

# COMUNE DI CASTRIGNANO DEL CAPO

Provincia di Lecce

## LAVORI DI MIGLIORAMENTO DELLA VIABILITA' E RIQUALIFICAZIONE DELL'AREA PORTUALE SULLA FASCIA DI S. M. DI LEUCA



- PROGETTO DEFINITIVO -

5							
4							
3							
2							
1							
0	Gennaio 2024	MStani	LLepore	PStasi	PStasi	Prima Emissione	
Em./Rev	Data	Red./Dis.	Verificato (RP)	Controllato (DT)	Approvato (DG)	Descrizione	
Redazione grafica: ETACONS S.r.l. - P.tta S. G. dei Fiorentini n.1 - 73100 LECCE Tel(0832)331418/7 E-mail: mail@etacons.it							Cod. N°: <b>E407-D</b>
<u>Titolo dell'allegato</u>  <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>							<u>Allegato n.</u>  <b>EG-03-1</b>
							<u>Scala</u>
<u>Progettazione:</u>   - Ing. Primo Stasi				<u>Committente:</u> <b>COMUNE DI CASTRIGNANO DEL CAPO</b>			

## **Premessa**

La presente relazione geologica è stata redatta a supporto del progetto relativo agli ***INTERVENTI VOLTI AL MIGLIORAMENTO DELLA VIABILITÀ E ALLA RIQUALIFICAZIONE DELL'AREA PORTUALE SULLA FASCIA COSTIERA DI S.M. LEUCA.***

Gli interventi previsti sono i seguenti:

- la realizzazione della strada di accesso al Porto dall'incrocio tra via Doppia Croce e via Martinez;
- la sistemazione del tratto finale di via Doppia Croce e la sistemazione dei camminamenti con vista panoramica;
- L'apertura del varco sul secondo braccio del porto per accesso alla darsena;
- il completamento del banchinamento della darsena a ridosso del molo foraneo;
- l'attrezzamento impiantistico dell'area.

Lo studio è stato preceduto da una indagine geofisica localizzata principalmente in corrispondenza del sito interessato alla progettazione di una rampa di accesso all'area portuale di Santa Maria di Leuca.

Tale indagine ha avuto l'obiettivo di ricostruire la stratigrafica del sito indagato, di definire le Categorie sismiche di sottosuolo (NTC 2018) e di ubicare le eventuali discontinuità litologiche presenti in corrispondenza del progetto da realizzare.

L'indagine multidisciplinare è stata effettuata dalla "PRO-GEO s.a.s. di Alberto Quarto & C." mediante l'utilizzo delle seguenti metodologie:

- **Prospezione MASW;**
- **Prospezione sismica a rifrazione;**
- **Prospezione georadar.**

Si fa riferimento alla seguente Normativa:

-Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2018, Decreto 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8);

-Circolare 21 Gennaio 2019, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. (19A00855) (GU Serie Generale n.35 del 11-02-2019 - Suppl. Ordinario n. 5);

-UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;

-UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;

-Associazione Geotecnica Italiana, 1977, Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche.

-Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007;

Con tale studio è stata descritta la morfologia della zona interessata, si è ricostruita la successione stratigrafica dell'area e le modalità con cui si esplica la circolazione idrica superficiale e sotterranea e si è individuato il modello geologico in corrispondenza della zona interessata dal tracciato della rampa di progetto.

## **Inquadramento Geografico**

La zona interessata dall'intervento di progetto risulta ubicata nella estrema porzione meridionale della regione Puglia in corrispondenza del territorio comunale di Castrignano del Capo e della frazione di Leuca.

Le caratteristiche morfologiche del territorio salentino, così come l'idrografia superficiale, sono profondamente condizionate dalle caratteristiche dei litotipi affioranti e della loro distribuzione areale e verticale.

L'area salentina è caratterizzata da un reticolo idrografico poco sviluppato con presenza di corsi d'acqua a regime quasi esclusivamente torrentizio i cui alvei sono incisi in terreni sedimentari di età Plio-Pleistocenica.

L'intervento previsto, si sviluppa in corrispondenza di litotipi rappresentati prevalentemente da calcareniti appartenenti alla formazione geologica delle Calcareniti di Andrano.

Le indagini eseguite hanno permesso di individuare le principali caratteristiche stratigrafiche e strutturali in corrispondenza del sito di progetto.

786000

787000

788000

789000

790000



0 250 500 750 1.000 m



PLANIMETRIA IGM  
SCALA 1: 25000

 zona interessata

## **Inquadramento Geologico Regionale**

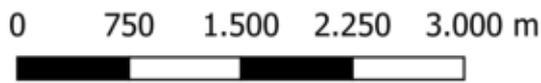
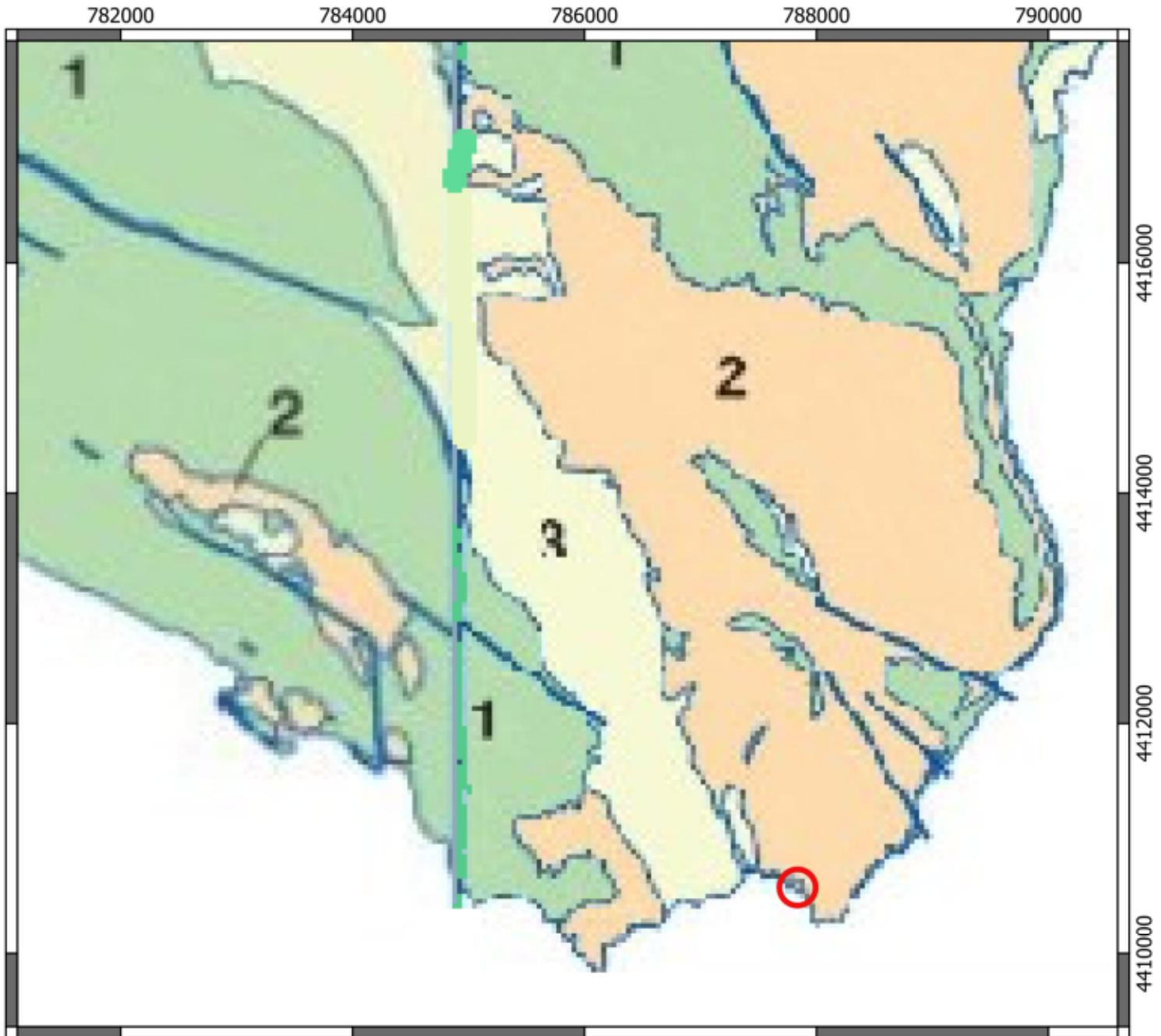
Le caratteristiche geologiche del territorio che comprende la zona interessata dall'intervento, vanno inquadrate nel contesto stratigrafico e strutturale di un tratto della Placca adriatica coincidente con la propaggine meridionale della Penisola salentina.

Da un punto di vista geologico regionale la Puglia costituisce la più estesa area di avampaese in Italia.

Gli eventi che hanno caratterizzato l'evoluzione sedimentaria, tettonica e morfologica del territorio pugliese, più in generale, possono essere ritenuti connessi alla geodinamica di un esteso tratto crostale dell'area mediterranea coinvolto dapprima nella collisione con la zolla Eurasiatica e successivamente nella tettonogenesi appenninico dinarica che ha deformato in distinti domini strutturali la parte meridionale di tale tratto crostale.

Procedendo dal Tirreno all'Adriatico tali domini corrispondono alla Catena appenninica (Monti della Daunia), all'Avanfossa adriatica (Fossa bradanica-Tavoliere delle Puglie), all'Avampaese Apulo (Gargano, Murge, Salento) ed ai mari Adriatico e Ionio settentrionale.

Nella presente relazione si fa riferimento alla carta geologica in scala 1:50000 "537 - Capo Santa Maria di Leuca" dell'Ispra.



**PLANIMETRIA SCHEMA TETTONICO  
(DA CARTA 537 CAPO SANTA MARIA  
DI LEUCA - ISPRA)  
SCALA 1: 50000**

**LEGENDA**

 zona interessata

-  Unità marine terrazzate
-  **3** Unità dell'Avanfossa appenninica (Pliocene-Olocene)
-  **2** Unità dell'Avampaese apulo (Miocene)
-  **1** Unità della Piattaforma apula (Cretaceo-Oligocene)
-  Faglia

## **Caratteri Geologici e Strutturali dell'area**

L'area interessata dal progetto è ubicata nella porzione meridionale della penisola salentina prospiciente il porto di Leuca e al suo interno e risulta caratterizzata da litotipi appartenenti all'Unità dell'Avampaese apulo (Miocene).

Dal punto di vista strutturale, alla fine del Cretaceo l'area in studio fu interessata da un'intensa fase tettonica plicativa che portò al sollevamento ed alla conseguente emersione di quasi tutto il territorio salentino.

Alcune zone rimasero parzialmente sommerse e furono, quindi, interessate da una deposizione di mare poco profondo o di scogliera, che ha portato alla formazione di rocce calcaree che affiorano sul versante adriatico della penisola salentina, a partire da capo d'Otranto (Calcere di Castro). Si tratta di calcari bioclastici stratificati, calcari di scogliera, fossiliferi con resti di briozoi, coralli ed alghe, e frammenti di rudiste rimaneggiate. Spesso il contatto con i sottostanti calcari cretacei, è marcato dalla presenza di brecce calcaree grossolane.

Successivamente, il basamento carbonatico mesozoico fu dislocato dando luogo alla formazione di "horst" e "graben" che produssero la formazione dei rilievi che oggi chiamiamo "serre" (horst), e di depressioni (graben) contigue ai rilievi che furono interessate da ingressione marina.

Per tutto il Miocene la sedimentazione nel mare anzidetto dette luogo alla formazione di grandi spessori di calcareniti biancastre, calcareniti marnose giallo paglierine e calcari detritici a granulometria variabile, fossiliferi, e calcari compatti grigi e nocciola. Queste formazioni rocciose sono note, in letteratura geologica con il termine di Pietra Leccese (Miocene medio-superiore) e Calcareniti di Andrano (Miocene superiore), sono sovrapposte in successione stratigrafica sebbene a luoghi presentino rapporti eteropici.

Alla fine del Miocene si ebbe un'altra fase tettonica che essenzialmente riattivò le lineazioni preesistenti, producendo degli innalzamenti e abbassamenti differenziati nell'intero territorio così che alcune si mantennero al di sopra del livello del mare, mentre nelle parti di territorio che furono sommerse, si ebbe una ripresa di sedimentazione.

Le zone sommerse, nel Pliocene inferiore e medio, furono soprattutto quelle poste a N e ad E della Penisola Salentina dove si deposero delle calcareniti argillose e delle calcareniti a granulometria variabile di colore grigio e bianco giallastro.

Alla fine del Pliocene la ripresa di movimenti tettonici produsse l'emersione dell'intero territorio che, solo nel Pleistocene, fu nuovamente interessato da una ingressione marina. Si produsse quindi un nuovo ciclo sedimentario con la deposizione di sedimenti in trasgressione sulle rocce più antiche. Si tratta di una successione di calcareniti, argille, sabbie (Calcareniti del Salento nella Carta

Geologica d'Italia al 100000), e calcareniti che rappresenta il corrispondente, per il Salento, della successione della "Fossa bradanica".

Dalla fine del Pleistocene medio il territorio fu interessato da una serie di trasgressioni e regressioni marine, legate alle oscillazioni climatiche che portarono alla deposizione di sabbie e calcareniti a granulometria e cementazione variabile, spesso di colore rossastro per alterazione, che attualmente si rinvengono, soprattutto vicino alla costa, con spessori limitati su aree terrazzate.

Come si evince dallo stralcio della Carta Tettonica anzi riportata, il sistema di faglie predominante nel territorio della Penisola salentina risulta corrispondere a quello con direzione NW-SE. Le azioni di tali dislocazioni hanno prodotto un assetto strutturale caratterizzato da horst allungati in direzione NW-SE corrispondenti prevalentemente ad aree di affioramenti cretacei.

La rampa stradale di progetto si sviluppa sui seguenti litotipi (terminologia derivante dalla Carta Geologica in scala 1: 50000 dell'ISPRA)

- Calcareniti di Andrano (Miocene superiore)

## **Caratteri morfologici dell'area**

La zona in studio risulta ubicata all'interno dell'abitato di Santa Maria di Leuca nel tratto costiero compreso tra Punta Meliso ad Est e la zona portuale ad Ovest. Dal punto di vista morfologico generale il tratto costiero che comprende la zona di interesse, è caratterizzato da una costa alta in corrispondenza di punta Meliso con quote di 60 metri s.l.m. nella zona del Faro di Leuca, che si raccordano al livello mare attraverso pareti subverticali alte anche 10 metri. Tale morfologia costiera si osserva seppur con pendenze minori, sino all'inizio del lungomare di Leuca dove si è in presenza di una scogliera bassa che si raccorda in maniera più dolce rispetto alla zona precedentemente descritta con l'entroterra posto a quote più elevate. Il tratto costiero presenta degli altri elementi morfologici di una certa rilevanza: si tratta di solchi erosivi probabilmente originatisi in corrispondenza di lineazioni tettoniche e successivamente modellati dall'azione erosiva delle acque di origine meteorica provenienti dalle zone più elevate.

Infine, ma non ultime come importanza, soprattutto in considerazione della tipologia di intervento da realizzare, sono da menzionare le forme erosive presenti nella zona compresa tra punta Meliso ed il porto e che corrispondono ad una successione di grotte collegate direttamente con il mare e che proseguono verso l'interno. Tali grotte si sono impostate in corrispondenza di zone in cui l'ammasso roccioso, caratterizzato da una più intensa fratturazione, è stato sottoposto all'azione erosiva del moto ondoso al livello mare e ad intensa attività di erosione carsica verso l'entroterra.

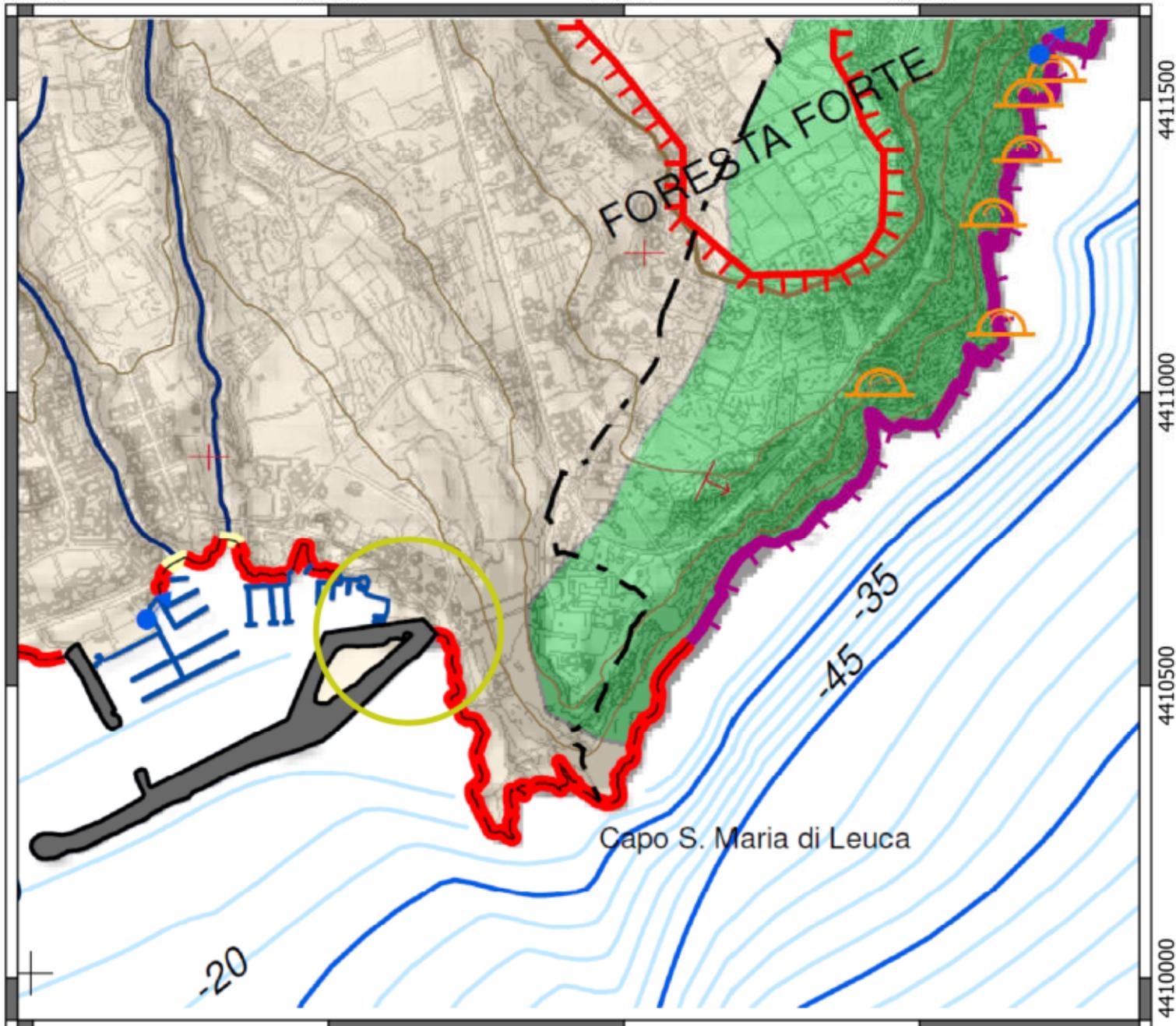
Le indagini eseguite sono state finalizzate principalmente ad escludere o meno la presenza di cavità significative in corrispondenza della zona interessata dal tracciato della rampa.

787500

788000

788500

789000



0 100 200 300 400 500 m



## STRALCIO CARTA IDROGEOMORFOLOGICA (REGIONE PUGLIA) SCALA 1: 10000

### LEGENDA

 zona interessata

#### Tipo di costa

-  Costa rocciosa
-  Costa rocciosa con spiaggia ciottolosa al piede
-  Costa rocciosa con spiaggia sabbiosa al piede
-  Falesia

#### FORME ED ELEMENTI DI ORIGINE ANTROPICA

-  Argine
-  Traversa fluviale
-  Opera di difesa costiera
-  Diga
-  Opera ed infrastruttura portuale

## **Caratteri geologici di dettaglio**

Il rilievo geologico eseguito nella zona in studio, unitamente ai dati riportati nella Carta Geologica scala 1:50000 dell'ISPRA che è stata utilizzata come riferimento principale per il presente studio geologico, ha permesso di delimitare i seguenti litotipi sovrapposti ed eteropici appartenenti alla formazione delle Calcareniti di Andrano (Miocene superiore):

- Calcareniti e calciruditi stratificate a luoghi oolitiche, diagenizzate e/o semicoerenti di colore grigio avana o violaceo, con abbondanti macrofossili. Nella parte inferiore, sono presenti ripetute intercalazione di livelli calcisiltitici semicoerenti con laminazione planare da millimetrica a centimetrica, di norma scompagnati e brecciati da deformazioni gravitative (slump).
- Calcare coralligeno, massivo di colore bianco-grigiastro, passante lateralmente a brecce e calciruditi con frammenti corallini, e quindi a calcareniti laminari clinostratificate (Membro di Gagliano del Capo);

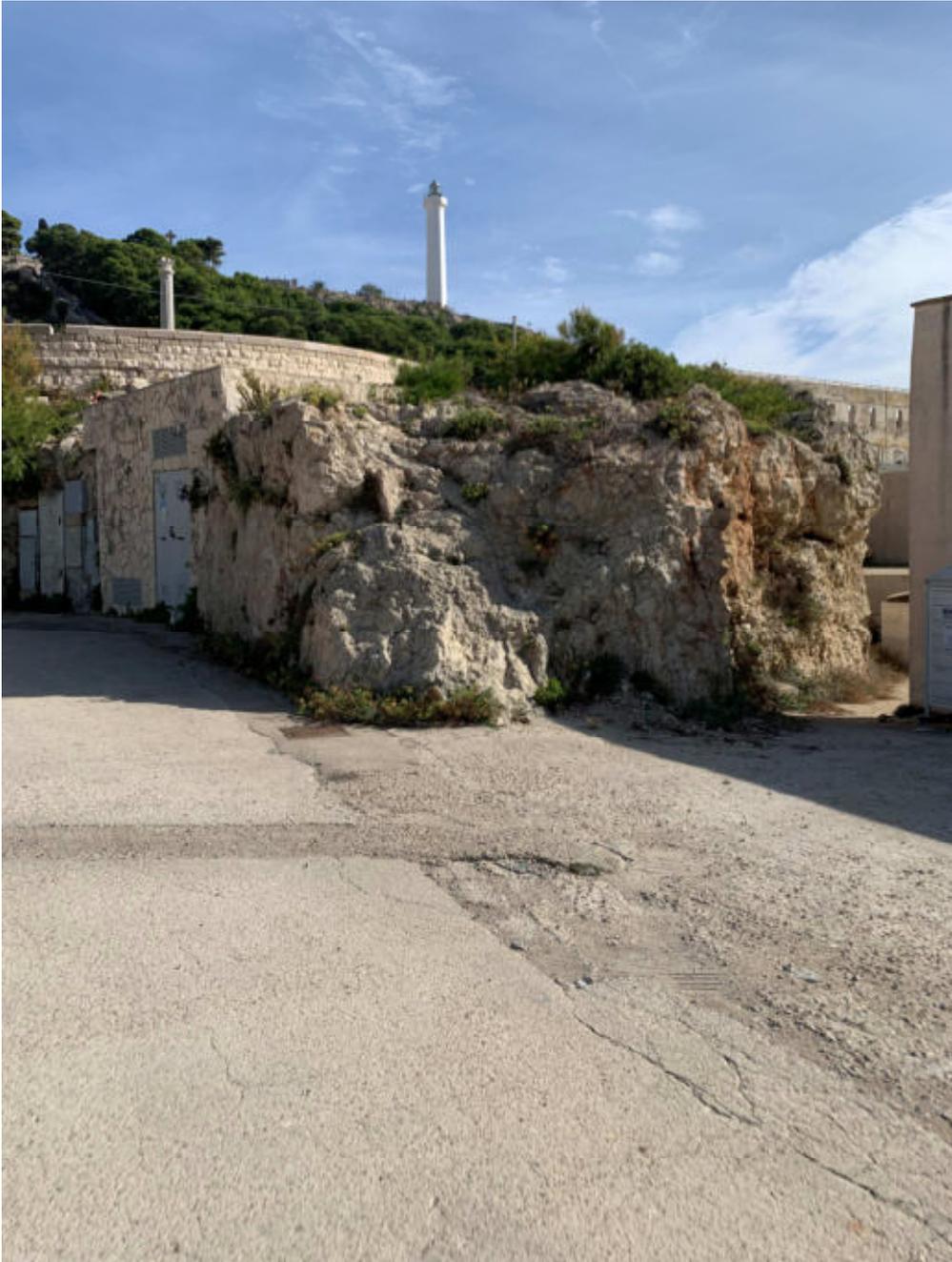
Di seguito si descrive più in dettaglio il litotipo calcarenitico e calciruditico che è quello che sarà interessato dall'opera prevista in progetto.

### **Calcareniti e calciruditi (Calcareniti di Andrano)**

Questo litotipo è ben visibile nella zona costiera prospiciente la zona interessata dall'intervento in senso stretto. Si tratta di calcareniti e calciruditi con evidenti stratificazioni e fratture che in direzione sud è caratterizzato dalla presenza di grotte costiere. La scarpata interessata dalla rampa è caratterizzata dalla presenza, nella parte più bassa, di brecce cementate, mentre in sommità si rinvengono calcareniti ben cementate.

Di seguito, oltre allo stralcio della carta geologica di dettaglio, vengono riportate anche alcune foto che evidenziano in modo chiaro le caratteristiche descritte precedentemente. Si distinguono infatti le stratificazioni e le zone più francamente alterate.





Nella foto seguente sono visibili le grotte costiere che caratterizzano il tratto di costa compreso tra la zona portuale e punta Meliso.



## **Caratteri idrogeologici dell'area**

Per ciò che concerne l'idrogeologia dell'area, si può affermare che nel sottosuolo della fascia costiera considerata, per il noto fenomeno dell'intrusione marina, è rinvenibile la sola falda salata la cui superficie piezometrica è posta all'incirca all'altezza del livello mare.

In tutto il Salento infatti esiste una estesa falda profonda che è sorretta dalle acque marine di intrusione continentale. Tale falda di conformazione lentiforme presenta spessori notevoli nell'entroterra, per andare via via assottigliandosi procedendo verso la costa.

Nel caso del territorio in esame, che tra l'altro va anch'esso riducendosi arealmente procedendo verso Sud, tale fenomeno di intrusione è ancora più accentuato e si riscontra per alcuni chilometri verso l'interno. Di seguito viene riportata la carta dei carichi piezometrici della falda profonda.



0 2,5 5 7,5 10 km



**STRALCIO CARTA CARICHI  
PIEZOMETRICI (DA P.T.A. PUGLIA)  
SCALA 1: 200000**

**LEGENDA**

 zona interessata

**Isopieziche medie (m s.l.m.)**

*(presunte se tratteggiate)*

 Isopiezica media (m s.l.m.) - Gargano

 Isopiezica media (m s.l.m.) - Tavoliere

 Isopiezica media (m s.l.m.) - Murgia e Salento

## **Rischio Idraulico e geomorfologico**

L'autorità di Bacino della Regione Puglia ha perimetrato le diverse aree del territorio regionale a pericolosità idraulica suddividendole come segue in relazione al tempo di ritorno dei possibili eventi dannosi:

- AP aree ad alta probabilità di inondazione
- MP aree a moderata probabilità di inondazione
- BP aree a bassa probabilità di inondazione

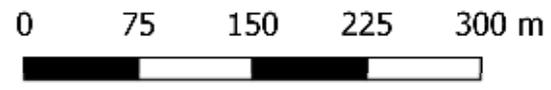
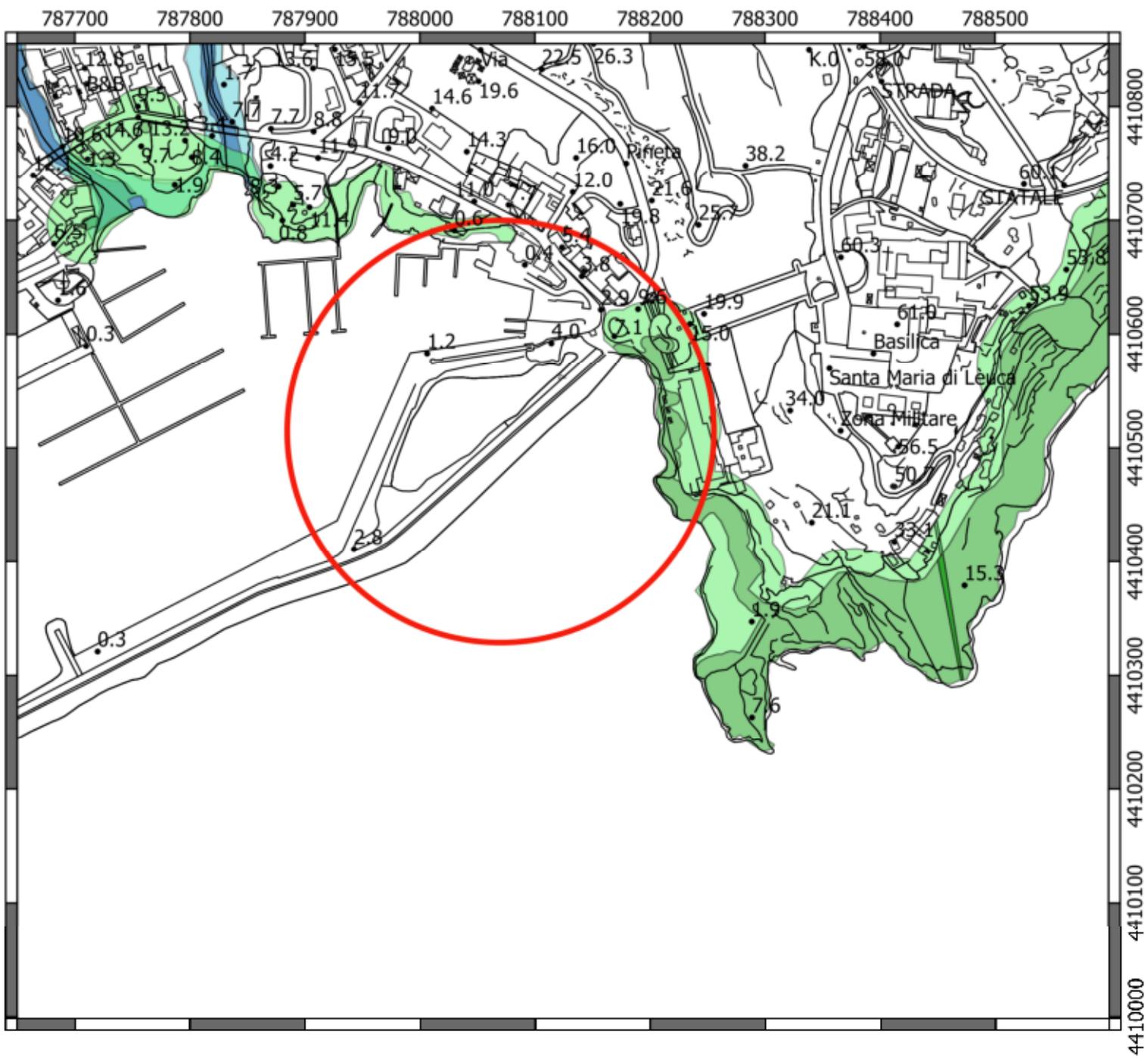
Il tracciamento delle aree inondabili avviene sulla base dei livelli di piena stimati, per i reticoli idrografici, e sulla base dell'altezza idrica raggiunta all'interno delle depressioni morfologiche, per i recapiti endoreici; riferendosi alle risultanze delle modellazioni idrologiche ed idrauliche per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni e corrispondenti alle perimetrazioni di tipo AP (Alta Pericolosità), MP (Media Pericolosità) e BP (Bassa Pericolosità) rispettivamente.

La zona dell'intervento progettuale non è interessata da perimetrazioni di pericolosità idraulica.

L'Autorità di Bacino della Regione Puglia ha inoltre perimetrato le diverse aree del territorio regionale a pericolosità geomorfologica suddividendole come segue:

- PG3 aree a pericolosità da frana molto elevata
- PG2 aree a pericolosità da frana elevata
- PG1 aree a pericolosità da frana media e moderata

La zona interessata dall'intervento ricade in un'area a perimetrazione geomorfologica PG2 e PG3. (Vedi lo stralcio generale alla pagina seguente così come riportato dal PAI Puglia).



## PLANIMETRIA PERIMETRAZIONI PAI PUGLIA SCALA 1: 5000

### LEGENDA

 zona interessata

#### PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

-  PG3
-  PG2
-  PG1

## Indagini in situ

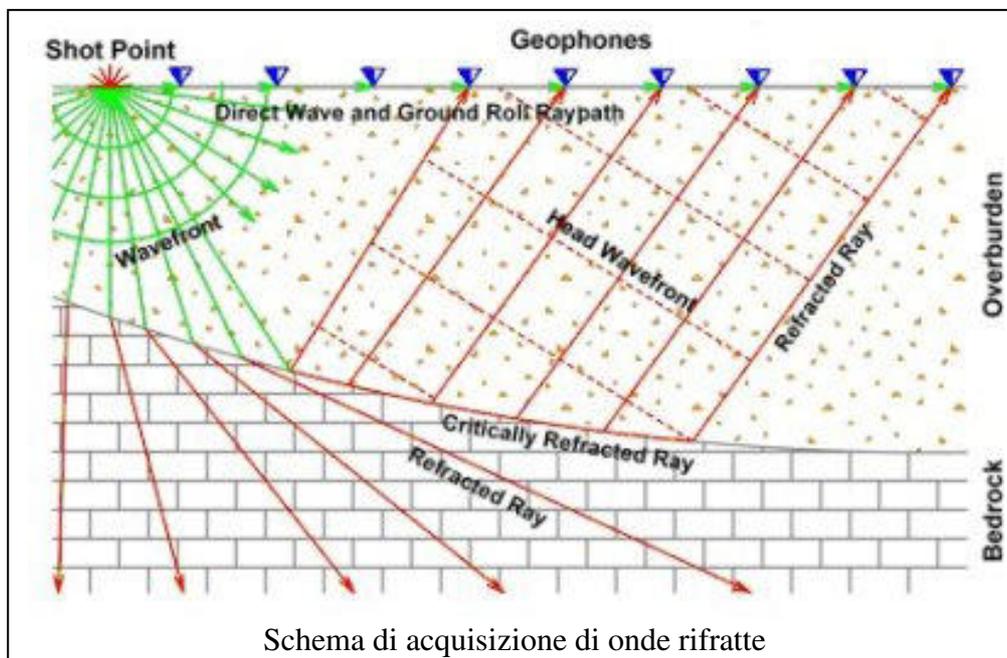
Nella zona interessata dal Progetto, sono stati eseguiti profili sismici a rifrazione e con metodologia Masw attiva e passiva e prospezioni georadar, nonché un rilievo strutturale in corrispondenza del costone roccioso su cui si sviluppa la prima porzione del tracciato stradale della rampa di accesso al porto.

### Metodologia sismica a rifrazione

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto sorgente), in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni). Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà geometriche e fisico-meccaniche dei terreni.

Mediante questo tipo di indagine si può risalire alla composizione litologica di massima dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità in cui si trova la roccia di fondo (“bedrock”).

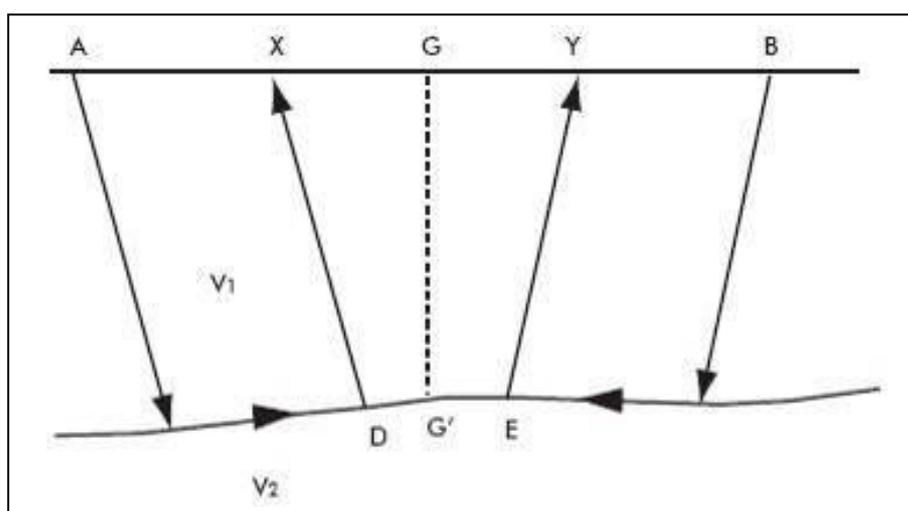
L'unica condizione per eseguire studi di sismica a rifrazione è che la successione rocciosa da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità.



Normalmente il sottosuolo è caratterizzato da strati piano-paralleli con velocità crescente all'aumentare della profondità. In contesti più complessi (inversioni di velocità o presenza di corpi

non stratificati) bisogna tener conto del modello tridimensionale del sottosuolo ed intervenire con indagini più specifiche (misure sismiche in foro), per non incorrere in errori interpretativi.

Il metodo di elaborazione utilizzato nel corso delle analisi dei dati a rifrazione è stato il Generalized Reciprocal Method (GRM: Palmer - 1980). L'analisi GRM (metodo reciproco generalizzato) si basa sulla determinazione del tempo di tragitto delle onde sismiche tra due geofoni separati da una distanza variabile XY ottimale per la quale i segmenti dei raggi che viaggiano verso l'alto e arrivano a ciascun geofono, emergano quasi dallo stesso punto del riflettore (G'). Ciò permette di valutare tutte le eventuali variazioni laterali di velocità del rifrattore, e quindi di ricostruire anche morfologie complesse.



Successivamente, con l'ausilio del software "Rayfract" della Intelligent Resources Inc., si è proceduti all'analisi del sottosuolo in tomografia sismica. Il software, utilizzando i tempi d'arrivo delle onde lette sui sismogrammi sperimentali, permette di eseguire delle ottimizzazioni del modello di velocità. Tali interpretazioni danno modo di rappresentare le velocità sismiche sia secondo sismostrati e sia secondo un'imaging bidimensionale a colori.

L'elaborazione dei dati ha permesso di ottenere la tomografia sismica del sottosuolo associabile a **roccia carbonatica fratturata, più alterata in superficie** con  $V_p=2000$  m/s e  $V_s=990$  m/s. Al disopra della roccia è presente una copertura discontinua di terreni di riporto con pezzame calcareo, Nella tabella che segue sono mostrati tutti i valori delle velocità sismiche, il coefficiente di Poisson ed i valori dei moduli dinamici E (di Young), G (di taglio) e K (di compressibilità), espressi in Kg/cm<sup>2</sup>.

Questi valori sono calcolati utilizzando un peso di volume unitario "orientativo" per la roccia presente in sito.

<b>Vp</b>	<b>Vs</b>	<b>v</b>	<b>γ</b>	<b>E</b>	<b>G</b>	<b>K</b>
2000	990	0.34	2.10	56190	21002	57711

$V_p$  = velocità onde longitudinali in m/s

$V_s$  = velocità onde trasversali in m/s

$v$  = coefficiente di Poisson

$\gamma$  = peso di volume in  $g/cm^3$

$E$  = modulo dinamico di Young in  $Kg/cm^2$

$G$  = modulo dinamico di taglio in  $Kg/cm^2$

$K$  = modulo dinamico di compressibilità in  $Kg/cm^2$

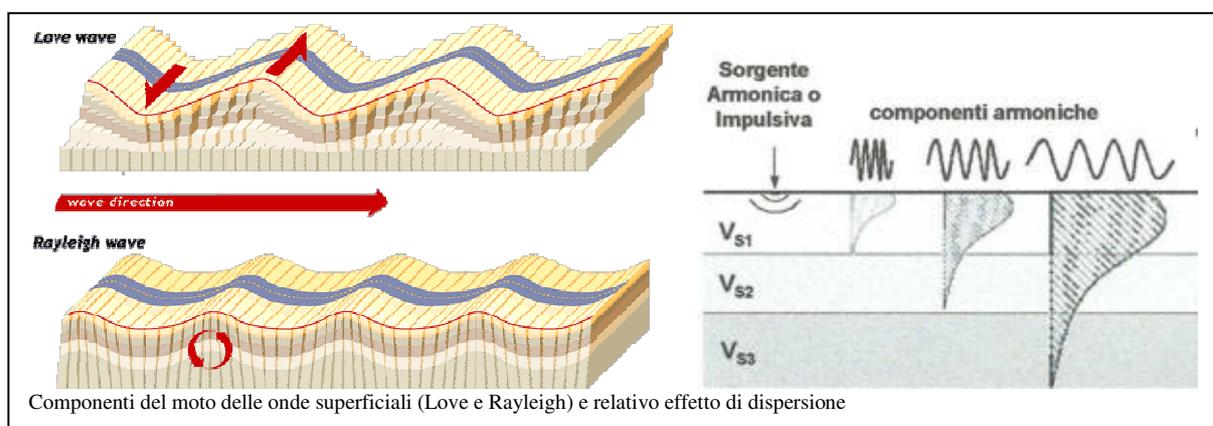
Le velocità  $V_s$  sono state ricavate dai valori medi scaturiti dall'indagine MASW mentre i parametri dinamici sono stati calcolati con le seguenti formule:

$$v = \frac{0.5(V_p/V_s)^2 - 1}{(V_p/V_s)^2 - 1} \quad K = \gamma[V_p^2 - 4/3V_s^2] \quad G = \frac{V_s^2}{g} \cdot \gamma$$

$$E = V_s^2 \cdot \gamma[(3V_p^2 - 4V_s^2)/(V_p^2 - V_s^2)]$$

## Metodologia indagine M.A.S.W.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (nel nostro caso geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.



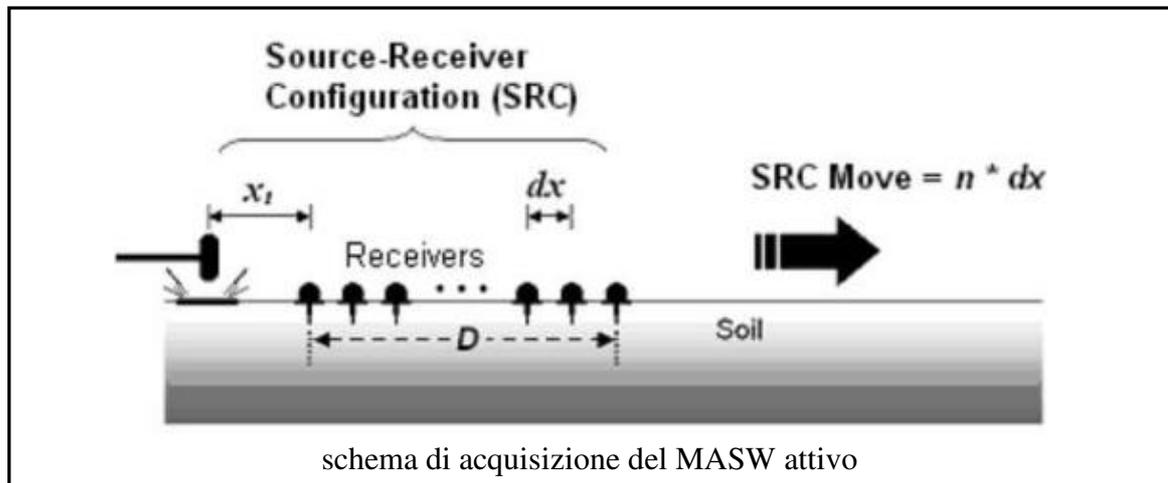
La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW si distingue in “attivo” e “passivo” (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006):

- Nel “**metodo attivo**” le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).
- Nel “**metodo passivo**” (Re.Mi.) lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche “microtremori”) prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali). E' possibile utilizzare alcune varianti geometriche del metodo passivo (disposizione dei geofoni a cerchio, quadrato, triangolo e croce) per una valutazione più accurata del trend dispersivo delle onde superficiali (Park e Miller, 2006).

In questa indagine è stato utilizzato il “metodo attivo”, combinando tra loro le tracce acquisite con 4 “offset” differenti al fine di migliorare il segnale acquisito. Le caratteristiche geometriche del profilo sono tabellate e schematizzate di seguito:

Sorgente	Lunghezza profilo	Distanza intergeofonica (dx)	Offset (xi)
martello	23 m	1.0 m	4-8-12-16 m



Il modello di Vs-profondità, ottenuto mediante l’analisi MASW, è schematizzato di seguito:

MASW	
Z (m)	Vs (m/s)
-0.3	452.5
-2.8	899.5
-4.7	980.6
-7.1	1060.3
-10.2	1019.6
-13.9	861.7
-18.7	745.5
-24.6	789.5
-31.9	885.4
-39.9	978.6

In conformità al D.M. 17/01/2018 “Norme tecniche per le costruzioni” la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall’espressione:

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

dove:

- $h_i$**  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.

Poiché le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_S$ .

In virtù delle  $V_S$  riscontrate si può asserire che il sito in esame rientra nella Categoria di sottosuolo A.

**Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

### **Condizioni topografiche**

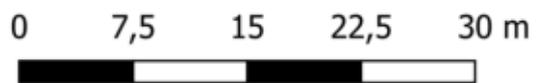
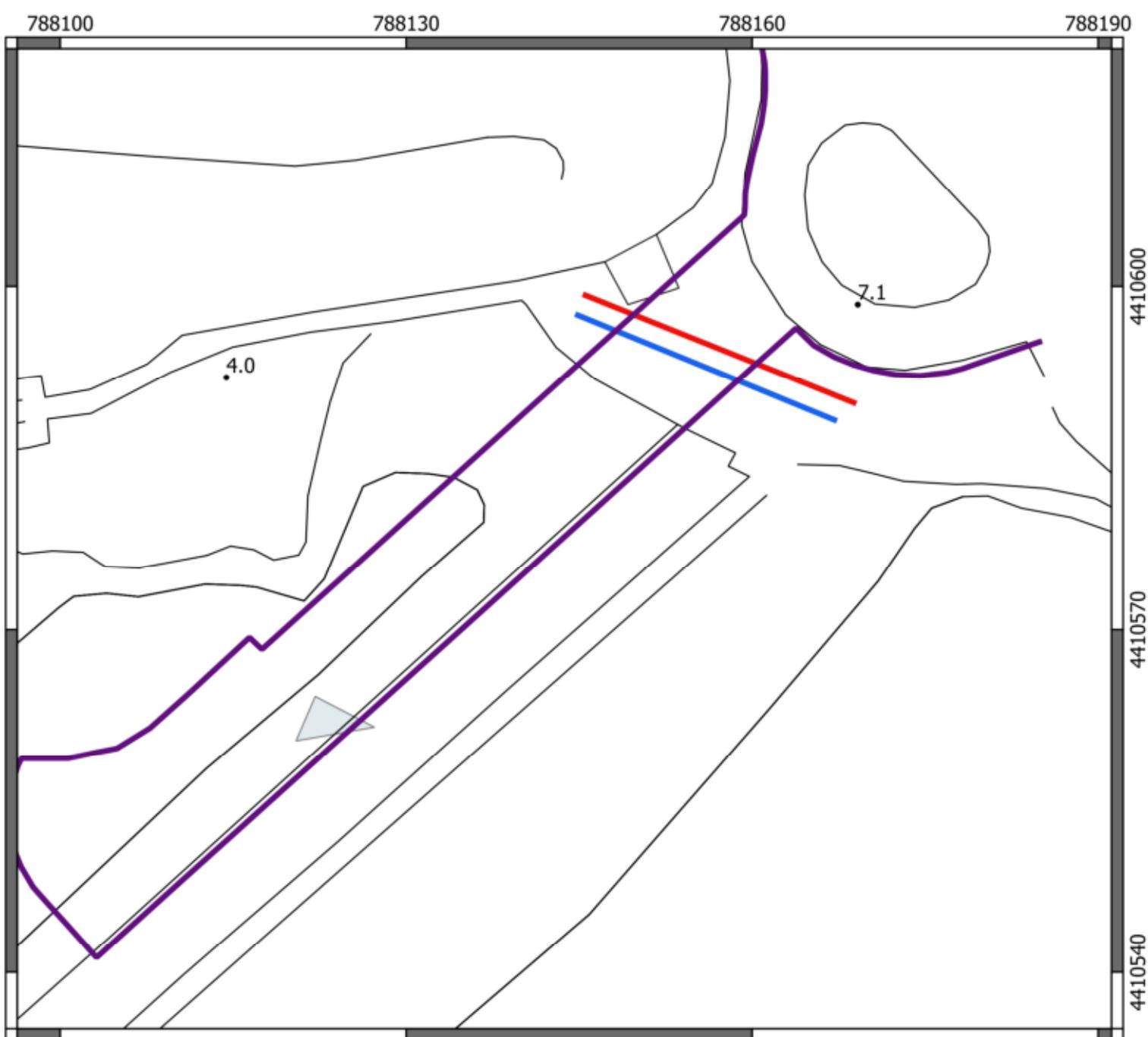
Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Esse si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di

altezza maggiore di 30 m. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

**Tab. 3.2.III –** *Categorie topografiche*

<b>Categoria</b>	<b>Caratteristiche della superficie topografica</b>
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Nel caso in oggetto trattasi della **categoria topografica T1**



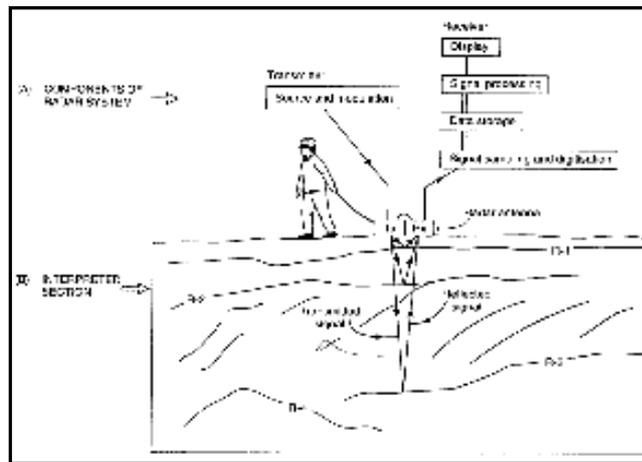
## PLANIMETRIA UBICAZIONE PROFILI SISMICI SCALA 1: 500

### LEGENDA

- tracciato rampa stradale
- ubicazione profilo sismico a rifrazione
- ubicazione profilo sismico MASW

## Metodologia Georadar

Il georadar (noto in campo internazionale con il termine anglosassone di Ground Penetrating o Probing Radar – GPR), operativamente, consiste nell’invio nel terreno di impulsi elettromagnetici ad alta frequenza (10-3000 MHz) e nella misura del tempo impiegato dal segnale emesso dall’antenna trasmittente a ritornare a quella ricevente, dopo essere stato riflesso e/o diffratto da eventuali discontinuità presenti nel materiale investigato (Fig.1). Il tempo di andata e ritorno (TWT), espresso in nanosecondi – ns, permette di misurare la distanza in tempi tra le antenne ed il “bersaglio”; tale distanza può essere trasformata in profondità (metri) nel sottosuolo qualora si possa misurare la velocità di propagazione degli impulsi nel mezzo investigato.



Schema indagine georadar

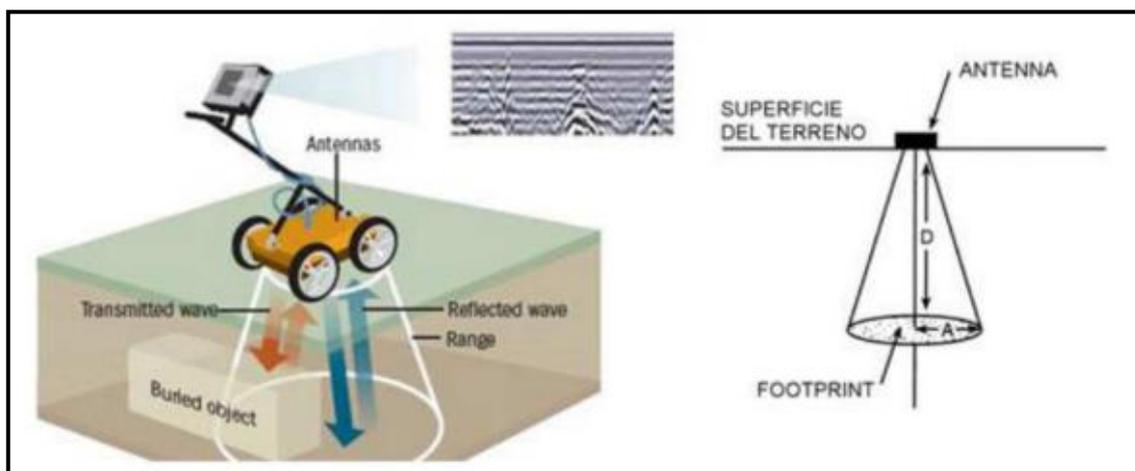
L’attenuazione di questi impulsi nel sottosuolo è correlata a due elementi: la presenza di umidità nel terreno e la frequenza scelta. Per quanto riguarda la presenza di umidità, un livello elevato di acqua nel terreno può rischiare di non far penetrare (o penetrare solo parzialmente) il segnale elettromagnetico, rendendo il terreno molto conduttivo.

La scelta della frequenza da utilizzare dipende dal fatto che il trasmettitore è collegato ad un’antenna (Tx) che produce un impulso elettromagnetico molto breve (dell’ordine di 1 – 10 ns). La durata dell’impulso prescelto è, a sua volta, legata alla frequenza dell’antenna utilizzata ed alla risoluzione verticale richiesta, ovvero la capacità di distinguere fra due strati o oggetti vicini tra di loro. In altre parole, più è alta la frequenza dell’antenna, più corto è l’impulso, il che si traduce in una bassa penetrazione del segnale (poiché l’attenuazione dipende anche dalla frequenza) ed in una più elevata risoluzione verticale.

La strumentazione GPR si presenta con due possibili configurazioni: la cosiddetta configurazione bistatica, nella quale l’antenna trasmittente è fisicamente separata da quella ricevente; e la configurazione monostatica nella quale l’antenna trasmittente e ricevente coincidono.

La rappresentazione grafica dei dati georadar è un passo fondamentale per la comprensione e l'interpretazione dei risultati. Tali risultati riportano radargrammi (o stratigrafie) del sottosuolo in scala di grigi ed i moderni software permettono una risoluzione visiva ed una definizione molto alte. Inoltre, se le acquisizioni hanno previsto profili paralleli all'interno di un grigliato, si possono ottenere e, quindi, visualizzare mappe (time slices) della zona investigata che rappresentano, a varie profondità, non solo le geometrie degli oggetti sepolti ma anche le dimensioni, utilizzando normalmente un algoritmo di involuppo medio, noto anche come average envelope amplitude.

Per interpretare correttamente un radargramma, è necessario sapere come la sezione è stata acquisita. L'impulso trasmesso dall'antenna radar non si propaga nel terreno o nel materiale in maniera puntuale come un laser, bensì si comporta come un cosiddetto cono di radiazione (fig.2), "illuminando" il bersaglio sepolto anche prima di trovarsi perpendicolarmente al di sopra del target stesso (come una lampada accesa nel buio di una stanza). Il diametro di questo cono aumenta all'aumentare della profondità d'indagine del segnale georadar. Inoltre, le sue dimensioni dipendono anche dalle condizioni della superficie di acquisizione e dalla frequenza delle antenne impiegate (per esempio, alte frequenze restringono il diametro del cono).



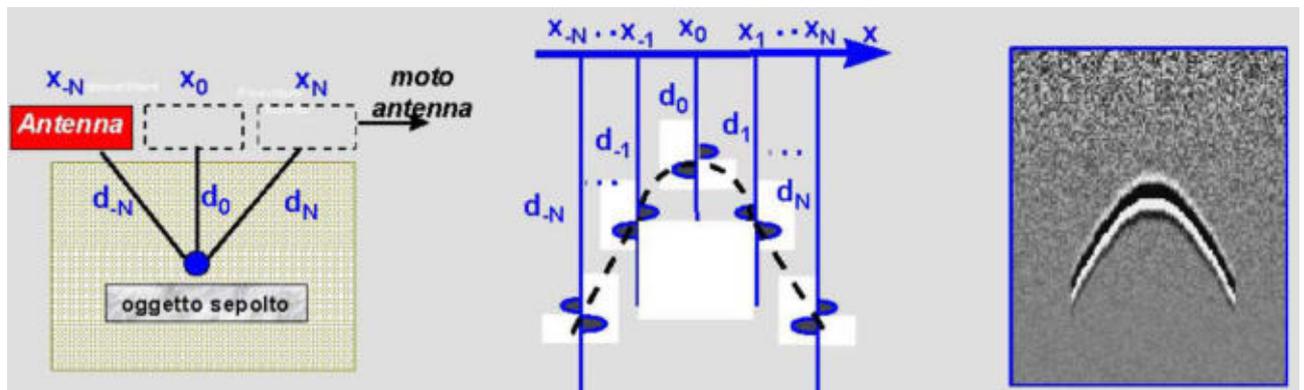
La presenza nel sottosuolo di un vuoto o di un qualsiasi oggetto, con costante dielettrica differente dal mezzo inglobante, produce una caratteristica risposta elettromagnetica: l'iperbole di diffrazione. L'anomalia iperbolica deriva dalla riflessione del punto-sorgente (target sepolto) e si verifica, come abbiamo visto, perché l'energia è emessa sotto forma di cono che 'illumina' una porzione più ampia del target stesso. Di conseguenza, il segnale viene riflesso non solo dal bersaglio direttamente perpendicolare al di sotto delle antenne, ma anche poco prima e poco dopo, grazie anche alla trasmissione di onde oblique. Solo l'apice dell'iperbole corrisponde alla posizione reale della sorgente.

### **Generazione iperbole**

La risoluzione massima orizzontale è circa l'impronta (footprint) del cono di radiazione (o area di illuminazione). Il tempo di andata e ritorno del segnale, e di conseguenza la stima delle profondità, può essere calcolato mediante la cosiddetta calibrazione delle code iperboliche derivanti da una anomalia.

È importante sottolineare, però, che è possibile determinare la profondità di un target solo se la velocità di penetrazione del segnale nel materiale/materiali è nota.

Con l'eccezione dei materiali conduttori sepolti (ad esempio, il metallo, che ha un'alta conducibilità e permittività magnetica), le onde elettromagnetiche passano attraverso il target sepolto continuando la loro penetrazione e producendo differenti riflessioni a differenti profondità. In alcuni



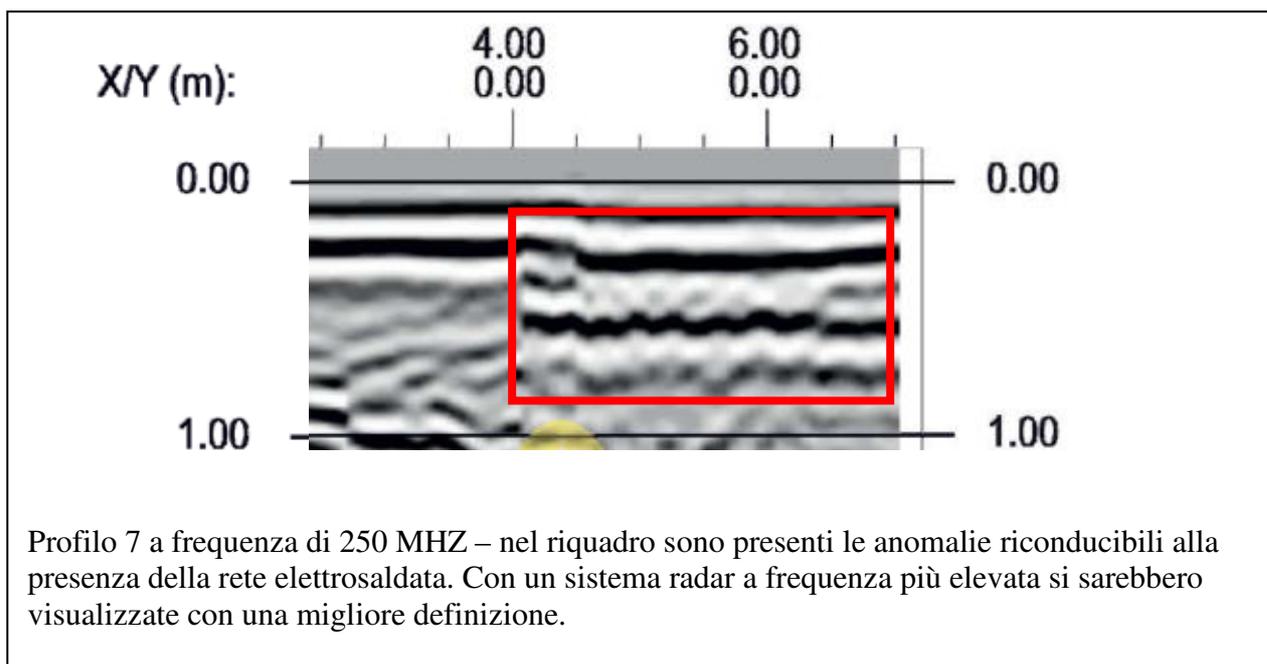
casi, tale effetto permette di stimare non solo la profondità della parte superiore (top) dell'oggetto ma anche le sue dimensioni verticali (ad esempio, in presenza di un tunnel sotterraneo è possibile individuare non solo il top del tunnel ma anche il fondo dello stesso).

L'analisi di tutti i radargrammi ha messo in evidenza numerose anomalie radar. In prima fase si è cercato di distinguere le anomalie riconducibili, con molta probabilità, a disturbi e quindi non sono stati presi in considerazione (paragrafo precedente).

Tutte le anomalie sono state evidenziate sui radargrammi allegati e riportate in pianta nella tavola "Ubicazione profili e anomalie radar", con le relative profondità di rinvenimento.

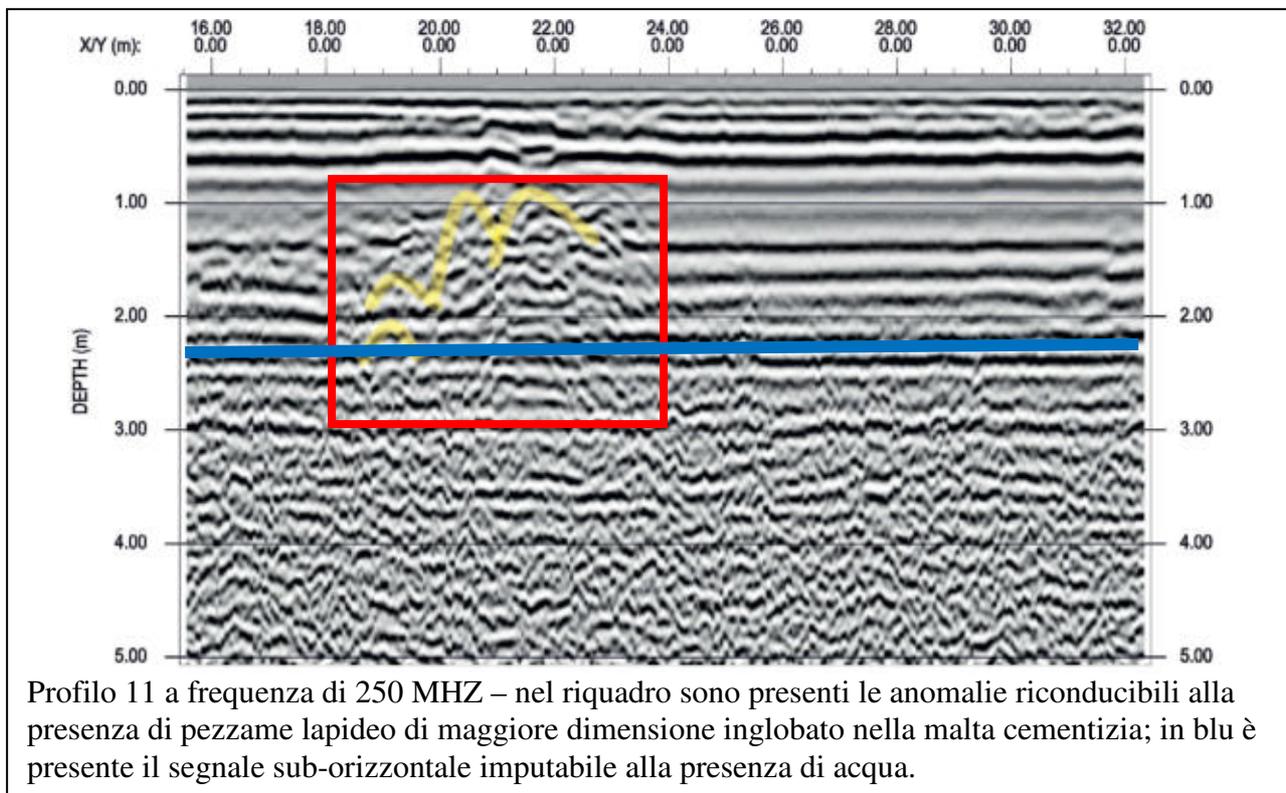
Di seguito vengono descritte le differenti tipologie di anomalie rinvenute.

In corrispondenza del profilo 7, solo alla frequenza di 250 MHz, è stato rinvenuto una zona con dei segnali iperboliche ravvicinati tra loro, a piccola profondità. Questi sono associabili sicuramente ad una rete metallica elettrosaldata. Di seguito si riporta tale profilo.

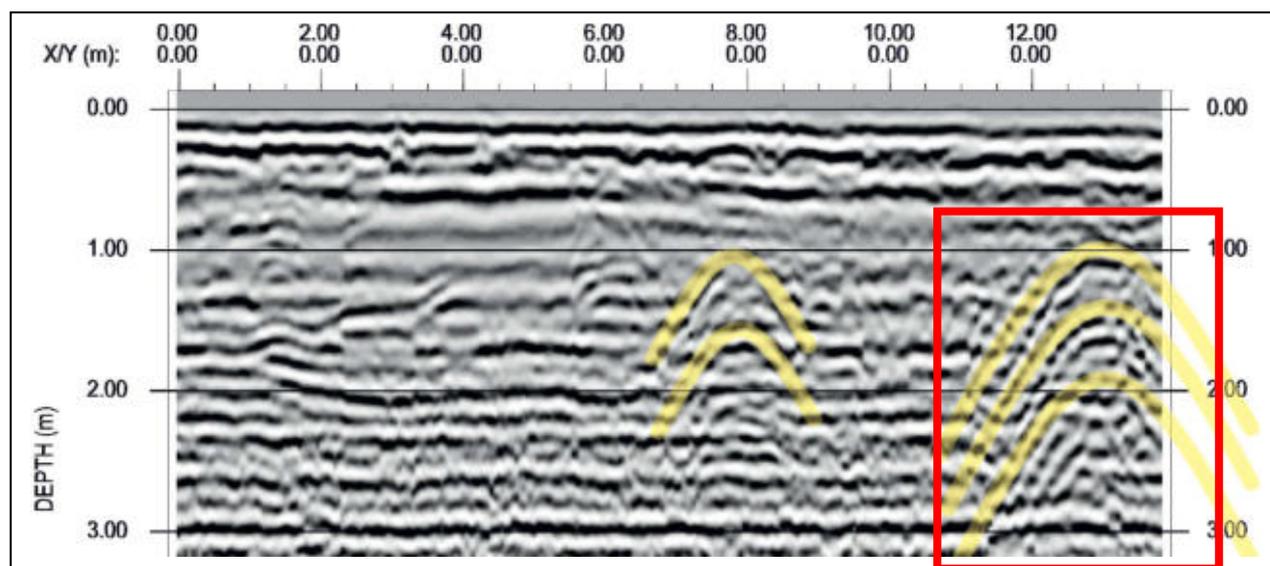


Questa zona è stata perimetrata sulla carta delle anomalie radar ma si potrebbe supporre che la rete elettrosaldata sia presente su tutta l'area pedonabile della rotatoria.

Sono stati rinvenuti dei segnali iperbolici sui profili 11, 12, 13 e 14, eseguiti sul massetto di cemento. Questi segnali potrebbero essere correlati a riempimenti di pezzame con dimensioni grossolane presenti nella malta cementizia. Sono stati rilevati dei segnali radar riflessi sub-orizzontali presenti su tutti i profili effettuati nell'area ove presente il massetto di cemento, a poco oltre di due metri di profondità. Questi sicuramente sono correlabili o alla presenza dell'acqua o alle fasi di posa del cemento, la prima ipotesi è la più realistica. Non sono stati rilevati segnali radar imputabili ai tondini in ferro dell'armatura del cemento. Di seguito viene riportato il profilo 11.



Tutte le altre anomalie rinvenute, riportate in pianta con le relative profondità di rinvenimento e perimetrare, sono tutte associabili a discontinuità litologiche. Le anomalie di maggiore entità sono presenti nelle zone finali dei profili 8, 9 e 10. Un'altra zona di anomalie di maggiore entità è presente sul tratto finale del profilo 1 e nel tratto iniziale del profilo 4. Di seguito si riporta, come esempio, un profilo con tali anomalie.



Tutte le altre anomalie rinvenute al disotto della zona di progetto potrebbero essere correlate a discontinuità della roccia carbonatica. Non si esclude la presenza di vuoti anche se di piccole dimensioni. Si consiglia di procedere con cautela durante le fasi di realizzazione delle opere, in corrispondenza delle aree perimetrare nella carta “Ubicazione profili e anomalie radar”.

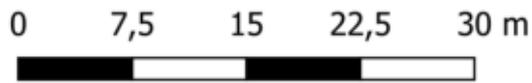
Detto ciò si può concludere che l’esito dell’indagine georadar rappresenta un valido ausilio per la ricostruzione del sottosuolo e per la progettazione degli scavi da effettuare ma, in ogni caso, è da considerarsi sempre orientativa in virtù della tipologia di analisi eseguita che rientra, comunque, nel campo delle indagini “indirette”.

788100

788130

788160

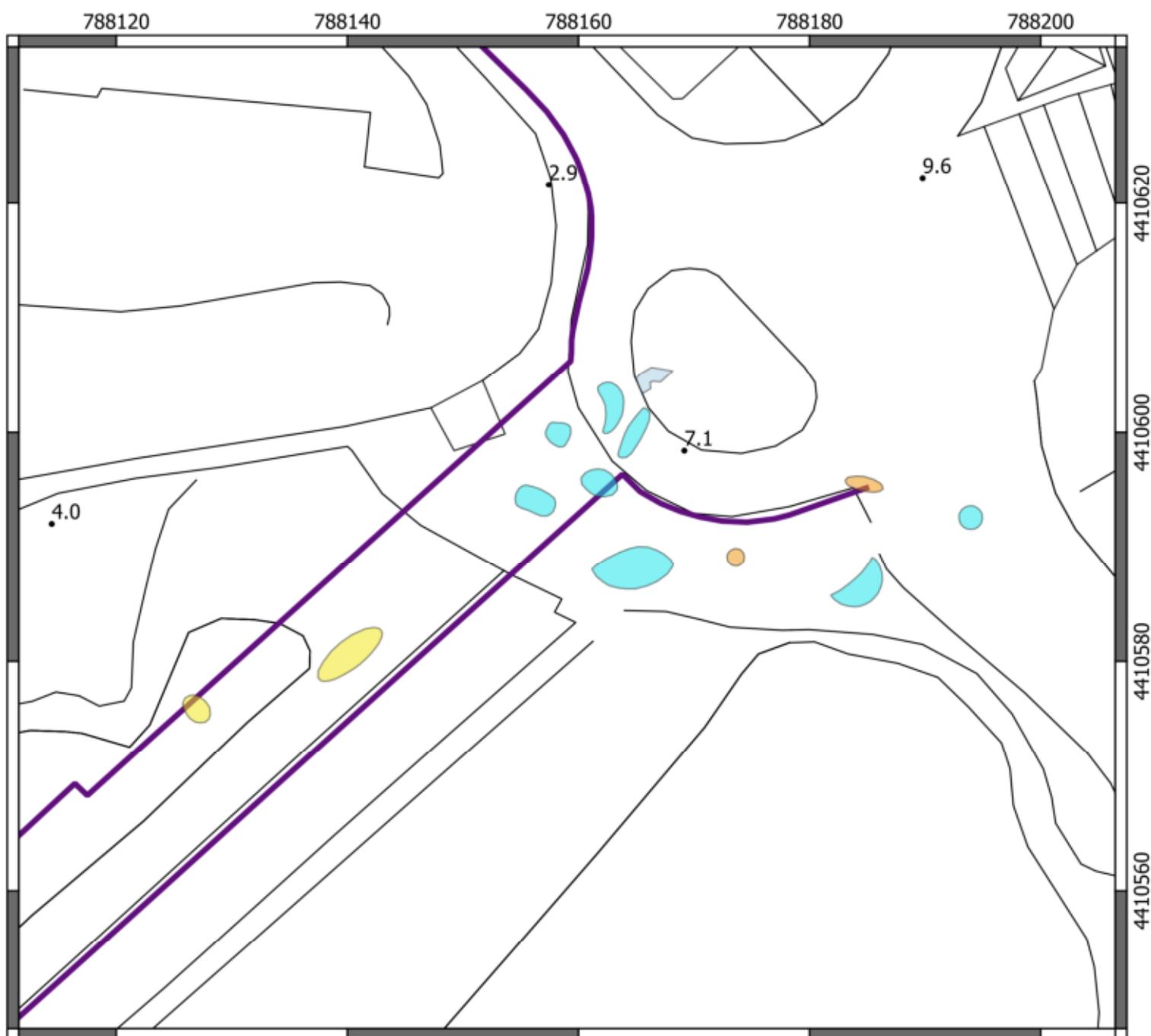
788190



### PLANIMETRIA UBICAZIONE PROFILI GEORADAR SCALA 1: 500

#### LEGENDA

- tracciato rampa stradale
- ubicazione profili radar



**PLANIMETRIA UBICAZIONE  
ANOMALIE RADAR  
SCALA 1: 500**

**LEGENDA**

— tracciato rampa stradale

**ANOMALIE RADAR**

■ zona di anomalie radar riconducibili ad una rete elettrosaldata in ferro

■ zona di anomalie radar riconducibili a disturbi causati dallo spigolo del muretto

■ zona di anomalie radar associabili a riempimenti di massi nella malta cementizia

■ zona di alta concentrazione di anomalie radar correlabili a forti discontinuità della roccia carbonatica

## Rilievo strutturale

Nell'area di intervento è stato eseguito un rilievo strutturale. Le figure seguenti riportano l'elaborazione ottenuta utilizzando il software open source "Open Plot" (S. Tavani, Dipartimento Scienze della Terra -Università degli studi di Napoli Federico II).

Sono state eseguite delle misure sclerometriche direttamente sull'ammasso roccioso in affioramento dalle quali è possibile stimare la resistenza a compressione della roccia intatta scegliendo di utilizzare tra le tante correlazioni esistenti in letteratura quella di Katz et Al. (2000):

$$\sigma_c = 2.22 \cdot R^{0.067} \text{ (MPa)}$$

dove R è il rimbalzo dello sclerometro di tipo N (quello utilizzato)

Degli stessi autori è la relazione che lega i valori del rimbalzo al peso di volume del campione di roccia:

$$g = 13.04 \ln(R) - 28.61 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

Le misure sono riportate nella tabella seguente

Parete verticale (taglio artificiale)				Pianoro superiore			
R (media 10 valori)	$\sigma_c$	litologia	$\gamma$	R (media 10 valori)	$\sigma_c$	$\gamma$	litologia
33	20	breccia	17	38	29	18.8	calcarenite
36	24.8	breccia	18.1	46	48	21.3	calcarenite
52	72	calcarenite	22.9	44	41	20.7	calcarenite
				52	70	22.9	calcarenite
				28	14.5	14.8	calcarenite
				32	20	16.6	calcarenite

Sono state inoltre effettuate alcune misure con profilometro per la valutazione del parametro JRC; alcune di esse sono riportate nella figura a pagina seguente e, confrontate con i profili standard di Barton, restituiscono valori di JRC compresi tra 12÷14 e 14÷16.

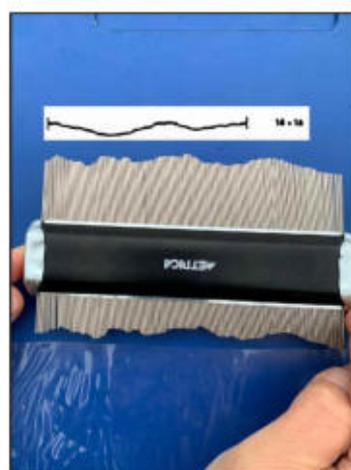
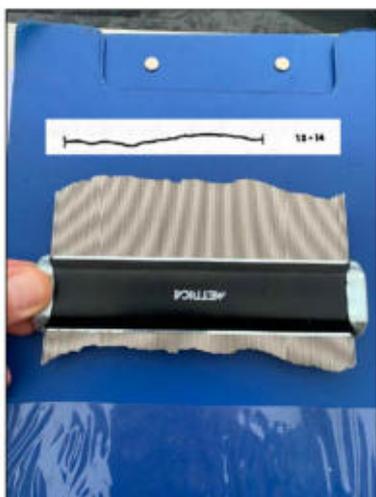
Misure sclerometriche su brecce

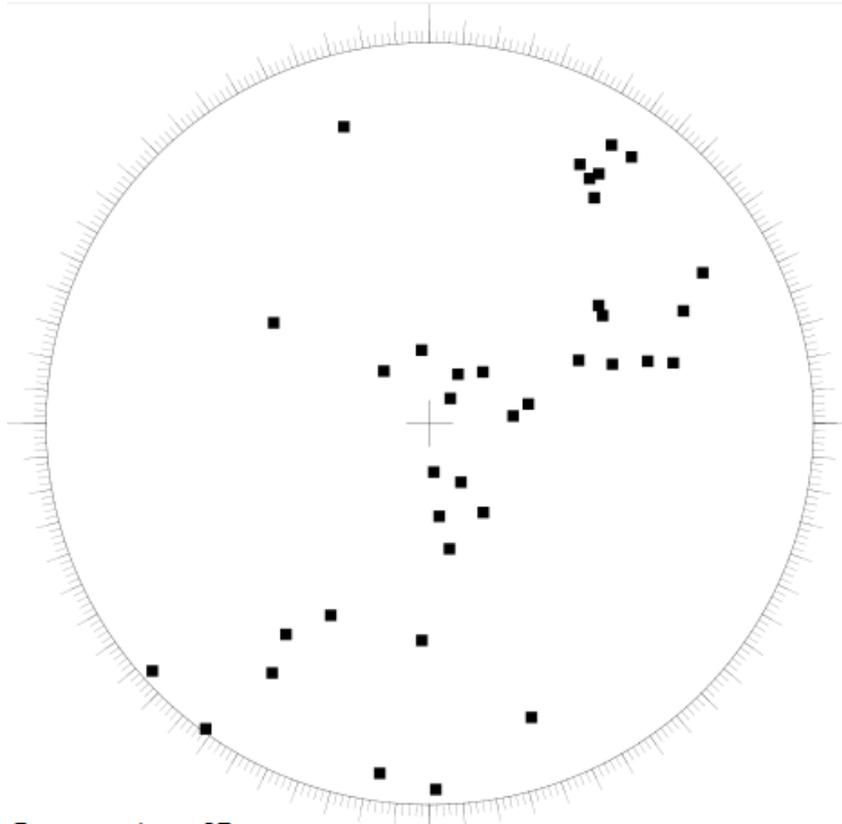


Misure sclerometriche su calcarenite

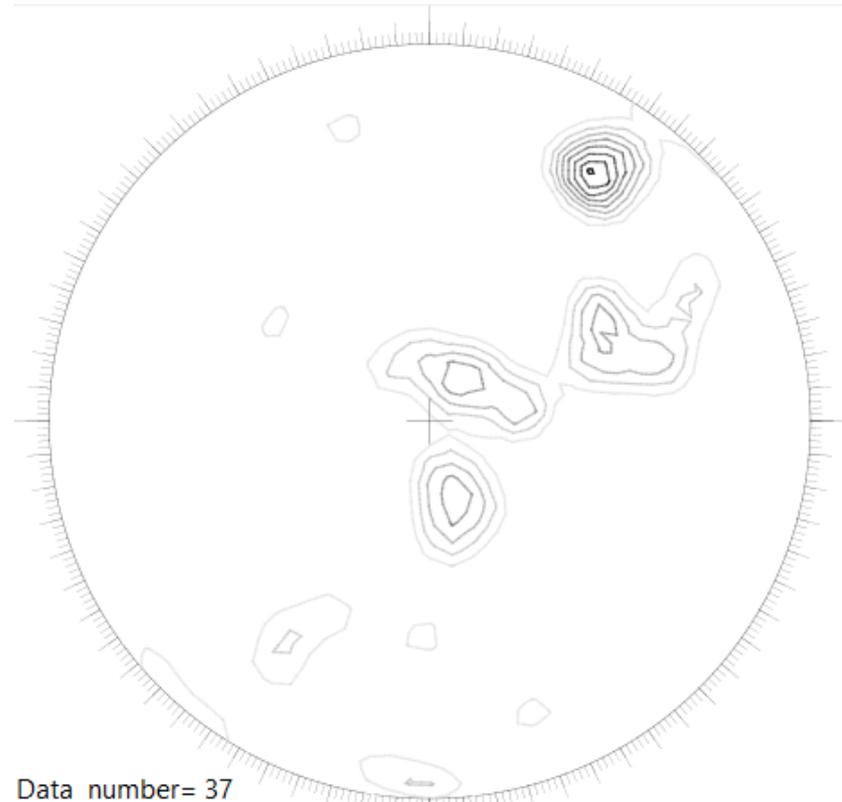


# Misure profilometro





Data number= 37



Data number= 37

Min value= 0 Increment= 1.888889

Sulla base dell'elaborazione statistica sono state riconosciute n. 4 famiglie di discontinuità principali e altre "random", come indicato nella tabella seguente.

famiglia	Dip	Dip azimuth	Spaziatura (m)
k1	17	252	0.67
k2	12	129	1.43
k3	45	149	1.11
k4	68	122	1.43
Random: Nr (n. famiglie7)			

# **MODELLO GEOLOGICO IN CORRISPONDENZA DEL TRACCIATO DELLA RAMPA**

L'elaborazione dei dati raccolti, permette di schematizzare per l'area indagata il seguente modello geologico sino alla scarpata:

## **Unità Geologica e Geotecnica (nel seguito abbr. U.G.) R**

(da 0.00 a 0.50 m dal p.c.)

Litologia: terreno di riporto

**Vp = 300 m/s**

**Vs = 100 m/s**

## **U.G.: Calcarenite di Andrano (ANR)**

(da 0÷0.5 sino alla profondità di interesse geotecnico)

litologia: Calcareniti e brecce

**Vp = 2000 m/s**

**Vs = 990 m/s**

Mentre dalla scarpata verso mare si ha la seguente stratigrafia:

## **U.Gt: CLS**

(spessore circa 0.5 metri)

Soletta in conglomerato cementizio

## **U.Gt: RI**

(pessore massimo circa 7 metri)

Riempimento in massi

## **U.G.:ANR**

Litologia: Calcareniti e brecce



Profilo  
 Scala : 200:100  
 Q.Rit. : 0.00

# **ALLEGATO**

- RELAZIONE SULLE INDAGINI  
GEOGNOSTICHE ESEGUITE IN SITU**



CASTRIGNANO DEL CAPO



REGIONE PUGLIA



PROVINCIA DI LECCE

## OGGETTO

INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE IN CORRISPONDENZA DI UN SITO INTERESSATO ALLA PROGETTAZIONE DI UNA RAMPA DI ACCESSO ALL'AREA PORTUALE DI SANTA MARIA DI LEUCA, FRAZIONE DI CASTRIGNANO DEL CAPO (LE). TALE AREA È INTERESSATA DA DISSESTI E CEDIMENTI A CAUSA DELL'EROSIONE MARINA.

DATA: NOVEMBRE 2023

## LOCALITÀ

SANTA MARIA DI LEUCA FRAZIONE DI CASTRIGNANO DEL CAPO

## COMMITTENTE

ETACONS S.R.L.  
SOCIETÀ DI INGEGNERIA

## ELABORATO

INDAGINE GEOFISICA

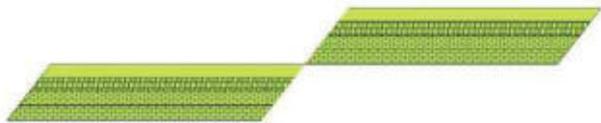
## DITTA ESECUTRICE INDAGINI



Geologia e Geofisica  
Prospezioni geofisiche in superficie e in foro  
Indagini idrogeologiche e geotecniche

**PRO-GEO s.a.s**  
di Alberto Angelo Raffaele Quarto & C.  
Via M. R. Imbriani, 13 – 76121 Barletta  
P. IVA: 05578650722  
TELE FAX: 0883-390511  
EMAIL: progeosas@alice.it  
MOB. 3356098214  
PEC: info@pec.progeosas.net

**PRO-GEO s.a.s.**  
di Alberto A.R. Quarto & C.  
Via M.R. Imbriani, 13  
76121 BARLETTA  
P.IVA 05578650722



## Indice

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>MISURE GPS</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>INDAGINE M.A.S.W.</b> .....	<b>5</b>
	3.1 Metodologia indagine M.A.S.W. ....	5
	3.2 Attrezzature e tecniche operative .....	7
	3.3 Risultati.....	9
<b>4</b>	<b>PROSPEZIONE SISMICA</b> .....	<b>11</b>
	4.1 Metodologia sismica a rifrazione .....	11
	4.2 Attrezzature e tecniche operative .....	13
	4.3 Risultati.....	14
<b>5</b>	<b>INDAGINE GEORADAR</b> .....	<b>15</b>
	5.1 Metodologia Georadar .....	15
	5.2 Strumentazione Georadar e metodi di acquisizione .....	18
	5.3 Elaborazione dei segnali radar.....	19

**UBICAZIONE AREA D'INDAGINE (da CTR) scala 1:10.000 (formato foglio A3)**

**UBICAZIONE MISURE SISMICHE (da ORTOFOTO-CTR) scala 1:800 (formato foglio A4)**

**UBICAZIONE PROFILI E ANOMALIE RADAR (da CTR) scala 1:200 (formato foglio A3)**

### **Allegato “profilo sismico”**

- **Sismogrammi analisi MASW**
- **Analisi profilo MASW**
- **Sismogrammi sismica a rifrazione onde longitudinali (P)**
- **Dromocrone**
- **Tomografia sismica ed interpretazione sismostratigrafica**
- **Documentazione fotografica**

### **Allegato “profilo sismico”**

- **Radargrammi**
- **Documentazione fotografica**

## 1 PREMESSA

Per incarico conferito alla “PRO-GEO s.a.s. di Alberto Quarto & C.” dalla “ETACONS S.r.l.” è stata eseguita un’indagine geofisica in corrispondenza di un sito interessato alla progettazione di una rampa di accesso all’area portuale di Santa Maria di Leuca.

L’indagine ha avuto l’obiettivo di ricostruire la stratigrafica del sito indagato, di definire le Categorie sismiche di sottosuolo (NTC 2018), di ubicare le eventuali discontinuità litologiche presenti in corrispondenza del progetto da realizzare.

A tal fine è stata eseguita, su indicazione della committenza, un’indagine geofisica multidisciplinare mediante l’utilizzo delle seguenti metodologie:

- **Prospezione MASW;**
- **Prospezione sismica a rifrazione;**
- **Prospezione georadar.**

Di seguito vengono riportate le ubicazioni della zona oggetto di indagine e dell’intervento di progetto da realizzare.



Ubicazione del sito d’indagine



Ubicazione della rampa di accesso da realizzare

È da premettere che sul fronte **sud** dell'area del progetto è presente una roccia carbonatica molto frantumata con presenza di piccoli vuoti, vedi foto seguente.



Affioramento roccioso presente a sud dell'area del progetto

## 2 MISURE GPS

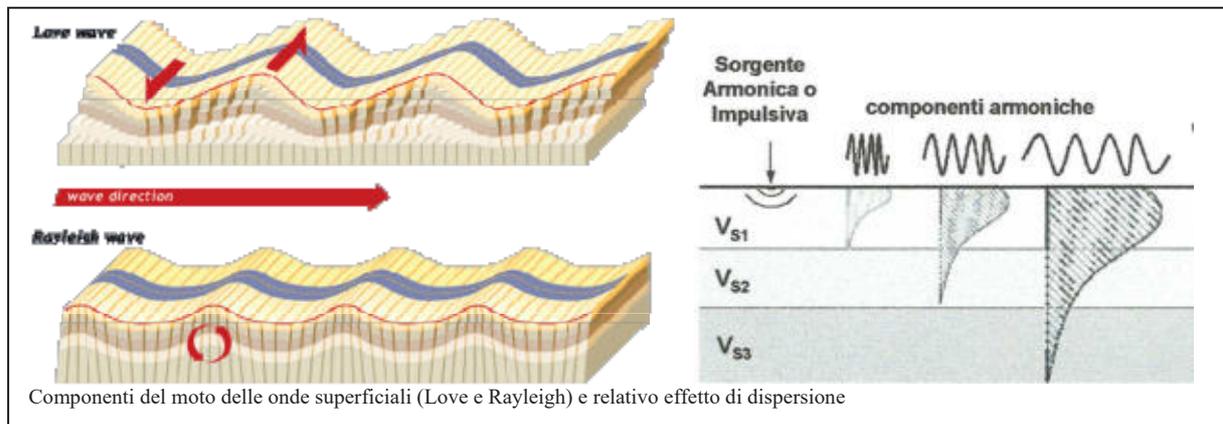
Tutte le misure eseguite sono state ubicate con sistema GPS Leica GS15, permettendo la giusta localizzazione delle misure effettuate. Di seguito viene riportata la scheda tecnica dello strumento utilizzato.

Leica Viva GS15			
<b>PRESTAZIONI GNSS</b>			
Tecnologia GNSS	Leica SmartTrack	Tracciamento avanzato di quattro costellazioni	
Numero di canali		120 (fino a 60 satelliti simultaneamente su due frequenze) / 500+ <sup>1)</sup>	
Tracciamento del segnale		GPS (L1, L2, L2C, L5), Glonass (L1, L2), BeiDou (B1, B2), Galileo (E1, E5a, E5b, Alt-BOC) QZSS (L1, L2, L5) <sup>2)</sup> , SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN)	
<b>PRESTAZIONI DELLA MISURA E PRECISIONI<sup>3)</sup></b>			
Tecnologia RTK	Leica SmartCheck RTK Network Tempo di inizializzazione	Controllo continuo soluzioni RTK, affidabile 99.99% VRS, FKR, IMAX, MAC (RTCM SC 104) Tipicamente 4s	
Differenza di codice	DGPS / RTCM	Tipicamente 25cm	
Real-time cinematico	Baseline singola (<30km) RTK Network	Orizzontale 8mm + 1ppm / Verticale 15mm + 1ppm Orizzontale 8mm + 0.5ppm / Verticale 15mm + 0.5ppm	
Post elaborazione	Statico (fase), lunghe osservazioni Statico e Statico rapido (fase)	Orizzontale: 3mm + 0.1ppm / Verticale: 3.5mm + 0.4ppm Orizzontale 3mm + 0.5ppm / Verticale 5mm + 0.5ppm	
<b>COMUNICAZIONI</b>			
Porte di comunicazione	Lemo Bluetooth®	Collegamento USB e seriale RS232 Bluetooth® v2.00 + EDR, class 2	
Protocolli di comunicazione	Formato Dati RTK Output NMEA	Leica, Leica 4G, CMR, CMR+, RTCM 2.2, 2.3, 3.0, 3.1, 3.2 MSM NMEA 0183 V 4.00 e proprietario Leica	
Comunicazione dati integrata	Modem telefonico 3.5G Modem UHF	Completamente integrata, antenna interna o esterna Completamente integrata, riceve e trasmette, antenna esterna 403 - 470 MHz, potenza di uscita 1W	
Comunicazione dati esterna		GSM / GPRS / UMTS / CDMA e UHF / modem VHF	
<b>GENERALE</b>			
Interfaccia utente	Pulsanti e LED Web server	Tasto On/Off e tasto Funzione, 8 LED di indicazione stato Informazioni di stato complete e opzioni di configurazione	
Registrazione dati	Memoria Flash Tipo dati e velocità di registrazione	SD Card removibile da 1 GB Dati grezzi GNSS Leica e dati RINEX fino a 20 Hz	
Alimentazione	Alimentazione interna Alimentazione esterna Durata	2 batterie Li-Ion ricaricabili e removibili (2.6 Ah / 7.4 V) Nominale 12 V CC, intervallo ammesso 10.5 - 28 V CC 10 h ricezione dati RTK con radio UHF 9 h trasmissione dati RTK con radio UHF (1W) 7.5 h ricezione / trasmissione dati RTK con modem telefonico	
Peso e Dimensioni	Peso Diametro x Altezza	1.34 kg (GS15) / 3.30 kg configurazione rover RTK con l'utilizzo di palaia e zaino 196mm x 198mm	
Protezione	Temperatura Caduta Protezione contro acqua, sabbia e polvere Vibrazioni Umidità Shock	da -40 a 65°C (da -40°F a 80°C) Stoccaggio Resistente a ribaltamenti da palaia di 2.0 m su superfici dure IP68 conforme a IEC60529 e MIL STD 810G Method 506.5 I, MIL STD 810G Method 510.5 I e MIL STD 810G Method 512.5 I Resiste alle forti vibrazioni (ISO9022-36-08 / MIL STD 810G 514.6 Cat.24) 100% (ISO9022-13-06 / ISO9022-12-04 / MIL STD 810G 507.5 I) 40g dai 15 ai 23 ms, conforme a MIL STD 810G Method 516.6 I	
<b>RICEVITORE GNSS LEICA GS15</b>			
	Singola frequenza	Prestazione	Professionale
<b>SISTEMI GNSS SUPPORTATI</b>			
GPS L2 / GPS L5 / GLONASS / Galileo / BeiDou	• / • / • / • / •	✓ / • / • / • / •	✓ / ✓ / ✓ / ✓ / •
<b>PRESTAZIONI RTK</b>			
DGPS/RTCM, RTK illimitato, RTK Network SmartLink (L-band)	• •	✓ •	✓ •
<b>AGGIORNAMENTO POSIZIONE E REGISTRAZIONE DATI</b>			
Aggiornamento posizione 5 Hz / 20 Hz	✓ / •	✓ / ✓	✓ / ✓
Dati grezzi / registrazione dati RINEX	✓ / •	✓ / •	✓ / ✓
Output in formato NMEA	•	•	✓
<b>FUNZIONALITÀ OPZIONALI</b>			
Opzione stazione di riferimento RTK	•	✓	✓
			✓Standard      •Opzionale
<p>1) La serie Unlimited comprende l'aggiornamento gratuito a 500+ canali. 2) Il supporto QZSS è incorporato e fornito attraverso un prossimo aggiornamento firmware. Il marchio Bluetooth® è di proprietà di Bluetooth SIG, Inc. Illustrazioni, descrizioni e specifiche tecniche non sono vincolanti. Tutti i diritti sono riservati. Stampato in Svizzera - Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Svizzera, 2015. 774106a - 05.15 - INT</p> <p>3) La precisione nelle misure, nella posizione planimetrica ed in quota sono legate a vari fattori tra i quali: il numero di satelliti, la loro geometria, tempo di osservazione, precisione delle effemeridi, condizioni ionosferiche, multipath ecc. Per i dati presenti si assumono condizioni da normali a favorevoli. Le costellazioni BeiDou e Galileo complete aumenteranno ulteriormente le prestazioni e precisione delle misure. 4) Può variare con la temperatura, con lo stato di conservazione delle batterie, con la potenza di trasmissione dell'apparato di comunicazione utilizzato.</p>			

### 3 INDAGINE M.A.S.W

#### 3.1 Metodologia indagine M.A.S.W.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (nel nostro caso geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.



La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

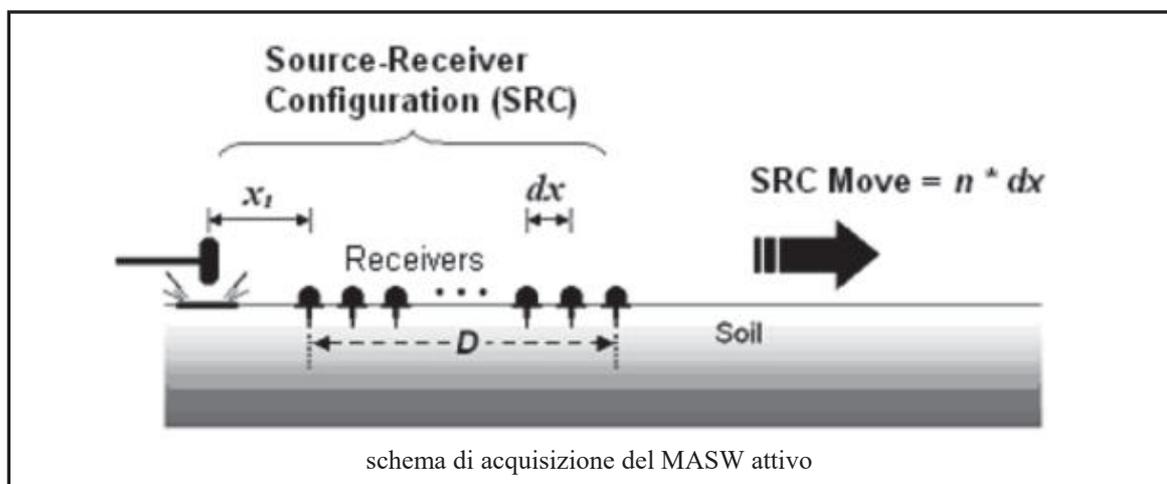
Il metodo di indagine MASW si distingue in “attivo” e “passivo” (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006):

- Nel “metodo attivo” le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

- Nel “metodo passivo” (Re.Mi.) lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche “microtremori”) prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali). E’ possibile utilizzare alcune varianti geometriche del metodo passivo (disposizione dei geofoni a cerchio, quadrato, triangolo e croce) per una valutazione più accurata del trend dispersivo delle onde superficiali (Park e Miller, 2006).

In questa indagine è stato utilizzato il “metodo attivo”, combinando tra loro le tracce acquisite con 4 “offset” differenti al fine di migliorare il segnale acquisito. Le caratteristiche geometriche del profilo sono tabellate e schematizzate di seguito:

Sorgente	Lunghezza profilo	Distanza intergeofonica (dx)	Offset ( $x_i$ )
martello	23 m	1.0 m	4-8-12-16 m



### 3.2 Attrezzature e tecniche operative

Per le misure acquisite sono state utilizzate le seguenti attrezzature:

- Un sismografo DAQ LINK – III a 24 bit della “Seismic Source Co” di seguito si riporta la scheda tecnica di tale strumentazione;

## DAQlink Specifications

1 to 24 channels per unit  
Weatherproof enclosure  
Multiple units can be used together for large channel count

**A/D conversion:**  
24 bit high-speed sigma delta converters

**Dynamic range:**  
144 dB (system)  
Greater than 118 dB (measured at 2msec)

**Bandwidth:**  
DC to 15 KHz –  
Analog filter flat response to 8000 Hz  
Digital Filter Bandwidth = 85% of (sample rate)

**Common Mode Rejection:**  
Greater than 100 dB

**Crosstalk:**  
Better than 125 dB

**Noise Floor:**  
0.2 microvolt RMS noise (2 msec sample rate)

**Trigger Accuracy:**  
+/- 1 microsecond at all sample rates

**Maximum Input Signal:**  
Standard (x 2 gain): 3.58 volts peak to peak  
(Optional: (x1 gain): 7.16 volts peak to peak)

**Input Impedance:**  
100 K ohms

**Preamplifier Gains:**  
X2, and x32 standard; software selectable  
(X1 and x16 available on special request)

**Anti-alias Filters:**  
85 % of Nyquist frequency

**Digital Filters:**  
Low Cut – User Selectable frequency  
Notch – 50 or 60 Hz standard – User selectable  
High Cut – User Selectable

**Sample Interval:**  
0.0208, 0.0625, 0.125, 0.250, 0.500, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00 millisecond

**Sample Frequency:**  
48000, 16000, 8000, 4000, 2000, 1000, 500, 250, 125, 64.5 samples/second

**Record Length:**  
Up to 4 Gbytes/ number of channels

**Pre- trigger delay:**  
10 second

**Continuous Recording Option**

**GPS Interface Standard**  
Internal Clock synchronized to GPS time  
GPS Time and Position saved with data

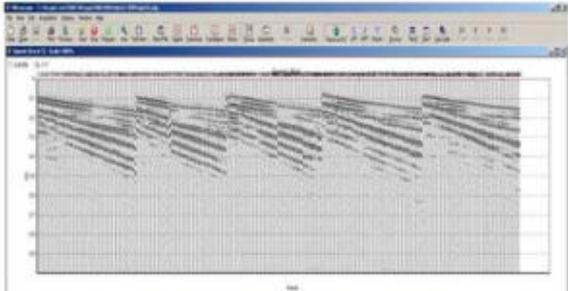
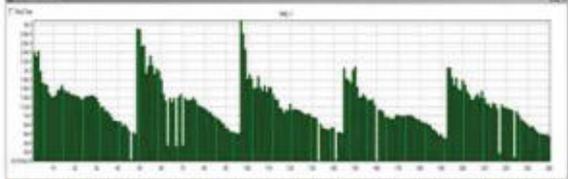
**Internal Storage:**  
Compact Flash style storage media  
Standard FAT16 or FAT32 file system  
(Maximum file size = 32GB)

**100Mbit Ethernet**  
Download speed 8MByte/sec; real time transfer

**Power consumption:**  
24 channels – less than 0,4 watts/channel

**Built in Line Testing and Instrument Tests**

**Size:** 330x230x60 mm  
**Weight:** 3.4 Kg



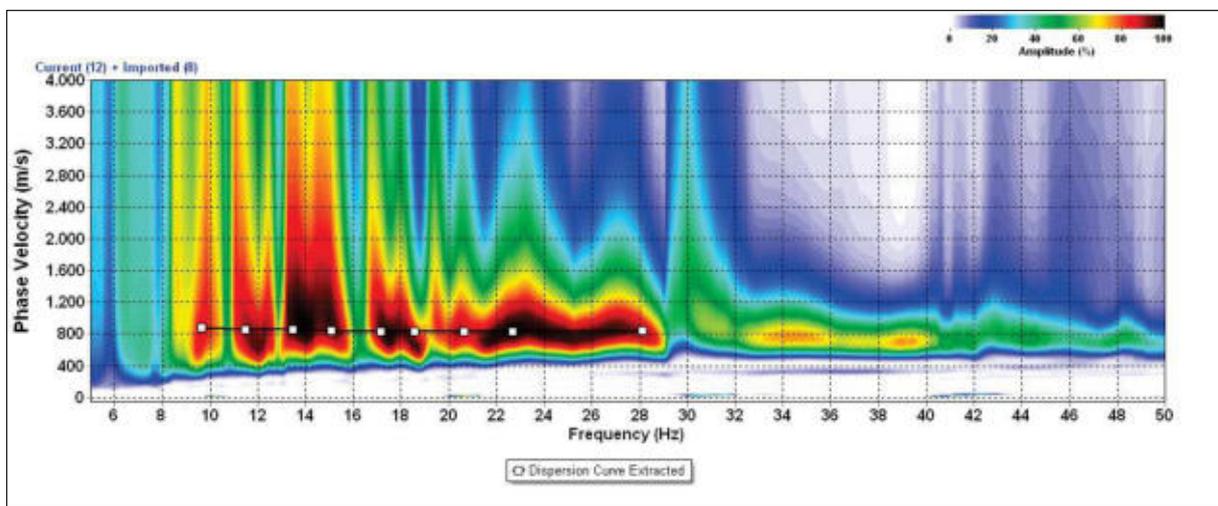
- Un cavo con 24 collegamenti per i geofoni.
- 24 geofoni a componente verticale con frequenza di 4.5 Hz.
- SurfSeis 6.1.4.30 della Kansas Geological Survey.

Per ogni “offset” sono state acquisite diverse registrazioni, sommate tra loro, al fine di ottenere un buon rapporto segnale/rumore. Esse hanno le seguenti caratteristiche:

Metodo	frequenza di campionamento	Lunghezza registrazioni	sorgente
Masw attivo	0.5 millisecondi	1 secondo	martello

I sismogrammi ottenuti sono stati elaborati con una trasformazione bidimensionale dal dominio tempo-distanza (t-x), al dominio velocità di fase-frequenza (p-f). È stato così possibile analizzare l’energia di propagazione del “rumore ambientale” lungo tutte la direzione della linea sismica e riconoscere le onde superficiali con carattere dispersivo.

Sullo spettro (p-f) ottenuto sono stati individuati una serie di punti nell’area ad alta energia (piking). A partire da essi si è proceduti con la fase di inversione dei dati per ottenere il modello di Vs-profondità.



Spettro di potenza nel dominio Frequenza/inverso velocità di fase con piking

### 3.3 Risultati

Il modello di Vs-profondità, ottenuto mediante l'analisi MASW, è schematizzato di seguito:

MASW	
Z (m)	Vs (m/s)
-0.3	452.5
-2.8	899.5
-4.7	980.6
-7.1	1060.3
-10.2	1019.6
-13.9	861.7
-18.7	745.5
-24.6	789.5
-31.9	885.4
-39.9	978.6

In conformità al D.M. 17/01/2018 “Norme tecniche per le costruzioni” la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

dove:

$h_i$  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.

Poiché le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_S$ .

In virtù delle  $V_S$  riscontrate si può asserire che il sito in esame rientra nella **Categoria di sottosuolo A**.

**Tab. 3.2.II –** *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

<b>Categoria</b>	<b>Caratteristiche della superficie topografica</b>
A	Anmassi 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.

### Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Esse si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

**Tab. 3.2.III –** *Categorie topografiche*

<b>Categoria</b>	<b>Caratteristiche della superficie topografica</b>
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Nel caso in oggetto trattasi della **categoria topografica T1**

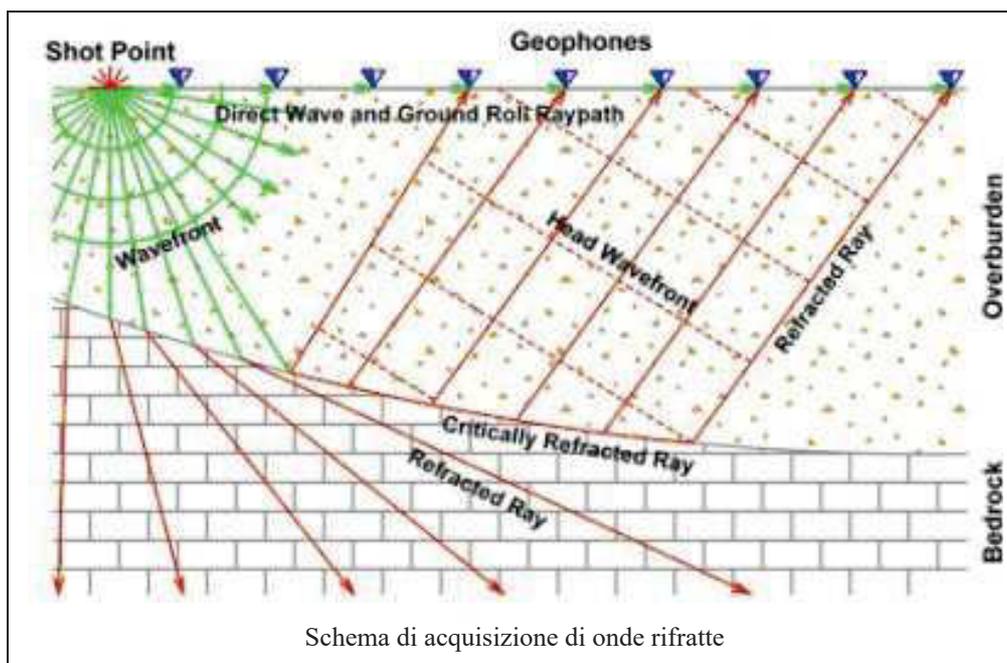
## 4 PROSPEZIONE SISMICA

### 4.1 Metodologia sismica a rifrazione

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto sorgente), in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni). Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà geometriche e fisico-meccaniche dei terreni.

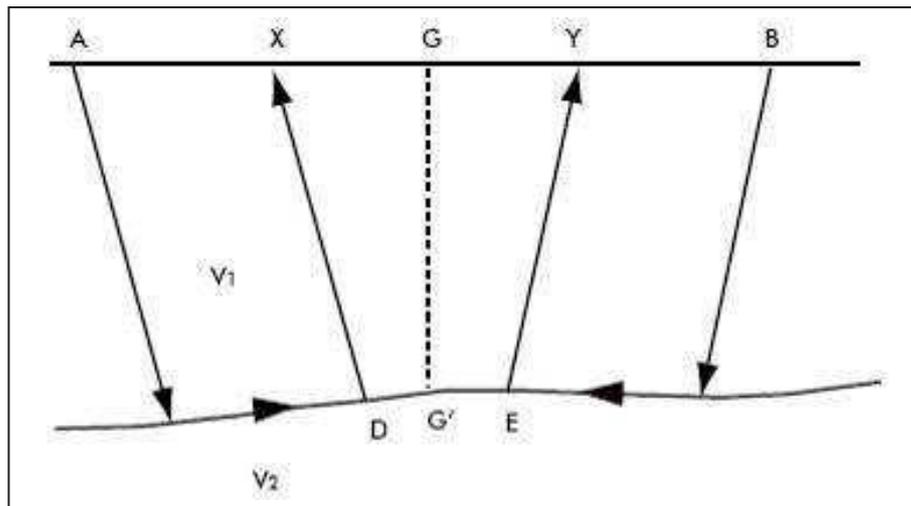
Mediante questo tipo di indagine si può risalire alla composizione litologica di massima dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità in cui si trova la roccia di fondo (“bedrock”).

L'unica condizione per eseguire studi di sismica a rifrazione è che la successione rocciosa da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità.



Normalmente il sottosuolo è caratterizzato da strati piano-paralleli con velocità crescente all'aumentare della profondità. In contesti più complessi (inversioni di velocità o presenza di corpi non stratificati) bisogna tener conto del modello tridimensionale del sottosuolo ed intervenire con indagini più specifiche (misure sismiche in foro), per non incorrere in errori interpretativi.

Il metodo di elaborazione utilizzato nel corso delle analisi dei dati a rifrazione è stato il Generalized Reciprocal Method (GRM: Palmer - 1980). L'analisi GRM (metodo reciproco generalizzato) si basa sulla determinazione del tempo di tragitto delle onde sismiche tra due geofoni separati da una distanza variabile XY ottimale per la quale i segmenti dei raggi che viaggiano verso l'alto e arrivano a ciascun geofono, emergano quasi dallo stesso punto del riflettore (G'). Ciò permette di valutare tutte le eventuali variazioni laterali di velocità del rifrattore, e quindi di ricostruire anche morfologie complesse.



Successivamente, con l'ausilio del software "Rayfract" della Intelligent Resources Inc., si è proceduti all'analisi del sottosuolo in tomografia sismica. Il software, utilizzando i tempi d'arrivo delle onde lette sui sismogrammi sperimentali, permette di eseguire delle ottimizzazioni del modello di velocità. Tali interpretazioni danno modo di rappresentare le velocità sismiche sia secondo sismostrati e sia secondo un'imaging bidimensionale a colori.

#### 4.2 Attrezzature e tecniche operative

Per il profilo eseguito sono state utilizzate le seguenti attrezzature:

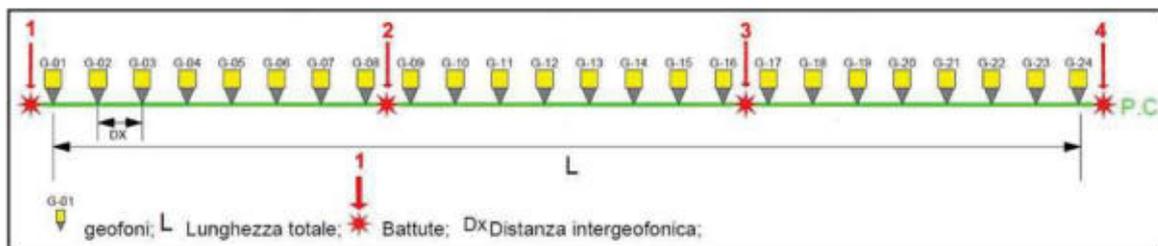
- Un sismografo DAQ LINK – III a 24 bit della “Seismic Source Co” con intervallo minimo di campionamento di 0.0208 ms e altissima risoluzione (118 db).



Strumentazione utilizzata

- Un cavo con 24 collegamenti per i geofoni;
- Ventiquattro geofoni a componente verticale con frequenza di 14 Hz;
- Un piattello in alluminio;
- Un martello di 8 Kg dotato di trigger;

Di seguito è mostrato lo schema geometrico di acquisizione:



Sorgente	Lunghezza (metri)	Distanza geofonica (metri)	Numero scoppi
Martello	25	1.0	5

Il picking delle onde sismiche è stato effettuato sui sismogrammi sperimentali (vedi allegato) mediante il software TomTime della Geotom, LCC, dopo un opportuno filtraggio delle tracce. I primi arrivi sono riportati nei diagrammi tempo-distanza “dromocrone” (vedi allegato).

### 4.3 Risultati

L'elaborazione dei dati ha permesso di ottenere la tomografia sismica del sottosuolo associabile a **roccia carbonatica fratturata, più alterata in superficie** con  $V_p=2000$  m/s e  $V_s=990$  m/s. Al disopra della roccia è presente una copertura discontinua di terreni di riporto con pezzame calcareo,

Nella tabella che segue sono mostrati tutti i valori delle velocità sismiche, il coefficiente di Poisson ed i valori dei moduli dinamici E (di Young), G (di taglio) e K (di compressibilità), espressi in  $Kg/cm^2$ .

Questi valori sono calcolati utilizzando un peso di volume unitario "orientativo" per la roccia presente in sito.

$V_p$	$V_s$	$\nu$	$\gamma$	E	G	K
2000	990	0.34	2.10	56190	21002	57711

$V_p$  = velocità onde longitudinali in m/s

$V_s$  = velocità onde trasversali in m/s

$\nu$  = coefficiente di Poisson

$\gamma$  = peso di volume in  $g/cm^3$

E = modulo dinamico di Young in  $Kg/cm^2$

G = modulo dinamico di taglio in  $Kg/cm^2$

K = modulo dinamico di compressibilità in  $Kg/cm^2$

Le velocità  $V_s$  sono state ricavate dai valori medi scaturiti dall'indagine MASW mentre i parametri dinamici sono stati calcolati con le seguenti formule:

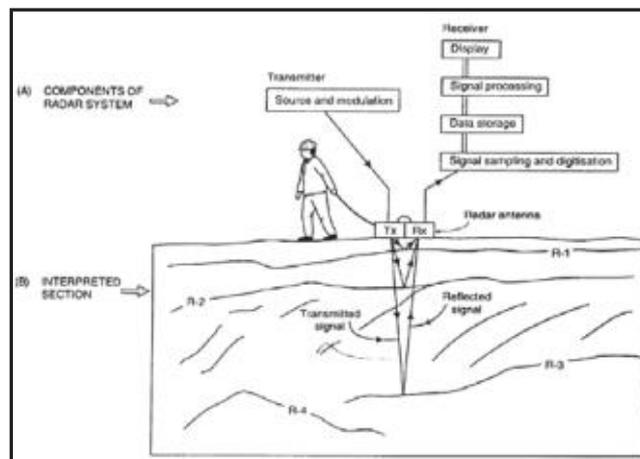
$$\nu = \frac{0.5(V_p/V_s)^2 - 1}{(V_p/V_s)^2 - 1} \quad K = \gamma[V_p^2 - 4/3V_s^2] \quad G = \frac{V_s^2}{g} \cdot \gamma$$

$$E = V_s^2 \cdot \gamma[(3V_p^2 - 4V_s^2)/(V_p^2 - V_s^2)]$$

## 5 INDAGINE GEORADAR

### 5.1 Metodologia Georadar

Il georadar (noto in campo internazionale con il termine anglosassone di Ground Penetrating o Probing Radar – GPR), operativamente, consiste nell'invio nel terreno di impulsi elettromagnetici ad alta frequenza (10-3000 MHz) e nella misura del tempo impiegato dal segnale emesso dall'antenna trasmittente a ritornare a quella ricevente, dopo essere stato riflesso e/o diffratto da eventuali discontinuità presenti nel materiale investigato (Fig.1). Il tempo di andata e ritorno (TWT), espresso in nanosecondi – ns, permette di misurare la distanza in tempi tra le antenne ed il “bersaglio”; tale distanza può essere trasformata in profondità (metri) nel sottosuolo qualora si possa misurare la velocità di propagazione degli impulsi nel mezzo investigato.



Schema indagine georadar

L'attenuazione di questi impulsi nel sottosuolo è correlata a due elementi: la presenza di umidità nel terreno e la frequenza scelta. Per quanto riguarda la presenza di umidità, un livello elevato di acqua nel terreno può rischiare di non far penetrare (o penetrare solo parzialmente) il segnale elettromagnetico, rendendo il terreno molto conduttivo.

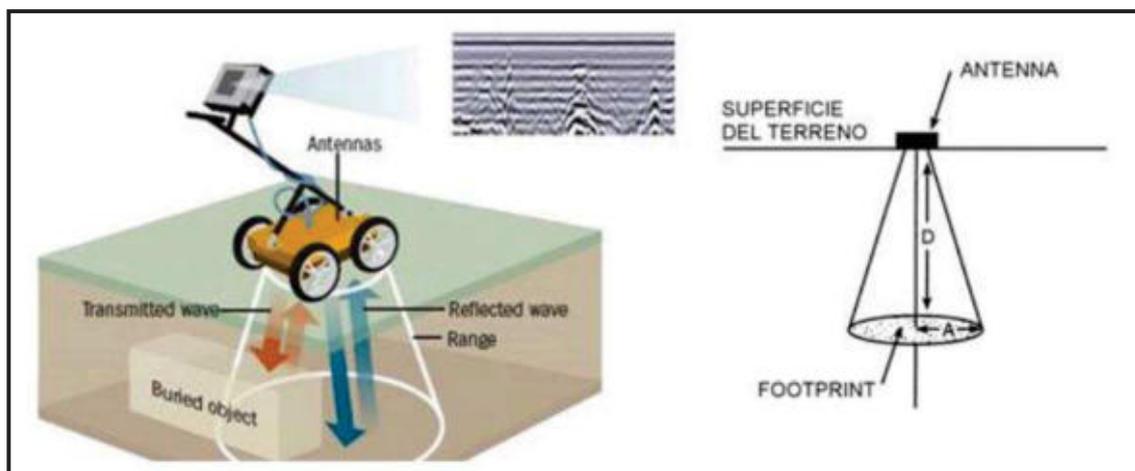
La scelta della frequenza da utilizzare dipende dal fatto che il trasmettitore è collegato ad un'antenna (Tx) che produce un impulso elettromagnetico molto breve (dell'ordine di 1 – 10 ns). La durata dell'impulso prescelto è, a sua volta, legata alla frequenza dell'antenna utilizzata ed alla risoluzione verticale richiesta, ovvero la capacità di distinguere fra due strati o oggetti vicini tra di loro. In altre parole, più è alta la frequenza dell'antenna, più corto è l'impulso, il che si

traduce in una bassa penetrazione del segnale (poiché l'attenuazione dipende anche dalla frequenza) ed in una più elevata risoluzione verticale.

La strumentazione GPR si presenta con due possibili configurazioni: la cosiddetta configurazione bistatica, nella quale l'antenna trasmittente è fisicamente separata da quella ricevente; e la configurazione monostatica nella quale l'antenna trasmittente e ricevente coincidono.

La rappresentazione grafica dei dati georadar è un passo fondamentale per la comprensione e l'interpretazione dei risultati. Tali risultati riportano radargrammi (o stratigrafie) del sottosuolo in scala di grigi ed i moderni software permettono una risoluzione visiva ed una definizione molto alte. Inoltre, se le acquisizioni hanno previsto profili paralleli all'interno di un grigliato, si possono ottenere e, quindi, visualizzare mappe (time slices) della zona investigata che rappresentano, a varie profondità, non solo le geometrie degli oggetti sepolti ma anche le dimensioni, utilizzando normalmente un algoritmo di involuppo medio, noto anche come average envelope amplitude.

Per interpretare correttamente un radargramma, è necessario sapere come la sezione è stata acquisita. L'impulso trasmesso dall'antenna radar non si propaga nel terreno o nel materiale in maniera puntuale come un laser, bensì si comporta come un cosiddetto cono di radiazione (fig.2), "illuminando" il bersaglio sepolto anche prima di trovarsi perpendicolarmente al di sopra del target stesso (come una lampada accesa nel buio di una stanza). Il diametro di questo cono aumenta all'aumentare della profondità d'indagine del segnale georadar. Inoltre, le sue dimensioni dipendono anche dalle condizioni della superficie di acquisizione e dalla frequenza delle antenne impiegate (per esempio, alte frequenze restringono il diametro del cono).

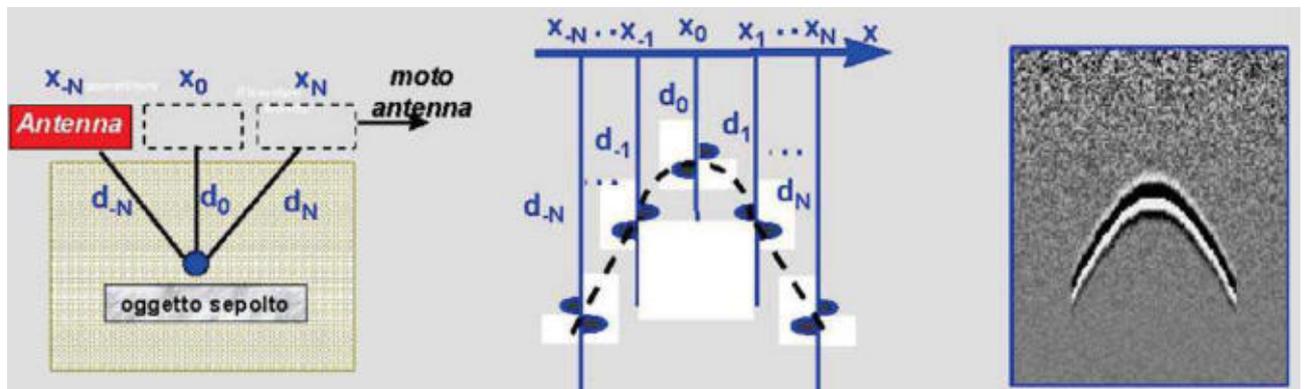


La presenza nel sottosuolo di un vuoto o di un qualsiasi oggetto, con costante dielettrica differente dal mezzo inglobante, produce una caratteristica risposta elettromagnetica: l'iperbole

di diffrazione. L'anomalia iperbolica deriva dalla riflessione del punto-sorgente (target sepolto) e si verifica, come abbiamo visto, perché l'energia è emessa sotto forma di cono che 'illumina' una porzione più ampia del target stesso. Di conseguenza, il segnale viene riflesso non solo dal bersaglio direttamente perpendicolare al di sotto delle antenne, ma anche poco prima e poco dopo, grazie anche alla trasmissione di onde oblique. Solo l'apice dell'iperbole corrisponde alla posizione reale della sorgente.

#### Generazione iperbole

La risoluzione massima orizzontale è circa l'impronta (footprint) del cono di radiazione (o area di illuminazione). Il tempo di andata e ritorno del segnale, e di conseguenza la stima delle



profondità, può essere calcolato mediante la cosiddetta calibrazione delle code iperboliche derivanti da una anomalia.

È importante sottolineare, però, che è possibile determinare la profondità di un target solo se la velocità di penetrazione del segnale nel materiale/materiali è nota.

Con l'eccezione dei materiali conduttori sepolti (ad esempio, il metallo, che ha un'alta conducibilità e permittività magnetica), le onde elettromagnetiche passano attraverso il target sepolto continuando la loro penetrazione e producendo differenti riflessioni a differenti profondità. In alcuni casi, tale effetto permette di stimare non solo la profondità della parte superiore (top) dell'oggetto ma anche le sue dimensioni verticali (ad esempio, in presenza di un tunnel sotterraneo è possibile individuare non solo il top del tunnel ma anche il fondo dello stesso).

## 5.2 Strumentazione Georadar e metodi di acquisizione

L'indagine georadar è stata eseguita con la strumentazione "NOGGIN 250" e "NOGGIN 100" (della Sensors & Software Inc.) con frequenza rispettivamente da 250 e 100 MHz.

Tali frequenze risultano le più idonee per lo scopo dell'indagine, infatti il sistema a frequenza di 250 MHz assicura una profondità di indagine di 3-4 metri con ottima definizione, mentre la frequenza più bassa può garantire una sufficiente penetrazione (8-9 metri), a discapito della risoluzione.



Category	NOGGIN® 250
Size	63 x 41 x 23 cm (25 x 16 x 9 in)
Weight	7.3 kg (12.5 lbs)
Center Frequency	250 MHz
-6dB Bandwidth	125 - 375 MHz
Shielding Front to Back	>20dB
Maximum Time Window*	2,000 ns @ 0.4 ns/pt
Maximum Depth Setting*	100m (328 ft)
Power Consumption	400 mA @ 12V

Sistema radar a 250 MHz e relative specifiche tecniche



Category	NOGGIN® 100
Size	91 x 76 x 17 cm (36 x 30 x 6.5 in)
Weight	9.5 kg (21 lbs)
Center Frequency	100 MHz
-6dB Bandwidth	50 - 150 MHz
Shielding Front to Back	ground coupled focusing
Maximum Time Window*	4,000 ns @ 0.8 ns/pt
Maximum Depth Setting*	200m (656 ft)
Power Consumption	400 mA @ 12V

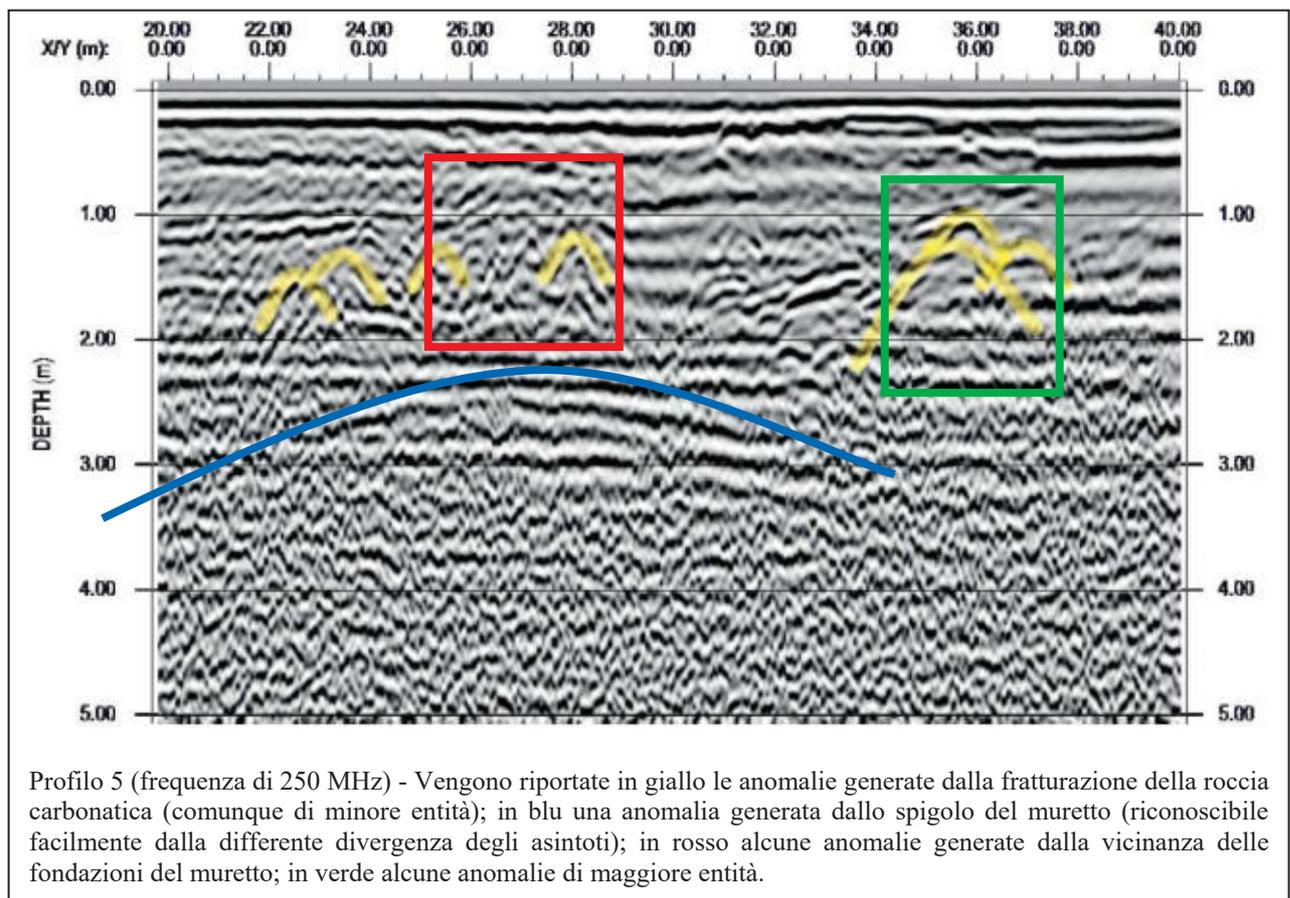
Sistema radar a 100 MHz e relative specifiche tecniche

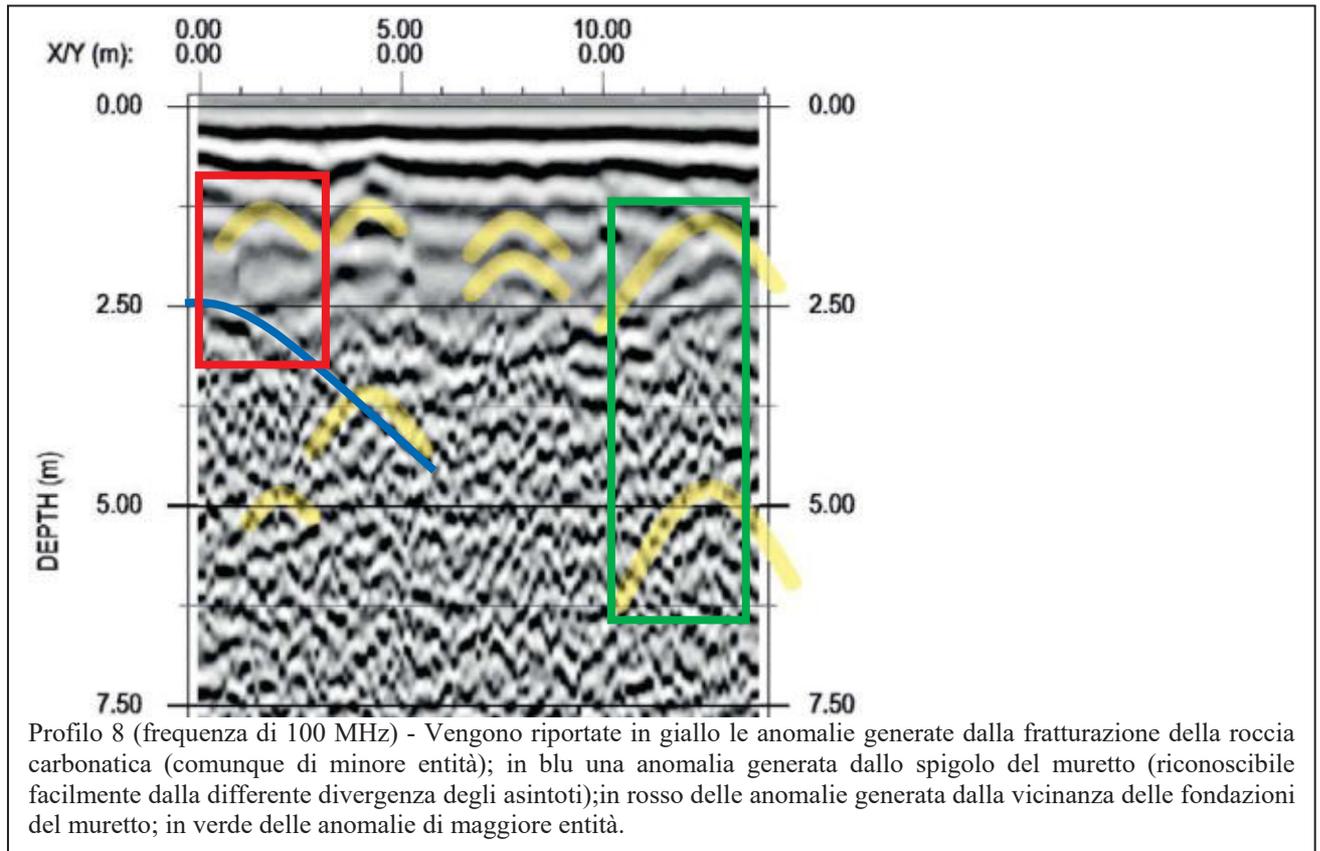
### 5.3 Elaborazione dei segnali radar

L'indagine georadar in contesti antropizzati risulta affetta da fonti di disturbo che, generalmente, ne rendono più difficoltosa l'interpretazione. Essi sono rappresentati da:

- Disomogeneità dei terreni superficiali presenti nel sottosuolo;
- Presenza di ostacoli laterali quali pareti, spazi confinati, cancelli, ostacoli ferrosi, ecc.;
- Umidità all'interno dei terreni e/o terreni molto conduttivi.

In questa indagine le anomalie di "disturbo" sono state causate, principalmente, da segnali propagatisi in aria, dai segnali riflessi dalle pareti e dalle disomogeneità dei terreni di riporto. Di seguito vengono riportati alcuni profili dove sono presenti alcune anomalie di "disturbo".





Tutti i segnali di “disturbo” non sono stati presi in considerazione: L’analisi è stata focalizzata solo nel riconoscere i segnali sub-orizzontali ed i segnali iperbolici scaturiti da anomalie presenti nel sottosuolo.

Ai fini interpretativi la velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche è stata valutata attraverso l’analisi dei segnali iperbolici presenti sulle sezioni tempo.

I radargrammi acquisiti sono riportati negli allegati con riferimento alle profondità/distanze, ottenute dalla conversione spazio/tempo operando con velocità variabili tra 10 cm/nanosecondo ricavata dall’analisi di velocità effettuata. Questi sono stati visualizzati in finestre profonde 5 metri per i radargrammi a frequenza di 250 MHz e di 10 metri per i radargrammi a frequenza di 100 MHz.

Il processing dei dati è stato effettuato con software "GRADIX" della INTERPEX Ltd; esso è consistito nelle seguenti operazioni:

- Allineamento delle tracce “drift removal”;
- Livellamento delle tracce in funzione del tempo zero “Time zero shift”;
- Filtraggio “Dewow”;
- Filtraggio “Pass band”;
- Mix trace;
- Depth conversion.

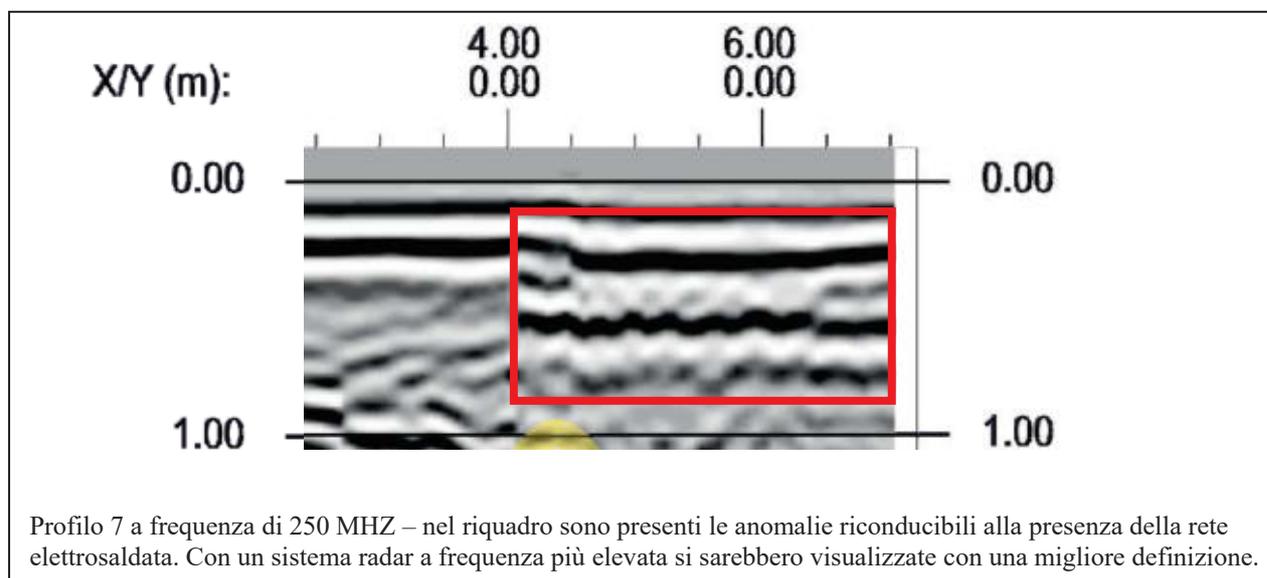
#### 7.4 Analisi dei risultati

L'analisi di tutti i **radargrammi** ha messo in evidenza numerose anomalie radar. In prima fase si è cercato di distinguere le anomalie riconducibili, con molta probabilità, a disturbi e quindi non sono stati presi in considerazione (paragrafo precedente).

Tutte le anomalie sono state evidenziate sui radargrammi allegati e riportate in pianta nella tavola "Ubicazione profili e anomalie radar", con le relative profondità di rinvenimento.

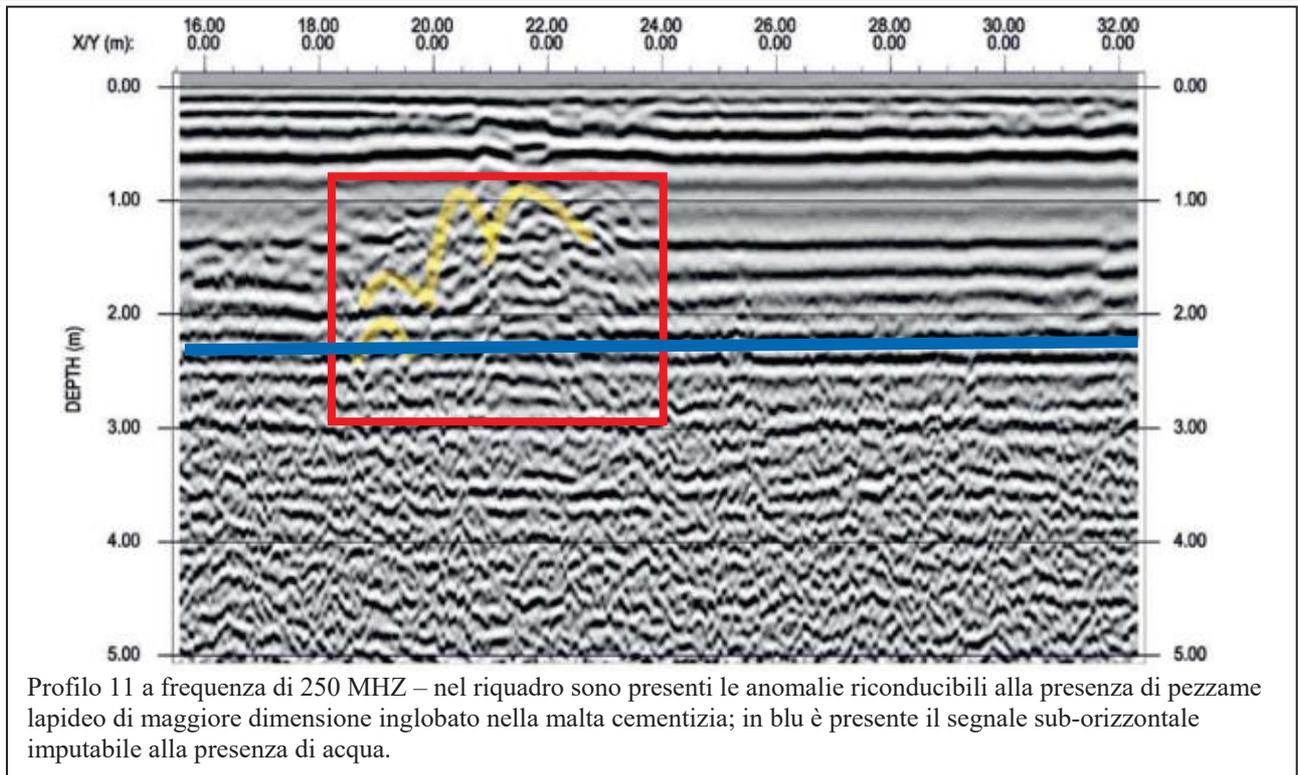
Di seguito vengono descritte le differenti tipologie di anomalie rinvenute.

In corrispondenza del profilo 7, solo alla frequenza di 250 MHz, è stato rinvenuto una zona con dei segnali iperbolici ravvicinati tra loro, a piccola profondità. Questi sono associabili sicuramente ad una rete metallica elettrosaldata. Di seguito si riporta tale profilo.

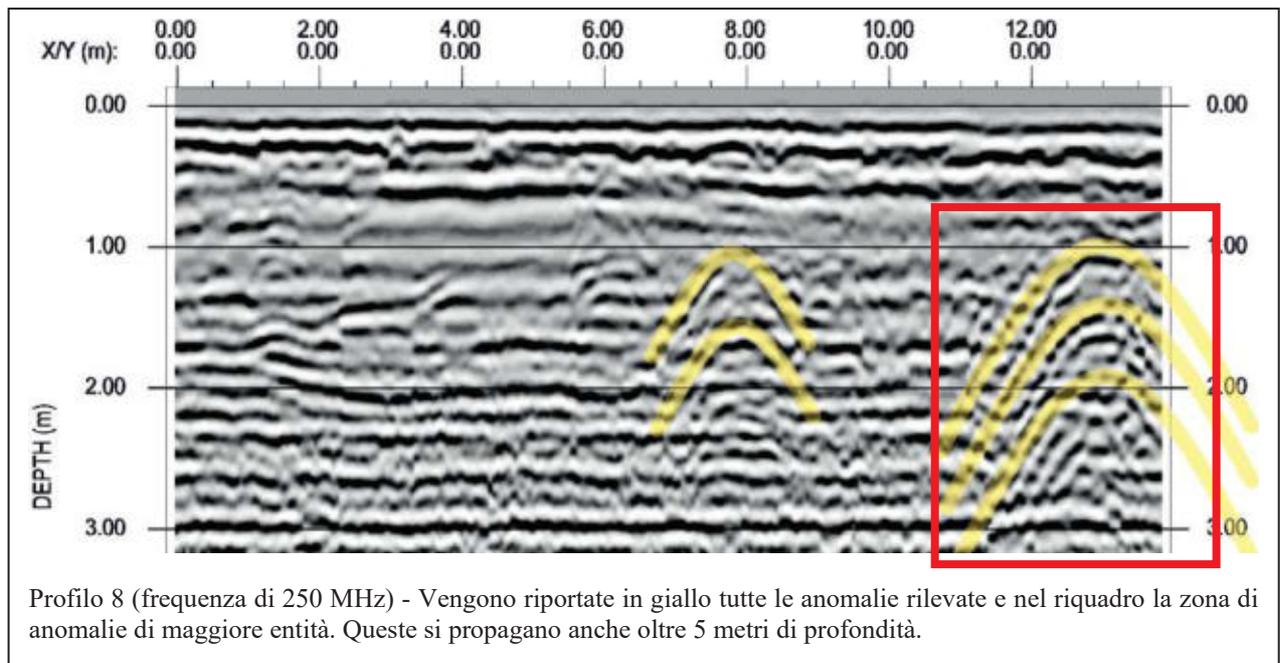


Questa zona è stata perimetrata sulla carta delle anomalie radar ma si potrebbe supporre che la rete elettrosaldata sia presente su tutta l'area pedonabile della rotatoria.

Sono stati rinvenuti dei segnali iperbolici sui profili 11, 12, 13 e 14, eseguiti sul massetto di cemento. Questi segnali potrebbero essere correlati a riempimenti di pezzame con dimensioni grossolane presenti nella malta cementizia. Sono stati rilevati dei segnali radar riflessi sub-orizzontali presenti su tutti i profili effettuati nell'area ove presente il massetto di cemento, a poco oltre di due metri di profondità. Questi sicuramente sono correlabili o alla presenza dell'acqua o alle fasi di posa del cemento, la prima ipotesi è la più realistica. Non sono stati rilevati segnali radar imputabili ai tondini in ferro dell'armatura del cemento. Di seguito viene riportato il profilo 11.



Tutte le altre anomalie rinvenute, riportate in pianta con le relative profondità di rinvenimento e perimetrare, sono tutte associabili a discontinuità litologiche. Le anomalie di maggiore entità sono presenti nelle zone finali dei profili 8, 9 e 10. Un'altra zona di anomalie di maggiore entità è presente sul tratto finale del profilo 1 e nel tratto iniziale del profilo 4. Di seguito si riporta, come esempio, un profilo con tali anomalie.

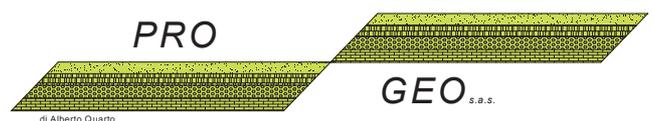


Tutte le altre anomalie rinvenute al disotto della zona di progetto potrebbero essere correlate a discontinuità della roccia carbonatica. Non si esclude la presenza di vuoti anche se di piccole dimensioni. Si consiglia di procedere con cautela durante le fasi di realizzazione delle opere, in corrispondenza delle aree perimetrare nella carta “Ubicazione profili e anomalie radar”.

Detto ciò si può concludere che l’esito dell’indagine georadar rappresenta un valido ausilio per la ricostruzione del sottosuolo e per la progettazione degli scavi da effettuare ma, in ogni caso, è da considerarsi sempre orientativa in virtù della tipologia di analisi eseguita che rientra, comunque, nel campo delle indagini “indirette”.

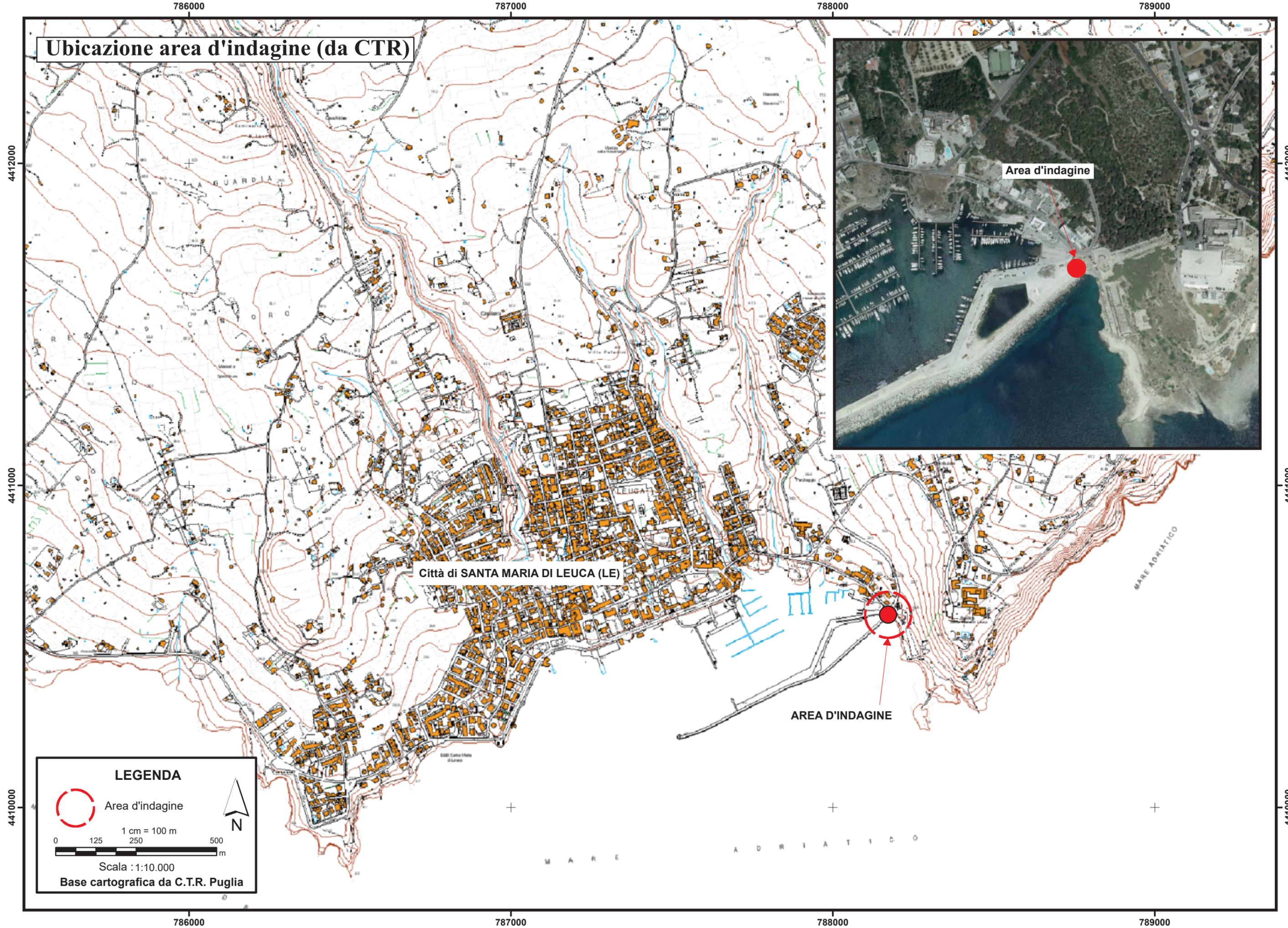
## PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI

- 
- **UBICAZIONE AREA D'INDAGINE (da CTR) scala 1:10.000 (formato foglio A3)**
  - **UBICAZIONE MISURE SISMICHE (da ORTOFOTO-CTR) scala 1:800 (formato foglio A4)**
  - **UBICAZIONE PROFILI E ANOMALIE RADAR (da CTR) scala 1:200 (formato foglio A3)**
- 



di Alberto Quano

**Ubicazione area d'indagine (da CTR)**



Città di SANTA MARIA DI LEUCA (LE)

AREA D'INDAGINE

Area d'indagine

**LEGENDA**



Area d'indagine

1 cm = 100 m



Scala : 1:10.000

Base cartografica da C.T.R. Puglia



786000

787000

788000

789000

4410000

4411000

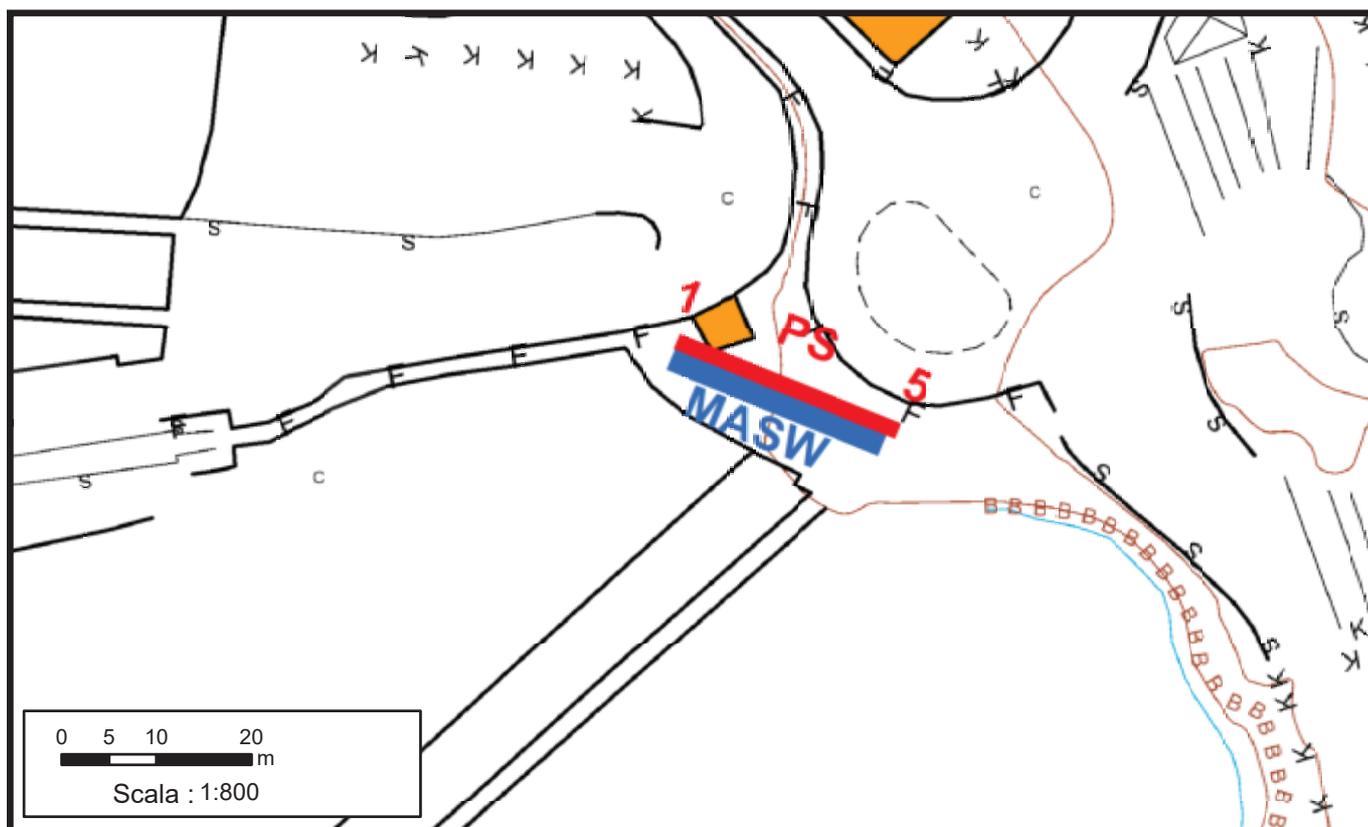
4412000

4410000

4411000

4412000

# Ubicazione misure sismiche



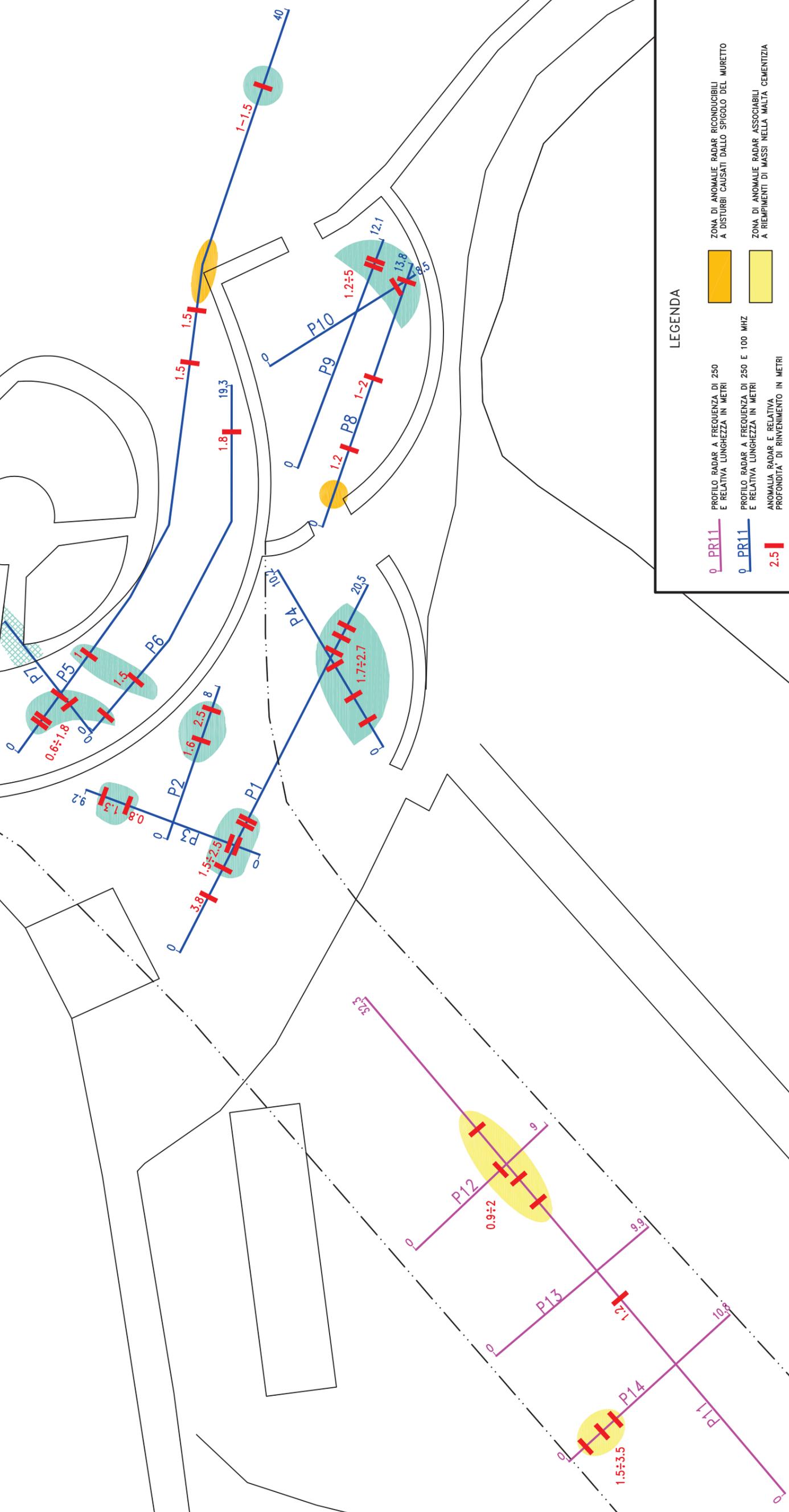
## LEGENDA

- A PS n°** Ubicazione profilo Sismico a Rifrazione (onde P)
- MASW** Ubicazione profilo Sismico Masw



Basi cartografiche da Ortofoto-C.T.R. sit Puglia.

# UBICAZIONE PROFILI E ANOMALIE RADAR



**LEGENDA**

	ZONA DI ANOMALIE RADAR RICONDUCEBILI A DISTURBI CAUSATI DALLO SPIGOLO DEL MURETTO
	ZONA DI ANOMALIE RADAR ASSOCIABILI A RIEMPIMENTI DI MASSI NELLA MALTA CEMENTIZIA
	ZONA DI ALTA CONCENTRAZIONE DI ANOMALIE RADAR CORRELABILI A FORTI DISCONTINUITA' DELLA ROCCIA CARBONATICA
	PROFILI RADAR A FREQUENZA DI 250 E RELATIVA LUNGHEZZA IN METRI
	PROFILI RADAR A FREQUENZA DI 250 E 100 MHZ E RELATIVA LUNGHEZZA IN METRI
	ANOMALIA RADAR E RELATIVA PROFONDITA' DI RINVENIMENTO IN METRI
	ZONA DI ANOMALIE RADAR RICONDUCEBILI AD UNA RETE ELETTROCALDATA IN FERRO

0 10m  
scala 1:200

## ALLEGATO "PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE "

- 
- *Sismogrammi analisi Masw metodo attivo (COMBINATO offset 4-8-12-16m)*
  - *Analisi Masw metodo attivo (COMBINATO offset 4-8-12-16m)*
  - *Sismogrammi sismica a rifrazione onde P*
  - *Dromocrone onde P*
  - *Tomografia sismica ed interpretazione sismostratigrafica*
  - *Documentazione fotografica*
- 

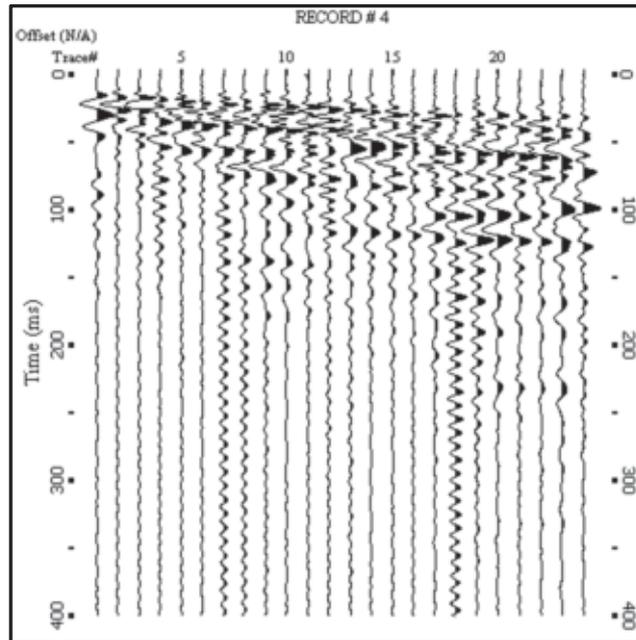
**PRO**

di Alberto Quarto

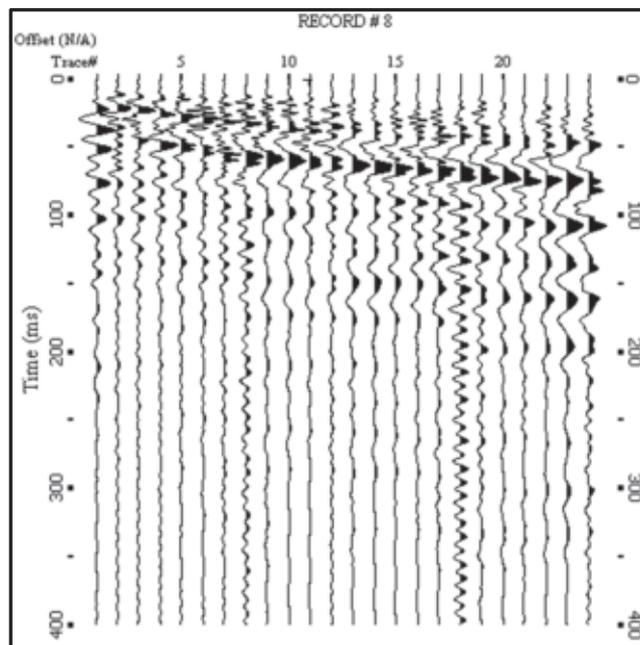
**GEO** s.a.s.

# MASW

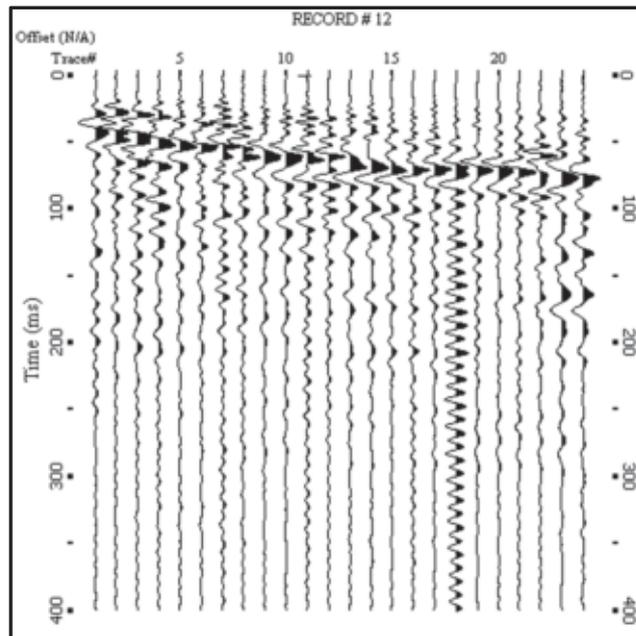
## SISMOGRAMMI ANALISI MASW METODO ATTIVO (COMBINATO)



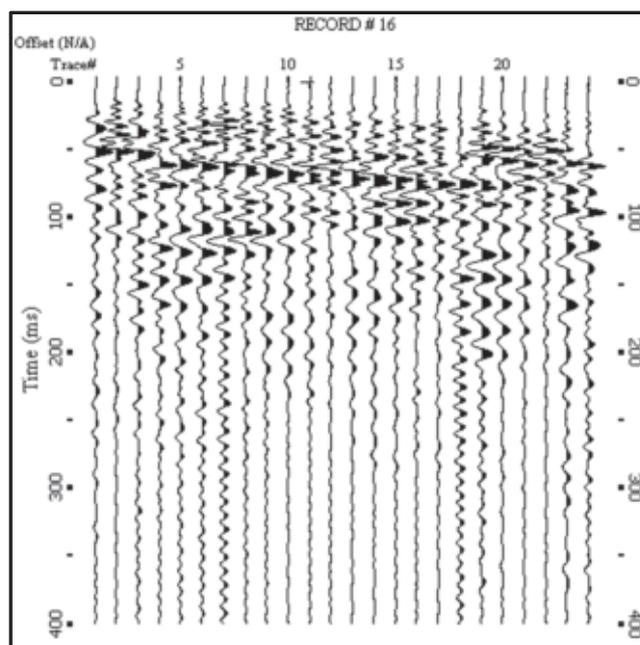
Sismogramma analisi Masw METODO ATTIVO COMBINATO – offset 4 m



Sismogramma analisi Masw METODO ATTIVO COMBINATO – offset 8 m



Sismogramma analisi Masw METODO ATTIVO COMBINATO – offset 12 m

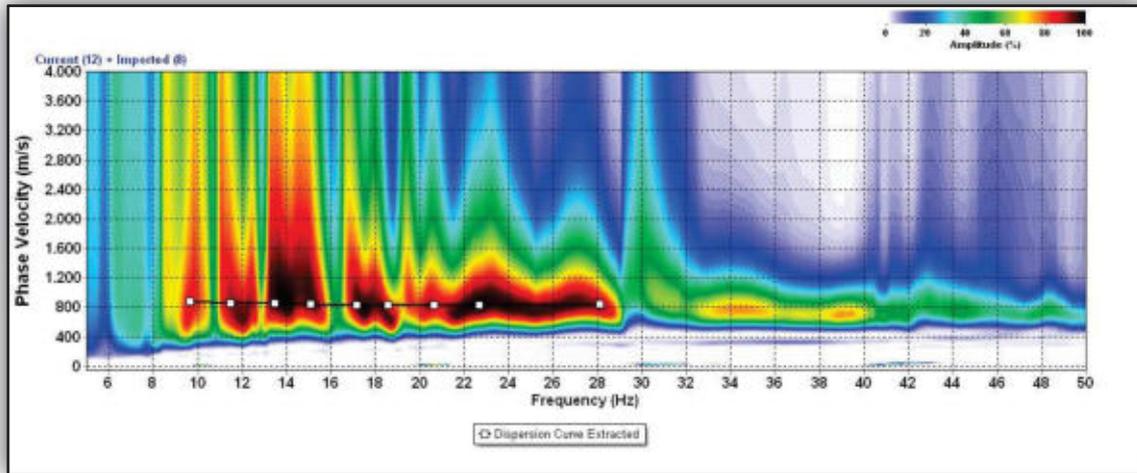


Sismogramma analisi Masw METODO ATTIVO COMBINATO – offset 16 m

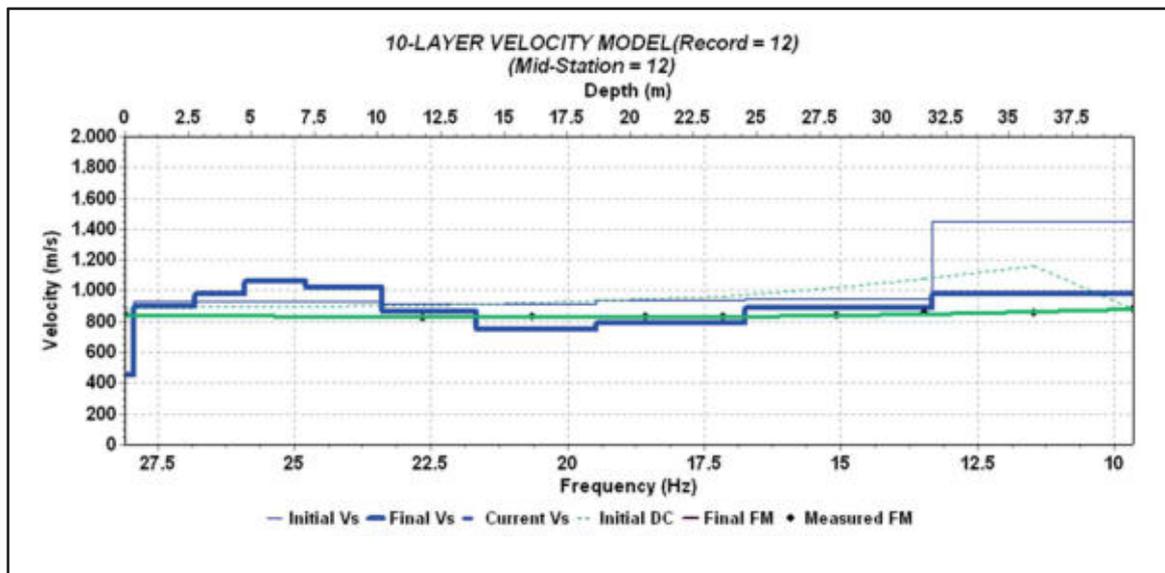
# MASW

## ANALISI MASW METODO ATTIVO (COMBINATO)

Spettro nel dominio velocità di fase/frequenza



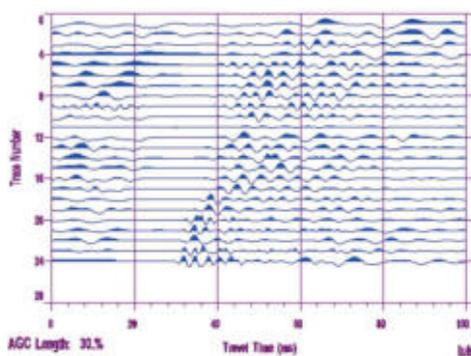
Modello di velocità (Vs) in funzione della profondità e della frequenza



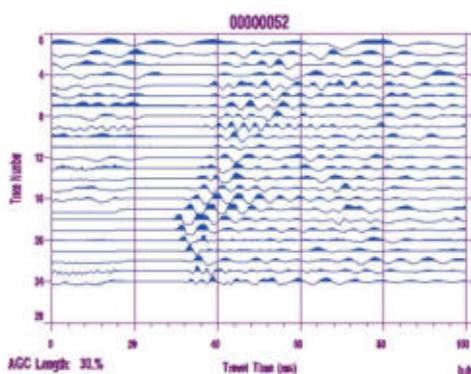
**Categoria di sottosuolo "A"**  
(NTC 2018)

# SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE LONGITUDINALI (ONDE P)

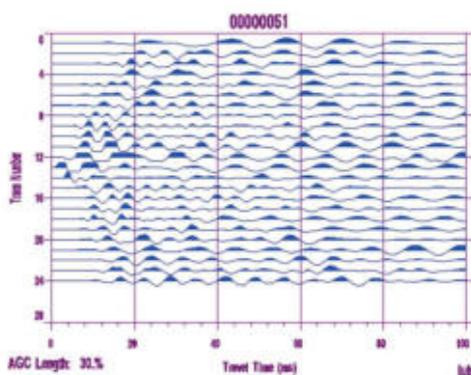
Punto sorgente "1"



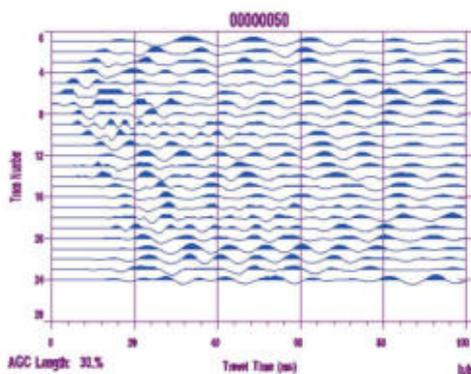
Punto sorgente "2"



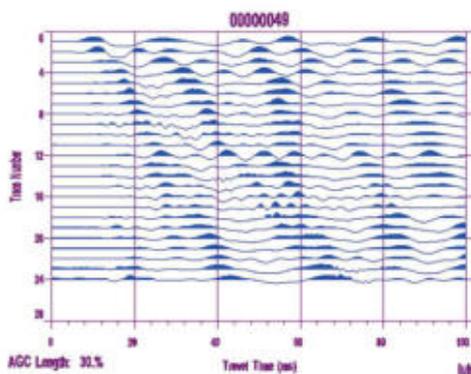
Punto sorgente "3"



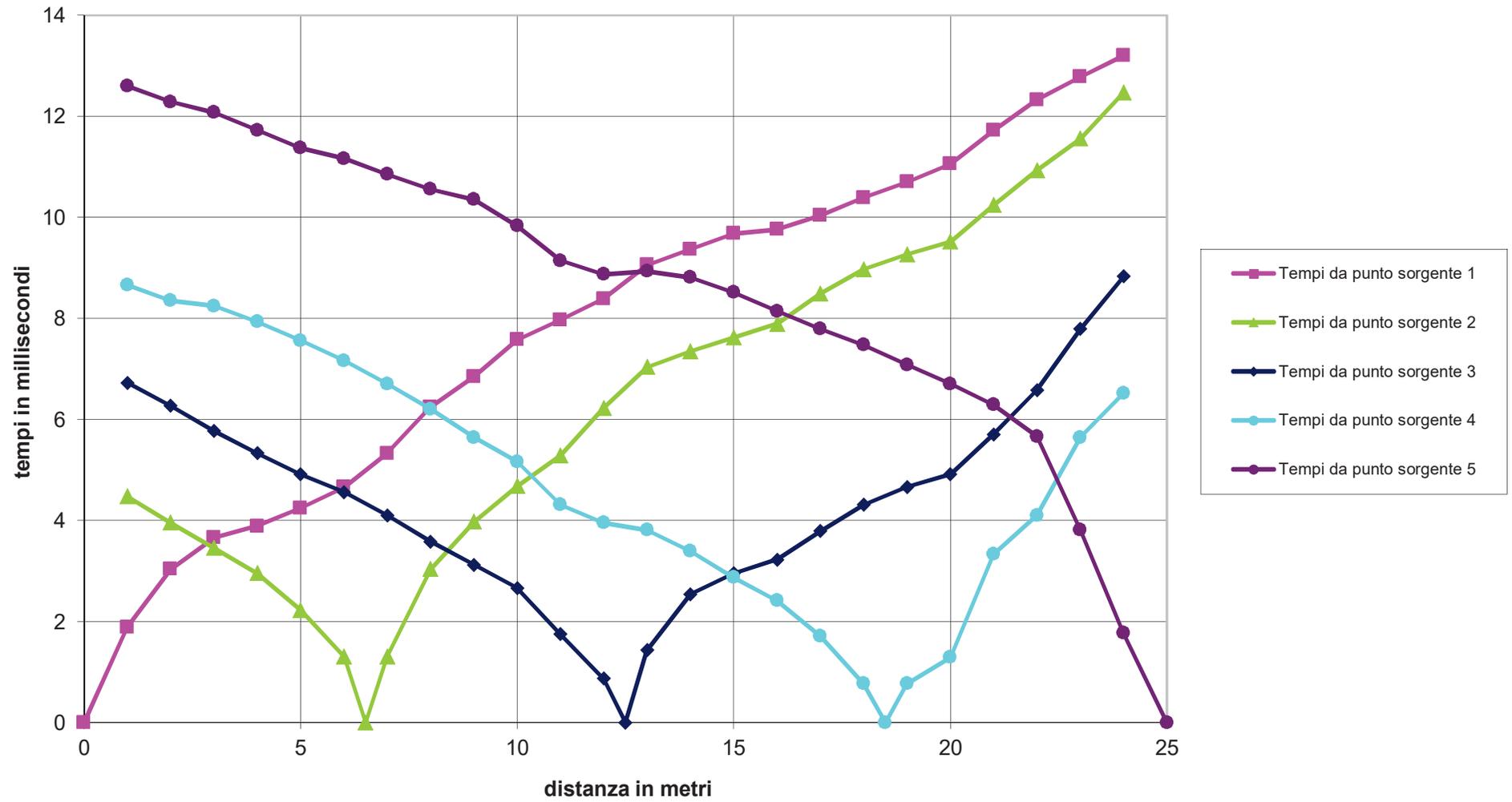
Punto sorgente "4"

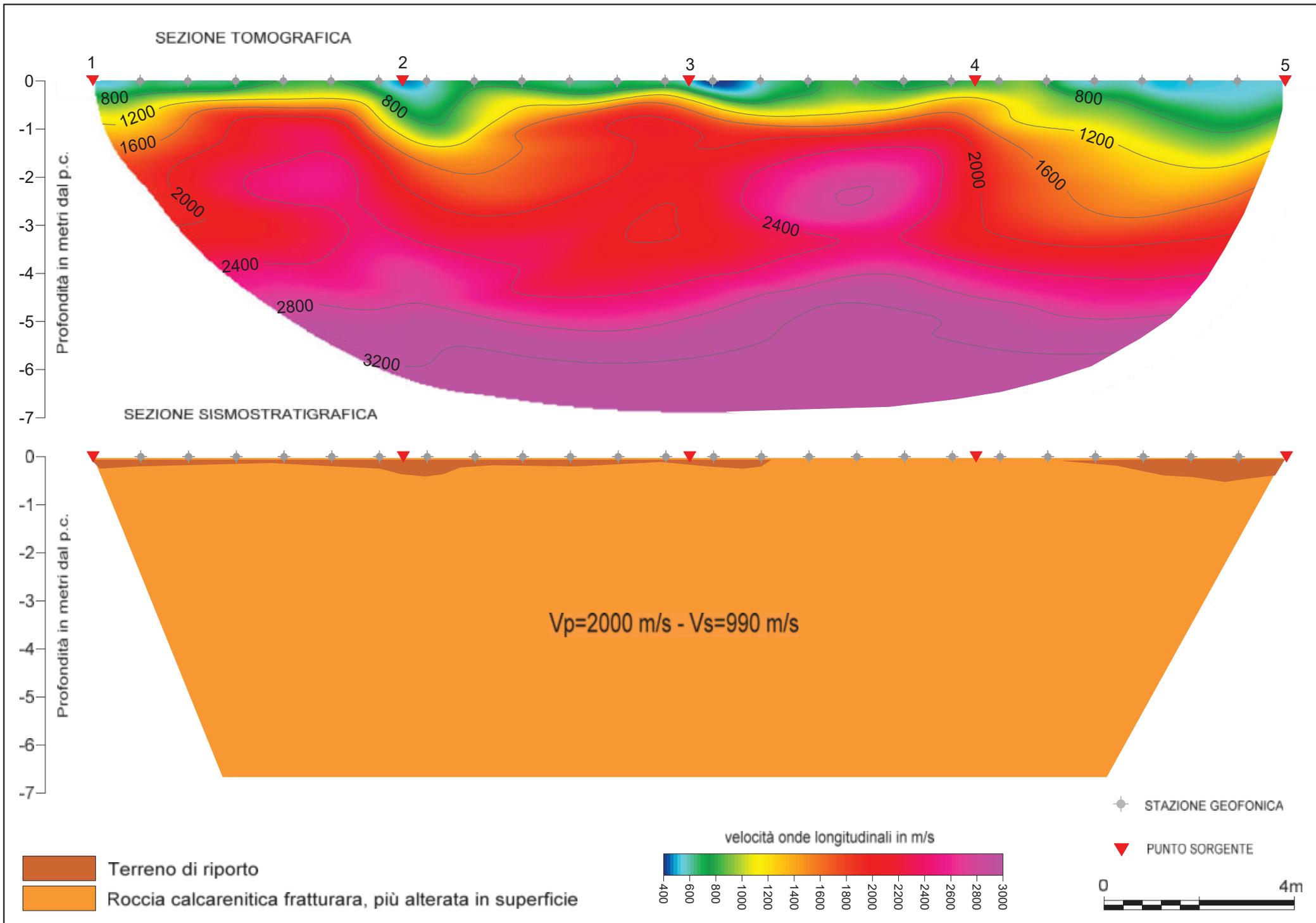


Punto sorgente "5"

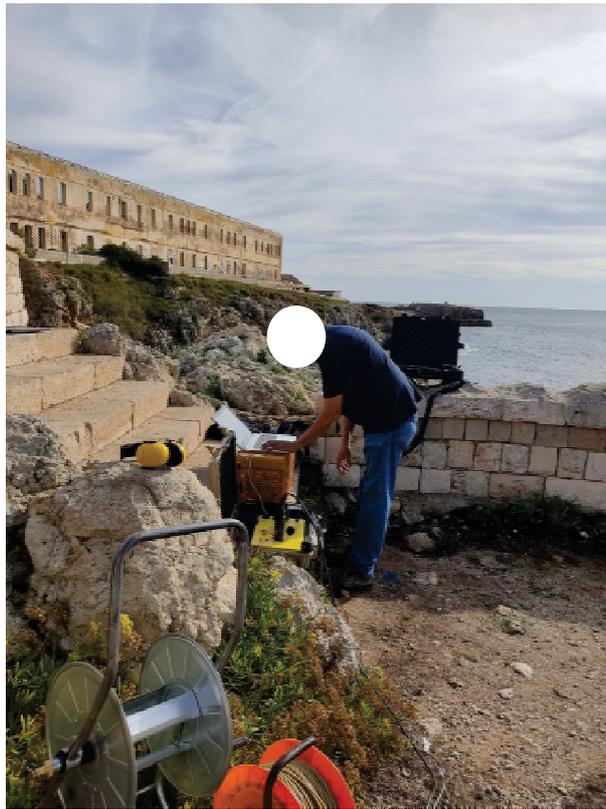


# Dromocrone profilo sismico - ONDE LONGITUDINALI





**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROFILO SISMICO**  
**INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE LONGITUDINALI (ONDE P e MASW)**



Acquisizione misure geofisiche



Energizzazione con mazza battente onde longitudinali (MASW)

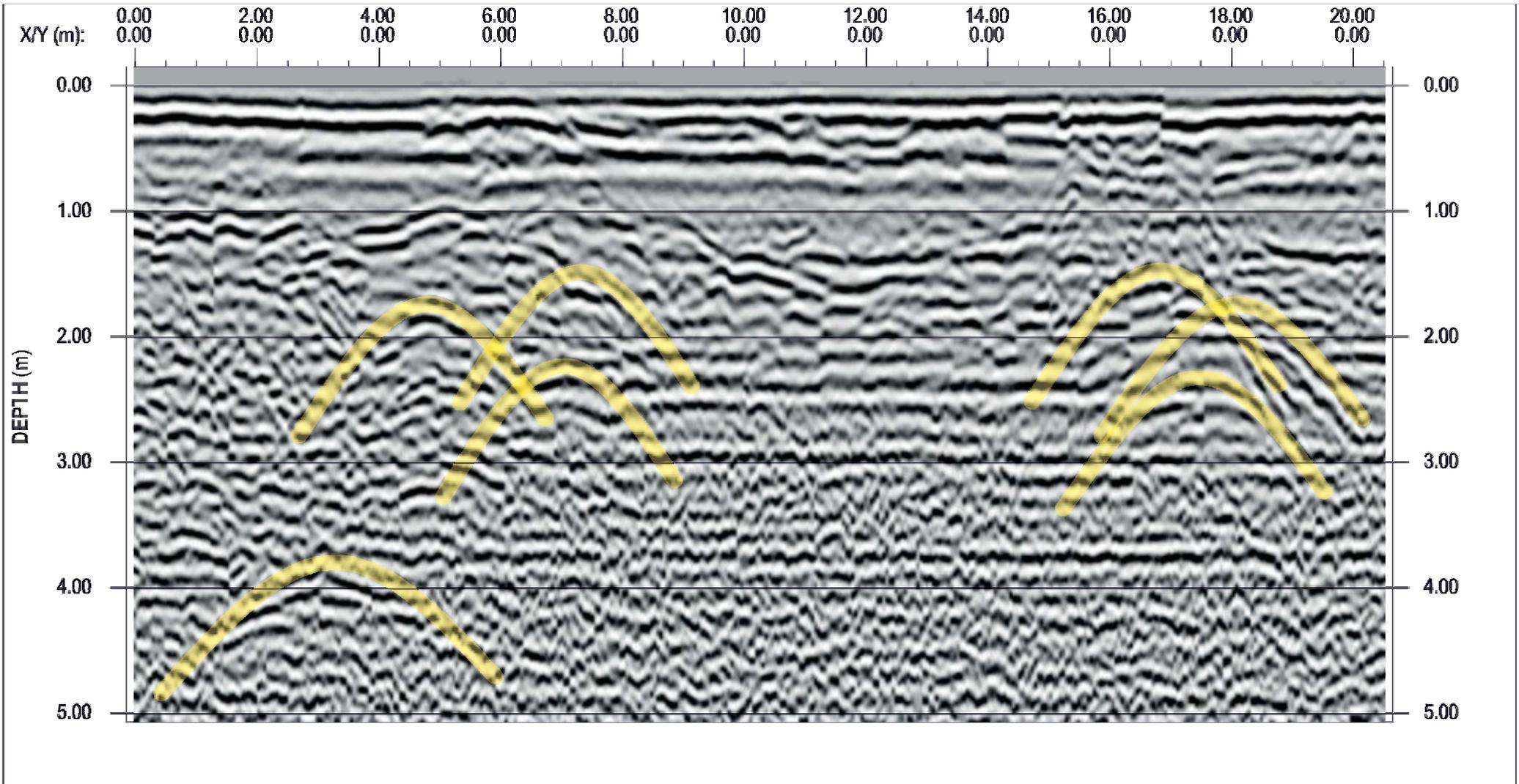


Energizzazione con mazza battente onde longitudinali (Onde P)

## **ALLEGATO "ANALISI INDAGINE RADAR"**

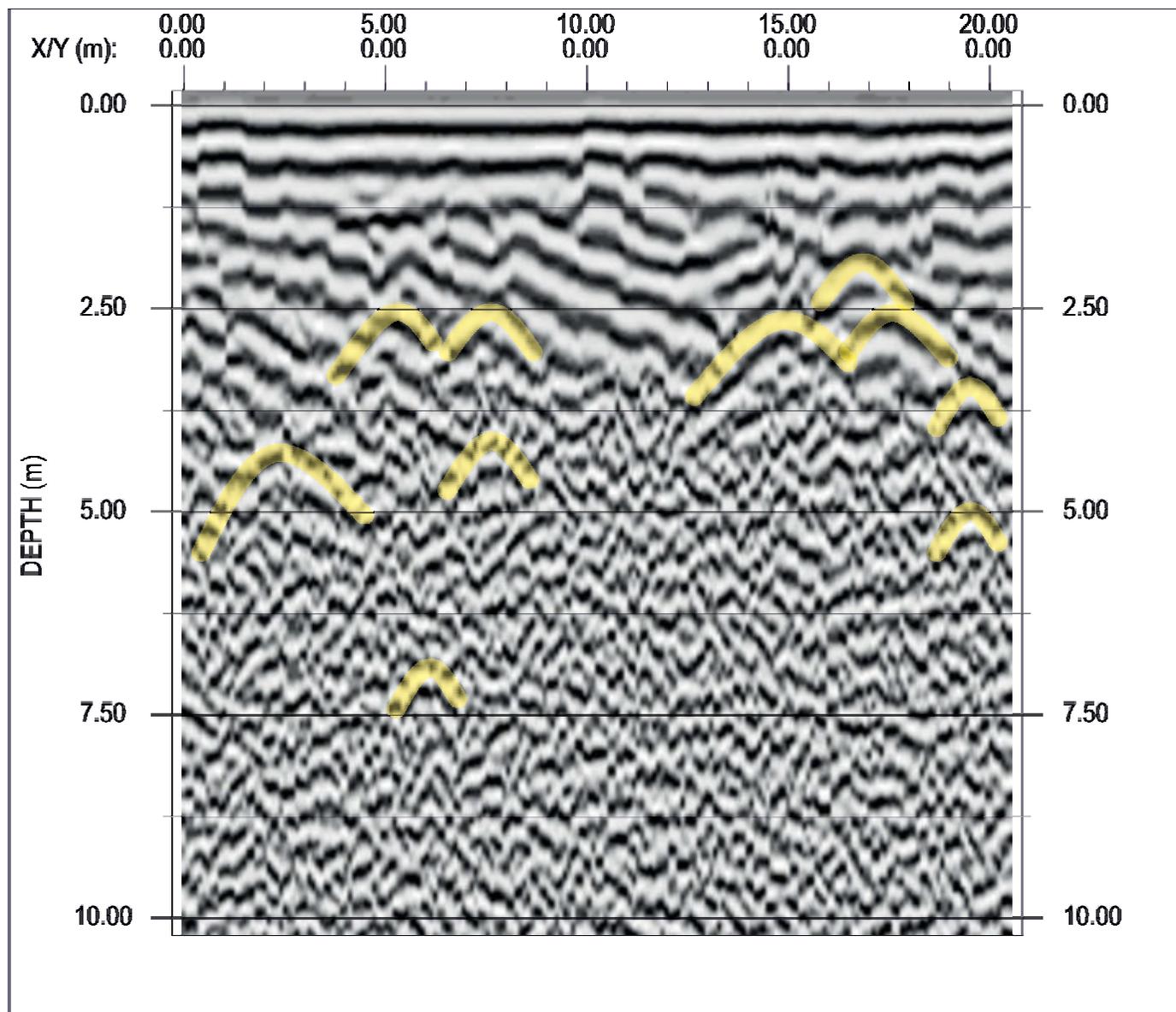
- 
- **Radargrammi**
  - **Documentazione fotografica**
-

# PROFILO 1 (frequenza di 250 MHz)



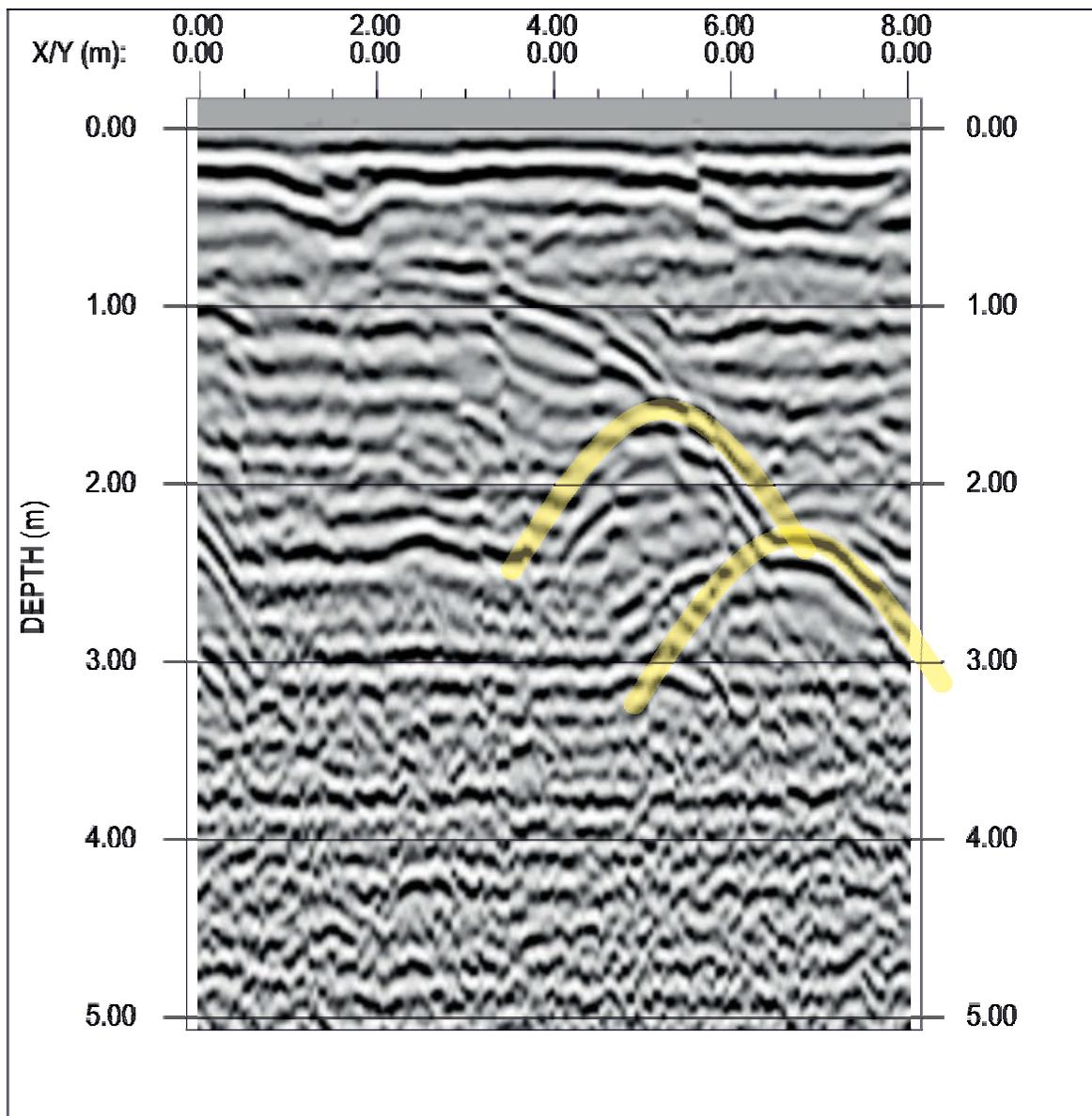
[VERSION: 07 DEPTH CONVERSION]  
[HORIZONTAL SCALE: 1:80.0]  
[SMLA]  
[LINE1]  
[GAIN: AGC - WINDOW 14 ns]  
[16-NOV-23 10:57]  
[VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1]

# PROFILO 1 (frequenza 100 MHz)



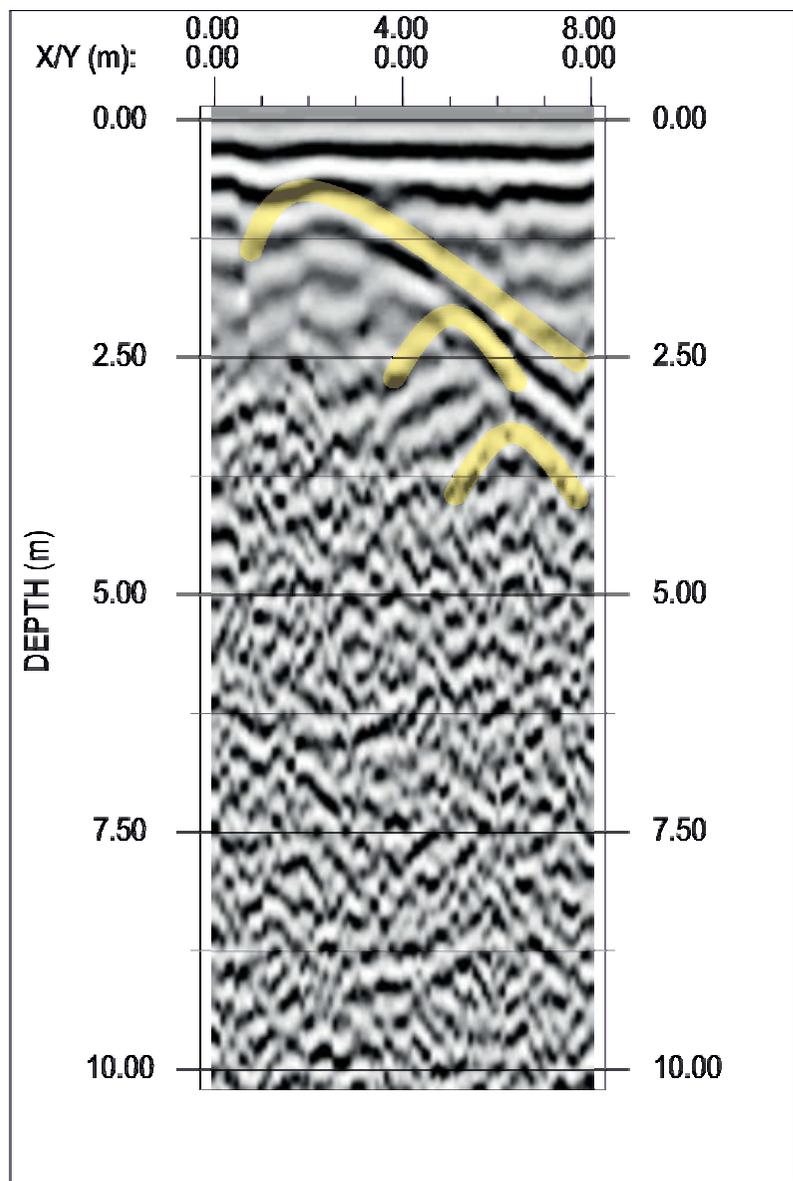
[VERSION: 08 BACKGROUND] [GAIN: AGC - WINDOW 14 ns] [SMLB] [LINE1] [20-NOV-23 09:32]  
[HORIZONTAL SCALE: 1:160.0] [VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1]

# PROFILO 2 (frequenza di 250 MHz)

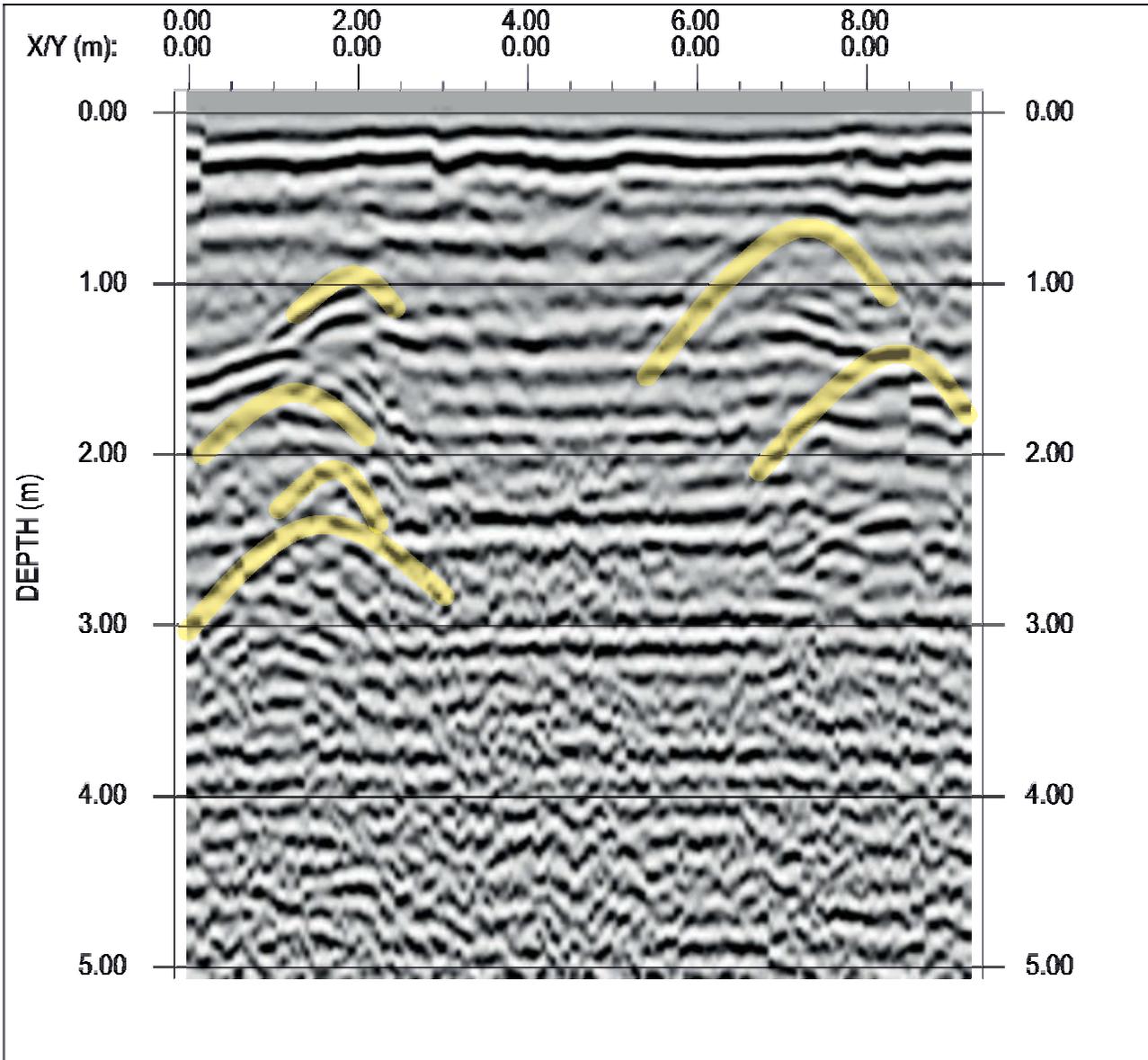


[VERSION: 07 DEPTH CONVERSION] [GAIN: AGC - WINDOW 14 ns] [16-NOV-23 11:16]  
[HORIZONTAL SCALE: 1:80.0] [SMLA] [LINE2] [VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1]

# PROFILO 2 (frequenza 100 MHz)

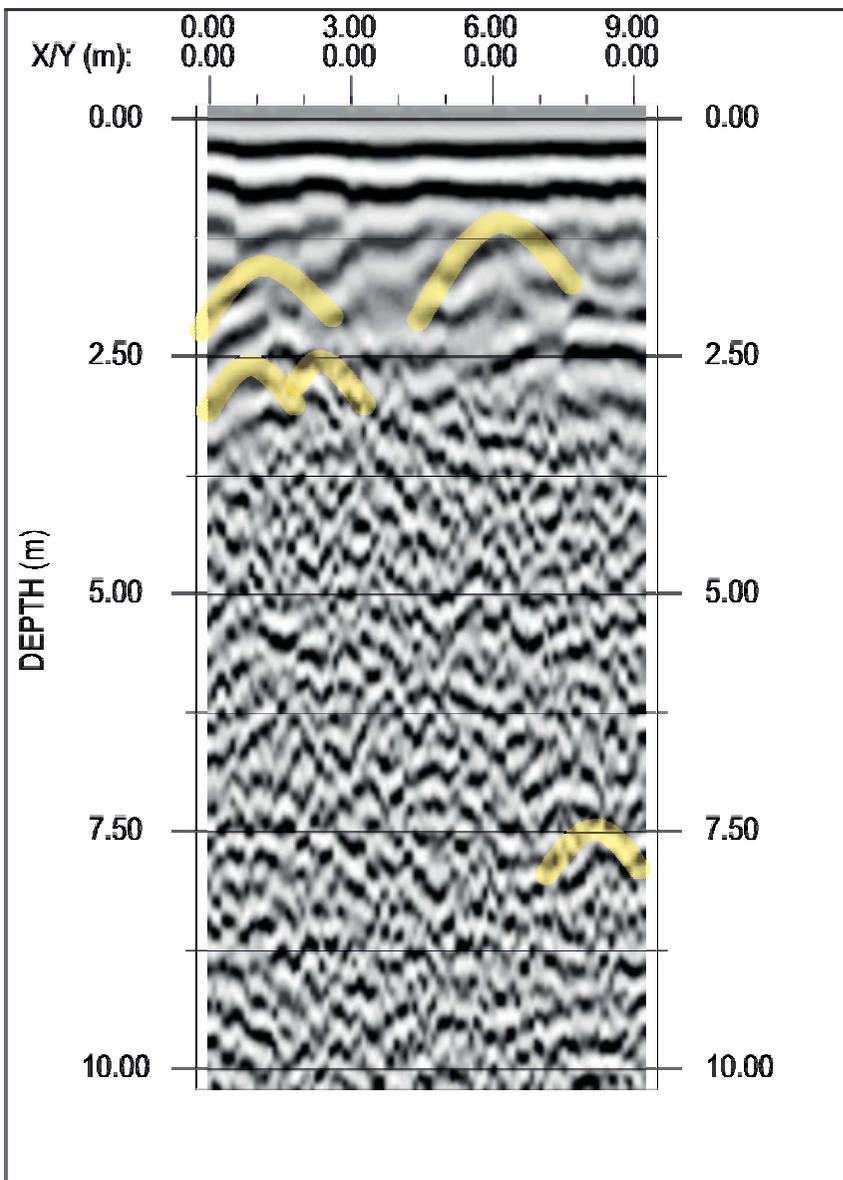


# PROFILO 3 (frequenza di 250 MHz)

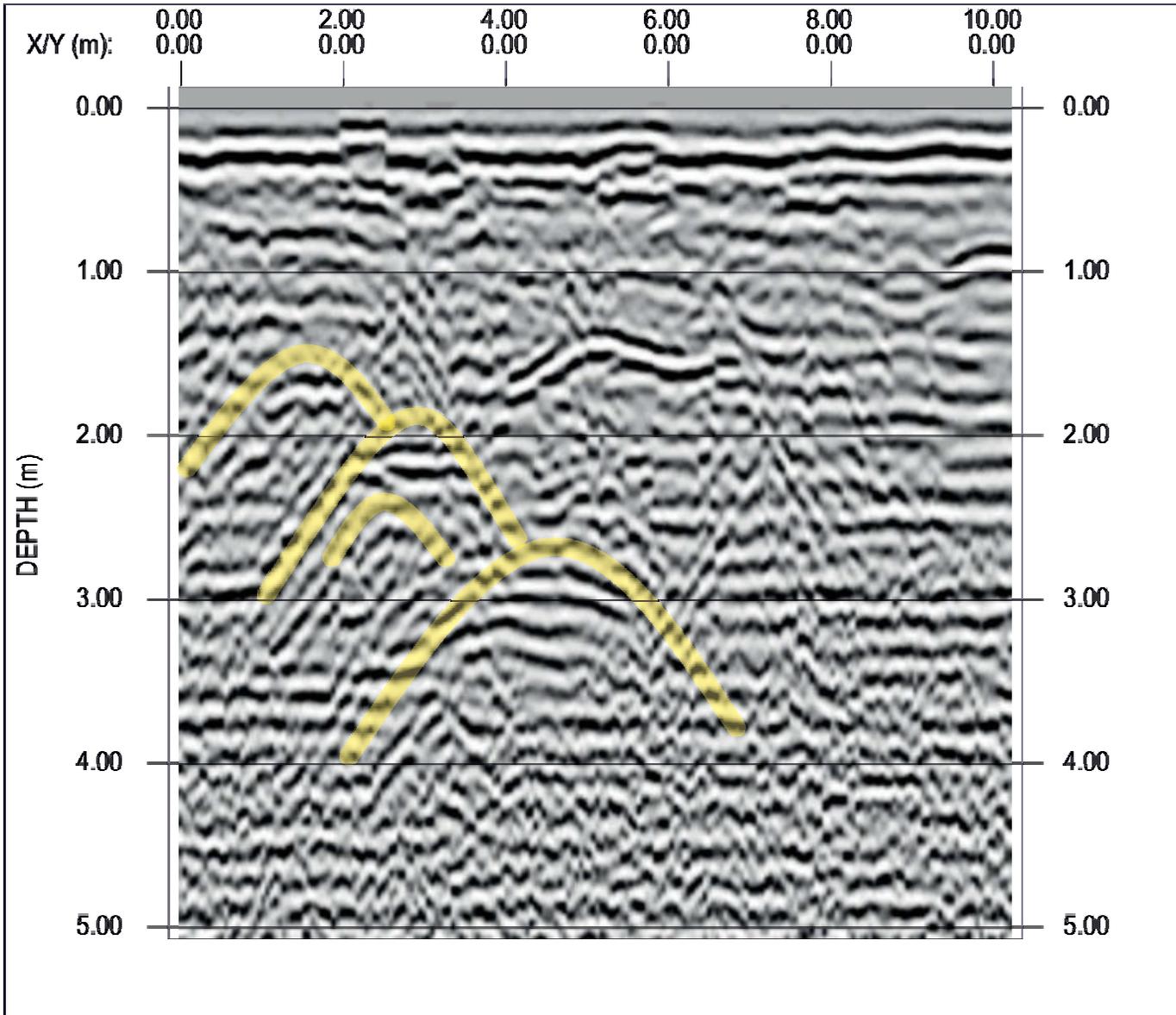


[VERSION: 07 DEPTH CONVERSION] [SMILA] [LINES] [GAIN: AGC - WINDOW 14 ns] [16-NOV-23 11:20]  
[HORIZONTAL SCALE: 1:80.0] [VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1]

# PROFILO 3 (frequenza 100 MHz)

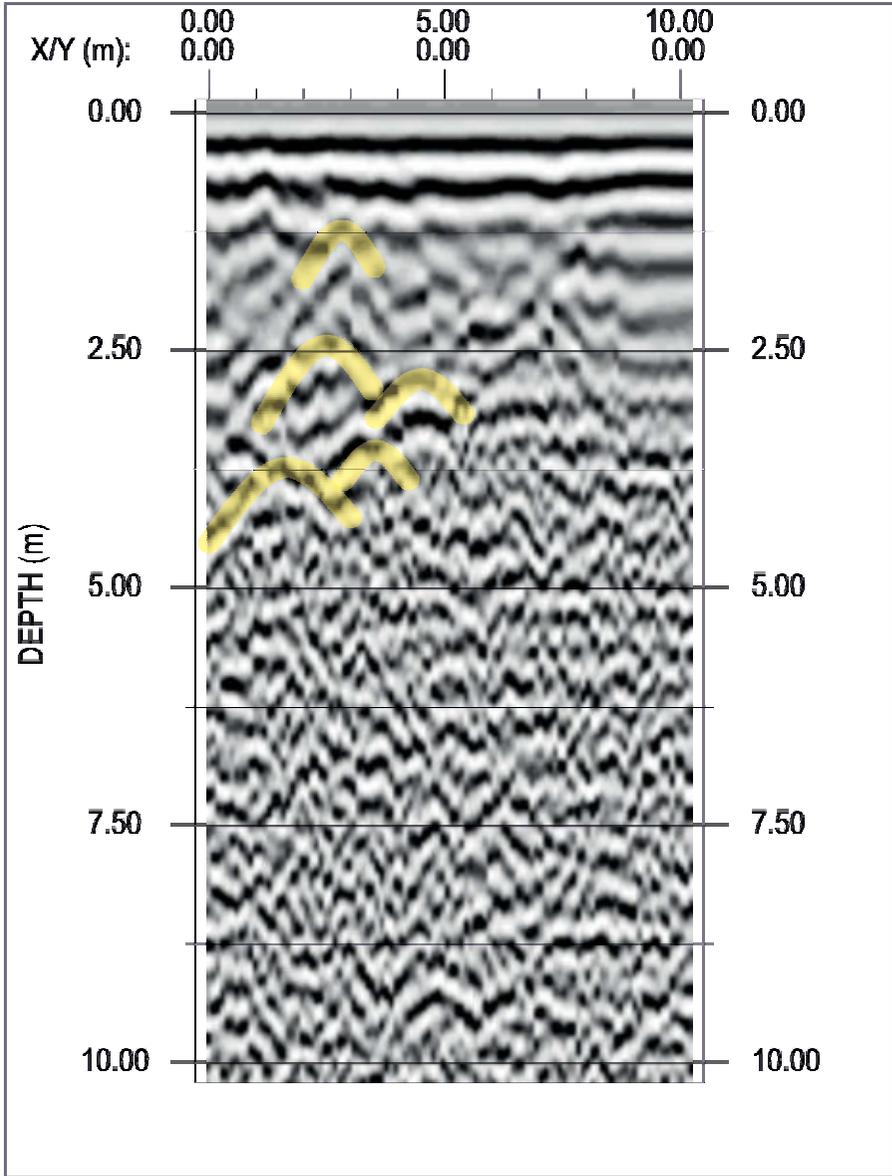


# PROFILO 4 (frequenza di 250 MHz)



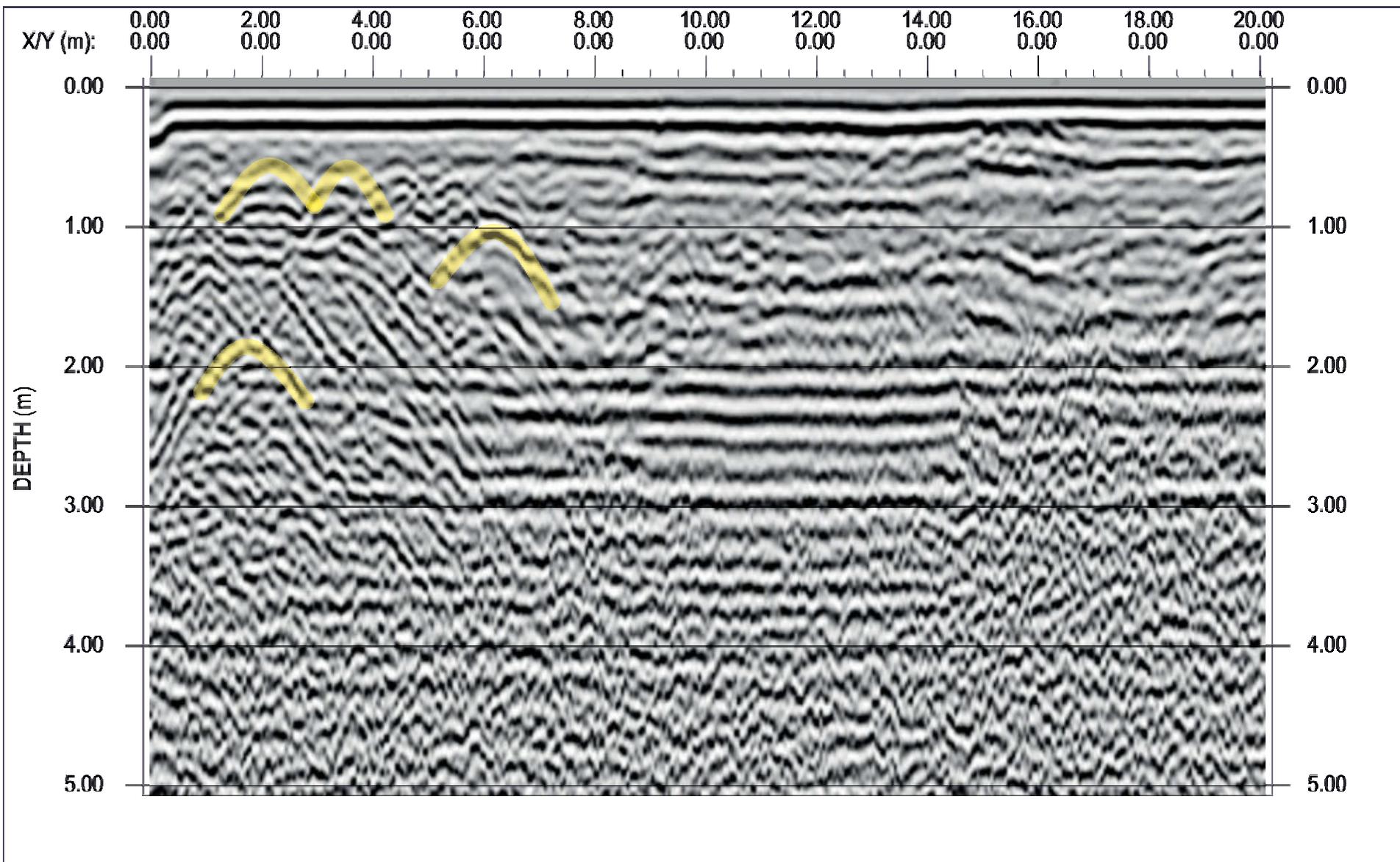
[VERSION: 07 DEPTH CONVERSION] [SMILA] [LINE4] [GAIN: AGC - WINDOW 14 ns] [16-NOV-23 11:29]  
[HORIZONTAL SCALE: 1:80.0] [VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1]

# PROFILO 4 (frequenza 100 MHz)

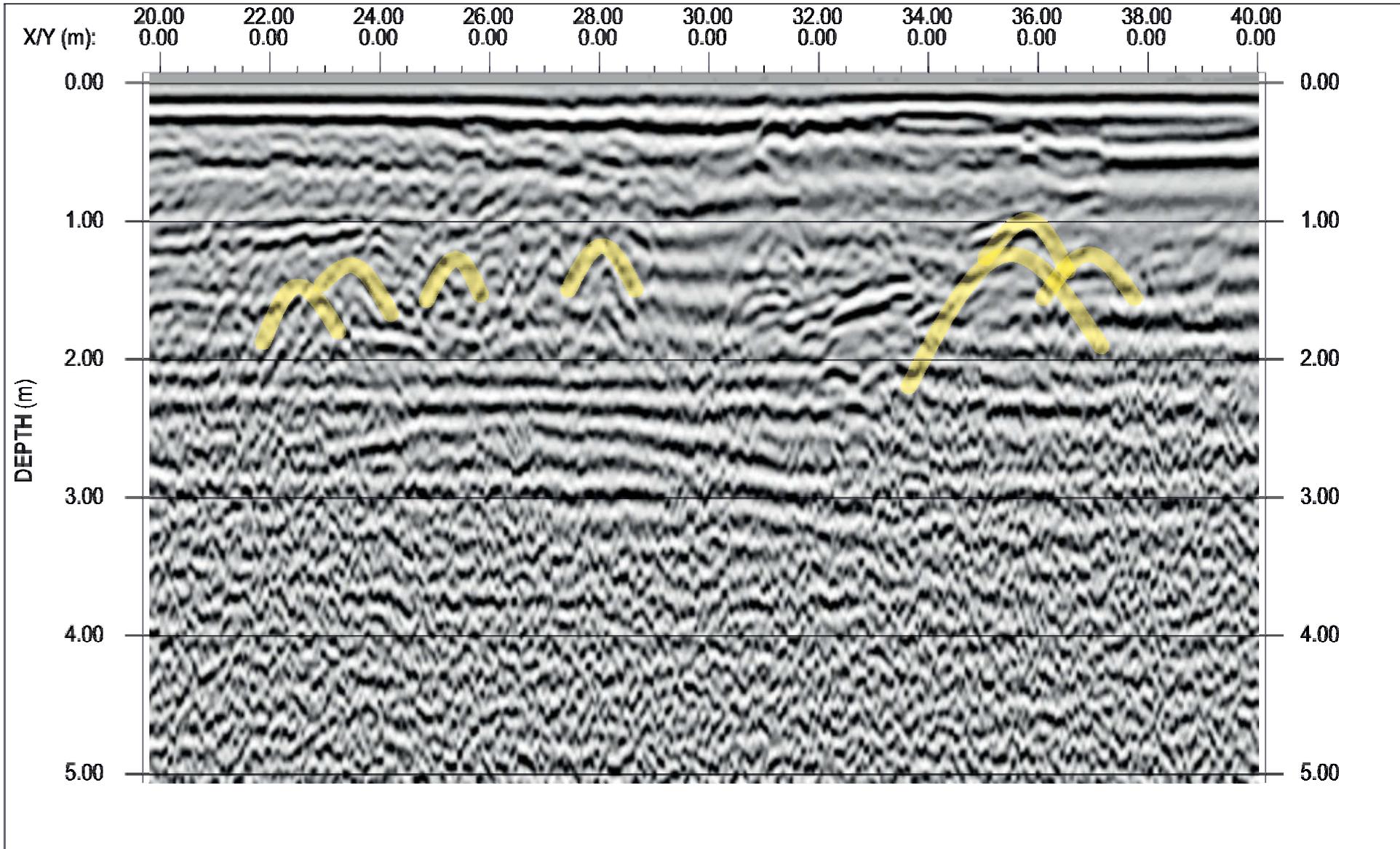


[VERSION: 08 DEPTH CONVERSION] [GAIN: AGC - WINDOW 28 ns] [20-NOV-23 16:30]  
[SMILB] [LINE4] [HORIZONTAL SCALE: 1:160.0] [VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1]

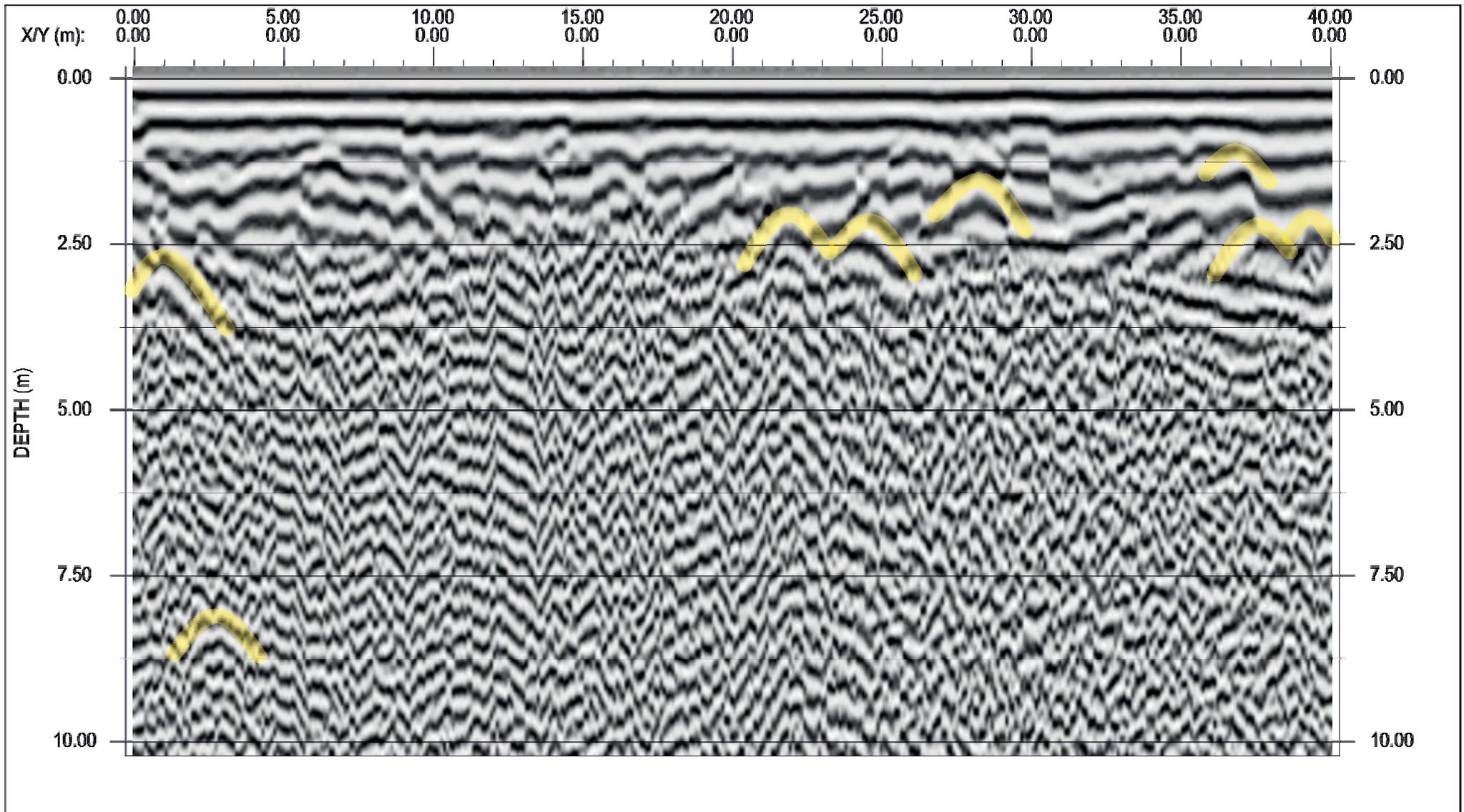
# PROFILO 5 (frequenza di 250 MHz)(progressive da 0 a 20m)



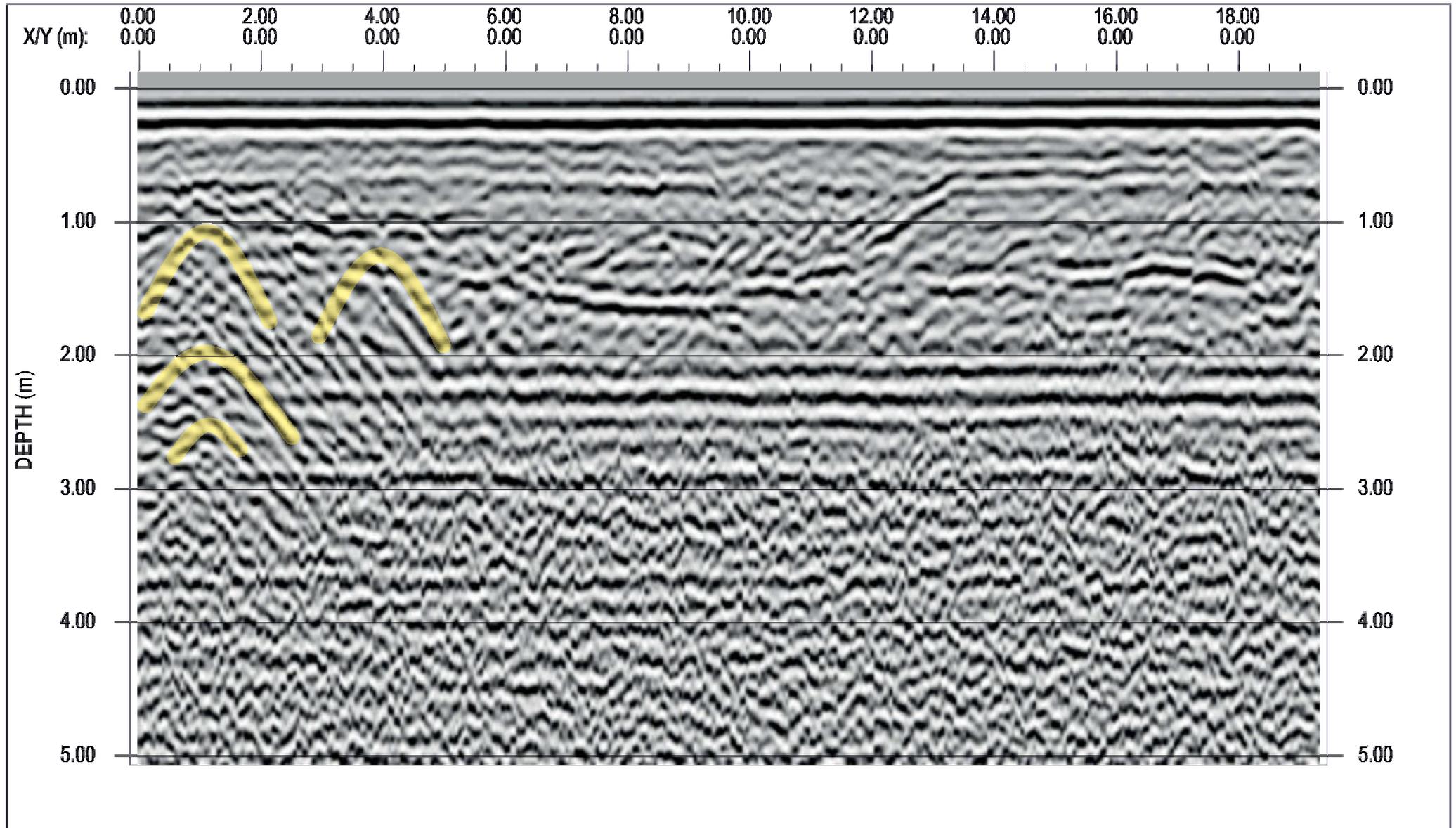
# PROFILO 5 (frequenza di 250 MHz)(progressione da 20 a 40m)



# PROFILO 5 (frequenza 100 MHz)

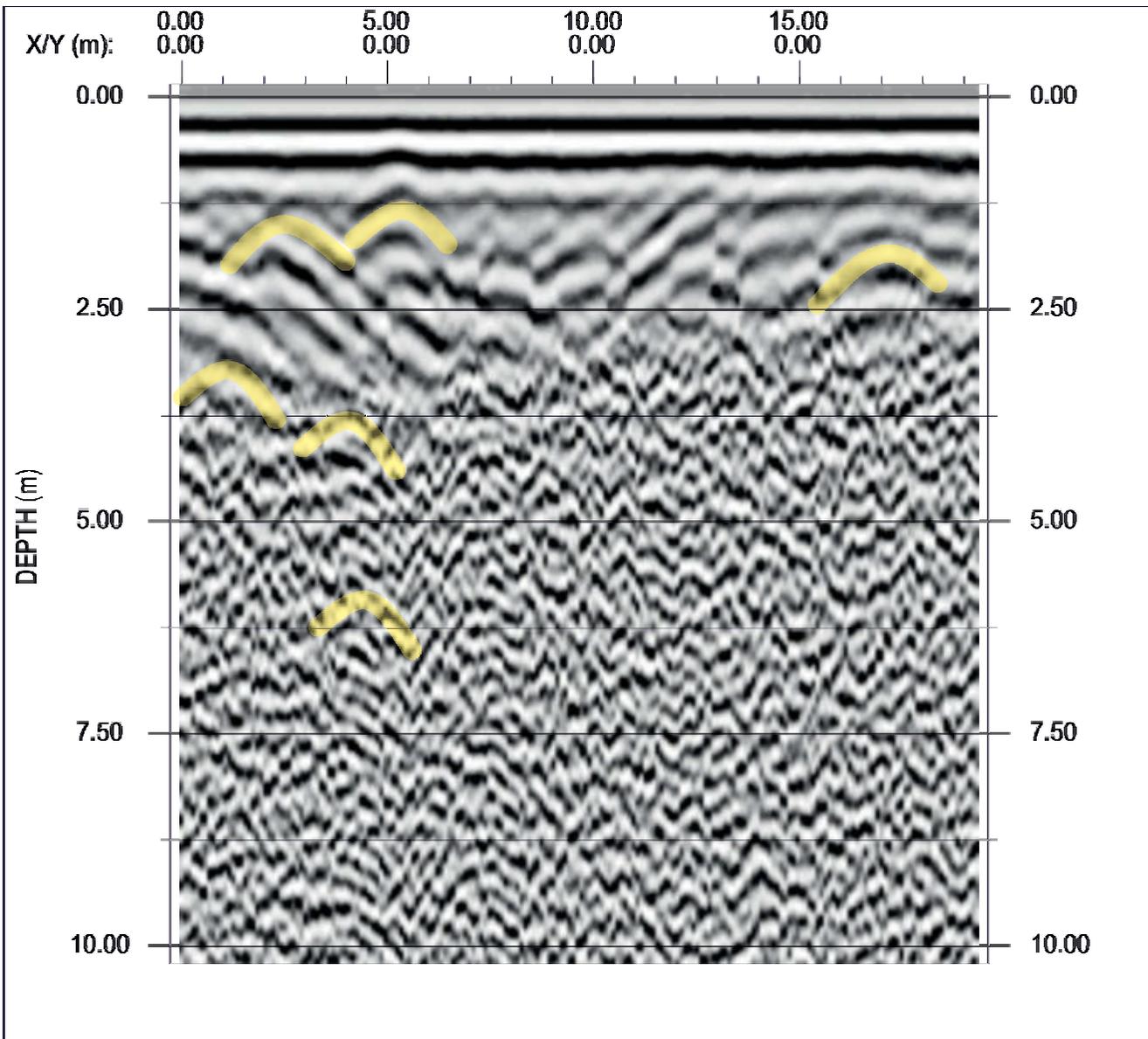


# PROFILO 6 (frequenza di 250 MHz)



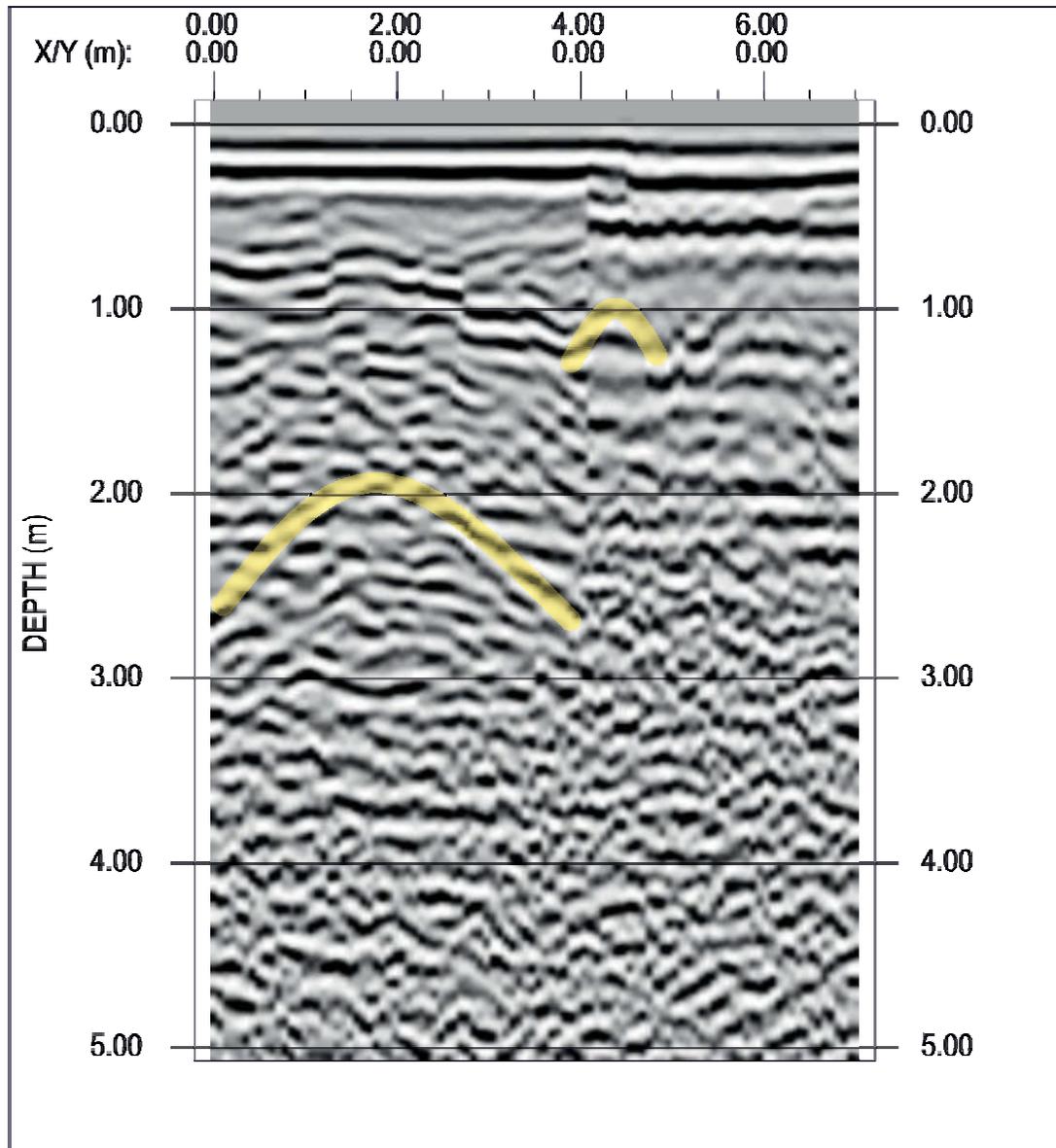
[VERSION: 07 DEPTH CONVERSION]  
[HORIZONTAL SCALE: 1:80.0]  
[SMILA]  
[VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1]  
[LINES]  
[GAIN: AGC - WINDOW 14 ns]  
[16-NOV-23 11:34]

# PROFILO 6 (frequenza 100 MHz)



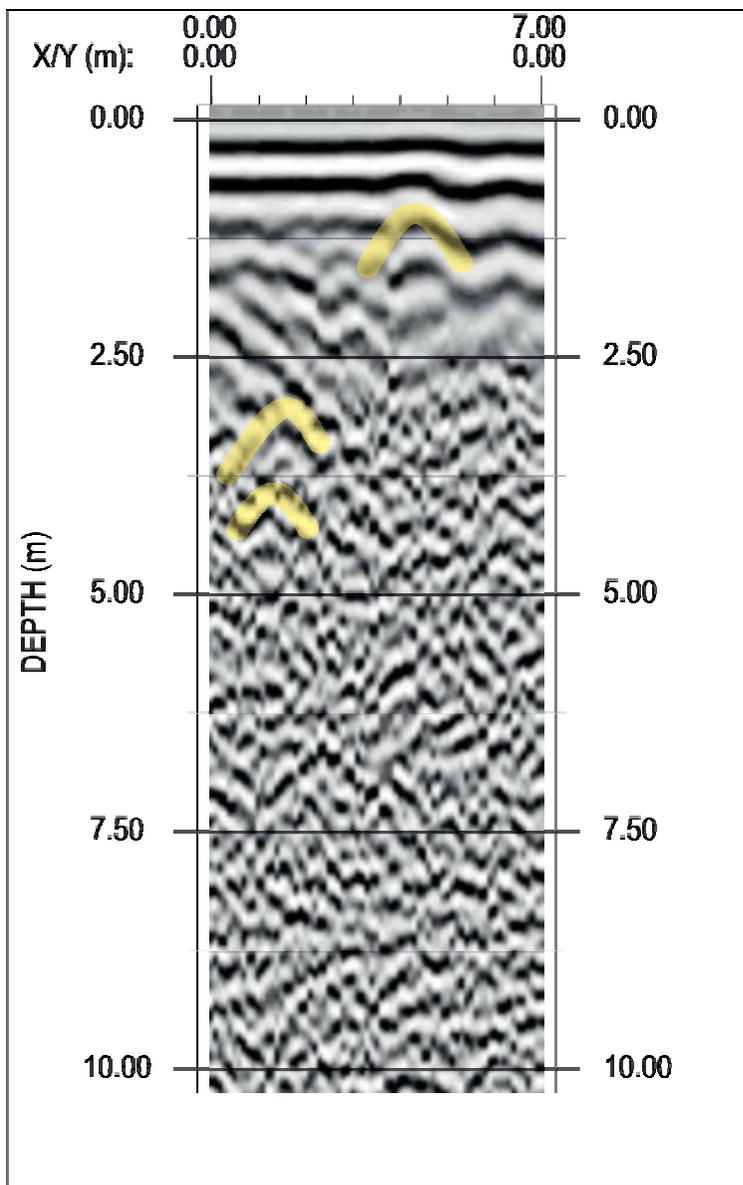
[VERSION: 08 DEPTH CONVERSION] [GAIN: AGC - WINDOW 29 ns] [LINE6]  
[HORIZONTAL SCALE: 1:160.0] [VERTICAL EXAGGERATION: 2.2:1] [20-NOV-23 15:50]

# PROFILO 7 (frequenza di 250 MHz)



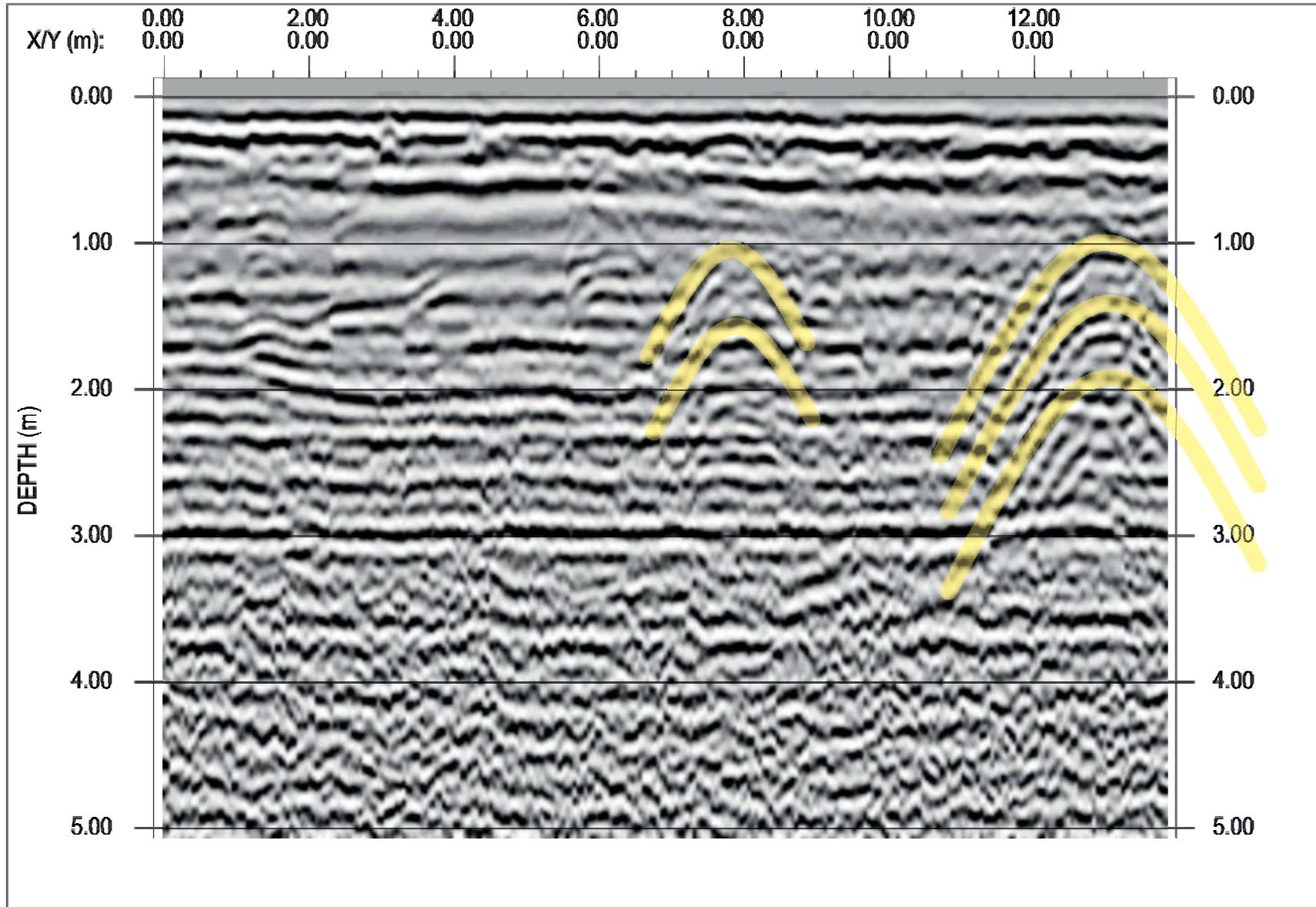
[VERSION: 07 DEPTH CONVERSION] [SMILA] [LINE7] [GAIN: AGC - WINDOW 15 ns] [16-NOV-23 11:37]  
[HORIZONTAL SCALE: 1:80.0] [VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1]

# PROFILO 7 (frequenza 100 MHz)



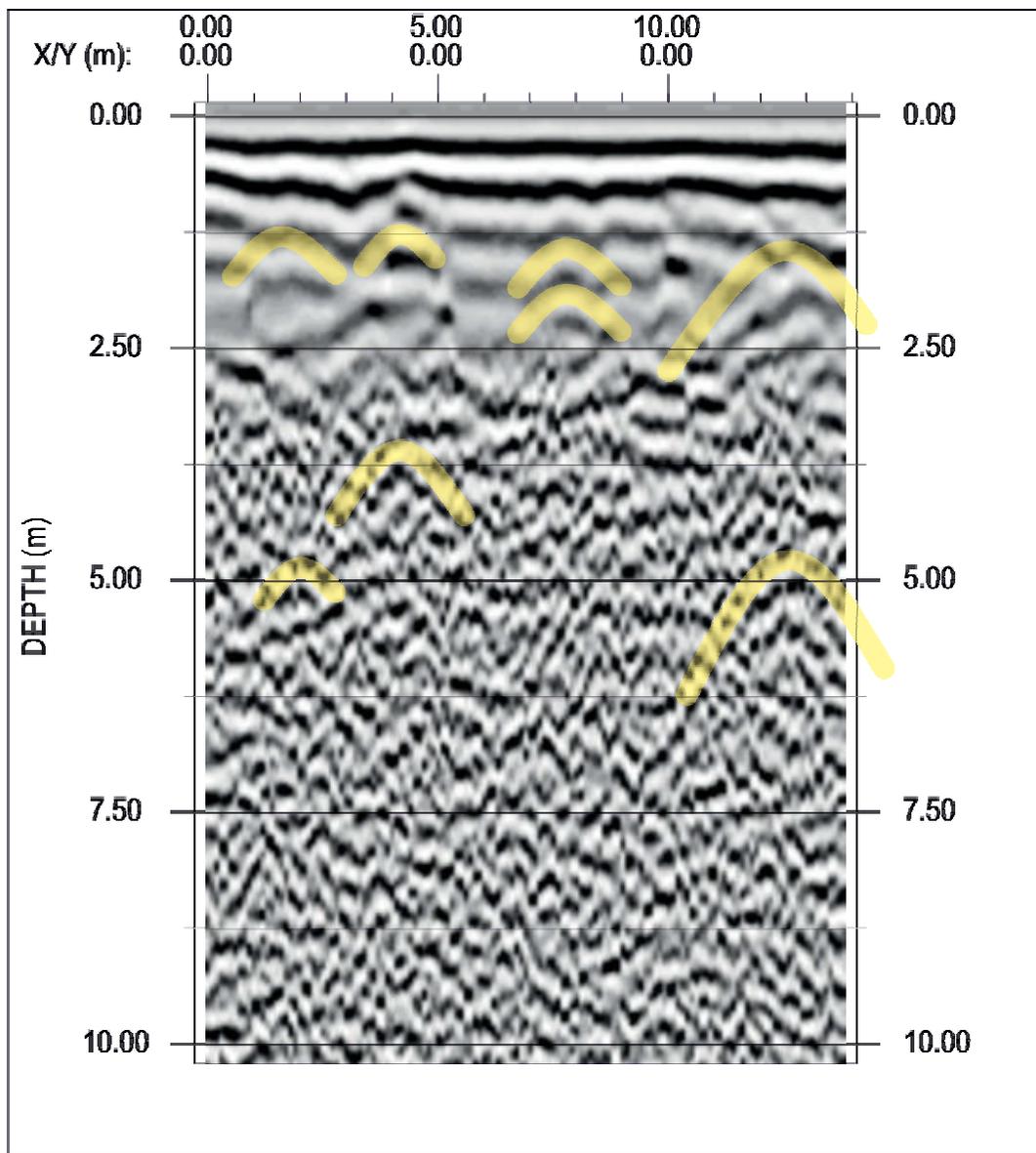
[VERSION: 08 DEPTH CONVERSION] [SMLC] [LINE7] [GAIN: AGC - WINDOW 29 ns] [20-NOV-23 17:26]  
[HORIZONTAL SCALE: 1:160.0] [VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1]

# PROFILO 8 (frequenza di 250 MHz)



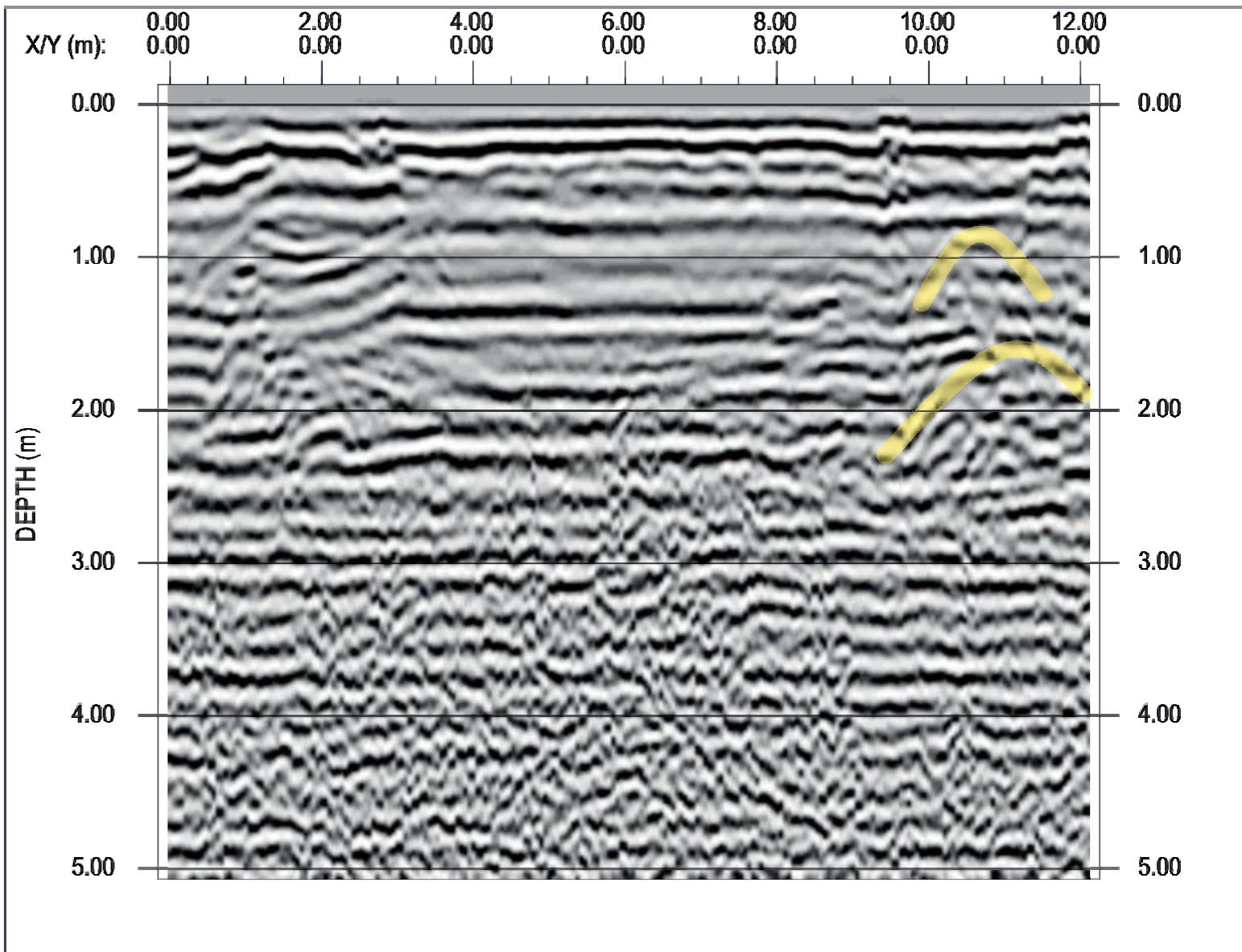
[VERSION: 15 DEPTH CONVERSION] [SMILA] [LINE60] [GAIN: AGC - WINDOW 14 ns] [28-NOV-23 09:36]  
[HORIZONTAL SCALE: 180.0] [VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1]

# PROFILO 8 (frequenza 100 MHz)



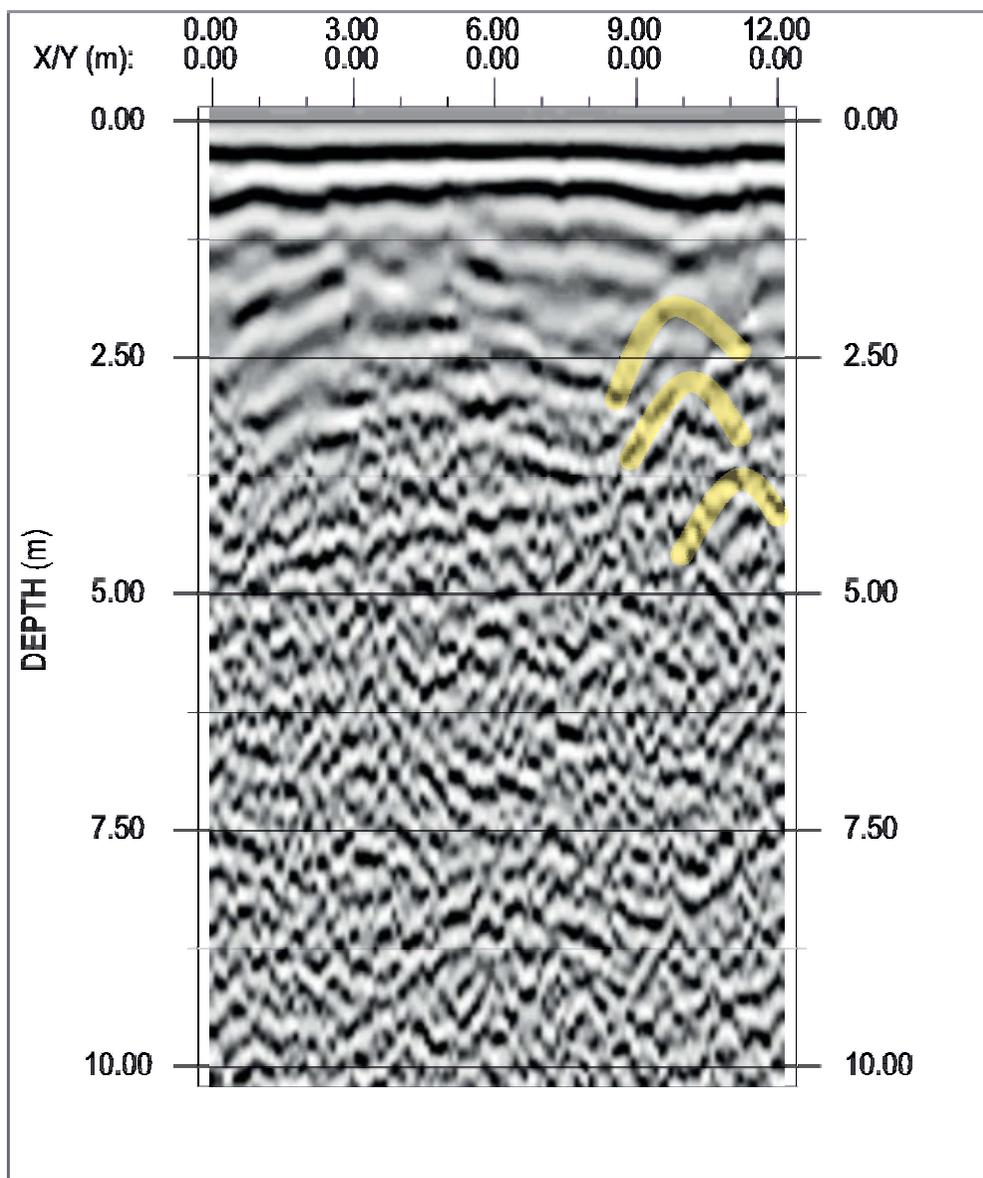
[VERSION: 08 DEPTH CONVERSION]  
[HORIZONTAL SCALE: 1:160.0]  
[SMLB]  
[LINE60]  
[GAIN: AGC - WINDOW 29 ns]  
[VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1]  
[20-NOV-23 17:17]

# PROFILO 9 (frequenza di 250 MHz)



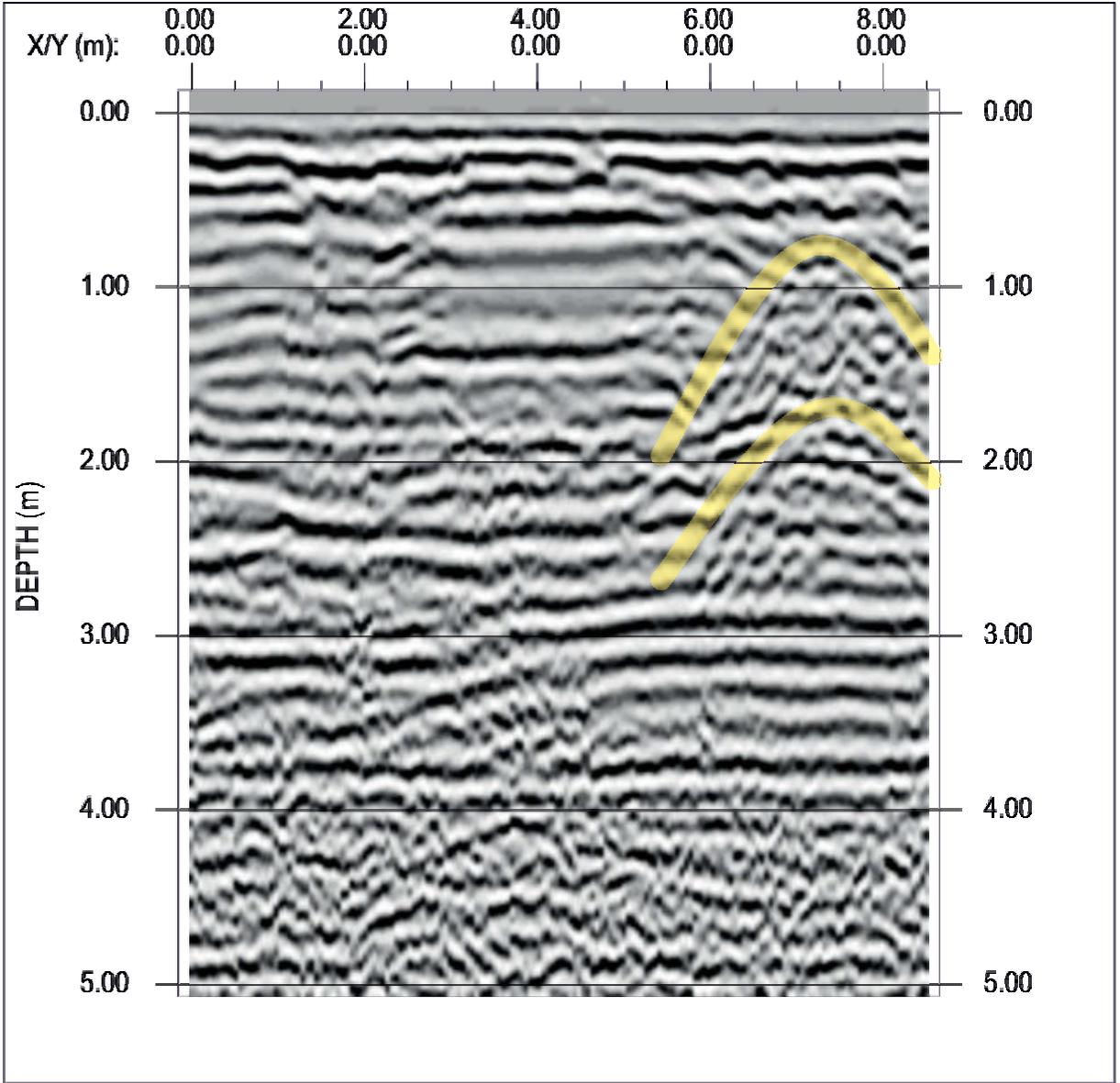
[VERSION: 16 DEPTH CONVERSION] [SMILA] [LINES1] [GAIN: AGC - WINDOW 15 ns] [16-NOV-23 12:59]  
[HORIZONTAL SCALE: 1:80.0] [VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1]

# PROFILO 9 (frequenza 100 MHz)



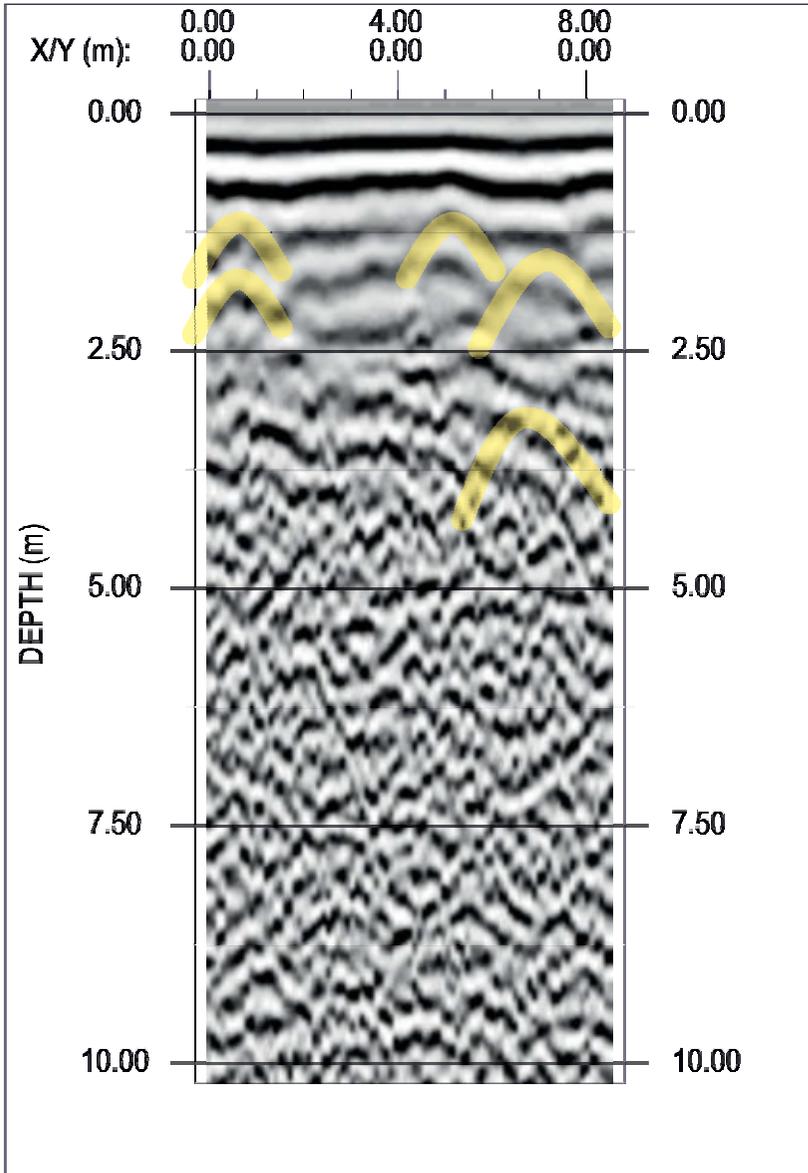
[VERSION: 08 DEPTH CONVERSION] [GAIN: AGC - WINDOW 30 ns] [LINE61]  
[HORIZONTAL SCALE: 1:160.0] [VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1] [20-NOV-23 17:23]

# PROFILO 10 (frequenza di 250 MHz)



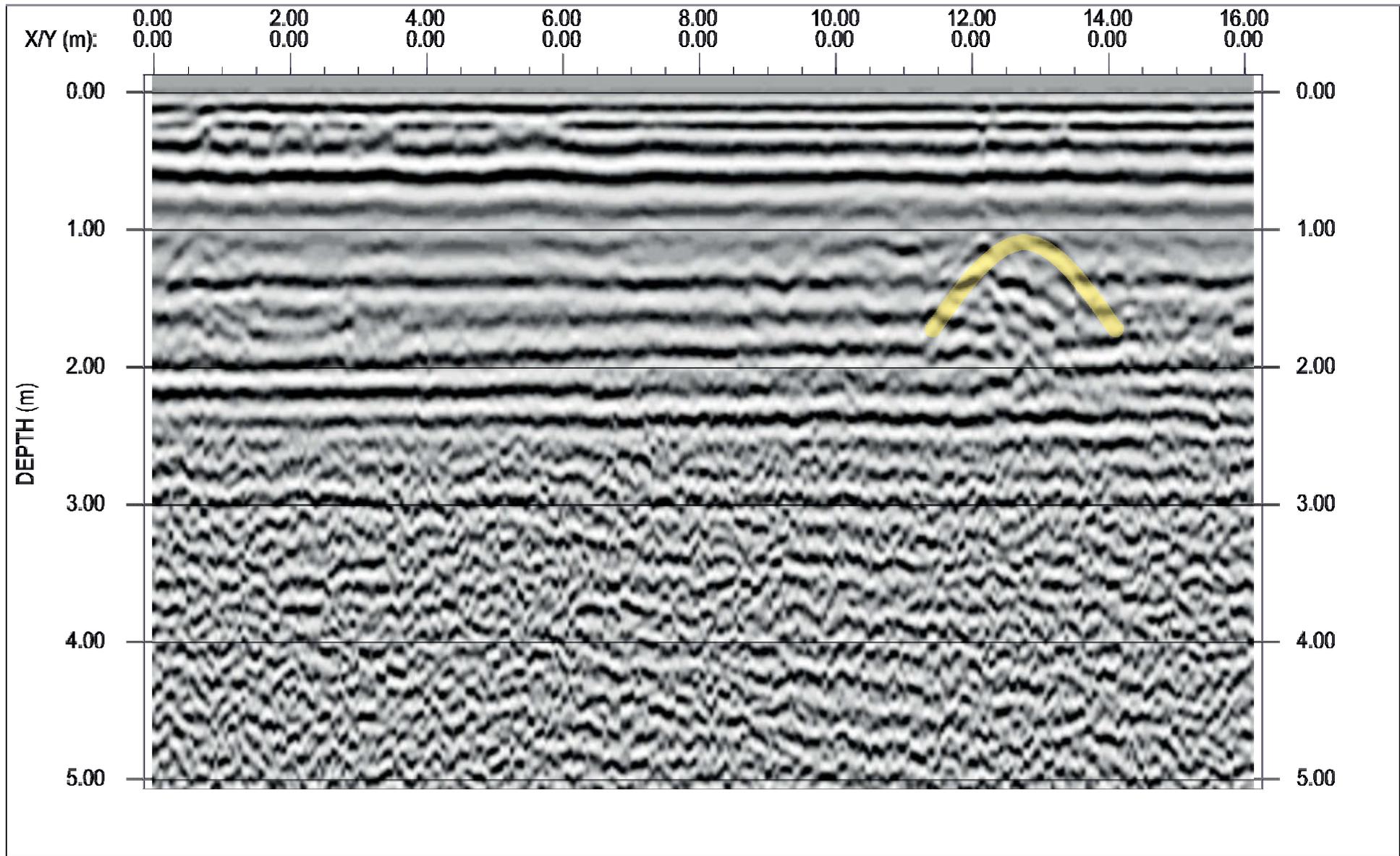
[VERSION: 07 DEPTH CONVERSION] [SMILA] [LINE62] [GAIN: AGC - WINDOW 14 ns] [16-NOV-23 12:29]  
[HORIZONTAL SCALE: 1:80.0] [VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1]

# PROFILO 10 (frequenza di 100MHz)

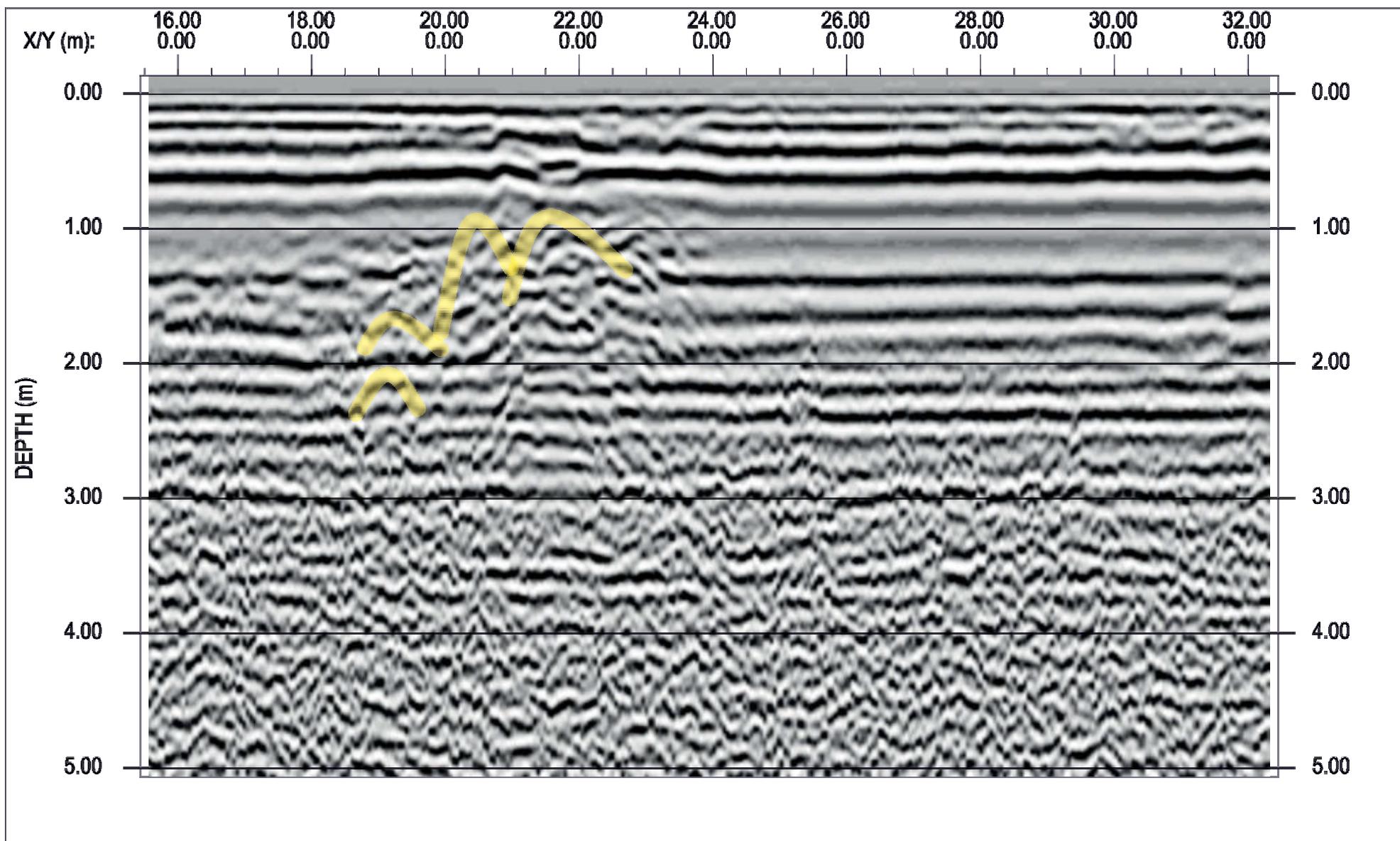


[VERSION: 08 DEPTH CONVERSION] [SMILB] [LINE62] [GAIN: AGC - WINDOW 30 ns] [20-NOV-23 17:19]  
[HORIZONTAL SCALE: 1:160.0] [VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1]

# PROFILO 11 (frequenza di 250 MHz)(progressive da 0 a 16 m)

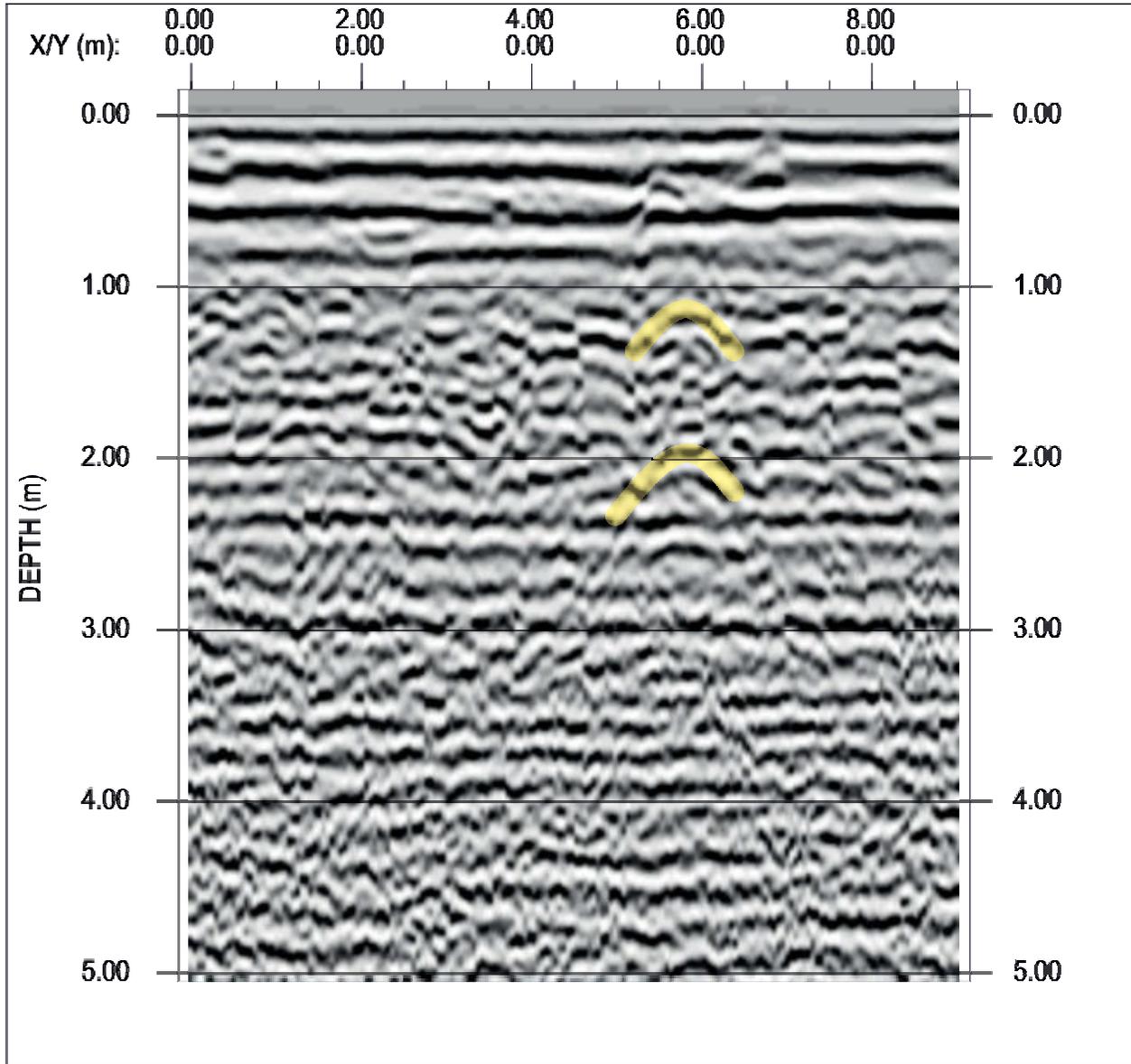


# PROFILO 11b (frequenza di 250 MHz) (progressive da 16 a 32m)



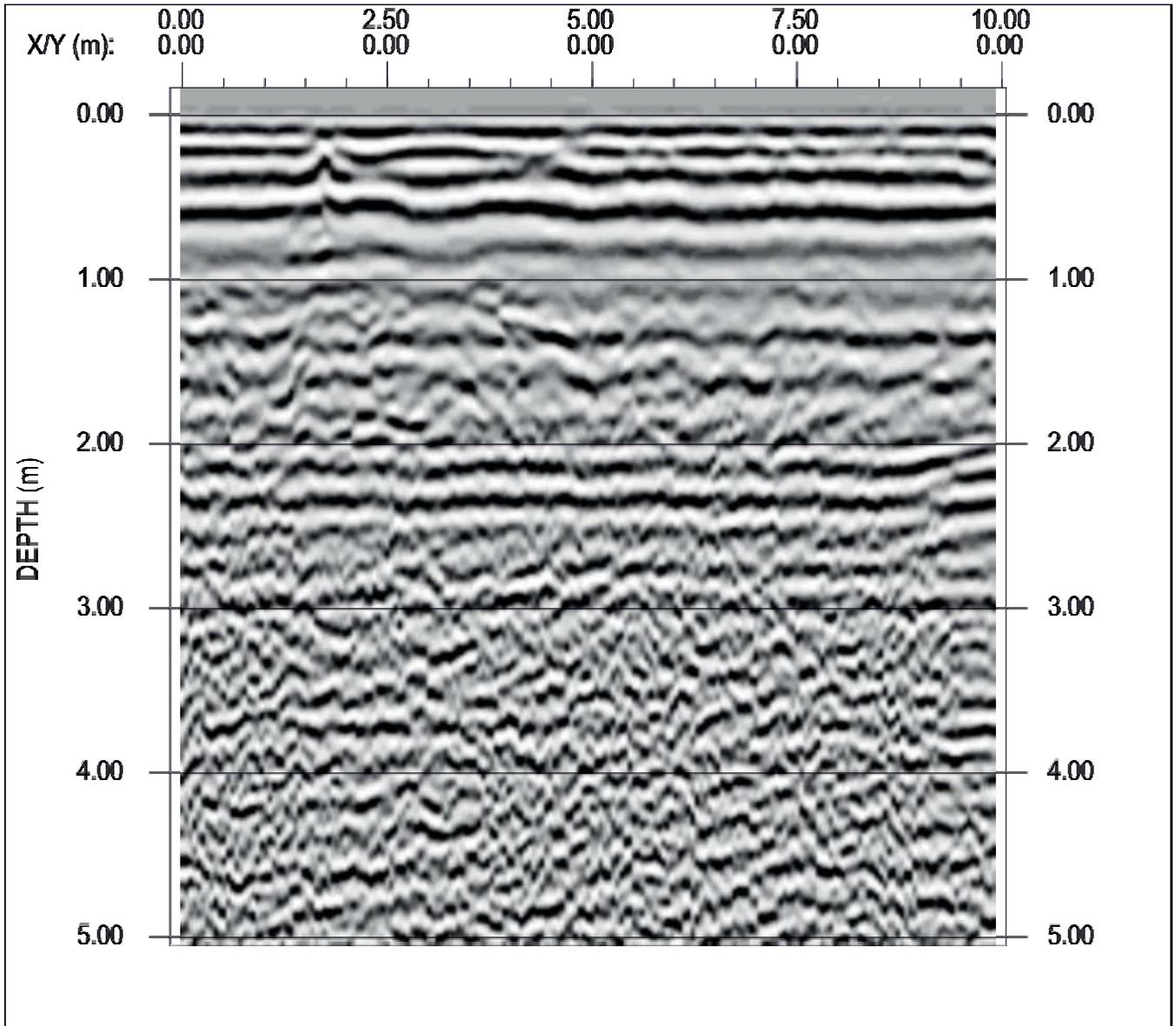
[VERSION: 07 DEPTH CONVERSION] [SMLA] [LINE8] [GAIN: AGC - WINDOW 15 ns]  
[HORIZONTAL SCALE: 1:80.0] [VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1] [16-NOV-23 15:14]

# PROFILO 12 (frequenza di 250 MHz)



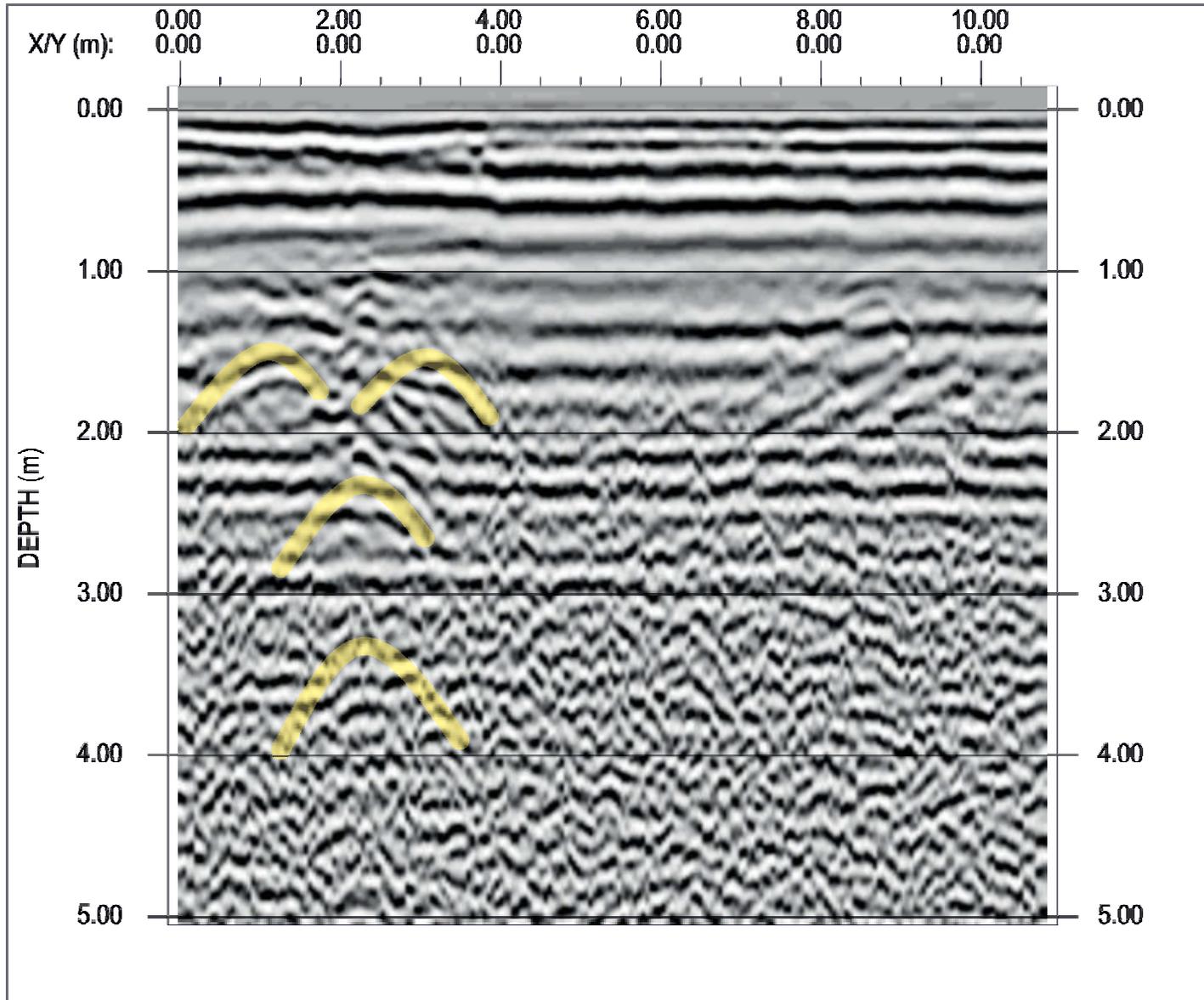
[VERSION: 06 DEPTH CONVERSION] [SMILA] [LINE9] [GAIN: AGC - WINDOW 14 ns] [16-NOV-23 11:44]  
[HORIZONTAL SCALE: 1:80.0] [VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1]

# PROFILO 13 (frequenza di 250 MHz)



[VERSION: 06 DEPTH CONVERSION] [SMLA] [LINE'10] [GAIN: AGC - WINDOW 15 ns]  
[HORIZONTAL SCALE: 1:80.0] [VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1] [16-NOV-23 11:49]

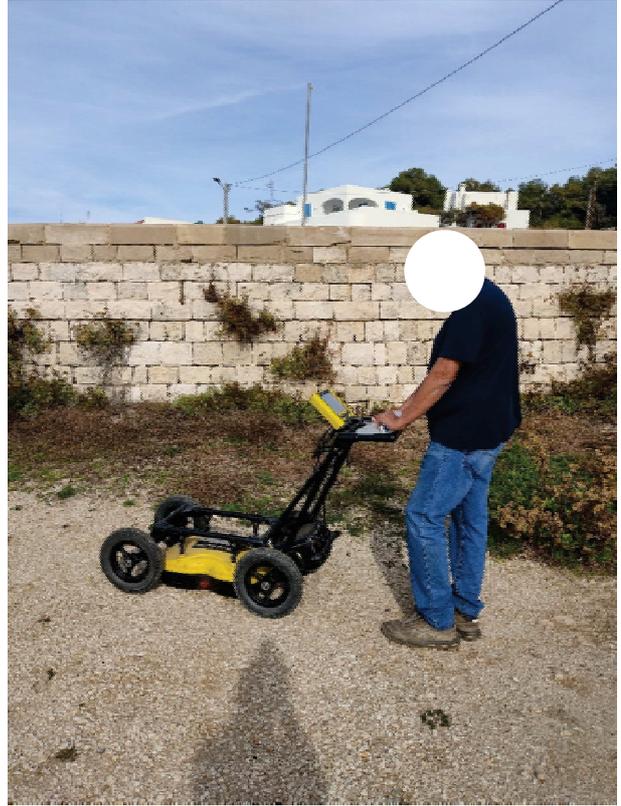
# PROFILO 14 (frequenza di 250 MHz)



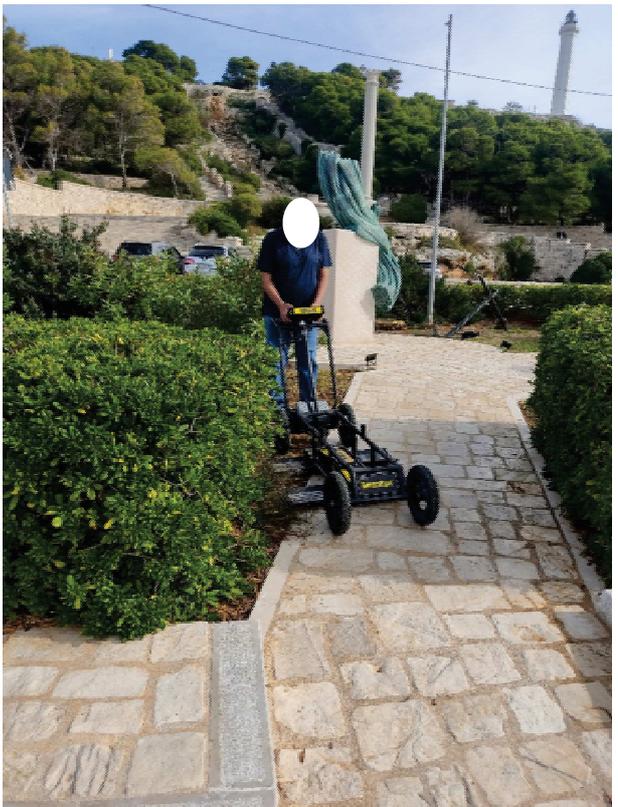
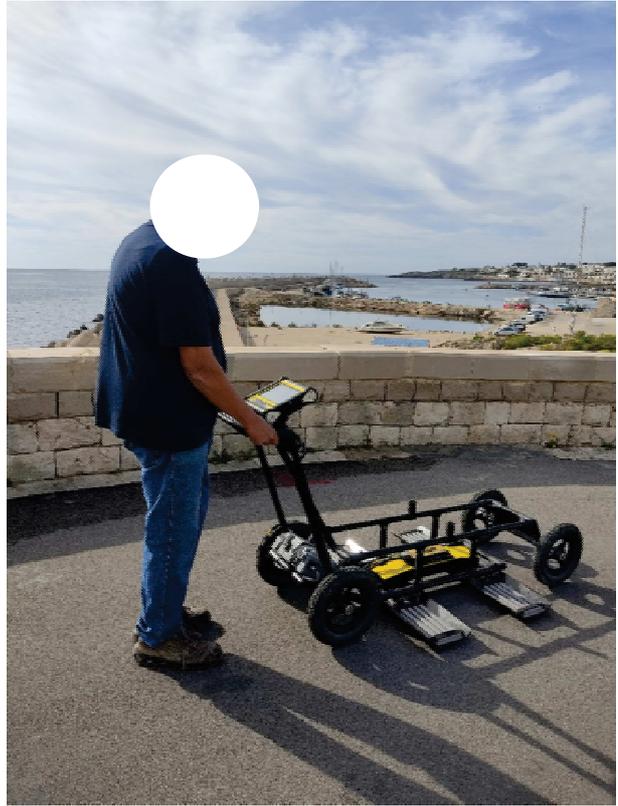
[VERSION: 06 DEPTH CONVERSION] [SMILA] [LINE11] [GAIN: AGC - WINDOW 15 ns] [16-NOV-23 11:52]  
[HORIZONTAL SCALE: 1:80.0] [VERTICAL EXAGGERATION: 2.0:1]

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Fasi di lavoro misure radar con strumentazione "Noggin 250 con frequenza di 250 MHz" della "Sensors & Software inc."



*Fasi di lavoro misure radar con strumentazione "Noggin 100 con frequenza di 100 MHz" della "Sensors & Software inc."*



***Georeferenziazione punti misura con strumentazione "Leica GNSS Viva GS15".***

