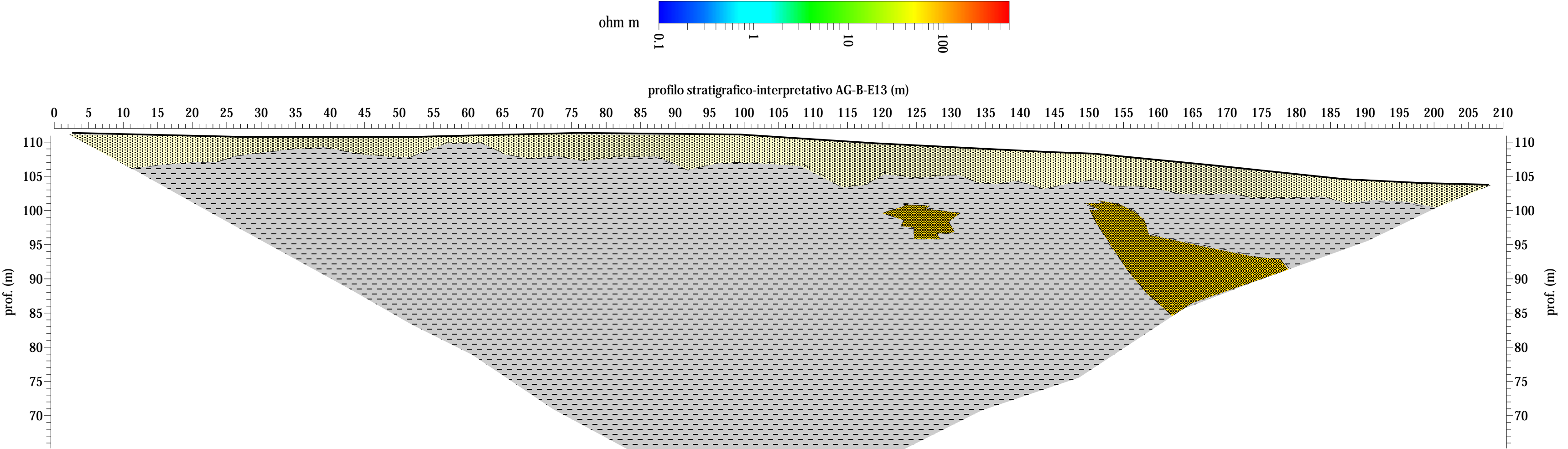
P.I. e C.F. 02535760603

Data: Febbr. 2022	Committente: 
Cod. Comm: 21-118	PROSPEZIONE GEOELETTRICA E SISMICA FINALIZZATA ALLO STUDIO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO Ricoll. allacciamento Comune di Casteltermini DN 200 (8"), DP 24 bar, variante derivazione per Porto Empedocle DN 250 (10"), DP 24 bar e ricoll. allacciamento Comune di Bompensiere DN 150 (6"), DP 24 bar

PROFILO AG-B-E13



SCALA PROFILO 1:500



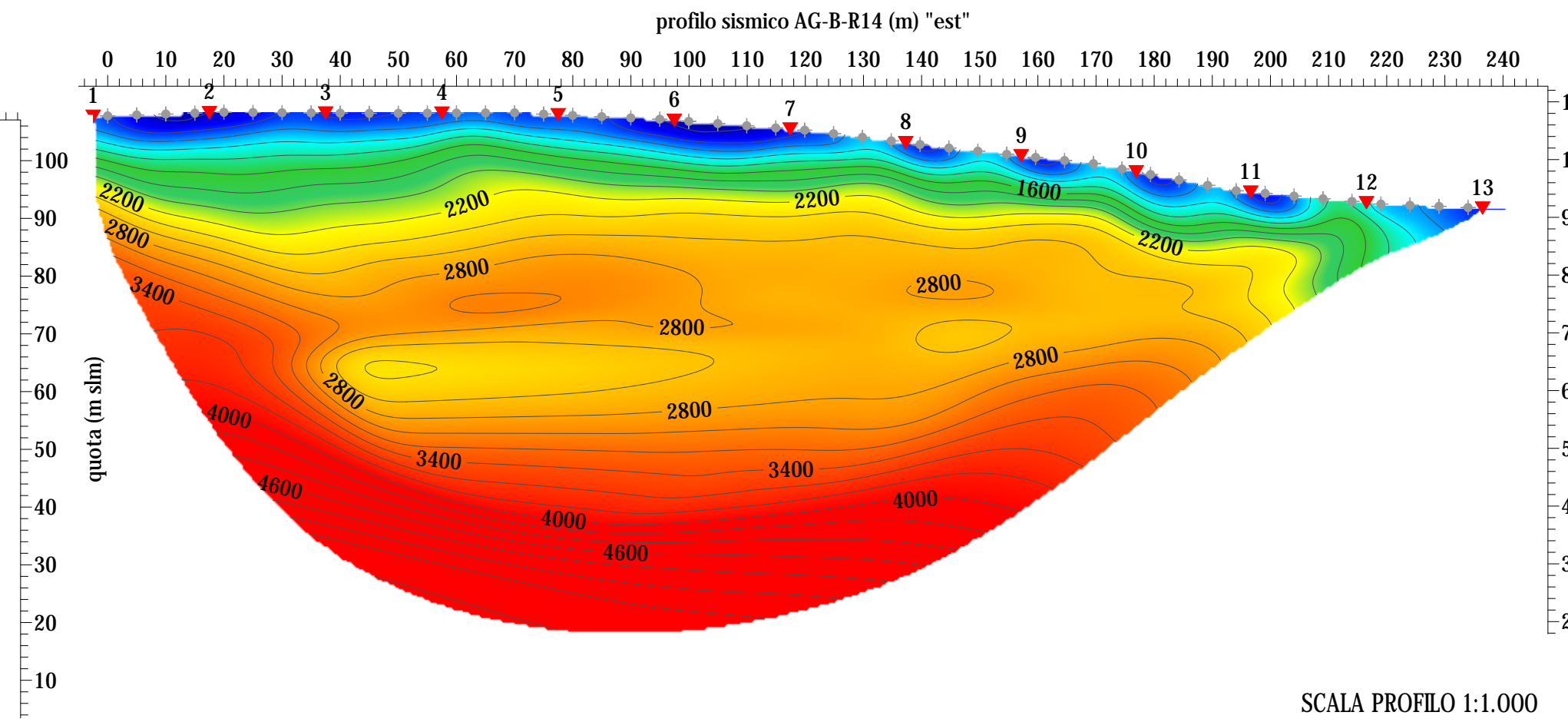
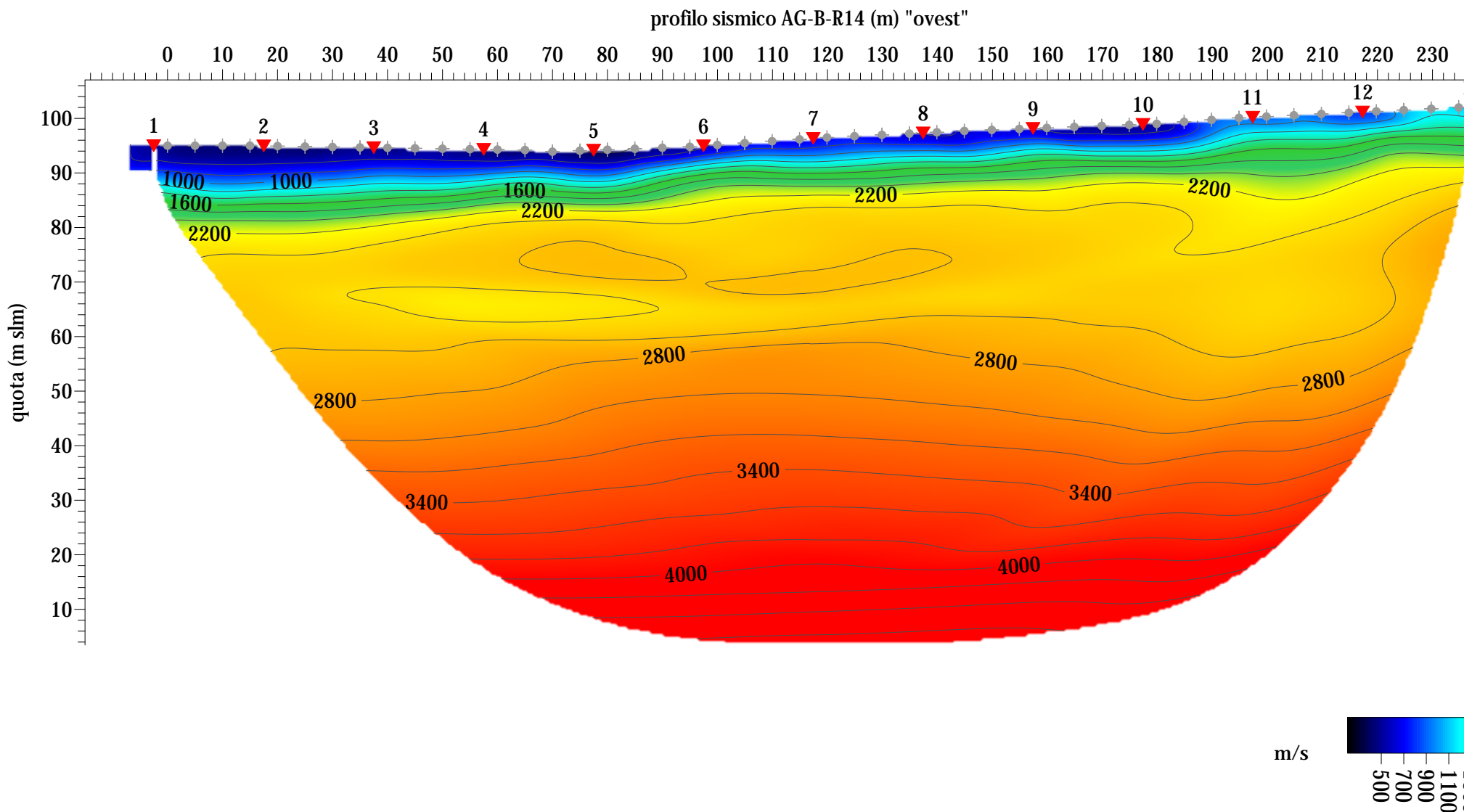
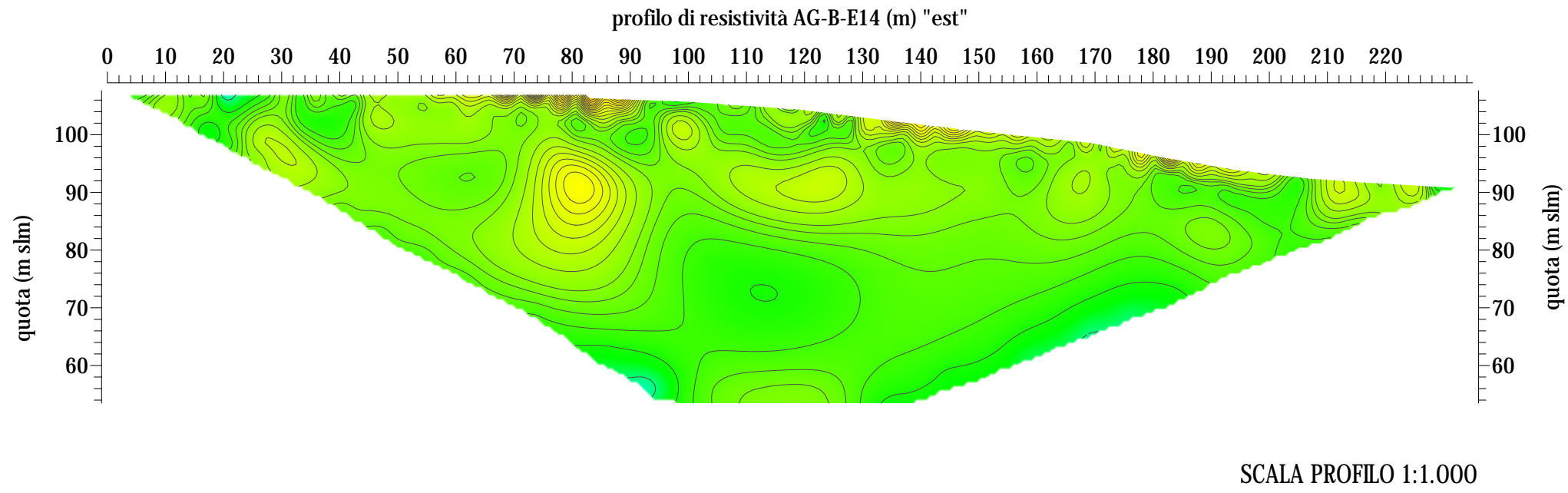
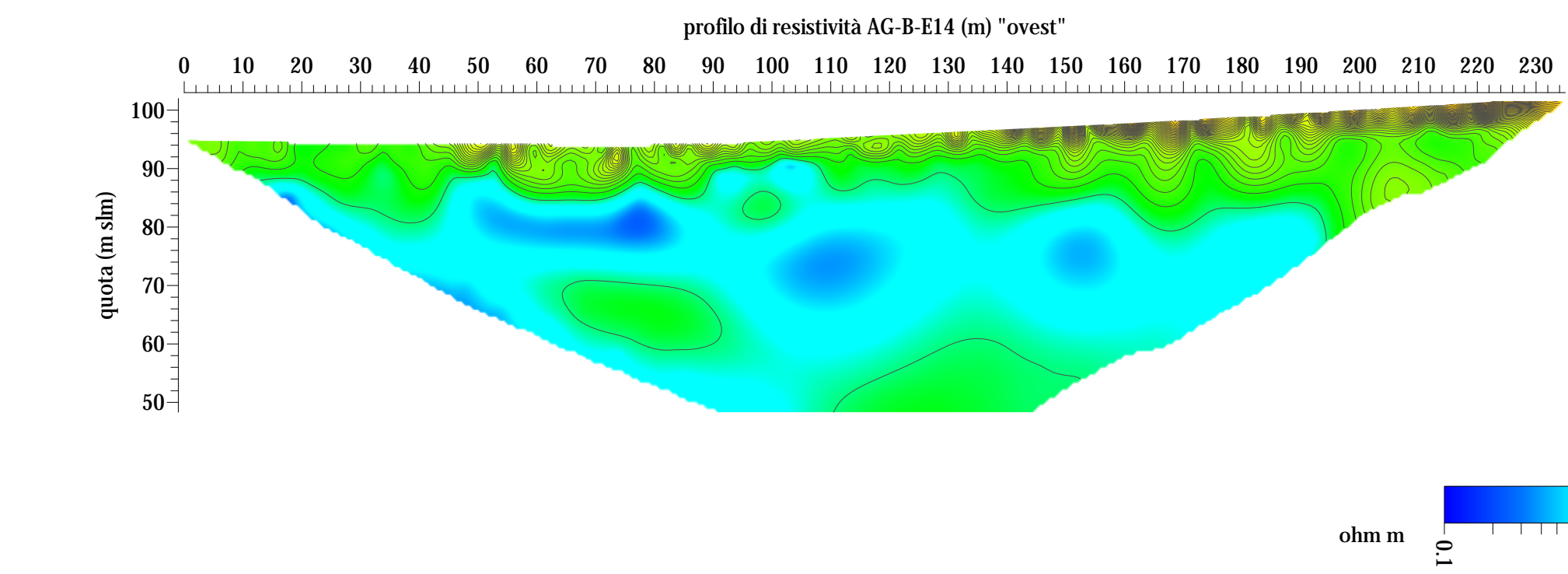
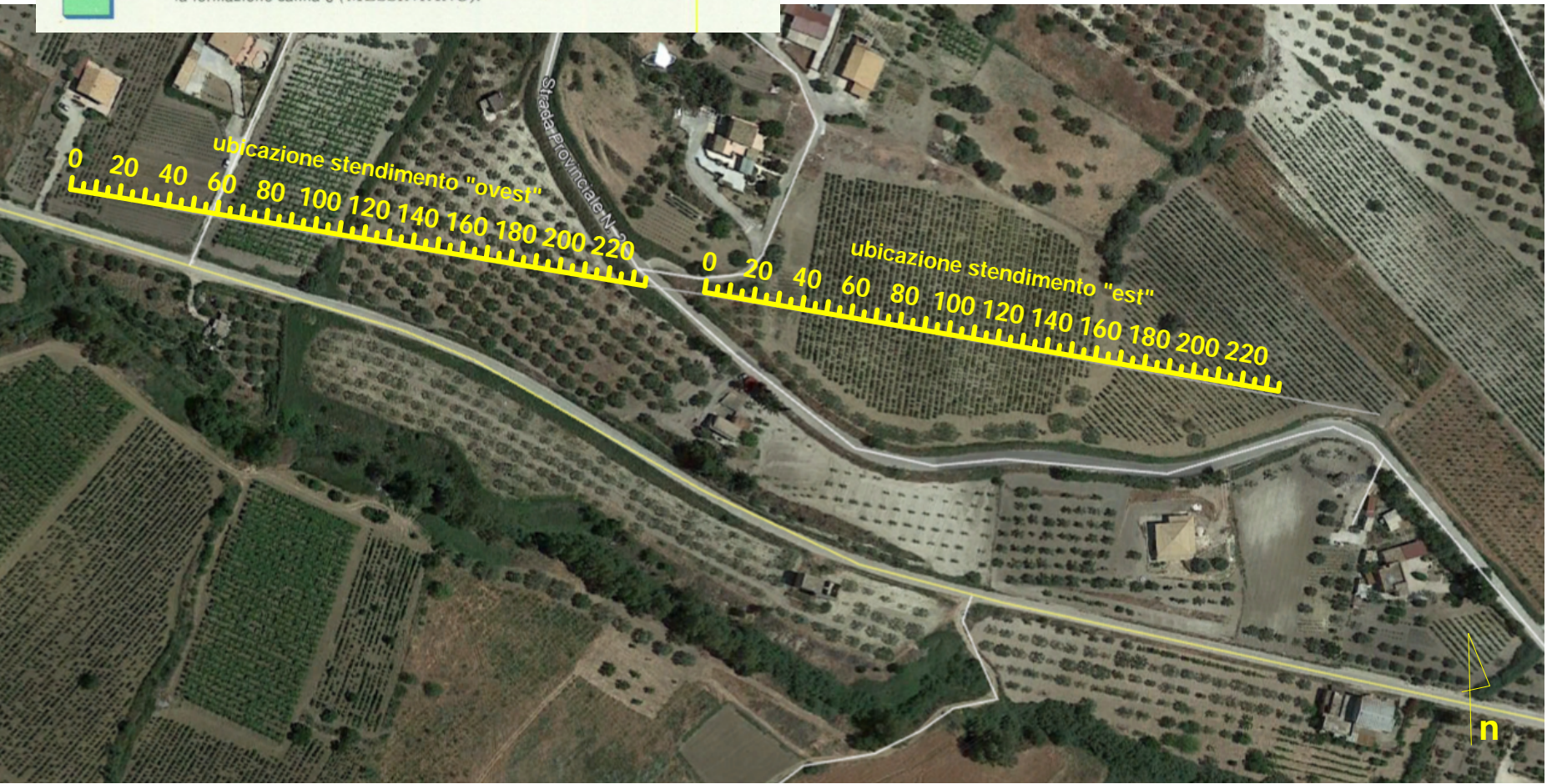
SCALA PROFILO 1:500

LEGENDA del PROFILO INTERPRETATIVO

- litotipi a bassa resistività, riferibili a terreni in granulometria medio-fine (limi, argille, limi o argille sabbiosi, argille marnose...) e/o terreni rimaneggiati / alterati
- litotipi a bassissima resistività, riferibili a terreni in granulometria fine (argille e limi, argille marnose)
- litotipi a medio-bassa resistività posti a quote più profonde di sottosuolo: può trattarsi di lenti / orizzonti in granulometria maggiormente grossolana o livelli a composizione arenacea



ubicazione stendimento scala 1:2.000



RESULTATI INDAGINE GEOFISICA PROFILI AG-B-E14 e AG-B-R14



Geores Srl
Via Marittima 406
03100 Frosinone
+39 0775 871376
info@geores.it
info@geores@pec.it

P.I. e C.F. 02535760603

Data: Febr. 2022	Committente: 
Cod. Comm: 21-118	PROSPERAZIONE GEOELETTRICA E SISMICA FINALIZZATA ALLO STUDIO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO Ricoll. allacciamento Comune di Casteltermini DN 200 (8"), DP 24 bar, variante derivazione per Porto Empedocle DN 250 (10"), DP 24 bar e ricoll. allacciamento Comune di Bompensiere DN 150 (6"), DP 24 bar

PROFILI AG-B-E14 / AG-B-R14

LEGENDA del PROFILO INTERPRETATIVO



litotipi caratterizzati da medio basse velocità Vp e discretamente resistivi (depositi di copertura eluvio-colluviale e/o detritica - in granulometria prevalentemente limo-sabbiosa e sabbio-limoso)



litotipi caratterizzati da medio-elevate velocità Vp, basso-resistivi (depositi di substrato a prevalente composizione marmosa o marnoso-argillosa)



presunta variazione stratigrafica a litotipi caratterizzati da medio-elevate velocità Vp, mediamente resistivi (depositi di substrato / bene addensati: sabbie, sabbie ed arenarie, depositi argillo-gessosi)



zone di allentamento e/o marcata fratturazione



zone con discontinuità presunte (faglie, fratture, zone cataclastiche)

CARTA GEOLOGICA DELLA SICILIA

Fabio Lentini e Serafina Carbone,
Università degli Studi di Catania, ISPRA, INGV, 2014

1

Depositi continentali e marini talora terrazzati, spiagge. PLEISTOCENE MEDIO-OLOCENE

Un differentiated continental, marine and terrace deposits. MIDDLE PLEISTOCENE-HOLOCENE

2

Depositi marini limerigeni e argilloso-calcarei. Ciclo di Giarola (Piazza Armerina), parte alta del Gruppo Ribera (Pugherio, Balerio), calcareniti di Marsala (Ripa, Palermo, Balistrada, Farigiana) e depositi argilloso-sabbiosi (fiancata di Palermo), sabbie di S. Margherita Balice (Castelvetrano, Merli).

PLEISTOCENE SUPERIORE-PLEISTOCENE MEDIO

Marine limerigenous deposits, calcarenites and clay. Giarola Cycle (Piazza Armerina), upper part of the Ribera Group (Pugherio, Balerio), Marsala calcarenite (Ripa, Palermo, Balistrada, Farigiana) and clay-sandy deposits (Fiancata di Palermo, S. Margherita Balice sandy (Castelvetrano, Merli)). LATE PLEISTOCENE-MIDDLE PLEISTOCENE

3

Depositi argilloso-sabbiosi-calcarei. Ciclo di Enna-Capodanno, marnoso-arenaceo della Valle del Balice, parte inferiore del Gruppo Ribera (M. Narione, Agrigento, Balerio), sabbie di Altavilla Milica.

PLEISTOCENE INFERIORE (parte alta)-SUPERIORE p.p. Depositi pleistocenici dei Monti Palatini.

Clayey-sandy calcarenites (Capodanno Cycle, Balice Valley marls and sandstones, lower internal of the Ribera Group (M. Narione, Agrigento, Balerio), Altavilla Milica sands. LOWER (upper part)-UPPER p.p. PLEISTOCENE

Pleistocene deposits of Monti Palatini

4

Trubi calcari marnosi biancastri o foraminiferi, discordanti su differenti unità tettoniche del versante tirrenico o dei Monti Sicani (Sambuca Burgio), calcareniti ad Amphistegina di Lascari. PLEISTOCENE INFERIORE

Trubi (Fm. Sambuca-Burgio), Lascari sands and calcarenites with Amphistegina. EARLY PLEISTOCENE

5

Depositi pre-evaporitici ed evaporitici, e Trubi clastici (Trubi), calcari solifiori, gessi primari e secondari, sali, depositi limerigeni rappresentati da argille, gessumi, conglomerati, gessuoliti, dolostomi (argille beccatole) intercalati a più livelli. Calcari marnosi a globigerina (Trubi). MESSINIANO SUPERIORE-PLEISTOCENE INFERIORE

Pre-evaporitic and evaporitic deposits and Trubi Fm.: clastites, saproclites (Trubi), primary and diagenetic saltstone (argillaceous), evaporitic (Trubi Fm.). LATE MESSINIAN-EARLY PLEISTOCENE

6

Argille marnose grigio-azzurre (fine Licia). LANGHIANO INFERIORE-TORTONIANO SUPERIORE. Argille, sabbie e conglomerati, banchine a coralli (membro del Lario) (fine Tortonecchia), banchi a coralli (fine Baccarà) dolostomi a vari livelli (argille beccatole). TORTONIANO SUPERIORE-MESSINIANO INFERIORE

Gray-blue marly clays (Licia Fm.). EARLY LANGHIAN-LATE TORTONIAN. Clays, sands and conglomerates, reef

geores

Geores Srl
Via Marittima 406
03100 Frosinone
+39 0775 871376
info@geores.it
info@geores@pec.it

P.I. e C.F. 02535760603

Data:
Febr. 2022

Committente:

Cod. Comm:
21-118

PROSPEZIONE GEOELETTRICA E SISMICA FINALIZZATA ALLO STUDIO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO
Ricoll. allacciamento Comune di Casteltermini DN 200 (8"), DP 24 bar, variante derivazione per Porto Empedocle DN 250 (10"), DP 24 bar e ricoll. allacciamento Comune di Bompensiere DN 150 (6"), DP 24 bar

PROFILI AG-B-E06a/b

TAVOLA 04

profilo di resistività AG-B-E06a (m)

SCALA 1:500

profilo stratigrafico-interpretativo AG-B-E06a (m)

SCALA 1:500

LEGENDA del PROFILO INTERPRETATIVO

- litotipi caratterizzati da elevate resistività in prossimità del p.c. (depositi di copertura alluvionale, eluvio-colluviale o detritica, in granulometria prevalente limoso-sabbiosa o sabbioso-limoso)
- litotipi caratterizzati da elevate resistività in profondità, riferibili a depositi a prevalente composizione sabbiosa, arenacea o gessosi
- lenti in litotipi maggiormente resistivi (es. arenarie) o depositi maggiormente alterati/fratturati
- discontinuità presunte (faglie, fratture, zone cataclastiche)
- litotipi caratterizzati da medio-basse resistività, (depositi a prevalente composizione argillosa, e/o di substrato a prevalente composizione marnosa o argilloso-marnosa)

ubicazione stendimenti scala 1:2.500

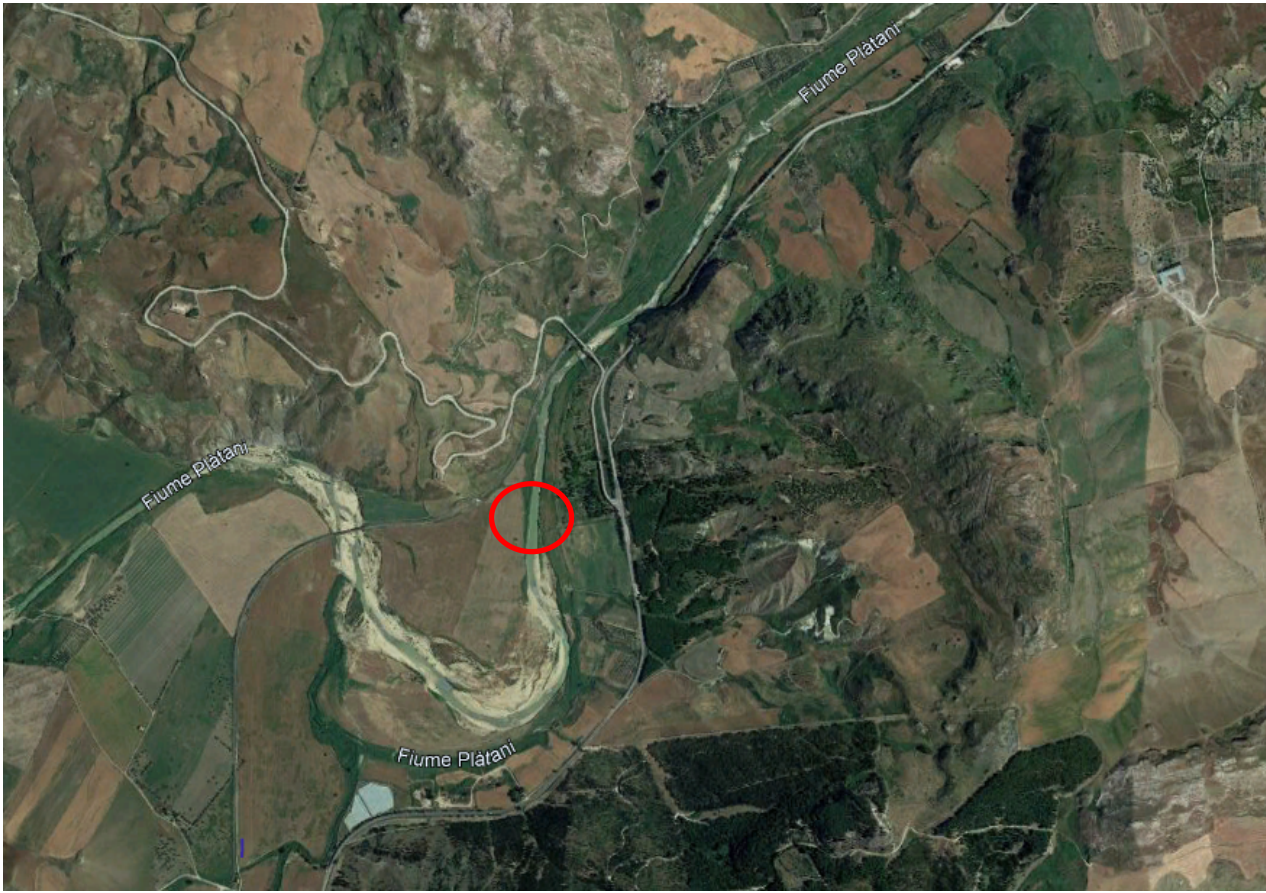
profilo di resistività AG-B-E06b (m)

SCALA 1:500

profilo stratigrafico-interpretativo AG-B-E06b (m)

SCALA 1:500

TAVOLA 04



ubicazione
del sito
(su immagine
da satellite)

RISULTATI INDAGINE GEOFISICA PROFILI PE-B-E07a-b



Geores Srl
Via Marittima 406
03100 Frosinone
+39 0775 871376
info@geores.it
info@geores@pec.it

P.I. e C.F. 02535760603

Data: Febr. 2022	Committente: SAIPEM
Cod. Comm: 21-118	PROSPEZIONE GEOELETTRICA E SISMICA FINALIZZATA ALLO STUDIO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO Ricoll. allacciamento Comune di Casteltermini DN 200 (8"), DP 24 bar, variante derivazione per Porto Empedocle DN 250 (10"), DP 24 bar e ricoll. allacciamento Comune di Bompensiere DN 150 (6"), DP 24 bar

PROFILI PE-B-E07a-b

TAVOLA 05

LEGENDA del PROFILO INTERPRETATIVO

litotipi a medio-elevata resistività ubicati in prossimità del p.c.; sono riferibili a terreni in granulometria medio-grossolana di natura alluvionale / eluvio-colluviale (prevalentemente sabbie, sabbie limose, sabbie argillose...)

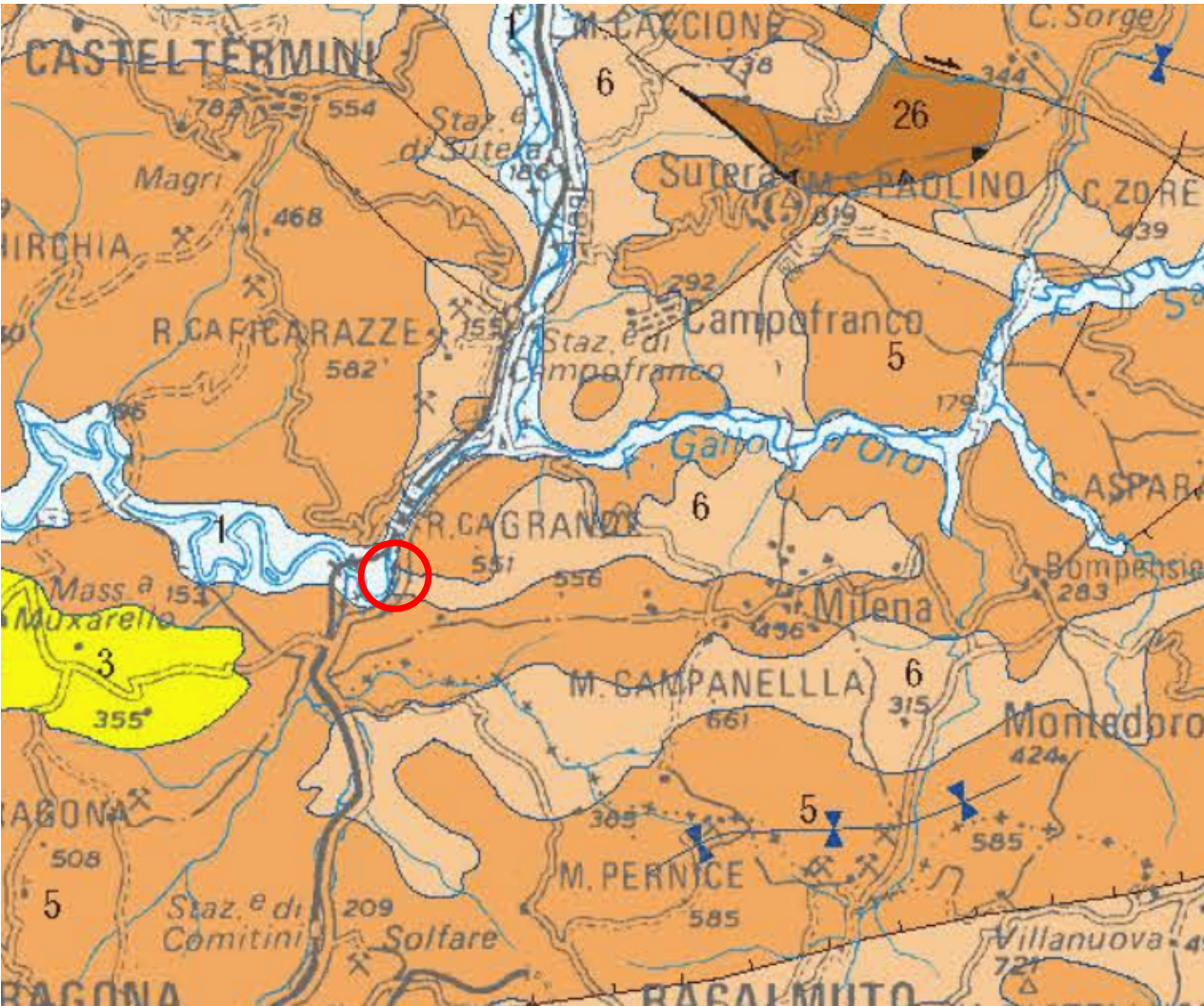
litotipi ad elevata resistività ubicati in prossimità del p.c. sono riferibili a terreni in granulometria medio-grossolana di natura alluvionale / eluvio-colluviale (sabbie, sabbie limose, sabbie e ghiaie...)

litotipi a bassa resistività, riferibili a terreni in granulometria fine (argille e limi), o a prevalente composizione marnosa marnoso-argillosa o umidi

- Depositi continentali e marini talora terrazzati, spiagge.** PLEISTOCENE MEDIO-OLOCENE
Undifferentiated continental, marine and terrace deposits. MIDDLE PLEISTOCENE-HOLOGENE
- Depositi marini terrigeni e argilloso-calcareitici.** Ciclo di Geracello (Piazza Armerina); parte alta del Gruppo Ribera (Agrigento, Butera); calcarenite di Marsala (Aspra, Palermo, Balestrate, Favignana) e depositi argilloso-sabbiosi (Ficarazzi di Palermo); sabbie di S. Margherita Belice (Castelvetrano, Mont). PLIOCENE SUPERIORE-PLEISTOCENE MEDIO
Marine terrigenous deposits, calcarenites and clays: Geracello Cycle (Piazza Armerina); upper part of the Ribera Group (Agrigento, Butera); Marsala calcarenite (Aspra, Palermo, Balestrate, Favignana) and clayey-sandy deposits (Ficarazzi di Palermo); S. Margherita Belice sands (Castelvetrano, Mont). LATE PLEISTOCENE-MIDDLE PLEISTOCENE
- Depositi argilloso-sabbiosi-calcareitici.** Ciclo di Enna-Capodarso: marnoso-arenacea della Valle del Belice; parte inferiore del Gruppo Ribera (M. Narbone, Agrigento, Butera); sabbie di Altavilla Milicia. PLIOCENE INFERIORE (parte alta)-SUPERIORE p.p. Depositi pleistocenici dei Monti Peloritani. Clayey-sandy-calcareitici deposits: Enna-Capodarso Cycle, Belice Valley, marls and sandstones; lower interval of the Ribera Group (M. Narbone, Agrigento, Butera); Altavilla Milicia sands. LOWER (upper part)-UPPER p.p. PLEISTOCENE Pliocene-Pleistocene deposits of Monti Peloritani.
- Trubi: calcari marnosi biancastri a foraminiferi, discordanti su differenti unità tettoniche del versante tirrenico e dei Monti Sicani (Sambuca-Burgio); calcareniti ad Amphistegina di Lascari.** PLIOCENE INFERIORE
Trubi Fm.: white marly limestones bearing many foraminifera, unconformably overlying different tectonic units of the Tyrrhenian sector and Sicani Mts. (Sambuca-Burgio); Lascari sands and calcarenites with Amphistegina. EARLY PLEISTOCENE
- Depositi pre-evaporitici ed evaporitici, e Trubi diatomiti (Trubi), calcari soliflori, gessi primari e secondari, sali, depositi litoranei rappresentati da argille, arenarie, conglomerati, gessareniti, olistostromi (argille brocciate) intercalati a più livelli. Calcari marnosi a globigerina (Trubi), MESSINIANO SUPERIORE-PLIOCENE INFERIORE.**
Pre-evaporitic and evaporitic deposits and Trubi Fm.: diatomites, evaporitic limestones, primary and diagenetic selenitic gypsum, salts, terrigenous deposits (clays, sandstones, conglomerates, gypsarenites), interbedded olistostromes ("argille brocciate"). Globigerina chalky-limestones (Trubi Fm.). LATE MESSINIAN-EARLY PLEISTOCENE
- Argille marnose grigio-azzurre (fine Licata) LANGHIAN INFERIORE-TORTONIANO SUPERIORE. Argille, sabbie e conglomerati, bioherme a coralli (membro del Landio) (fine Terravecchia); biolititi a coralli (fine Baucina); olistostromi a vari livelli (argille brocciate). TORTONIANO SUPERIORE-MESSINIANO INFERIORE.**
Gray-blue marly clays (Licata fm.). EARLY LANGHIAN-LATE TORTONIAN. Clays, sands and conglomerates, reef

CARTA GEOLOGICA DELLA SICILIA

Fabio Lentini e Serafina Carbone,
Università degli Studi di Catania, ISPRA, INGV, 2014



CARTA GEOLOGICA DELLA SICILIA

Fabio Lentini e Serafina Carbone,
Università degli Studi di Catania, ISPRA, INGV, 2014

1

Depositi continentali e marini talora terrazzati, spiagge. PLEISTOCENE MEDIO-OLOCENE
UnDIFFERENTIAL continental, marine and terrace deposits. MIDDLE PLEISTOCENE-HOLOGENE

2

Depositi marini terrigeni e argilloso-calcarentici. Ciclo di Geracelo (Piazza Armerina): parte alta del Gruppo Ribera (Agrigento, Butera); calcarenite di Marsala (Papa, Palermo, Balestrate, Favignana) e depositi argilloso-sabbiosi (Ficarazzi di Palermo); sabbie di S. Margherita Salice (Castelluzzo, Mola).
PLOCENE SUPERIORE-PLEISTOCENE MEDIO
Marine terrigenous deposits, calcarenites and clays: Geracelo Cycle (Piazza Armerina): upper part of the Ribera Group (Agrigento, Butera); Marsala calcarenite (Papa, Palermo, Balestrate, Favignana) and clay-sandy deposits (Ficarazzi di Palermo); S. Margherita Salice sands (Castelluzzo, Mola). LATE PLOCENE-MIDDLE PLEISTOCENE

3

Depositi argilloso-sabbiosi-calcarentici. Ciclo di Enna-Capodresio: marnoso-arenacea della Valle del Salice; parte inferiore del Gruppo Ribera (M. Natone, Agrigento, Butera); sabbie di Altavilla Milica.
PLOCENE INFERIORE (parte alta) SUPERIORE p.p. Depositi più pleistocenici dei Monti Palontani.
Clayey-sandy-calcarentic deposits. Enna-Capodresio Cycle. Salice Valley: marls and sandstones. lower internal of the Ribera Group (M. Natone, Agrigento, Butera); Altavilla Milica sands. LOWER (upper part) UPPER p.p. PLOCENE. Plocene-Pleistocene deposits of Monti Palontani

4

Trubi calcarei marnosi biancastri a foraminiferi, discordanti su differenti unità tettoniche del versante tirrenoico e dei Monti Sicani (Santibucca Burgio); calcareniti ad Amphistegina di Lascari. PLOCENE INFERIORE.
Trubi Fm.: white fossiliferous-bearing marly limestone, unconformably overlying different tectonic units of the Tyrrhenian sector and Sicani Mts. (Santibucca Burgio); Lascari sands and calcarenites with Amphistegina. EARLY PLOCENE

5

Depositi pre-evaporitici ed evaporitici, e Trubi diatomiti (Trubi); calcari soliferti, gessi primari e secondari, sali, depositi terrigeni rappresentati da argille, arenarie, conglomerati, grossolani; disbstromi (argille brecciate) intercalati a più livelli. Calcari marnosi a globigerine (Trubi). MESSINIANO SUPERIORE-PLOCENE INFERIORE.
Pre-evaporitic and evaporitic deposits and Trubi Fm.: diatomites, evaporitic limestone, primary and diagenetic: salted gypsum, salts, terrigenous deposits (clays, sandstones, conglomerates, gypsarenites), interbedded olistostromes (argilla brecciate). Globigerina chalky-limestone (Trubi Fm.). LATE-MESSINIAN-EARLY PLOCENE

6

Argille marnose grigio-azzurre (fine Licata) LANGHIANO INFERIORE-TORTONIANO SUPERIORE. Argille, sabbie e conglomerati, tufi e crolli (Pietraro di Lancia) (fine Tortonesi); tufelli e crolli (fine Buxina); olistostromi a vari livelli (argille brecciate). TORTONIANO SUPERIORE-MESSINIANO INFERIORE.
Grey-blue marly clays (Licata fm.). EARLY LANGHIAN-LATE TORTONIAN. Clays, sands and conglomerates, reef

geores

Geores Srl
Via Marittima 406
03100 Frosinone
+39 0775 871376
info@geores.it
info@geores@pec.it

P.I. e C.F. 02535760603

Data:
Febr. 2022

Committente:

Cod. Comm:
21-118

PROSPEZIONE GEOELETRICA E SISMICA FINALIZZATA ALLO STUDIO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO Ricoll. allacciamento Comune di Casteltermini DN 200 (8"), DP 24 bar, variante derivazione per Porto Empedocle DN 250 (10"), DP 24 bar e ricoll. allacciamento Comune di Bompensiere DN 150 (6"), DP 24 bar

PROFILI PE-B-E08a/b

profilo di resistività PE-B-E08a (m)

PE-B-B29

SCALA 1:500

profilo stratigrafico-interpretativo PE-B-E08a (m)

PE-B-B29

SCALA 1:500

LEGENDA del PROFILO INTERPRETATIVO

Litotipi ad elevata resistività ubicati in prossimità del p.c. sono riferibili a terreni in granulometria medio-grossolana di natura alluvionale / eluvio-colluviale /detritica (sabbie, sabbie limose, sabbie e ghiaie, biocalcarenti molto fratturate...)

litotipi a bassa resistività, riferibili a terreni in granulometria fine (argille e limi), o a prevalente composizione marnosa / marnoso-argillosa o in falda

profilo di resistività PE-B-E08b (m)

PE-B-B29

SCALA 1:500

profilo stratigrafico-interpretativo PE-B-E08b (m)

PE-B-B29

SCALA 1:500

UBICAZIONE STENDIMENTO

TAVOLA 06



RESULTATI INDAGINE GEOFISICA PROFILI PE-B-E09 e PE-B-R09

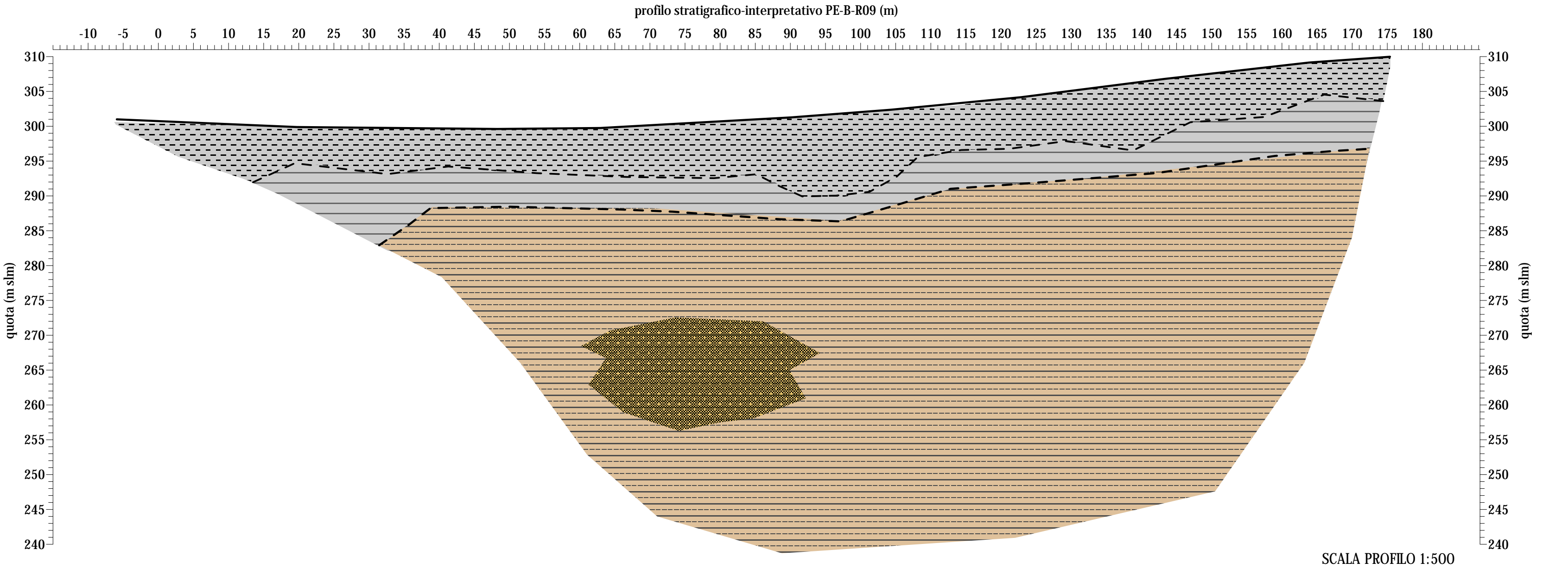
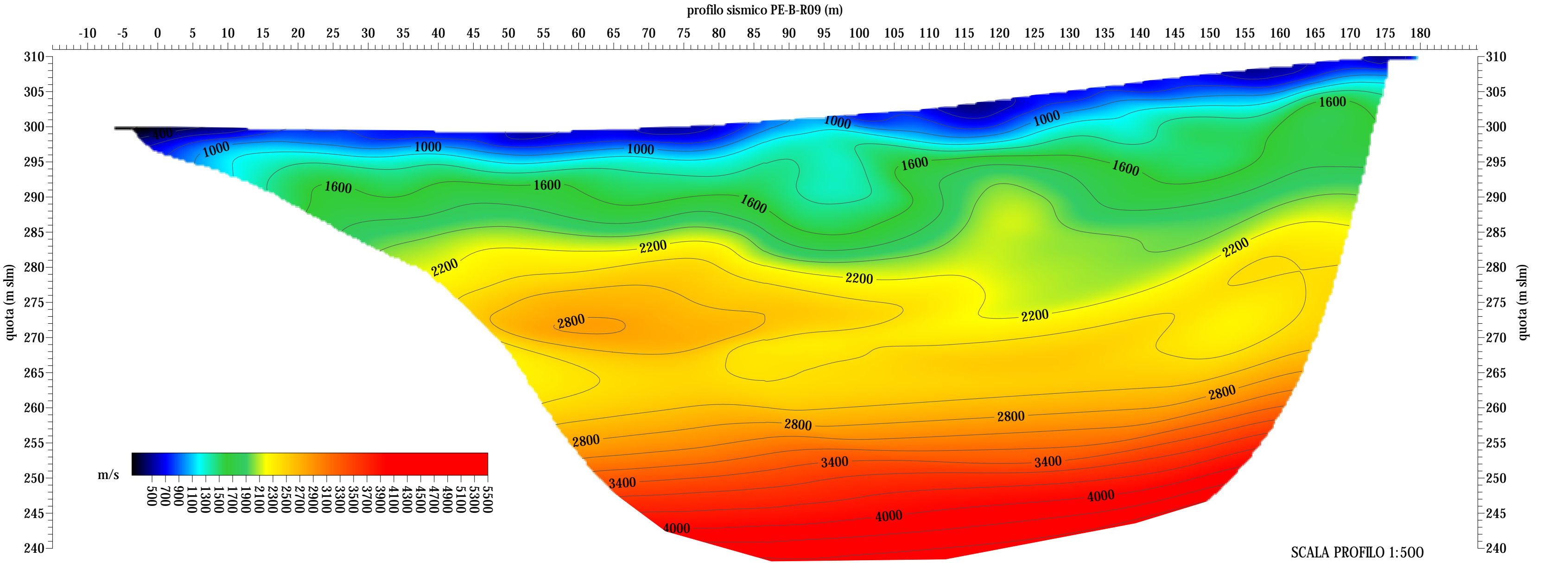
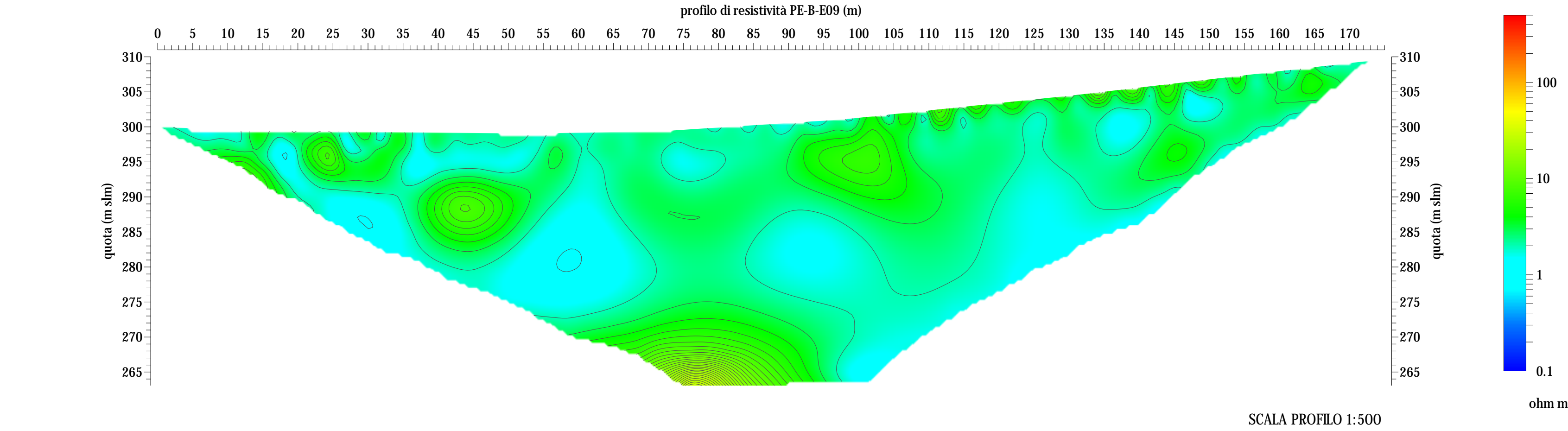


Geores Srl
Via Marittima 406
03100 Frosinone
+39 0775 871376
info@geores.it
info@geores@pec.it





P.I. e C.F. 02535760603

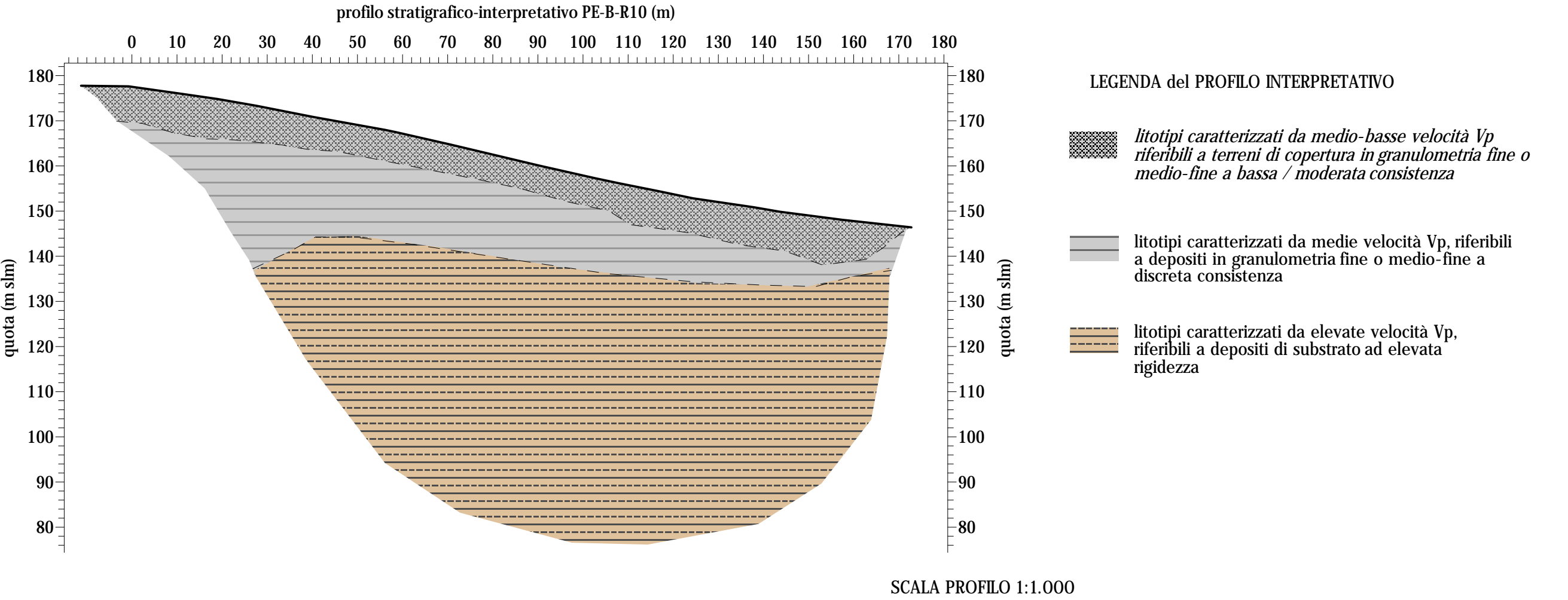
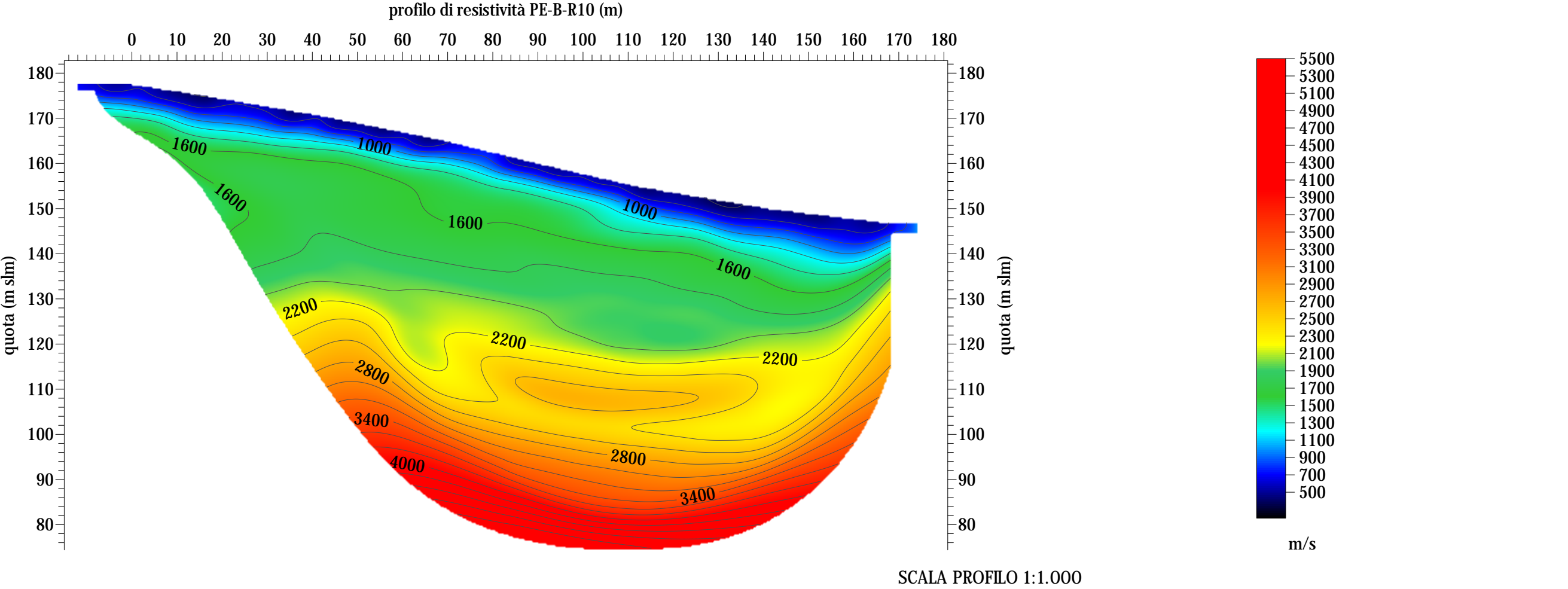
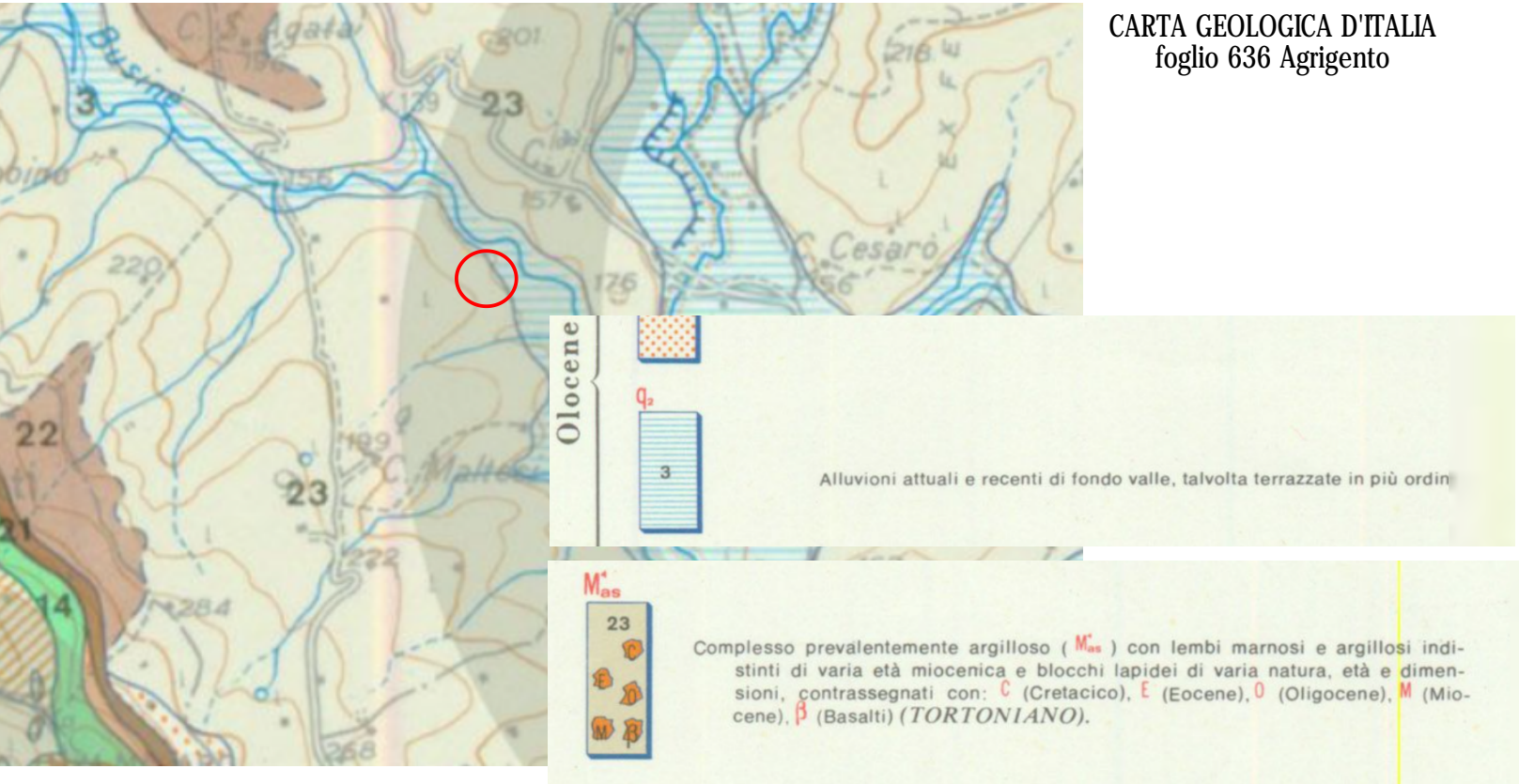
Data: febb. 2022	Committente: 
Cod. Comm: 21-118	PROSPEZIONE GEOELETTRICA E SISMICA FINALIZZATA ALLO STUDIO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO Ricoll. allacciamento Comune di Casteltermini DN 200 (8"), DP 24 bar, variante derivazione per Porto Empedocle DN 250 (10"), DP 24 bar e ricoll. allacciamento Comune di Bompensiere DN 150 (6"), DP 24 bar

PROFILI PE-B-E09 / PE-B-R09



LEGENDA del PROFILO INTERPRETATIVO

-  *litotipi caratterizzati da medio-bassi valori di Vp e da basse resistività, associabili a terreni in granulometria fine (limi, argille, sabbie argillose), da poco a moderatamente consistenti*
-  *litotipi caratterizzati da medi valori di Vp e da basse resistività, associabili a terreni in granulometria fine a maggiore stato di consistenza*
-  *litotipi caratterizzati da medio-elevati ed elevati valori di Vp e da basse resistività, associabili a terreni ad elevata consistenza (litotipi di substrato a prevalente composizione marnosa)*
-  *litotipi caratterizzati da elevati valori di Vp e da elevate resistività, associabili a terreni a discreta consistenza (litotipi di substrato a prevalente composizione arenacea)*



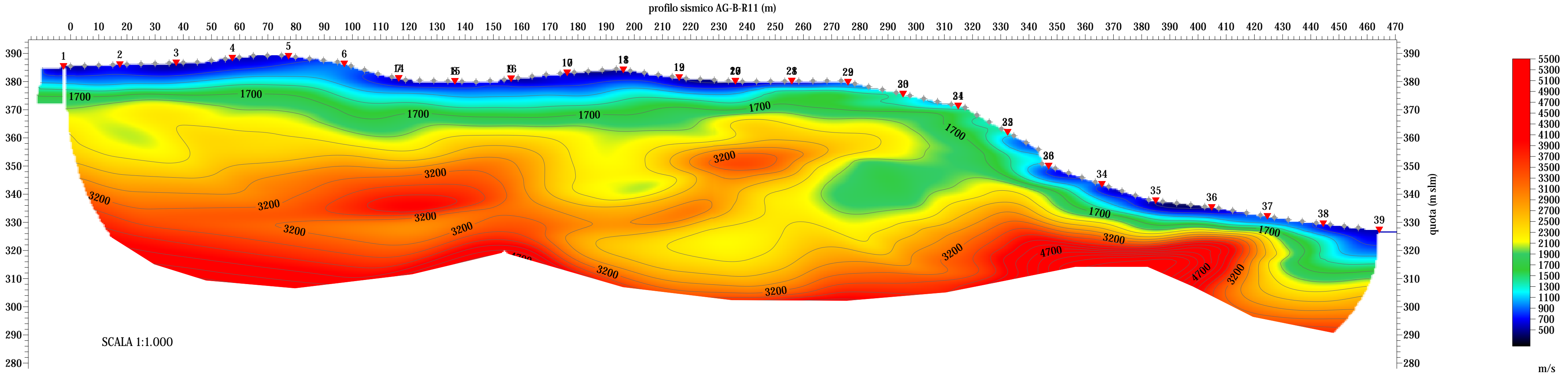
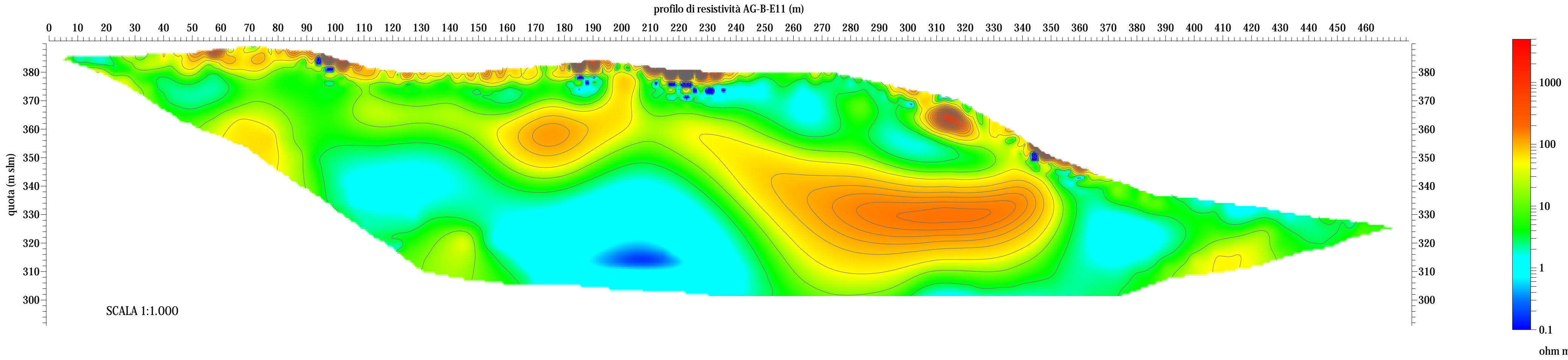
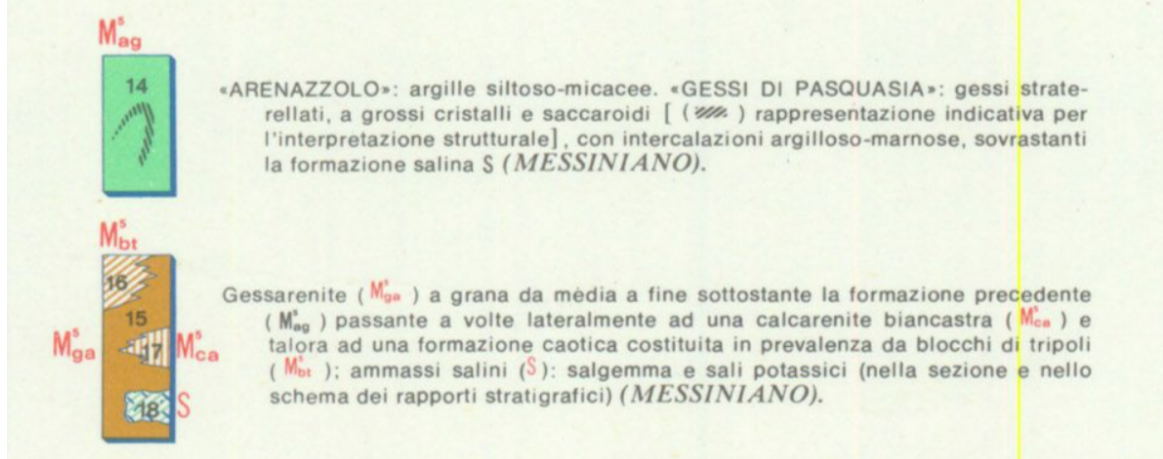
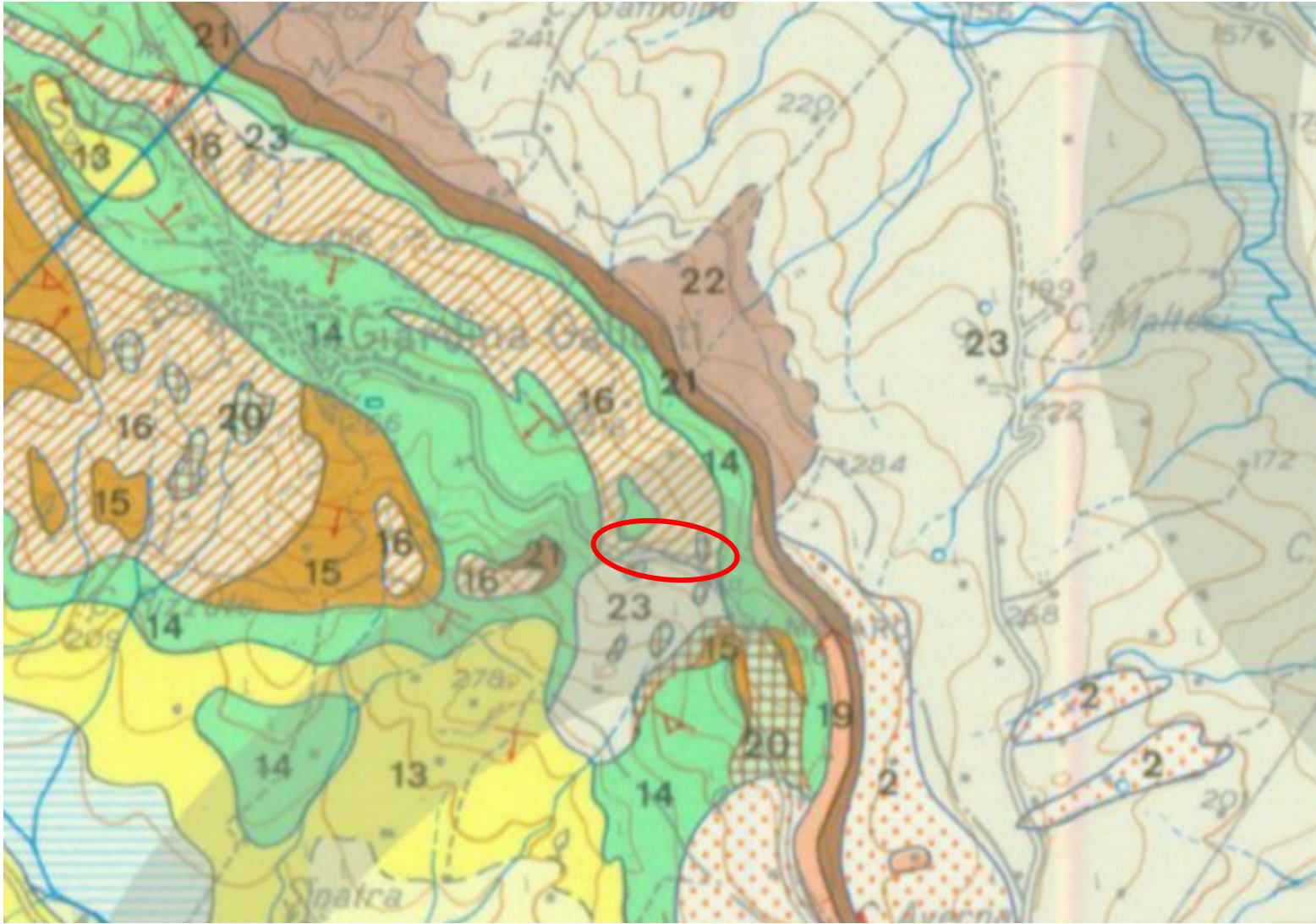
RISULTATI INDAGINE GEOFISICA PROFILO PE-B-R10	
	<div><div><div>Geores Srl</div><div>Via Marittima 406</div><div>03100 Frosinone</div><div>+39 0775 871376</div><div>info@geores.it</div><div>info@geores@pec.it</div></div><div>P.I. e C.F. 02535760603</div></div>
Data: Febr. 2022	Committente: 
Cod. Comm: 21-118	PROSPEZIONE GEOELETTRICA E SISMICA FINALIZZATA ALLO STUDIO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO Ricoll. allacciamento Comune di Casteltermini DN 200 (8"), DP 24 bar, variante derivazione per Porto Empedocle DN 250 (10"), DP 24 bar e ricoll. allacciamento Comune di Bompensiere DN 150 (6"), DP 24 bar

PROFILO PE-B-R10

settore ubicazione
indagine



 ubicazione area di studio




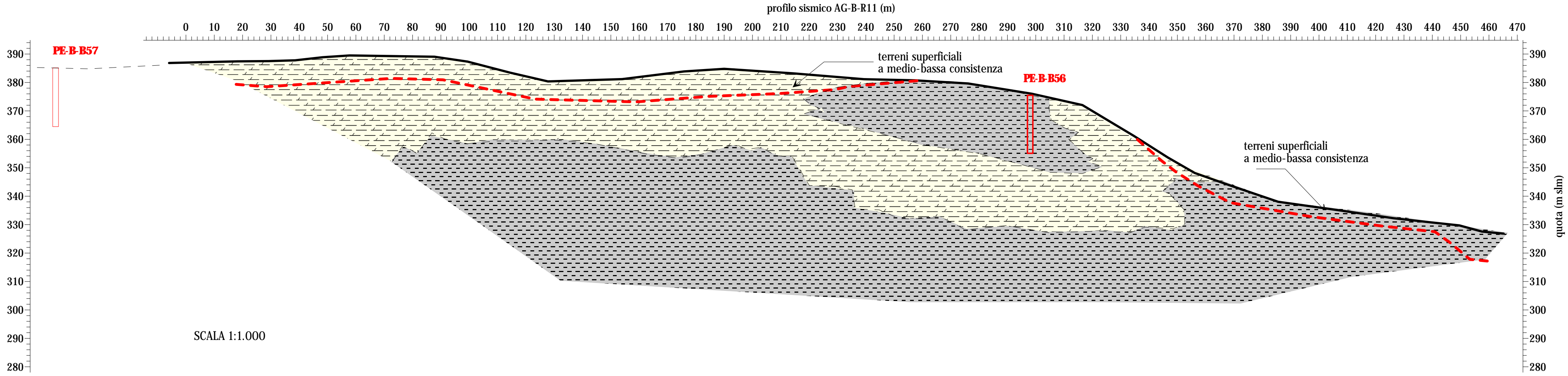
RESULTATI INDAGINE GEOFISICA PROFILI PE-B-E11 e PE-B-R11



Geores Srl
Via Marittima 406
03100 Frosinone
+39 0775 871376
info@geores.it
info@geores@pec.it

P.I. e C.F. 02535760603

Data: Sett. 2021	Committente: 
Cod. Comm: 21-118	PROSPEZIONE GEOELETTRICA E SISMICA FINALIZZATA ALLO STUDIO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO Ricoll. allacciamento Comune di Casteltermeni DN 200 (8"), DP 24 bar, variante derivazione per Porto Empedocle DN 250 (10"), DP 24 bar e ricoll. allacciamento Comune di Bompensiere DN 150 (6"), DP 24 bar



LEGENDA del PROFILO INTERPRETATIVO

- limite tra i litotipi caratterizzati da bassi valori di Vp, a consistenza bassa/moderata o alterati, e i sottostanti litotipi caratterizzati da medi o elevati valori di Vp, ad elevata resistenza
- litotipi a resistività bassa o medio-bassa - in granulometria fine e medio-fine (ad es. argilla, argilla dura, argilla marnosa...)
- litotipi caratterizzati da elevate resistività, riferibili a formazioni gessose, argillo-gessose o calcaree; la formazione può essere costituita da una alternanza di gessi a struttura massiva e argille dure con intercalato gesso ridotto in polvere

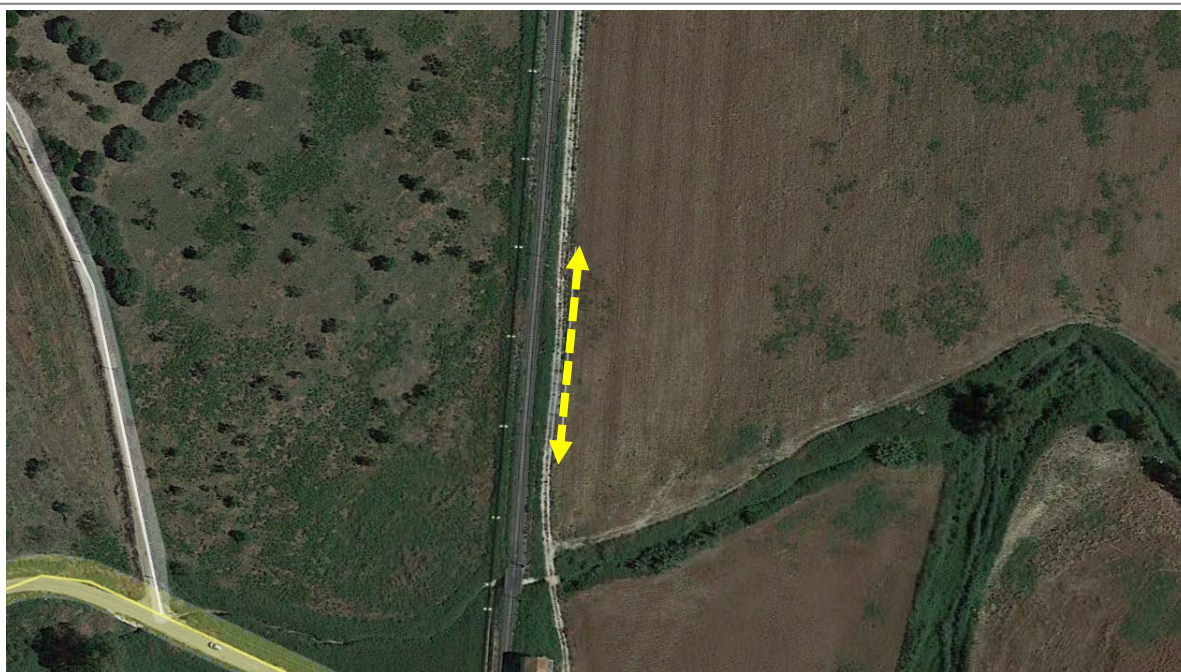


ANNESSO 1: RISULTATI ANALISI MASW



RISULTATI DELLA PROVA PE-B-M04

ubicazione prova masw



Ubicazione prova masw

dati generali prova masw



Committente: Saipem S.p.A.

Sito: PE-B-M04

Data inizio e fine prova: 15/09/2021

Strumento: sismografo 24 bit DAQLink III

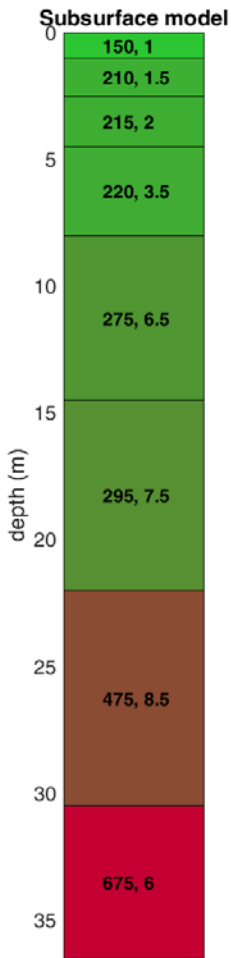
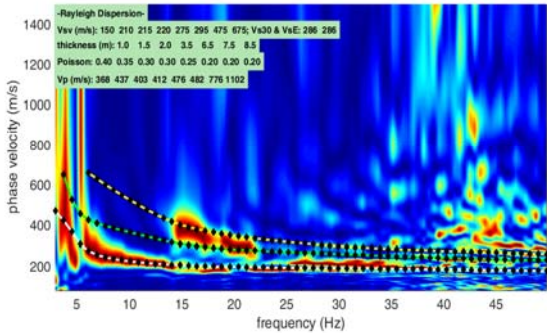
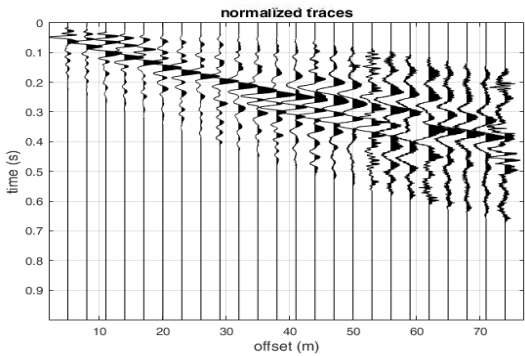
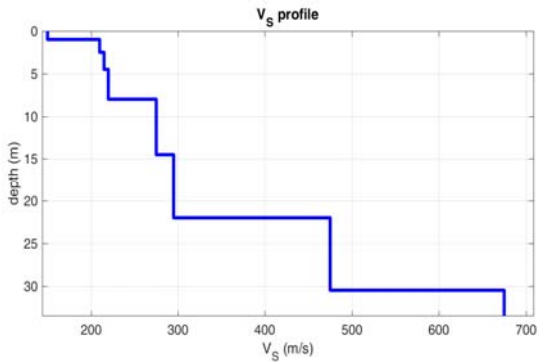
Energizzazione: massa battente 10 kg

N° geofoni: 24 con interspazio 3 metri

Software di processing: winMASW 2018
Professional

Tipologia di processing: modelling diretto

output prova MASW



Vs (m/s): 150 210 215 220 275 295 475 675
 Thickness (m): 1.0, 1.5, 2.0, 3.5, 6.5, 7.5, 8.5

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.81 1.85 1.83 1.84
 1.87 1.88 1.99 2.08
 Shear modulus (MPa) (approximate values): 41 82 85 89
 142 163 450 947

Analyzing Phase velocities
 Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)
 Vp (m/s): 368 437 403 412 476 482 776 1102
 Poisson: 0.40 0.35 0.30 0.30 0.25 0.20 0.20 0.20

Vs30 and VsE (m/s): 286 286

← Vs (m/s), Thickness (m)

risultati prova MASW

In base ai risultati ottenuti la categoria del suolo di fondazione del sito esaminato è: C (la categoria di sottosuolo è calcolata dall'attuale p.c.).

Dalla normativa (NTC 2018):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.



RISULTATI DELLA PROVA PE-B-M05

ubicazione prova masw



Ubicazione prova masw

dati generali prova masw



Committente: Saipem S.p.A.

Sito: PE-B-M05

Data inizio e fine prova: 15/09/2021

Strumento: sismografo 24 bit DAQLink III

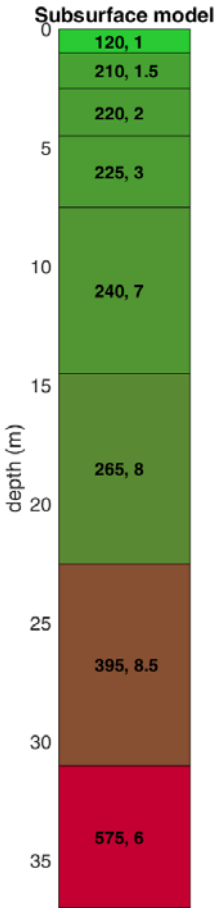
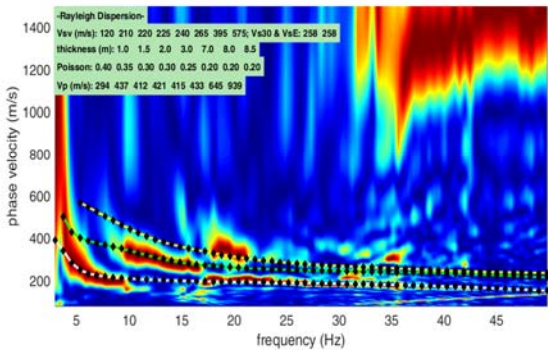
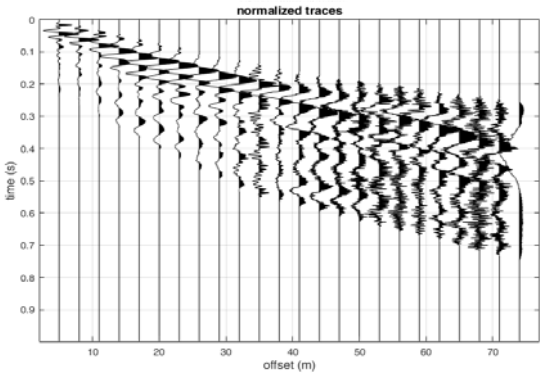
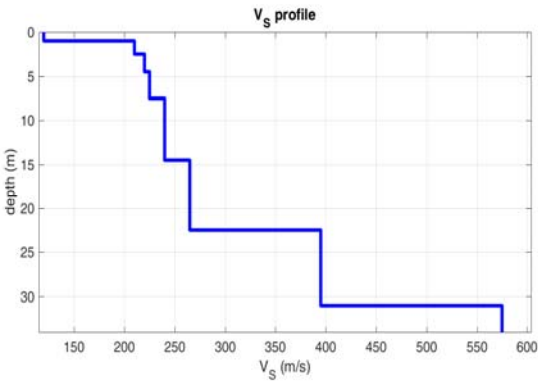
Energizzazione: massa battente 10 kg

N° geofoni: 24 con interspazio 3 metri

Software di processing: winMASW 2018
Professional

Tipologia di processing: modelling diretto

output prova MASW



Vs (m/s): 120 210 220 225 240 265 395 575
 Thickness (m): 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 7.0, 8.0, 8.5

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.76 1.85 1.84
 1.84 1.84 1.85 1.95 2.04
 Shear modulus (MPa) (approximate values): 25 82 89
 93 106 130 304 674

Analyzing Phase velocities
 Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)
 Vp (m/s): 294 437 412 421 415 433 645 939
 Poisson: 0.40 0.35 0.30 0.30 0.25 0.20 0.20 0.20

Vs30 and VsE (m/s): 258 258

← Vs (m/s), Thickness (m)

risultati prova MASW

In base ai risultati ottenuti la categoria del suolo di fondazione del sito esaminato è: C (la categoria di sottosuolo è calcolata dall'attuale p.c.).

Dalla normativa (NTC 2018):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

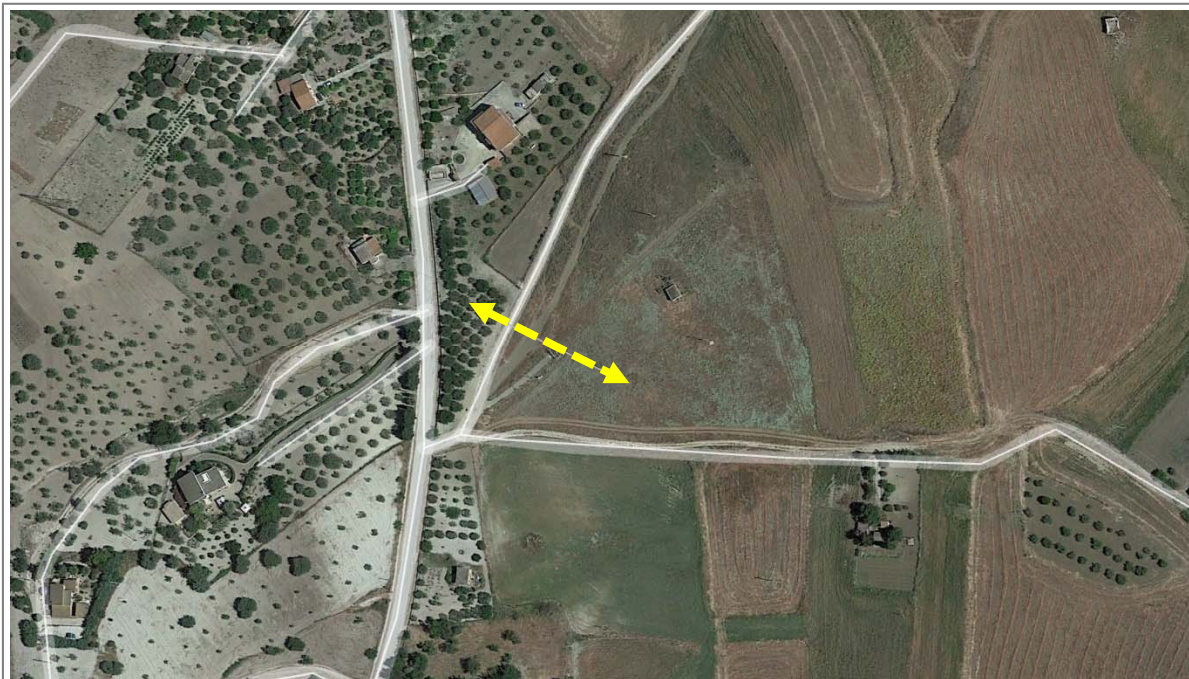
D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.



RISULTATI DELLA PROVA PE-B-M06

ubicazione prova masw



Ubicazione prova masw

dati generali prova masw



Committente: Saipem S.p.A.

Sito: PE-B-M06

Data inizio e fine prova: 15/09/2021

Strumento: sismografo 24 bit DAQLink III

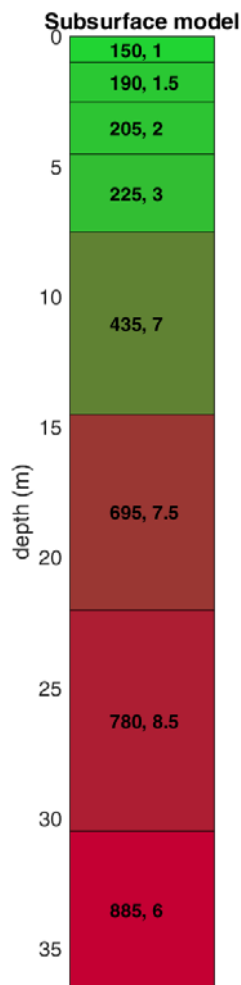
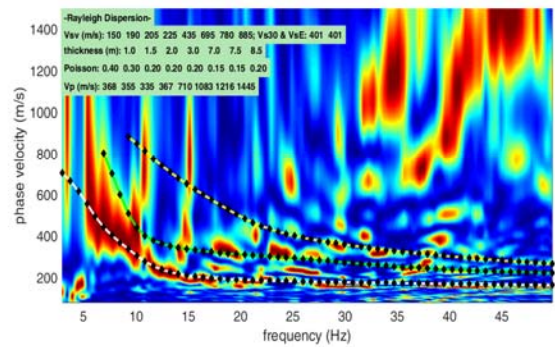
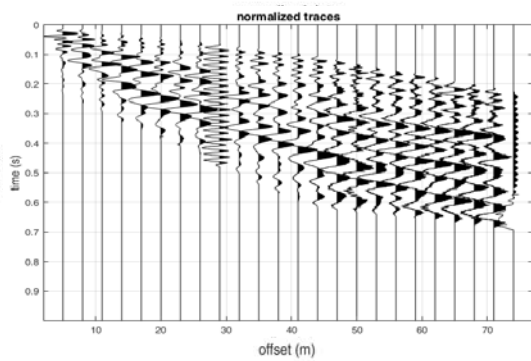
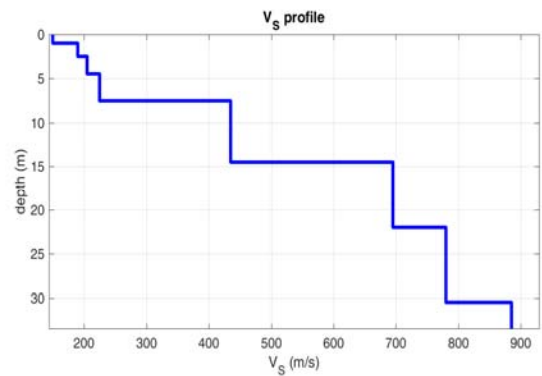
Energizzazione: massa battente 10 kg

N° geofoni: 24 con interspazio 3 metri

Software di processing: winMASW 2018
Professional

Tipologia di processing: modelling diretto

output prova MASW



Vs (m/s): 150 190 205 225 435 695 780 885
Thickness (m): 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 7.0, 7.5, 8.5

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.81 1.80
1.79 1.81 1.97 2.07 2.10 2.14

Shear modulus (MPa) (approximate values): 41 65
75 92 373 1001 1278 1679

Analyzing Phase velocities
Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 368 355 335 367 710 1083 1216 1445
Poisson: 0.40 0.30 0.20 0.20 0.20 0.15 0.15 0.20

Vs30 and VsE (m/s): 401 401

← Vs (m/s), Thickness (m)

risultati prova MASW

In base ai risultati ottenuti la categoria del suolo di fondazione del sito esaminato è: **B** (la categoria di sottosuolo è calcolata dall'attuale p.c.).

Dalla normativa (NTC 2018):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

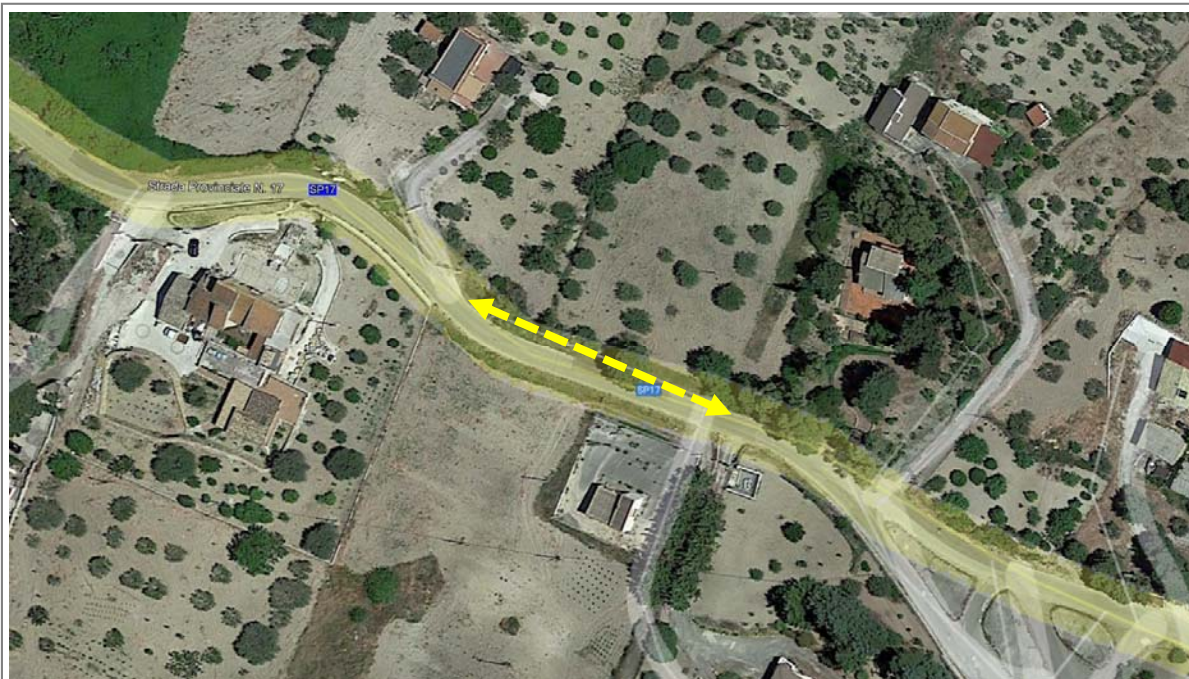
B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

ubicazione prova masw



Ubicazione prova masw

dati generali prova masw



Committente: Saipem S.p.A.

Sito: PE-B-M07

Data inizio e fine prova: 15/09/2021

Strumento: sismografo 24 bit DAQLink III

Energizzazione: massa battente 10 kg

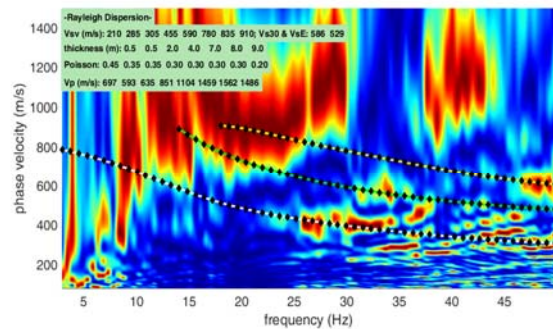
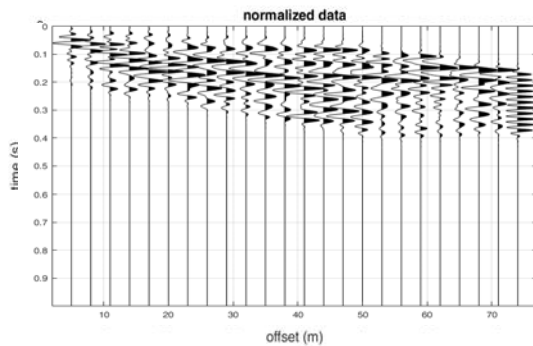
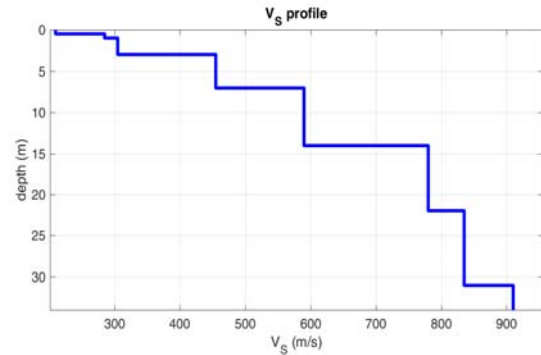
N° geofoni: 24 con interspazio 3 metri

Software di processing: winMASW 2018 Professional

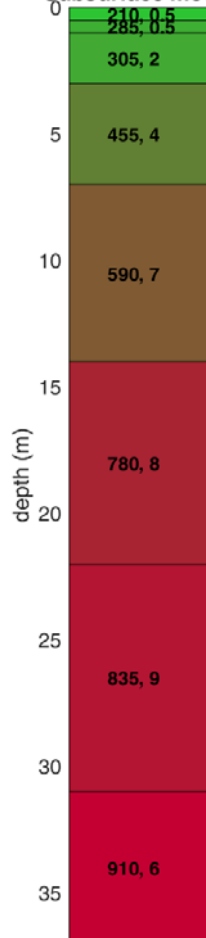
Tipologia di processing: modelling diretto

output prova MASW

www.winmasw.com



Subsurface model



V_s (m/s): 210 285 305 455 590 780 835 910
 Thickness (m): 0.5, 0.5, 2.0, 4.0, 7.0, 8.0, 9.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.97 1.93 1.94
 2.01 2.08 2.15 2.16 2.15
 Shear modulus (MPa) (approximate values): 87 157 181
 417 723 1305 1508 1780

Analyzing Phase velocities
 Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for V_p and Poisson (please, see manual)

V_p (m/s): 697 593 635 851 1104 1459 1562 1486
 Poisson: 0.45 0.35 0.35 0.30 0.30 0.30 0.30 0.20

V_{s22} (m/s): 529

← Vs (m/s), Thickness (m)

risultati prova MASW

In base ai risultati ottenuti la categoria del suolo di fondazione del sito esaminato è: **B** (la categoria di sottosuolo è calcolata dall'attuale p.c.).

Dalla normativa (NTC 2018):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

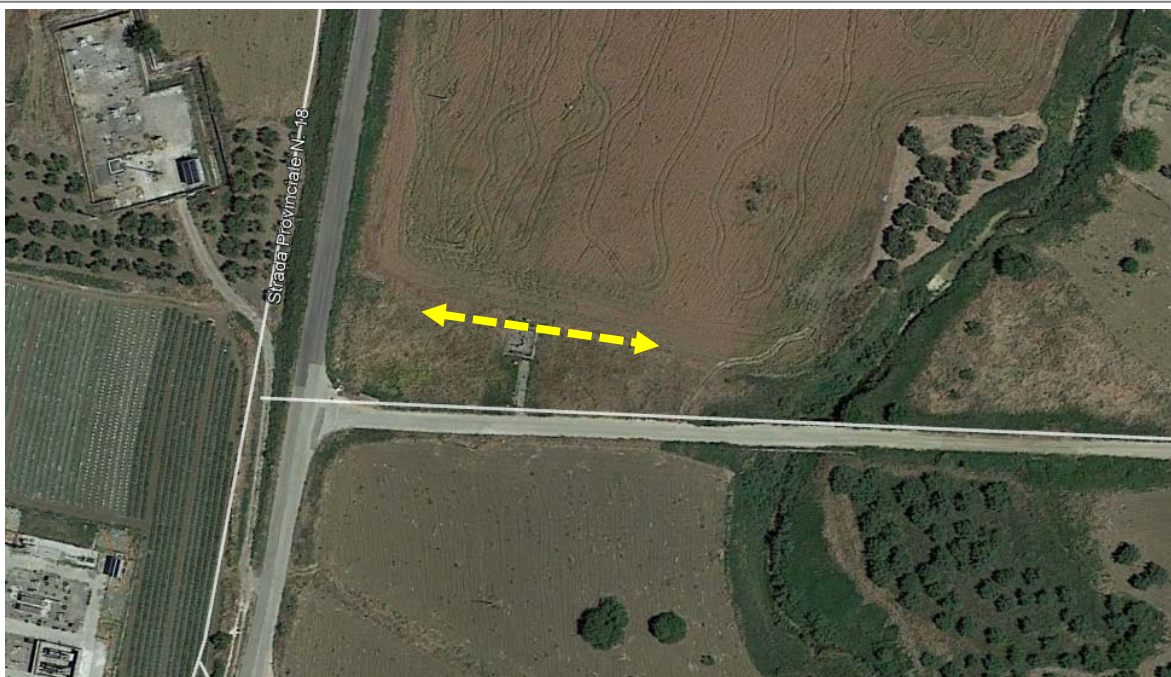
B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

ubicazione prova masw



Ubicazione prova masw

dati generali prova masw



Committente: Saipem S.p.A.

Sito: PE-B-M08

Data inizio e fine prova: 15/09/2021

Strumento: sismografo 24 bit DAQLink III

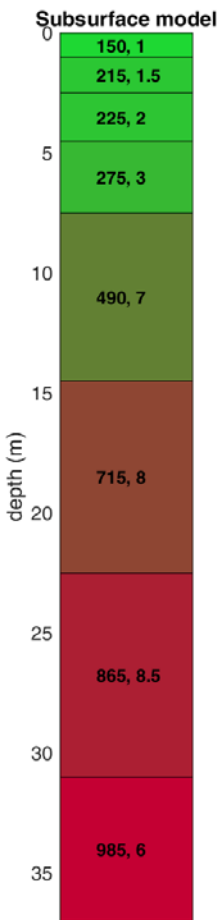
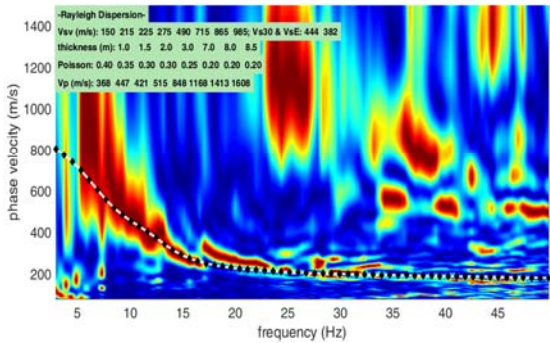
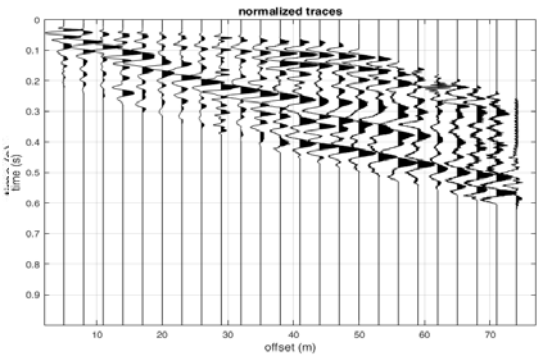
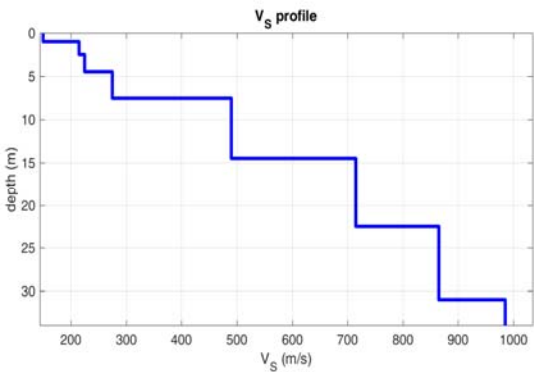
Energizzazione: massa battente 10 kg

N° geofoni: 24 con interspazio 3 metri

Software di processing: winMASW 2018
Professional

Tipologia di processing: modelling diretto

output prova MASW



Vs (m/s): 150 215 225 275 490 715 865 985
Thickness (m): 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 7.0, 8.0, 8.5

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.81 1.86
1.84 1.89 2.01 2.09 2.14 2.17

Shear modulus (MPa) (approximate values): 41 86
93 143 484 1069 1600 2105

Analyzing Phase velocities
Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 368 447 421 515 848 1168 1413 1608
Poisson: 0.40 0.35 0.30 0.30 0.25 0.20 0.20 0.20

Vs22.5 (m/s): 382

← Vs (m/s), Thickness (m)

risultati prova MASW

In base ai risultati ottenuti la categoria del suolo di fondazione del sito esaminato è: **B** (la categoria di sottosuolo è calcolata dall'attuale p.c.).

Dalla normativa (NTC 2018):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

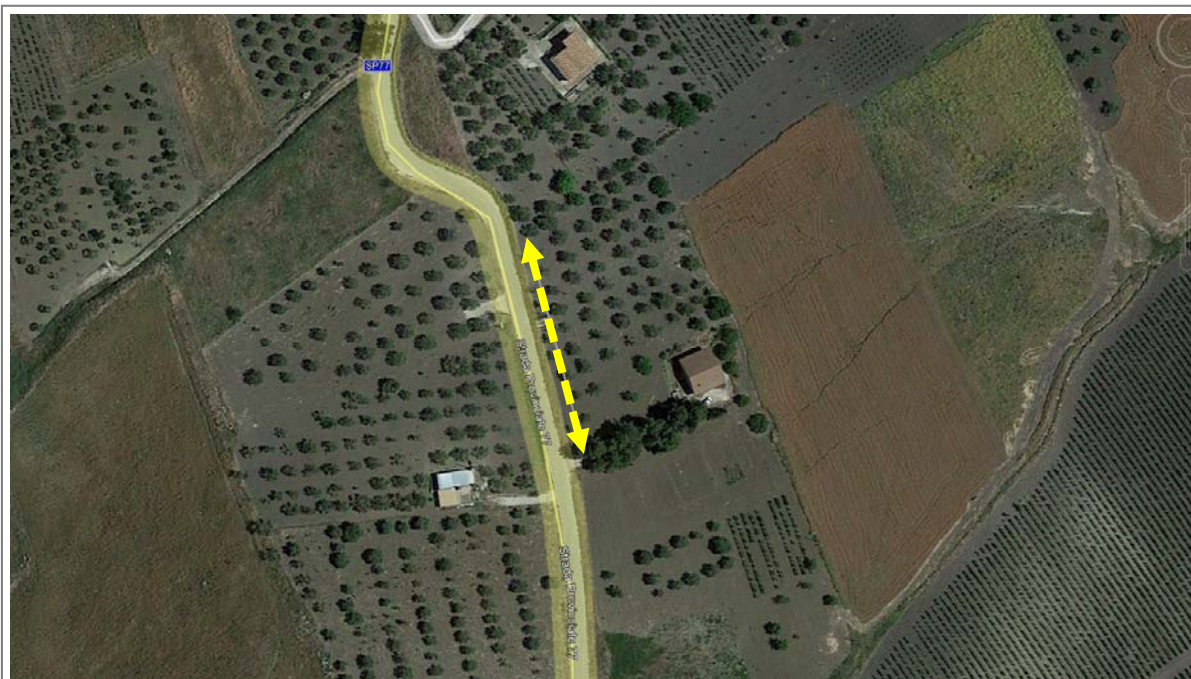
B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

ubicazione prova masw



Ubicazione prova masw

dati generali prova masw



Committente: Saipem S.p.A.

Sito: PE-B-M09

Data inizio e fine prova: 15/09/2021

Strumento: sismografo 24 bit DAQLink III

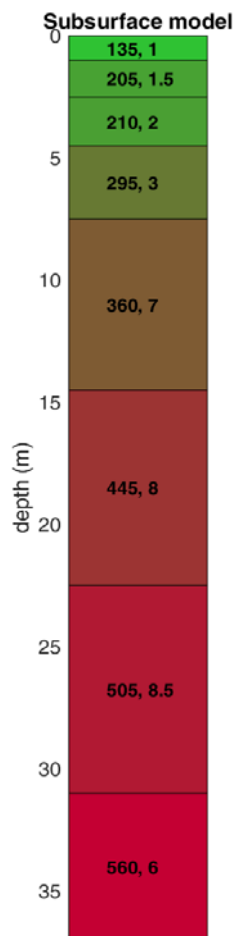
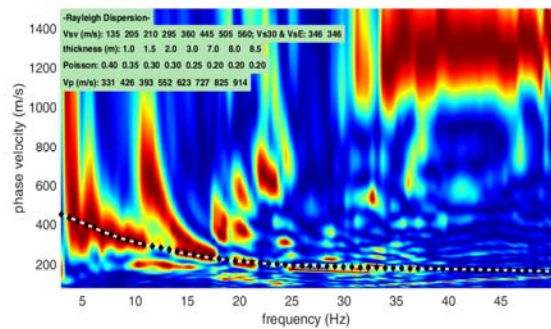
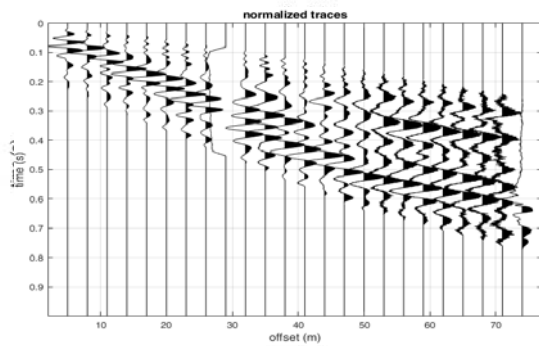
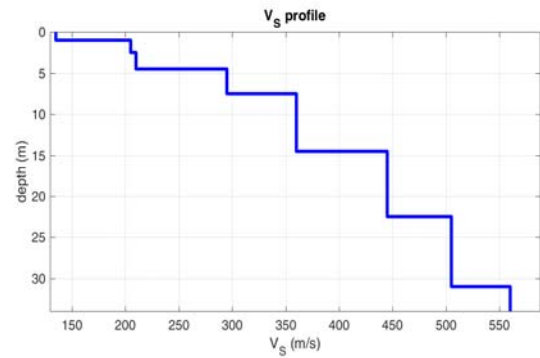
Energizzazione: massa battente 10 kg

N° geofoni: 24 con interspazio 3 metri

Software di processing: winMASW 2018
Professional

Tipologia di processing: modelling diretto

output prova MASW



V_s (m/s): 135 205 210 295 360 445 505 560
Thickness (m): 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 7.0, 8.0, 8.5

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.79 1.85 1.83
1.91 1.94 1.98 2.01 2.03
Shear modulus (MPa) (approximate values): 33 78 81
166 251 391 512 637

Analyzing Phase velocities
Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for V_p and Poisson (please, see manual)

V_p (m/s): 331 426 393 552 623 727 825 914
Poisson: 0.40 0.35 0.30 0.30 0.25 0.20 0.20 0.20

V_{s30} and V_{sE} (m/s): 346 346

← Vs (m/s), Thickness (m)

risultati prova MASW

In base ai risultati ottenuti la categoria del suolo di fondazione del sito esaminato è: C (la categoria di sottosuolo è calcolata dall'attuale p.c.).

Dalla normativa (NTC 2018):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

ubicazione prova masw



Ubicazione prova masw

dati generali prova masw



Committente: Saipem S.p.A.

Sito: PE-B-M10

Data inizio e fine prova: 15/09/2021

Strumento: sismografo 24 bit DAQLink III

Energizzazione: massa battente 10 kg

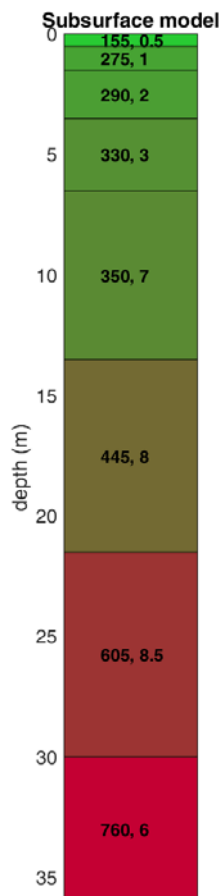
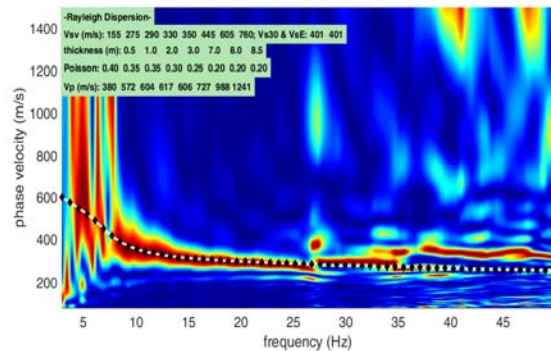
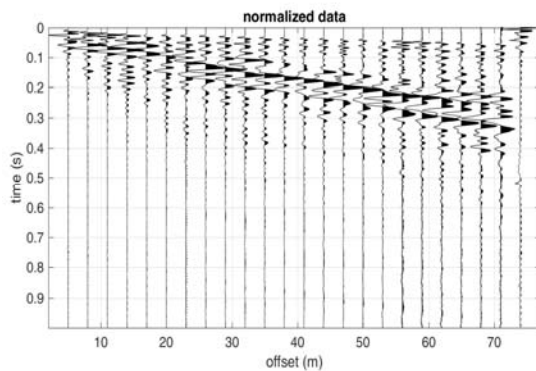
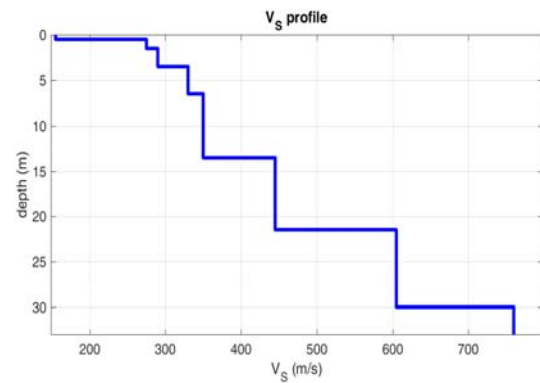
N° geofoni: 24 con interspazio 3 metri

Software di processing: winMASW 2018
Professional

Tipologia di processing: modelling diretto

output prova MASW

www.winmasw.com



V_s (m/s): 155 275 290 330 350 445 605 760

Thickness (m): 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 7.0, 8.0, 8.5

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.82 1.92 1.93 1.94 1.93 1.98 2.05 2.11

Shear modulus (MPa) (approximate values): 44 145 162 211 237 391 751 1217

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for V_p and Poisson (please, see manual)

V_p (m/s): 380 572 604 617 606 727 988 1241

Poisson: 0.40 0.35 0.35 0.30 0.25 0.20 0.20 0.20

V_{s30} and V_{sE} (m/s): 401 401

← Vs (m/s), Thickness (m)

risultati prova MASW

In base ai risultati ottenuti la categoria del suolo di fondazione del sito esaminato è: **B** (la categoria di sottosuolo è calcolata dall'attuale p.c.).

Dalla normativa (NTC 2018):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.



RISULTATI DELLA PROVA PE-B-M11

ubicazione prova masw



Ubicazione prova masw

dati generali prova masw



Committente: Saipem S.p.A.

Sito: PE-B-M11

Data inizio e fine prova: 15/09/2021

Strumento: sismografo 24 bit DAQLink III

Energizzazione: massa battente 10 kg

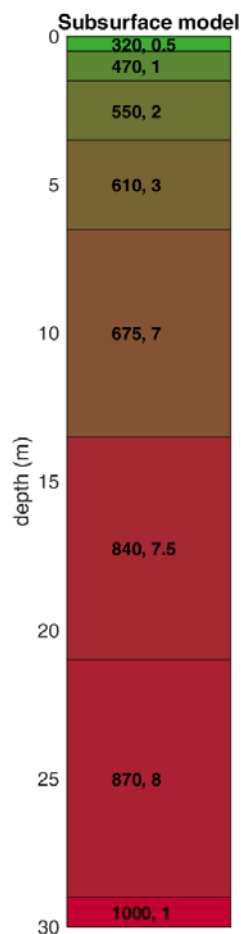
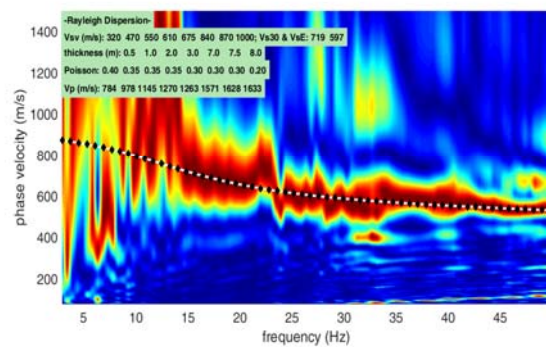
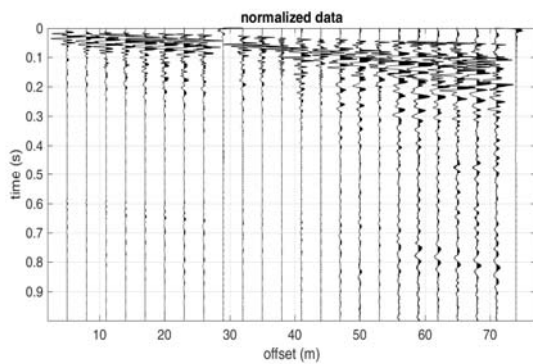
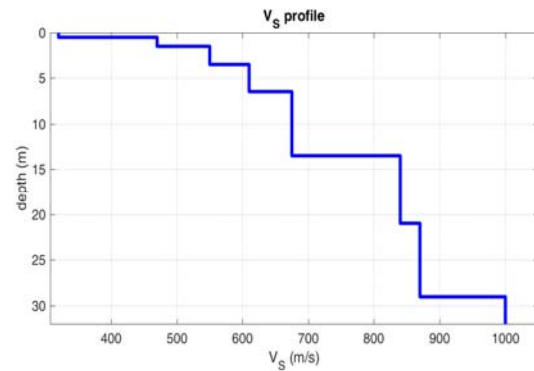
N° geofoni: 24 con interspazio 3 metri

Software di processing: winMASW 2018 Professional

Tipologia di processing: modelling diretto

output prova MASW

www.winmasw.com



Vs (m/s): 320 470 550 610 675 840 870 1000

Thickness (m): 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 7.0, 7.5, 8.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.99 2.05 2.09 2.11 2.11 2.16 2.17 2.17

Shear modulus (MPa) (approximate values): 204 453 631 786 962 1527 1644 2173

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 784 978 1145 1270 1263 1571 1628 1633

Poisson: 0.40 0.35 0.35 0.35 0.30 0.30 0.30 0.20

Vs13.5 (m/s): 597

← Vs (m/s), Thickness (m)

risultati prova MASW

In base ai risultati ottenuti la categoria del suolo di fondazione del sito esaminato è: **B** (la categoria di sottosuolo è calcolata dall'attuale p.c.).

Dalla normativa (NTC 2018):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.



RISULTATI DELLA PROVA PE-B-M10a

ubicazione prova masw



Ubicazione prova masw

dati generali prova masw



Committente: Saipem S.p.A.

Sito: PE-B-M10a

Data inizio e fine prova: 15/09/2021

Strumento: sismografo 24 bit DAQLink III

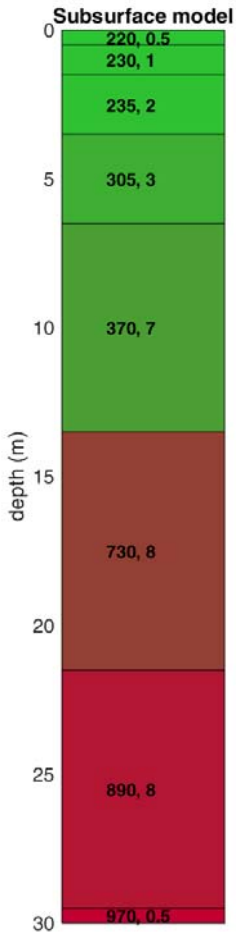
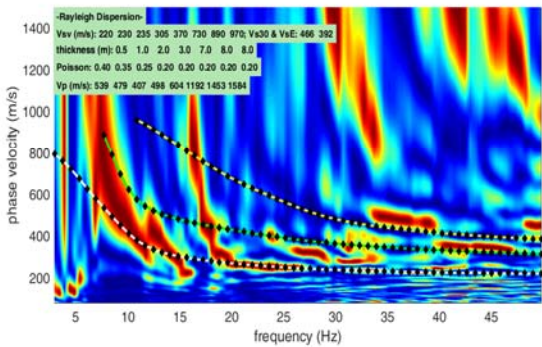
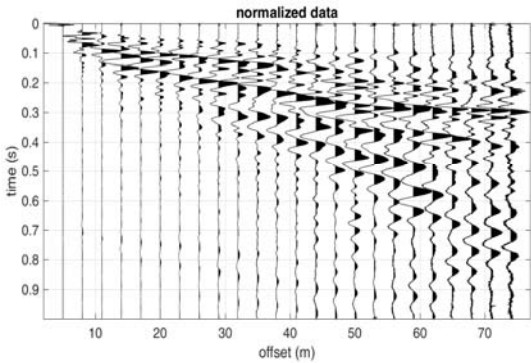
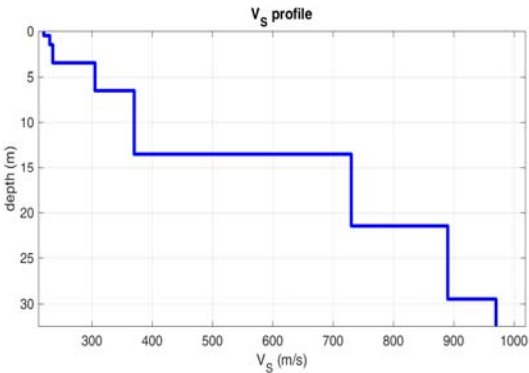
Energizzazione: massa battente 10 kg

N° geofoni: 24 con interspazio 3 metri

Software di processing: winMASW 2018
Professional

Tipologia di processing: modelling diretto

output prova MASW



Vs (m/s): 220 230 235 305 370 730 890 970
Thickness (m): 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 7.0, 8.0, 8.0

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.90 1.88 1.84
1.89 1.93 2.10 2.14 2.17

Shear modulus (MPa) (approximate values): 92 99 101
175 264 1117 1699 2038

Analyzing Phase velocities
Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 539 479 407 498 604 1192 1453 1584
Poisson: 0.40 0.35 0.25 0.20 0.20 0.20 0.20 0.20

Vs_{21.5} (m/s): 392

← Vs (m/s), Thickness (m)

risultati prova MASW

In base ai risultati ottenuti la categoria del suolo di fondazione del sito esaminato è: **B** (la categoria di sottosuolo è calcolata dall'attuale p.c.).

Dalla normativa (NTC 2018):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.



ALL. 2 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

CANTIERE

Campofranco (CL) – Porto Empedocle (AG), indagine di tomografia elettrica e sismica 2D



1. Stendimento AG-B-E12



2. Stendimento AG-B-E13



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

CANTIERE

Campofranco (CL) – Porto Empedocle (AG), indagine di tomografia elettrica e sismica 2D



3. Stendimento AG-B-E14



4. Stendimento AG-B-R14



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

CANTIERE

Campofranco (CL) – Porto Empedocle (AG), indagine di tomografia elettrica e sismica 2D



5. Stendimento PE-B-E06a



6. Stendimento PE-B-E06b



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

CANTIERE

Campofranco (CL) – Porto Empedocle (AG), indagine di tomografia elettrica e sismica 2D



7. Stendimento PE-B-E07a



8. Stendimento PE-B-E07b



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

CANTIERE

Campofranco (CL) – Porto Empedocle (AG), indagine di tomografia elettrica e sismica 2D



9. Stendimento PE-B-E08a



10. Stendimento PE-B-E08a (tratto finale)



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

CANTIERE

Campofranco (CL) – Porto Empedocle (AG), indagine di tomografia elettrica e sismica 2D



11. Stendimento PE-B-E08b



12. Stendimento PE-B-E08b



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

CANTIERE

Campofranco (CL) – Porto Empedocle (AG), indagine di tomografia elettrica e sismica 2D



13. Stendimento PE-B-E09



14. Stendimento PE-B-R10



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

CANTIERE

Campofranco (CL) – Porto Empedocle (AG), indagine di tomografia elettrica e sismica 2D



15. Stendimento PE-B-E11



16. Stendimento PE-B-R09



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

CANTIERE

Campofranco (CL) – Porto Empedocle (AG), indagine di tomografia elettrica e sismica 2D



17. Stendimento PE-B-R11



18. Stendimento PE-B-R11



RELAZIONE GEOFISICA

Data
17 Febbraio 2025

Committente
Saipem S.p.A.

Cantiere
Derivazione per Porto Empedocle (AG)

Tipologia di lavoro
Indagine geofisica con metodologia tomografia elettrica 2D
e tomografia sismica a rifrazione 2D

SaipemSpA-Der-Porto-Empedocle-2025-T-TS.pdf



Data	Febbraio 2025
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine geofisica tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

1. Premessa

GEORES S.r.l. ha eseguito indagini geofisiche del tipo tomografia elettrica 2D e tomografia sismica 2D per i progetti "Rifacimento Derivazione per Porto Empedocle DN 300 (12") DP 24 bar ed opere connesse (1° Tronco: Campofranco-Aragona)" e "Rifacimento allacciamento Comune Agrigento) DN100 (4") DP 24 bar".

Le indagini sono state effettuate in n°4 settori lungo il tracciato, la cui ubicazione è riportata nelle tavole allegate. Le caratteristiche degli stendimenti sono invece sintetizzate nella sottostante tabella 1.

sito e denominazione	tipologia indagine	coordinate inizio	coordinate fine	LUNGHEZZA
fosso_cipollazzi_PE-C-R04a	t. rifrazione 2D	373084.95, 4137991.49	373025.89, 4137892.66	115 m
fosso_cipollazzi_PE-C-E04a	t. elettrica 2D	373084.95, 4137991.49	373025.89, 4137892.66	115 m
fosso_cipollazzi_PE-C-R04b	t. rifrazione 2D	373015.97, 4137867.15	372955.58, 4137768.78	115 m
fosso_cipollazzi_PE-C-E04b	t. elettrica 2D	373015.97, 4137867.15	372955.58, 4137768.78	115 m
fosso_cipollazzi_PE-C-E04c	t. elettrica 2D	372972.71, 4137873.11	373079.53, 4137832.63	115 m
vall_cacici_PE-C-R05a	t. rifrazione 2D	372413.34, 4137045.18	372411.34, 4136904.06	140 m
vall_cacici_PE-C-E05a	t. elettrica 2D	372413.34, 4137045.18	372411.34, 4136904.06	140 m
vall_cacici_PE-C-E05c	t. elettrica 2D	372410.14, 4136743.84	372408.02, 4136653.42	90 m
vall_cacici_PE-C-R05c	t. rifrazione 2D	372410.14, 4136743.84	372408.02, 4136653.42	90 m
c_ragabo_PE-C-R06a	t. rifrazione 2D	367929.09, 4132363.05	367921.54, 4132213.16	150 m
c_ragabo_PE-C-E06a	t. elettrica 2D	367929.09, 4132363.05	367921.54, 4132213.16	150 m
c_ragabo_PE-C-R06b	t. rifrazione 2D	367920.17, 4132195.28	367914.68, 4132077.01	115 m
c_ragabo_PE-C-E06b	t. elettrica 2D	367920.17, 4132195.28	367914.68, 4132077.01	115 m
c_ragabo_PE-C-E06c	t. elettrica 2D	367879.69, 4132219.34	367955.16, 4132131.33	115 m
f_drago_PE-C-R07a	t. rifrazione 2D	372113.36, 4130538.20	372212.14, 4130479.39	115 m
f_drago_PE-C-E07a	t. elettrica 2D	372113.36, 4130538.20	372212.14, 4130479.39	115 m
f_drago_PE-C-R07b	t. rifrazione 2D	372239.15, 4130446.87	372354.08, 4130461.17	115 m
f_drago_PE-C-E07b	t. elettrica 2D	372239.15, 4130446.87	372354.08, 4130461.17	115 m
f_drago_PE-C-E07c	t. elettrica 2D	372209.18, 4130455.86	372188.60, 4130568.94	115 m

Tabella 1: quadro riassuntivo delle indagini eseguite

ALLEGATI:

TAVOLA 1 – Risultati indagine loc. "Fosso Cipollazzi"

TAVOLA 2 – Risultati indagine loc. "Vallone Cacici"

TAVOLA 3 – Risultati indagine loc. "C. Ragabo"

TAVOLA 4 – Risultati indagine loc. "Fiume Drago"

documentazione fotografica

2. TOMOGRAFIA ELETTRICA 2D

2.1 Premessa

Nei siti in esame è stata realizzata una indagine geoelettrica. Le planimetrie ubicative sono riportate nelle tavole allegate.



Data	Febbraio 2025
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine geofisica tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

La tecnica della tomografia elettrica si presenta molto vantaggiosa per l'identificazione di variazioni dei terreni legate alle caratteristiche litologiche e stratigrafiche (composizione granulometrica, presenza di falda/terreni umidi, diverso contenuto d'acqua ecc...).

2.2 Metodologia geoelettrica

La resistività elettrica è una delle proprietà fisiche più utilizzate per l'esplorazione del sottosuolo, grazie soprattutto all'elevato intervallo di valori che essa può assumere al variare della natura dei corpi investigati. Il metodo geoelettrico si basa sulla misura tra due elettrodi, detti convenzionalmente MN, della differenza di potenziale ΔV associata alla distribuzione nel sottosuolo di una corrente elettrica I immessa in una diversa coppia di elettrodi, detti AB. Si dimostra che si ottiene un valore di resistività apparente:

$$(\Omega \text{ m}) \rho_a = K(V/I)$$

che è funzione, oltre che della posizione reciproca dei 4 elettrodi anzidetti (dipendenza contenuta nel parametro K , detto fattore geometrico), della distribuzione della resistività elettrica dei sedimenti nel sottosuolo interessato dalla propagazione della corrente I .

I dati acquisiti devono essere opportunamente «interpretati» al fine di ottenere dall'insieme dei valori di ρ_a , un modello realistico dell'effettiva distribuzione delle resistività elettriche reali nel sottosuolo indagato. Da questa distribuzione, con opportune tarature e/o in base alle conoscenze geo-litologiche, il modello geofisico viene trasformato in modello geo-litologico. Spostando e distanziando gli elettrodi lungo un profilo secondo una sequenza pre-programmata ed automatica, si possono investigare lateralmente ed in profondità le variazioni di resistività apparente ottenendo una sezione di resistività apparente che evidenzia le discontinuità laterali della resistività elettrica reale del sottosuolo. In ogni caso l'informazione ottenuta è una resistività apparente, funzione della distribuzione delle resistività elettriche vere all'interno del corpo e della disposizione reciproca degli elettrodi del quadripolo. Solo un opportuno processo di «inversione» o, in termini più semplici, di interpretazione di tali dati restituisce il più probabile modello di distribuzione delle resistività elettriche reali all'interno del corpo investigato. La cosiddetta «tomografia elettrica» è per l'appunto quella metodologia che permette di acquisire informazioni in simultanea dipendenza sia della profondità che della distanza orizzontale e di interpretarle mediante un processo di inversione dei dati che permette di ricostruire le reali geometrie del sottosuolo.

2.3 Metodologia utilizzata nell'indagine

Il sistema dei profili elettrici superficiali con dispositivo multi-array per Tomografia Elettrica di Resistività è una metodologia innovativa in quanto evoluzione delle misure geoelettriche classiche, intesa ed applicata in modo tale da ottenere risoluzioni spaziali elevate. Il sistema permette di ricostruire la distribuzione in due dimensioni della resistività reale nel sottosuolo con una risoluzione che dipende dalla distanza tra gli elettrodi.

Data	Febbraio 2025
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine geofisica tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

Tutti gli elettrodi sono collegati, mediante un apposito cavo multi-conduttore, allo strumento di acquisizione. La corrente viene applicata ad una coppia di elettrodi misurando poi la differenza di potenziale tra tutte le altre coppie di elettrodi disponibili nella configurazione scelta. Si passa poi ad una seconda coppia di trasmissione e così via fino a raggiungere il numero massimo di misure indipendenti sui poli e dipoli disponibili. Si ottengono così centinaia di misure per ciascuna sezione di interesse e, con un apposito algoritmo di inversione, è possibile ricostruire la distribuzione bidimensionale di resistività reale del sottosuolo (*figura 2*).



*Figura 2: immagini tomografia elettrica 2D
eseguita in sito*

Nel caso di specie, sono stati eseguiti degli stendimenti con passo interelettrodico 3.0 m utilizzando un array del tipo "dipolo-dipolo".



Data	Febbraio 2025
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine geofisica tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

Le misure sono state interpretate mediante uno specifico software dedicato (RES2D INV) capace di ricostruire la distribuzione di resistività reale in due dimensioni legata alle caratteristiche geologico stratigrafiche, idrogeologiche e strutturali di ciascun sito indagato.

Si sono utilizzati, per la corretta modellazione degli stendimenti lungo il tracciato di progetto del metanodotto, i dati topografici ricavati attraverso strumentazione GPS.

2.4 Strumentazione utilizzata

Lo strumento di acquisizione utilizzato, il georesistivimetromultielettrodo multicanale IRIS SYSCAL PRO, è capace di gestire contemporaneamente oltre 256 elettrodi e di personalizzare, tramite specifico software applicativo, tutte le misure desiderate e la loro posizione nel sottosuolo. Questo strumento ha una precisione strumentale di circa 0,5% ed utilizza una alimentazione in corrente continua fino a 2,5 A.

Caratteristiche tecniche:

Iris SYSCAL Pro acquisitionunit

- 10 canali di acquisizione
- Voltaggio utilizzato per l'indagine: 400 V
- Durata immissione corrente: 500 ms
- Cavi multipolari schermati ad alta sensibilità (multicorecables)
- 48/72 elettrodi di misura
- passo interelettrodo utilizzato: 3 metri
- array: Dipolo-dipolo/Wenner

Software di processing:

- RES 2D INV Geotomo®

2.5 Rappresentazione dei risultati

Il risultato dell'indagine è rappresentato da profili di resistività in cui sono riportati i valori acquisiti dallo strumento, attraverso una scala colorimetrica del tipo logaritmico:

- ✓ con i colori *blu*, *azzurro*, *verde* e *giallo* sono indicati i settori a bassa o media resistività (litologie conduttive possono essere considerate, ad es., le argille, i depositi argilloso-marnosi, le coperture in granulometria fine e media, o anche depositi saturi).
- ✓ con i colori *arancione* e *rosso* sono indicati i settori a più elevata resistività (litologie resiste sono invece generalmente quelle arenacee, evaporitiche, calcaree, dolomitiche ecc...).

Nella tabella 2, di seguito riportata, sono indicati i valori indicativi di resistività (ohm·m) tipici di alcuni litotipi.



Data	Febbraio 2025
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine geofisica tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

LITOTIPO	ρ (Ω m)	ϕ (%)
Acqua	10÷100	-
Acqua di mare	2÷3	-
Arenarie	200÷5000	7÷30
Argille	1÷50	40÷70
Calcari	300÷10000	2÷30
Detrito alluvionale	50÷1000	15÷60
Dolomie	500÷10000	2÷20
Sabbie e Ghiaie	70÷700	30÷60
Graniti	1000÷20000	0.2÷0.8
Marne	100÷500	8÷15
Piroclastiti	50÷600	15÷60
Rocce ignee	100÷10000	30÷10
Suolo di copertura	10÷200	60÷90
Tufi	150÷900	10÷40

LITOTIPO	ρ (Ω m)
Argilla	10÷100
Marne	100÷500
Suolo copertura	10÷200
Suolo argilloso	10÷100
Suolo sabbioso	100÷1000
Sabbie sciolte	1000÷10000
Sabbie e Ghiaie	100÷1000
Gessi	100÷1000
Calcari marnosi	1000÷10000
Calcari	1000÷10000
Conglomerati	1000÷10000
Arenarie	1000÷10000
Dolomie	1000÷10000
Rocce ignee	1000÷10000
Rocce cristalline	10000÷100000

Tabella 2 (in sinistra) – Valori indicativi di resistività (Ohm·m) di alcuni litotipi; Tabella2 (in destra) – Valori indicativi di resistività (Ohm·m) e di porosità (%) di alcuni litotipi.

3. Tomografia sismica 2D

3.1 Premessa

Al fine di definire la sismo-stratigrafia dei siti oggetto di analisi, è stata eseguita una indagine attraverso la metodologia della tomografia sismica a rifrazione 2D.

La tomografia sismica a rifrazione consente, più dettagliatamente rispetto alla tomografia elettrica, di stimare le proprietà fisico-meccaniche dei depositi presenti in successione (orizzonti più o meno compatti, individuazione di coltri di alterazione, distinzione tra i litotipi di copertura e quelli di substrato ecc...).

3.2 Metodologia della prospezione sismica a rifrazione

Le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo, per cui nella prospezione sismica a rifrazione, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione") per determinare spessori e andamento dei livelli presenti. La tecnica di indagine consiste nel generare un'onda sismica di compressione attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da detta onda a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino ai sensori di rilevazione (geofoni) secondo le leggi di rifrazione dell'ottica (Legge di Snell), nel rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente. La rifrazione si basa sull'analisi, secondo diversi modelli, dei primi arrivi rispetto a geofoniposti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, per ricostruire una serie di curve tempodistanza (dromocrone).



Data	Febbraio 2025
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine geofisica tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali (V_p) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti. Per lo stesso tipo di materiale, può variare in funzione di numerosi parametri quali il grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione per i materiali litoidi, ed in funzione dello stato di consistenza/addensamento, grado di saturazione, per i materiali granulari e fini.

Sensibili differenze si possono avere anche con riferimento all'assetto morfologico rispetto alle velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. Inoltre la velocità delle onde P compressionali, rispetto alle SH trasversali, è fortemente influenzata dalla presenza di eventuale acquifero e/o dal grado di saturazione.

Il principale limite della sismica a rifrazione risiede nell'impossibilità teorica di rilevare successioni stratigrafiche composte da strati a velocità decrescente con la profondità, in tal caso lo strato o gli strati non possono essere messi in evidenza dalle onde rifratte in quanto l'energia incidente, al contatto fra la sommità dello strato e la base dello strato sovrastante a più alta velocità, subisce una flessione verso il basso e non può venire di conseguenza rifratta, tale situazione è nota come "orizzonte muto".

Nonostante alcune limitazioni (insite in qualsiasi tecnica di esplorazione del sottosuolo di tipo indiretto), il metodo di indagine della tomografia a rifrazione rientra tra le metodologie geofisiche più affidabili e versatili.

3.3 Metodologia di indagine utilizzata - tomografia sismica

Al fine di definire con maggior grado di dettaglio l'assetto stratigrafico del sito sono stati effettuati degli stendimenti con la tecnica della tomografia sismica 2D.

I profili di tomografia sismica sono stati realizzati utilizzando un sismografo DAQlink III System 24 bit, con 24 geofoni verticali per la registrazione delle onde di compressione o onde "P" (*figura 3*).

Data	Febbraio 2025
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine geofisica tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.



Figura 3: sismografo Daqlink III; immagine modalità esecutive tomografia sismica 2D eseguita in sito

La sorgente delle onde sismiche è costituita da un martello da 10 kg, collegato ad un geofono starter, che genera un treno di onde di cui risulta esaltata la componente verticale, i cui tempi di arrivo e l'intensità delle stesse vengono registrate dai geofoni, posizionati con passo di 5 metri, ed inviati al sismografo di acquisizione. L'energizzazione per la generazione delle onde è stata ripetuta 7 volte per ciascuno stendimento sismico, al fine di permettere una interpretazione dei dati di tipo "tomografico". Al fine di indagare le lunghezze prefissate, sono stati eseguiti talora più stendimenti in configurazione "rollalong". Come risulta evidente dalle tavole allegate, la risoluzione ottenuta permette di apprezzare variazioni di velocità dettagliate sia nella copertura che nei depositi sottostanti. Il sismografo registra i tempi di arrivo delle onde di compressione P (o primarie), ovvero le prime onde a raggiungere i geofoni di misura. L'elaborazione dei dati ha permesso la ricostruzione della stratigrafia sismica locale, lungo i profili, con l'attribuzione delle velocità caratteristiche dei terreni e la profondità e la giacitura dei rifrattori presenti nel sottosuolo, per una profondità d'indagine media di circa 30/35 metri dal p.c. I dati del *picking* dei primi arrivi sono stati inseriti, insieme alle informazioni topografiche dei vari punti di posizionamento dei geofoni e dei tiri (shot), in specifici files di input per il software di



Data	Febbraio 2025
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine geofisica tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

ricostruzione tomografica RAYFRACT (Rowdewahl, 2003), che ha permesso la rappresentazione ed evoluzione delle velocità sismiche delle onde P nel sottosuolo.

3.4 Rappresentazione dei risultati

I risultati dell'indagine con tomografia a rifrazione sono espressi attraverso differenti colorazioni (dal blu, basse velocità delle onde sismiche, al rosso, elevate velocità delle onde sismiche) ed attraverso delle linee di iso-velocità; nel caso di specie la sismica a rifrazione in onde P ha permesso di individuare alcuni sismo-strati principali (per la definizione sismo-stratigrafica di dettaglio si rimanda invece alla lettura dei "profili interpretativi" in allegato):

- un primo sismo-strato (V_p generalmente comprese tra 400 e 1300/1500 m/s) è verosimilmente riferibile alla coltre di depositi di "copertura", in granulometria variabile, da poco a mediamente addensati/consistenti, o anche depositi di substrato fortemente alterati/fratturati;
- un secondo sismo-strato ($V_p > 1500$ m/s e crescenti con la profondità) è verosimilmente riconducibile a litotipi di substrato.

Nella tabella 3, di seguito riportata, sono indicati i valori tipici di V_p per alcune litologie.

	V_p (km/s)
<i>Sedimenti non consolidati</i>	
Colluvioni	0.1-0.5
Sabbie (asciutte)	0.2-1.0
Sabbie (sature)	1.5-2.0
Ghiaie (asciutte)	0.5-1.3
Ghiaie (sature)	1.5-2.0
Argille	0.5-2.0
<i>Rocce Sedimentarie</i>	
Arenarie	2.0-4.5
Conglomerati	2.0-5.0
Calcari di piattaforma	5.0-6.0
Dolomie	5.8-6.5
Sale	4.5-5.0
Anidridi	4.5-6.5
<i>Rocce Ignee e Metamorfiche</i>	
Granito	5.5-6.0
Gabbro	6.5-7.0
Rocce ultramafiche	7.5-8.5
Filladi	2.5-3.5
Scisti	4.0-5.5
Gneiss	5.5-6.5
<i>Fluidi</i>	
Aria	0.3
Acqua	1.5
Petrolio	1.3-1.4

Tabella 3: alcuni valori tipici di V_p per sedimenti, rocce e fluidi

Data	Febbraio 2025
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine geofisica tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

5. Risultati indagine

Nelle tavole allegate è possibile osservare i profili di tomografia elettrica a sismica elaborati con relativa sezione interpretativa (basata sulla analisi congiunta dei dati sismici ed elettrici e sui dati relativi alle prove dirette realizzate da terzi); è inoltre rappresentata l'ubicazione dei profili in pianta.

È stata utilizzata, per quanto concerne i risultati dell'indagine della tomografia elettrica 2D, una scala colorimetrica logaritmica che consente una più chiara visualizzazione dei valori di resistività.

Le sezioni sismiche ricostruiscono gli andamenti in onde compressive P nel sottosuolo. Le velocità sono visualizzate attraverso una scala cromatica di colori che parte dal blu scuro e incrementa verso il rosso. Le variazioni di velocità sono associabili al diverso grado di addensamento dei depositi o al passaggio a substrato dapprima alterato e poi più compatto.

Nei siti "loc. Fosso Cipollazzi" e "loc. Vallone Cacici" (tavole 1-2), è stata riscontrata una situazione elettro-stratigrafica piuttosto omogenea con la presenza di litotipi mediamente resistivi superficiali, riferibili alle coperture alluvionali in granulometria mista (limosa, argillosa e sabbiosa), e sottostanti depositi a bassa o bassissima resistività (argille di base, molto consistenti) – *figura 4*. Il "passaggio" alle litologie di substrato è anche ben rappresentato nei profili sismici: si evidenzia infatti un rifrattore (da 1400/1500 m/s a 2000 m/s) intorno la profondità di 9/10 m dal p.c. – *figura 5*.

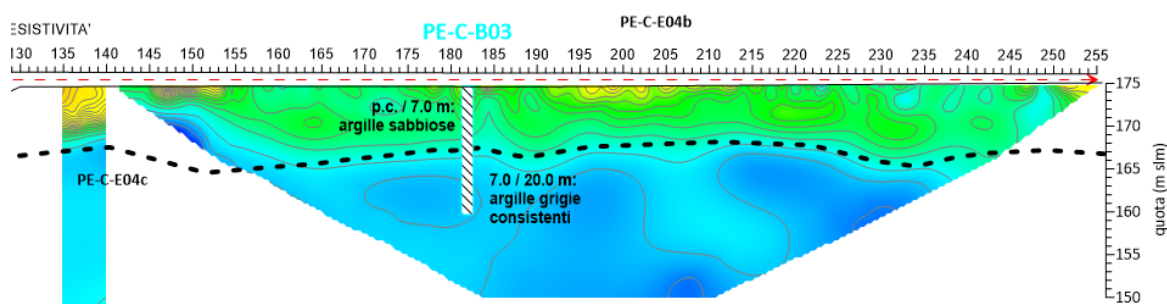


Figura 4: stendimento geo-elettrico presso la loc. "Fosso Cipollazzi" (PE-C-E04b); si nota la presenza di due elettro-strati, riferibili alle coperture alluvionali (più superficiale) e argille di base (a maggiore profondità)

Data	Febbraio 2025
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine geofisica tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

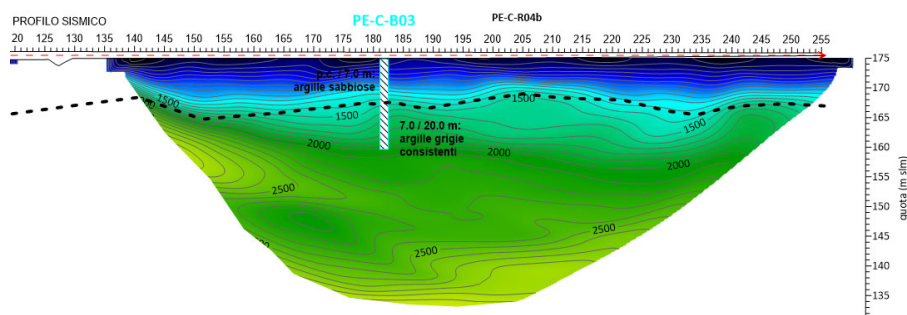


Figura 5: *stendimento di tomografia sismica PE-C-R06b: i dati ottenuti dalle sezioni eseguite definiscono una superficie rifrangente posta circa sub-orizzontale con profondità medie di 8/10 m; il rifrattore mette a contatto i materiali alluvionali in granulometria mista superficiali e le argille grigie consistente di base*

Maggiormente articolato appare il modello geofisico elaborato per il sito “Contrada Ragabo” (tavola 3); il profilo elettro-stratigrafico sul lato nord mette in luce la presenza, alla profondità di circa 15/16 metri, di litotipi resistivi che possono essere messi in relazione con formazioni gessifere (anche intercettate in un sondaggio limitrofo e visibili in affioramento ad alcune decine di metri di distanza). Questo strato resistivo “basale” si approfondisce verso sud (il dato risulta in linea con un ulteriore sondaggio geognostico, PE-C-B05, realizzato in asse al profilo: questo saggio non ha evidenziato la presenza delle formazioni gessifere) – *figura 6*.

Ulteriori orizzonti a elevata resistività sono mostrati nel profilo di resistività sul lato sud; quelli posti a maggiori profondità (alle progressive iniziali del profilo) sono presumibilmente attribuibili a formazioni gessifere, mentre l’orizzonte fortemente resistivo superficiale intercettato dalla progressiva 215 m (denominato “C” in figura 6) è di più incerta attribuzione.

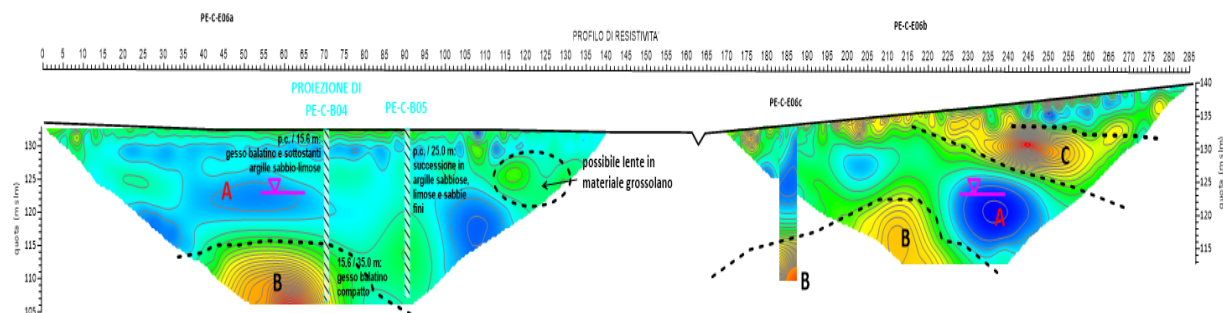


Figura 6: *stendimento geo-elettrico presso la loc. C. Ragabo; sono individuate formazioni a bassa o media resistività in superficie (A, verosimilmente litotipi di copertura alluvionali), e ad alta resistività in profondità (B, presumibilmente formazioni gessifere); si individua inoltre uno strato resistivo dalla progressiva circa 215 m del profilo (C), di più incerta attribuzione*

L’indagine di tomografia sismica evidenzia nel sito di loc. C. Ragabo dei valori di Vp piuttosto elevati ($\approx 1800-2000$ m/s) sin dalla quota di circa -10/-12 m dal p.c.; ciò potrebbe essere imputabile alla presenza di formazioni più rigide (ad es. litotipi alluvionali ad elevata consistenza...), o anche alla presenza di litotipi saturi o molto umidi.



Data	Febbraio 2025
Riferimento	Derivazione per Porto Empedocle (AG)
Tipologia di lavoro	Indagine geofisica tomogr. elettr. 2D e tomogr. sismica 2D
Committente	Saipem S.p.A.

I profili in località "Fiume Drago" mostrano un assetto elettro-stratigrafico e sismo-stratigrafico molto simile a quello riscontrato nei siti "loc. Fosso Cipollazzi" e "loc. Vallone Cacici"; si evidenziano tuttavia, superficialmente, valori più elevati delle resistività; è possibile pertanto che siano presenti litotipi con un maggior contenuto in frazione sabbiosa o anche la presenza di livelli in frazione grossolana. I dati geofisici appaiono comunque molto concordanti con quelli derivanti dalle prove dirette (sono disponibili i dati di una prova penetrometrica, AG-B-D67a, e di un sondaggio PE-C-B06) – *figura 7*.

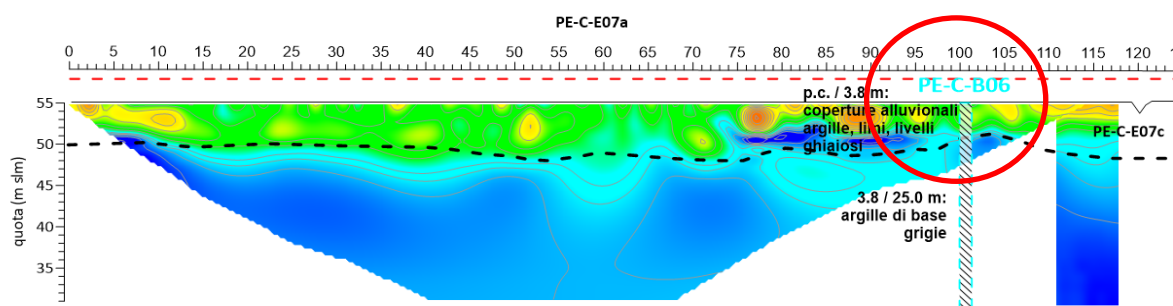


Figura 7: profilo PE-C-E07a; si rendono evidenti due elettro-strati (coperture superficiali resistive ed argille "di base", conduttive); si noti la perfetta corrispondenza tra i dati geofisici e quelli di sondaggio (area cerchiata in rosso)

Le indagini eseguite sono tecniche non invasive, di tipo indiretto. Molte sono le variabili che possono influire affinché il modello geofisico risulti non perfettamente correlabile con il modello geologico (ad es. "rumore" legato alla presenza di strutture o attività antropiche, approssimazione dovuta alla parametrizzazione del modello, saturazione dei segnali, ambiguità interpretativa ecc...). Il rilievo geofisico deve considerarsi un aiuto alle attività di progettazione/analisi di sito e necessita sempre di una validazione in base a informazioni derivanti da saggi esplorativi e/o sondaggi geognostici.

Sulla base degli strumenti interpretativi forniti e per un maggior dettaglio sui risultati dell'indagine si rimanda alla visione degli allegati grafici (tavole 1-4).

Frosinone, 17 Febbraio 2025



Geores S.r.l.
Geores S.r.l.
Via Marittima 406
03100 Frosinone
PI e C.F. 02535760603



TAVOLA N. 1

Committente:

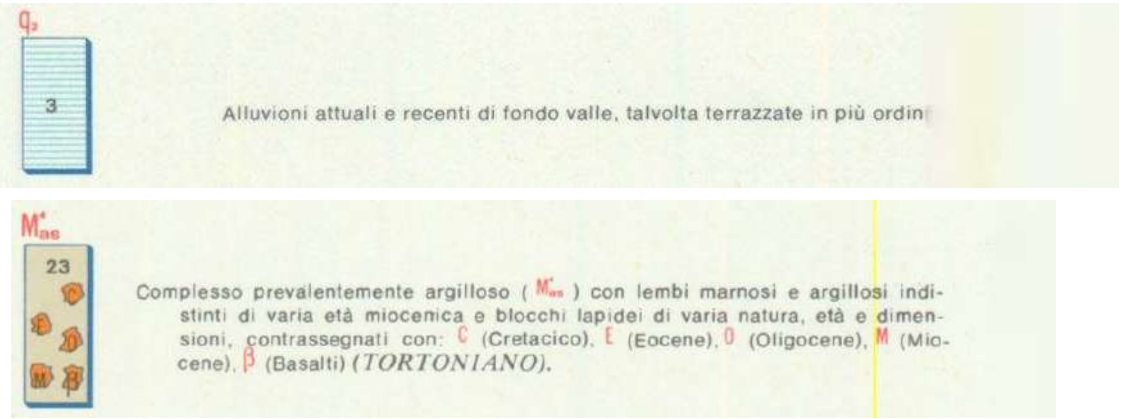


Data:
Febbraio 2025

PROSPEZIONE GEOELETTRICA E SISMICA FINALIZZATA ALLO STUDIO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO DI PROGETTO

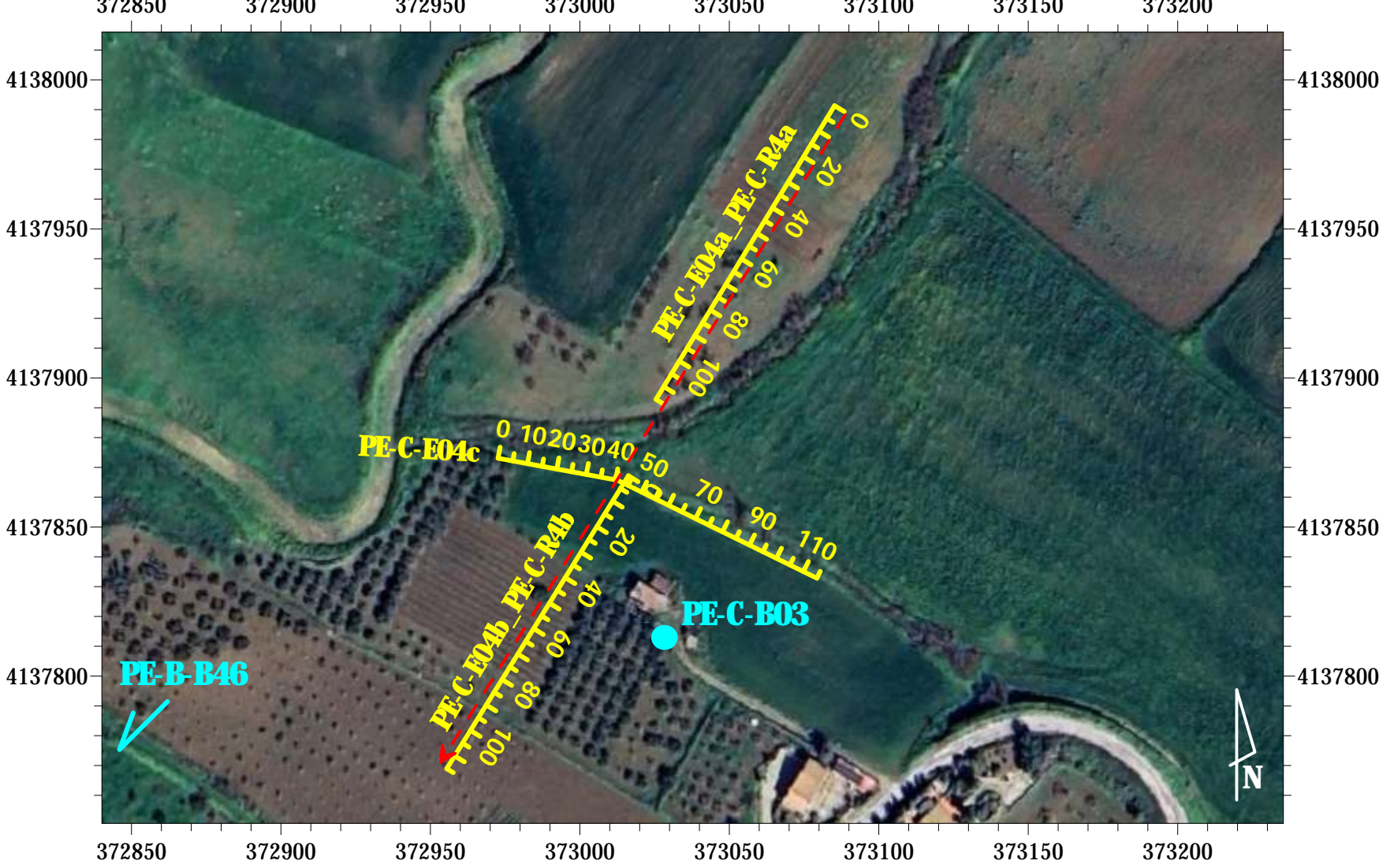
RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE
DN 300 (12") DP 24 bar
ED OPERE CONNESSE
1° Tronco: Campofraco-Aragona

Attraversamento in T.O.C.:
Fosso Cipollazzi

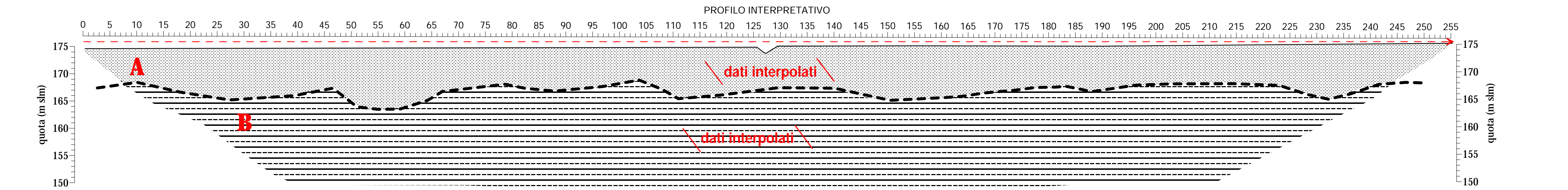
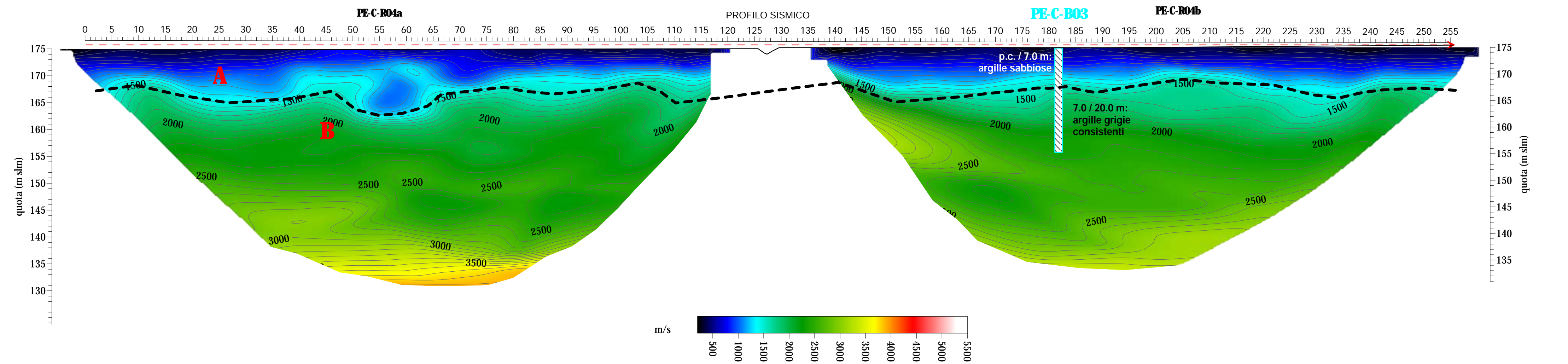
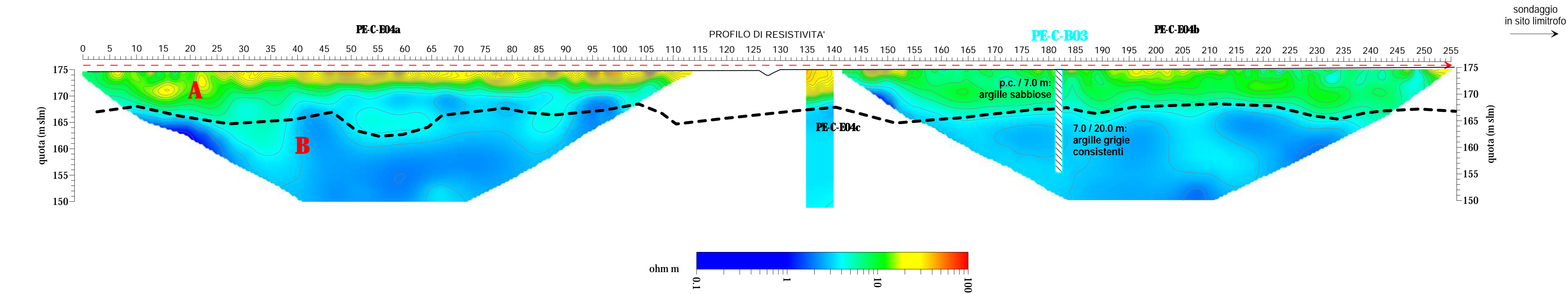


carta geologica

scala
planimetria
1:2.000



scala profili
1:500



LEGENDA DEL PROFILO INTERPRETATIVO


- A

unità A - litotipi a resistività media e medio-bassa, caratterizzati da bassi valori di Vp; presumibilmente riferibili a terreno vegetale/materiali fini o medio fini di superficie, da poco a mediamente consistenti
- B

unità B - litotipi a resistività bassa o molto bassa, caratterizzati da medio-elevati valori di Vp; presumibilmente riferibili a materiali in granulometria fine ad elevato grado di consistenza (argille compatte, argille marnose, marne ecc...)



TAVOLA N. 2

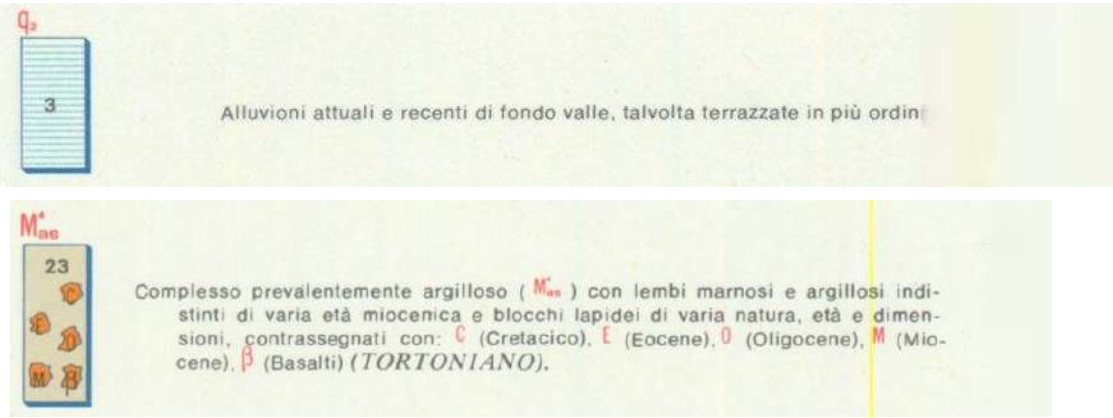
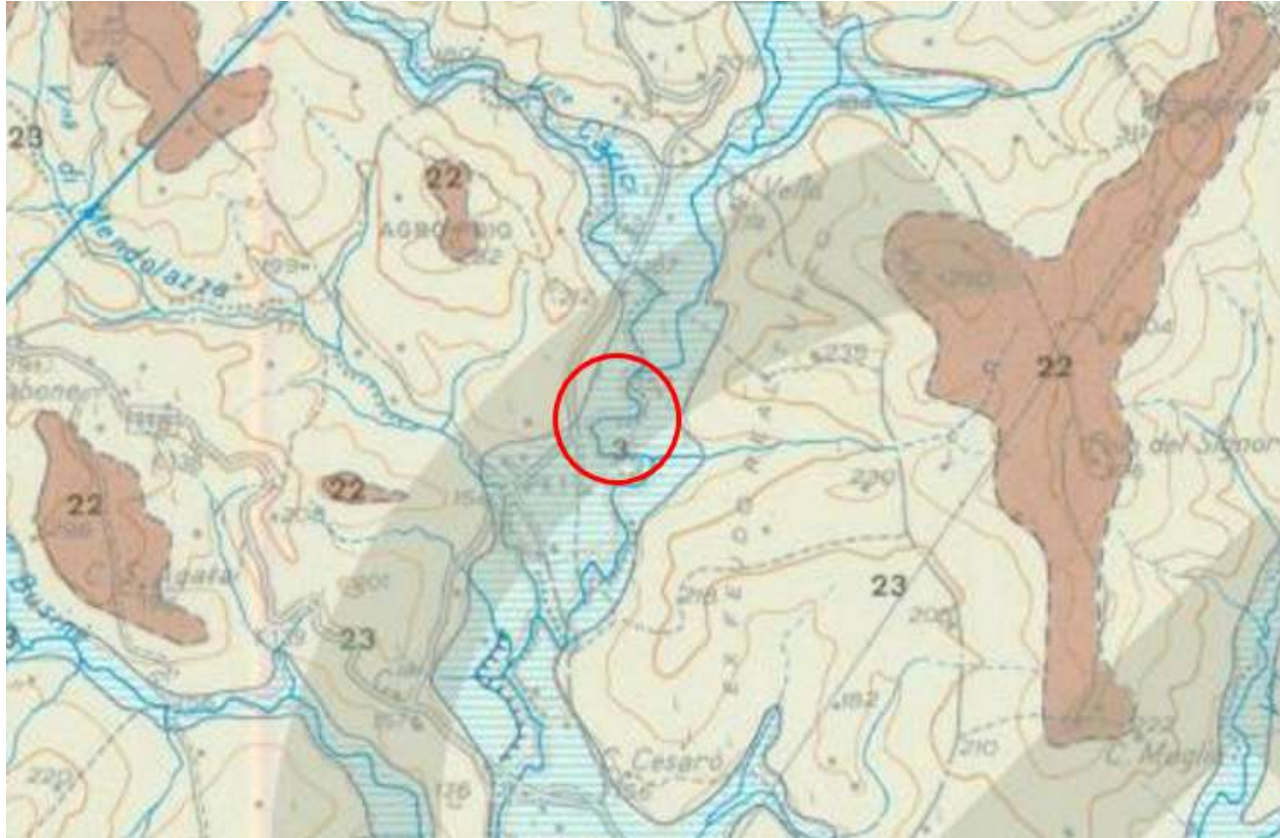
Committente:


Data:
Febbraio 2025

PROSPERAZIONE GEOELETTRICA E SISMICA FINALIZZATA ALLO STUDIO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO DI PROGETTO

RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE
DN 300 (12") DP 24 bar
ED OPERE CONNESSE
1° Tronco: Campofraco-Aragona

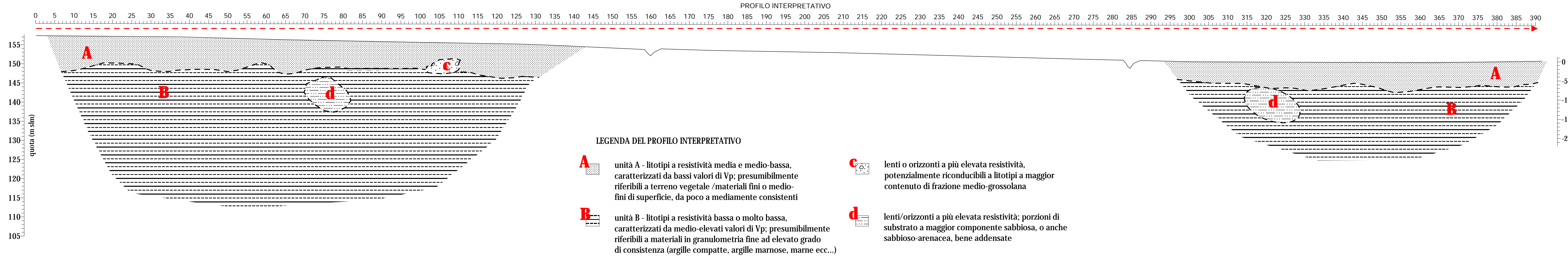
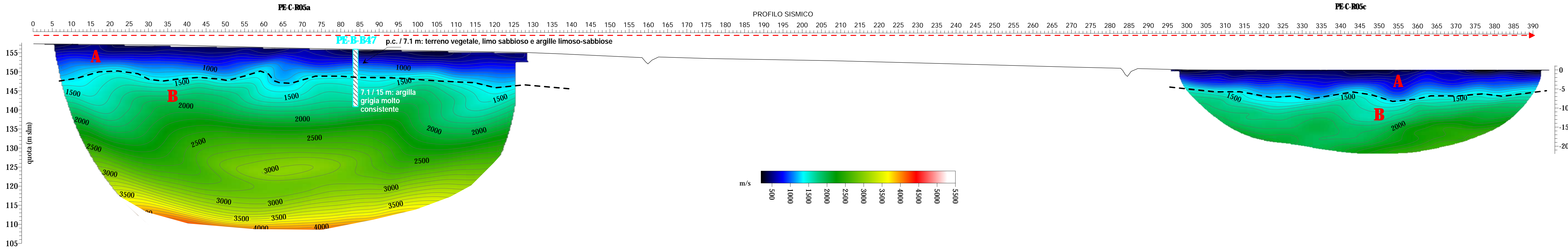
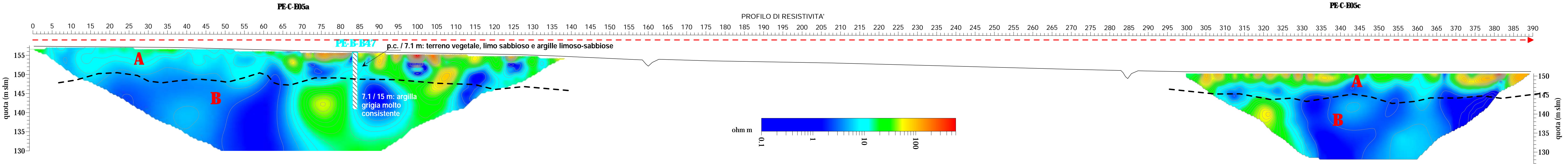
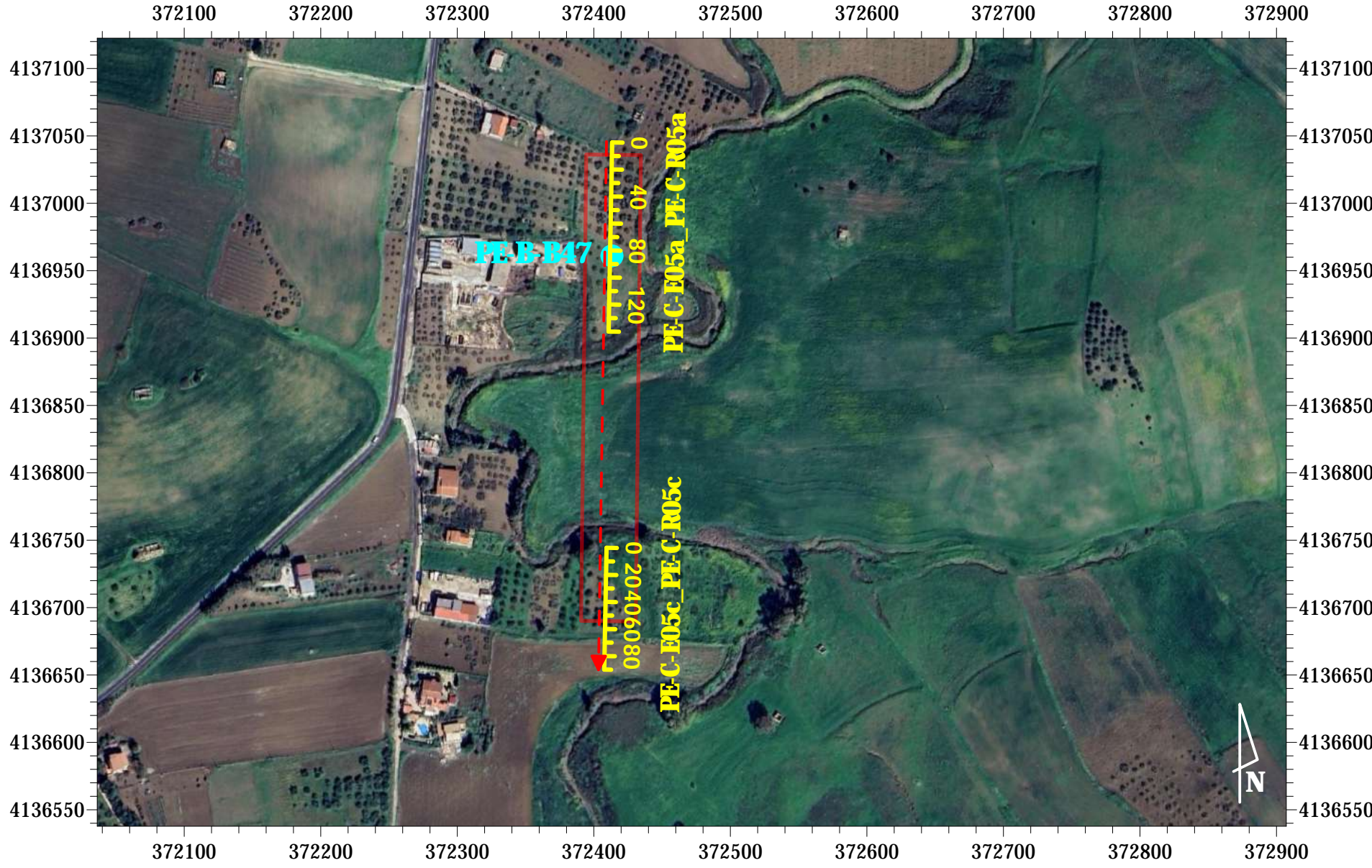
Attraversamento in T.O.C.:
Vallone Cacici




carta geologica


scala profili
1:500

scala
planimetria
1:4.000





LEGENDA DEL PROFILO INTERPRETATIVO

- 

unità A - litotipi a resistività media e medio-bassa, caratterizzati da bassi valori di Vp; presumibilmente riferibili a terreno vegetale /materiali fini o medio-fini di superficie, da poco a mediamente consistenti
- 

unità B - litotipi a resistività bassa o molto bassa, caratterizzati da medio-elevati valori di Vp; presumibilmente riferibili a materiali in granulometria fine ad elevato grado di consistenza (argille compatte, argille marnose, marne ecc...)

- 

lenti o orizzonti a più elevata resistività, potenzialmente riconducibili a litotipi a maggior contenuto di frazione medio-grossolana
- 

lenti/orizzonti a più elevata resistività; porzioni di substrato a maggior componente sabbiosa, o anche sabbioso-arenacea, bene addensate

TAVOLA N. 3

Committente:

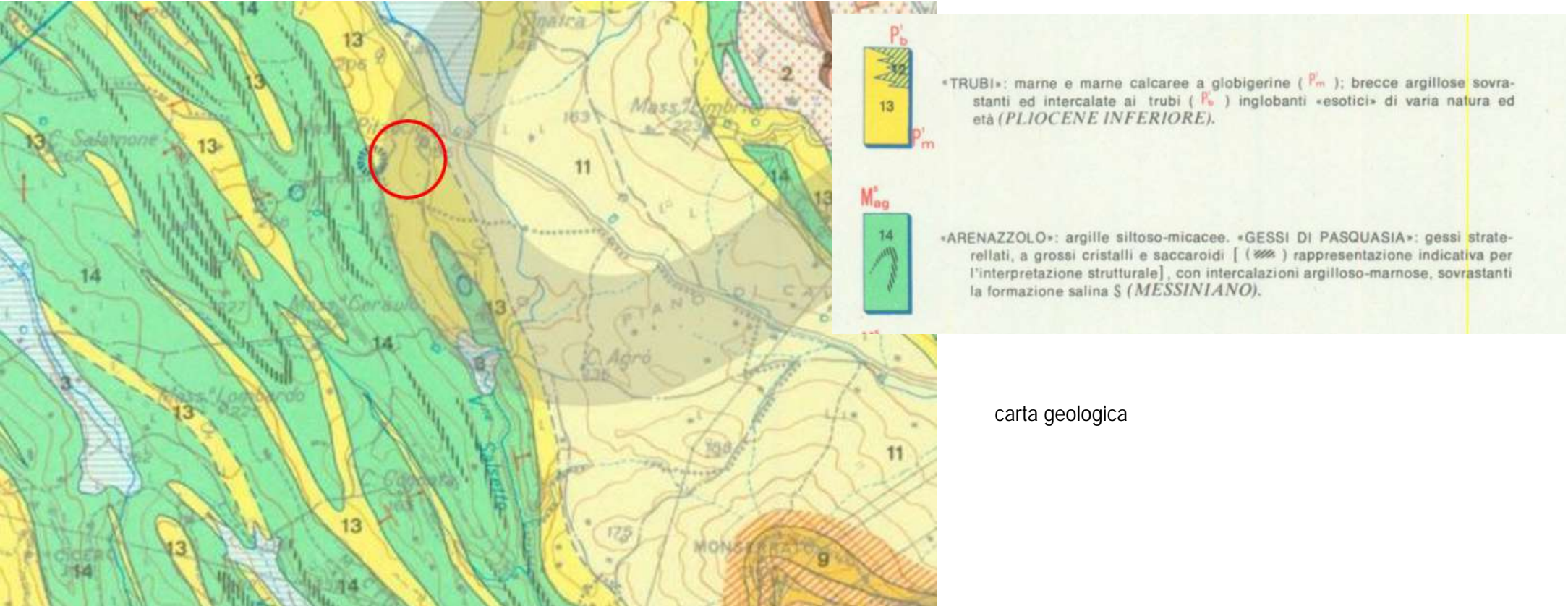
SAIPEM

Data:
Febbraio 2025

PROSPEZIONE GEOELETTRICA E SISMICA FINALIZZATA ALLO STUDIO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO DI PROGETTO

RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE
DN 300 (12") DP 24 bar
ED OPERE CONNESSE
1° Tronco: Campofraco-Aragona

Attraversamento in T.O.C.:
Loc. C. Ragabo

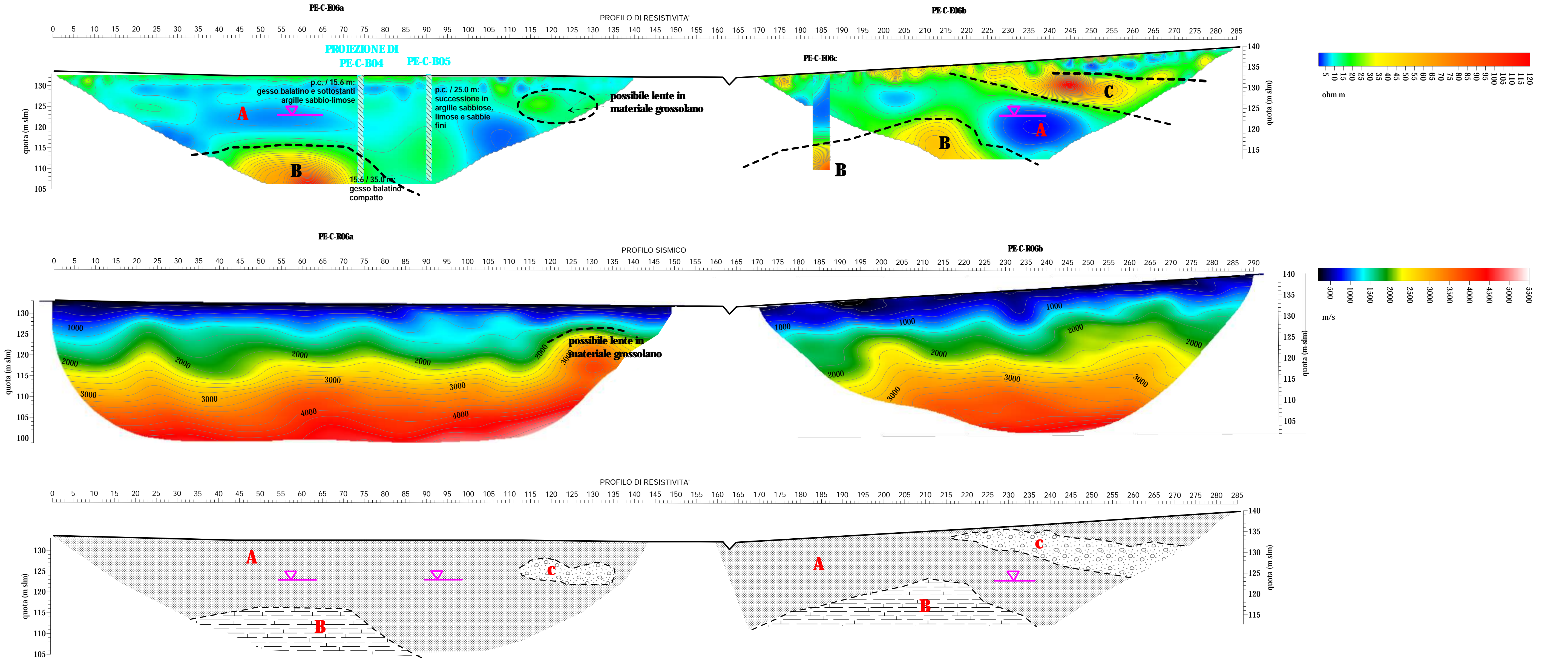


carta geologica



scala
planimetria
1:25.000

scala
1:500



LEGENDA DEL PROFILO INTERPRETATIVO

- A**

unità A - litotipi a resistività media e medio-bassa, (variabili valori di Vp); presumibilmente riferibili a terreno vegetale /materiali fini o medio-fini di superficie, con stato di consistenza variabile
- B**

unità B - litotipi a resistività medio-elevata in profondità, presumibilmente riferibili (dati di sondaggio) a formazioni gessifere
- C**

lenti o orizzonti a più elevata resistività, potenzialmente riconducibili a litotipi a maggior contenuto di frazione media o medio-grossolana
- calo della resistività; è ipotizzabile la presenza di falda idrica o litotipi saturi/molto umidi



TAVOLA N. 4

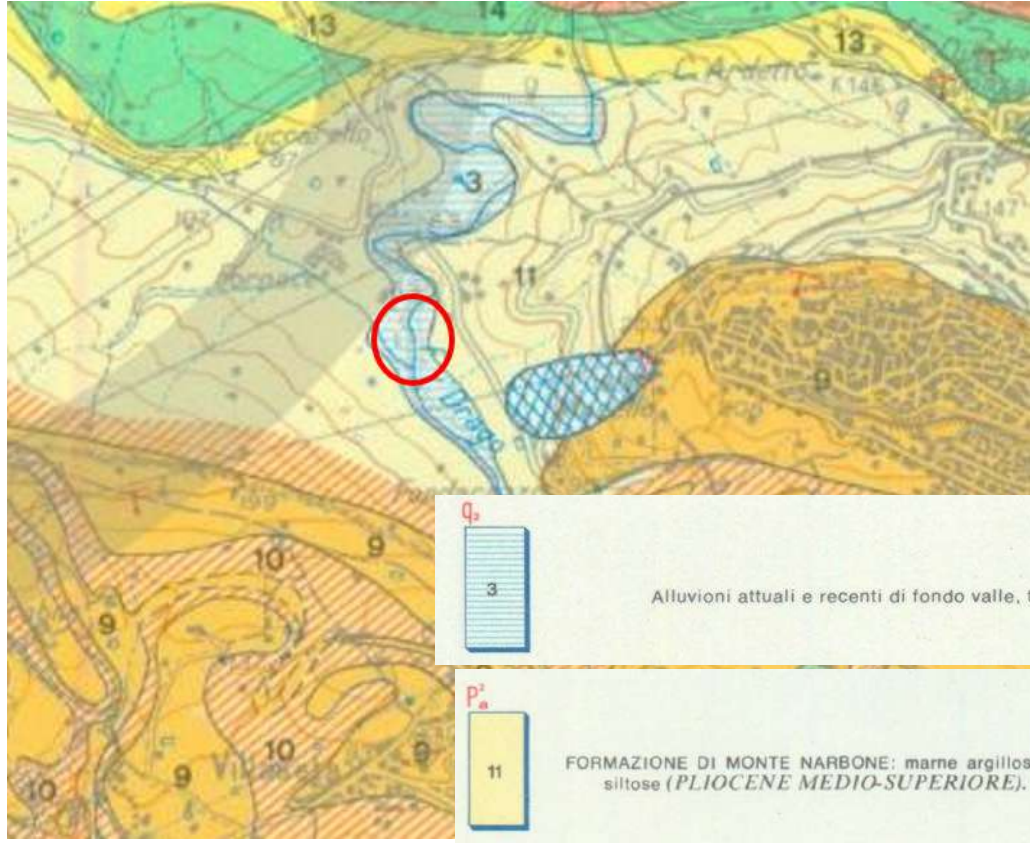
Committente:
SAIPEM

Data:
Febbraio 2025

PROSPEZIONE GEOELETTRICA E SISMICA FINALIZZATA ALLO STUDIO
DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO DI PROGETTO

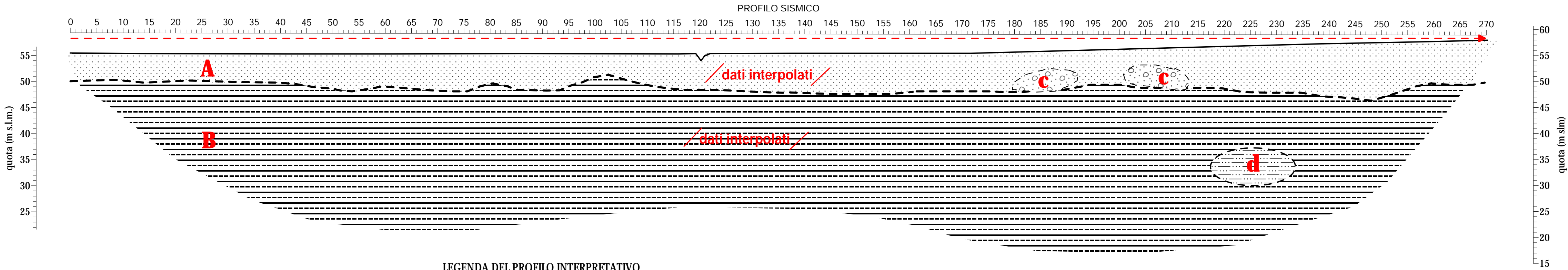
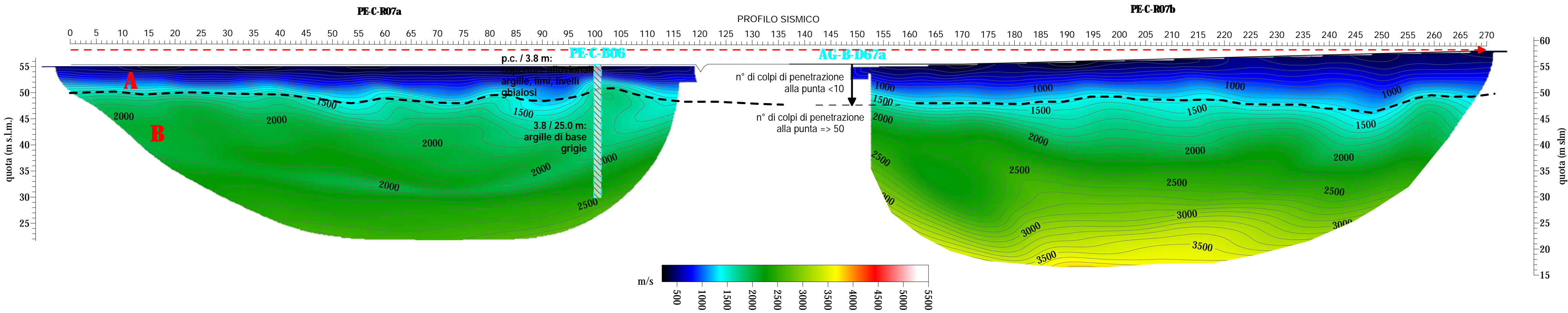
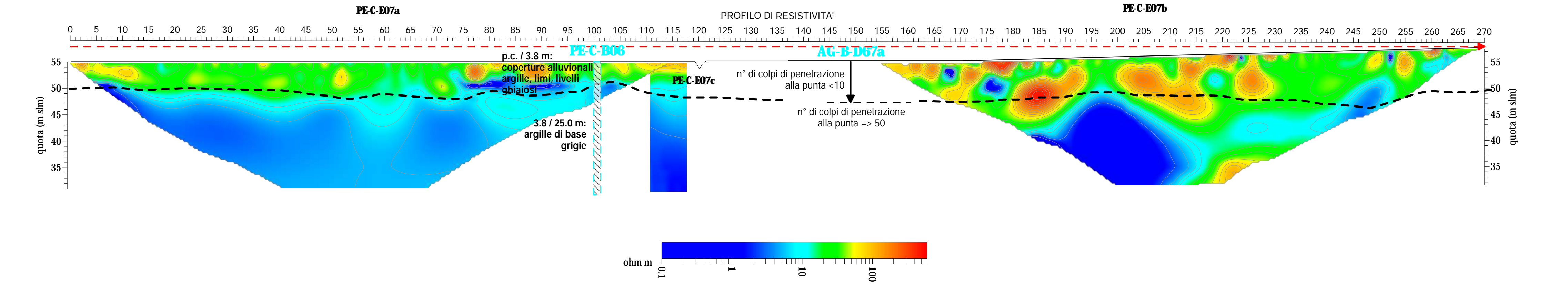
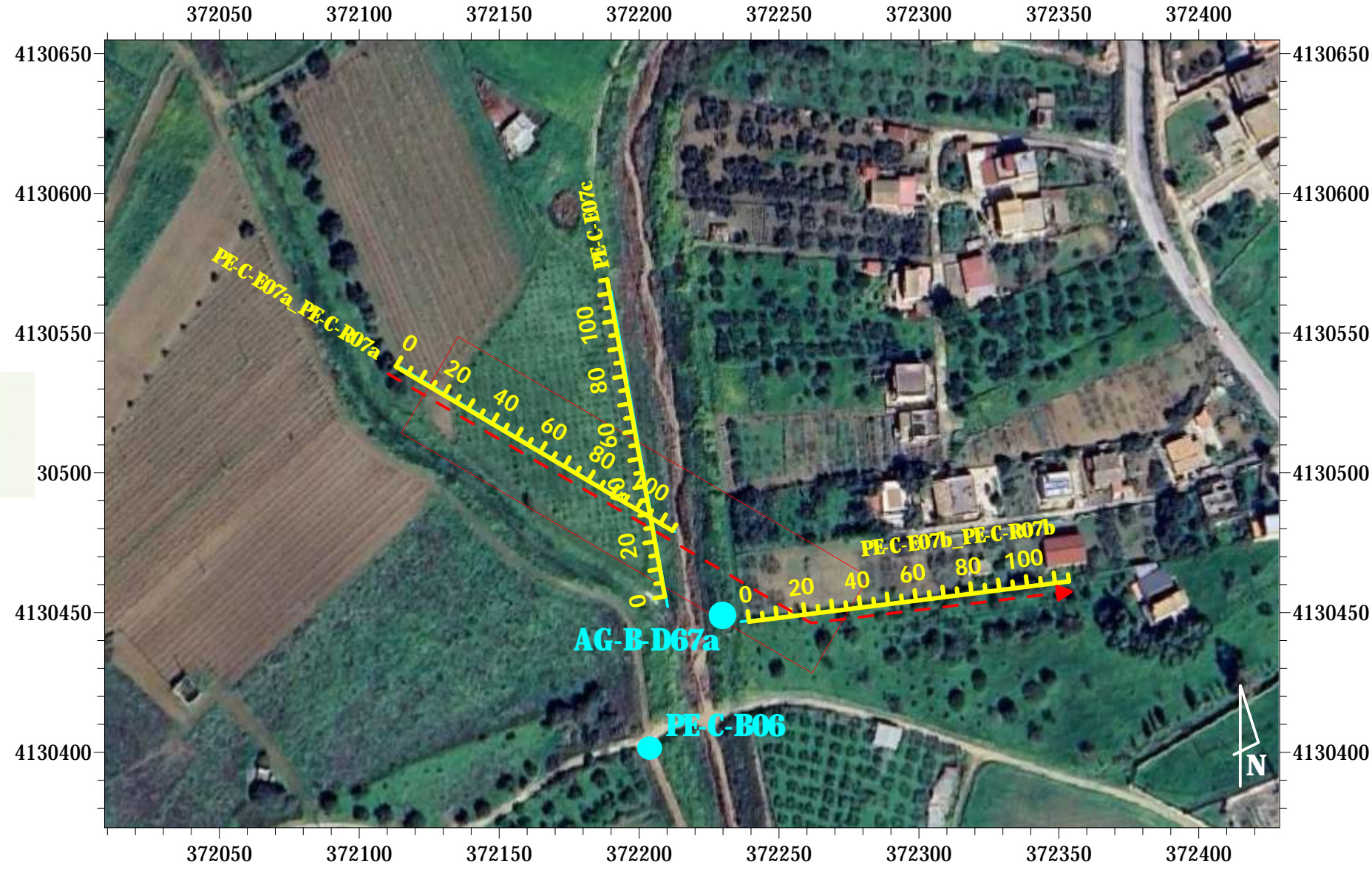
RIFACIMENTO ALLACCIAMENTO COMUNE DI AGRIGENTO
DN 100 (4") DP 24 bar

Attraversamento in T.O.C.:
Fiume Drago



carta geologica

scala
planimetria
1:2.000



LEGENDA DEL PROFILO INTERPRETATIVO

A



unità A - litotipi a resistività media e medio-bassa, caratterizzati da bassi valori di Vp; presumibilmente riferibili a terreno vegetale /materiali fini di superficie, da poco a mediamente consistenti

B



unità B - litotipi a resistività bassa o molto bassa, caratterizzati da medio-elevati valori di Vp; presumibilmente riferibili a materiali in granulometria fine ad elevato grado di consistenza (argille compatte, argille marnose, marne ecc...)

C



lenti o orizzonti a più elevata resistività, potenzialmente riconducibili a litotipi a maggior contenuto di frazione medio-grossolana

d



lenti/orizzonti a più elevata resistività; porzioni di substrato a maggior componente sabbiosa, o anche sabbioso-arenacea, bene addensate