

COMUNE DI NARDO'
PROVINCIA DI LECCE
Progetto agrovoltaico "Builli"



PROGETTO

Ingveprogetti s.r.l.s.

via Geofilo n.7-72023, Mesagne (BR)
email: info@ingveprogetti.it

RESPONSABILE DEL PROGETTO
Ing. Giorgio Vece

COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO INTEGRATO DI PRODUZIONE ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA E DI PRODUZIONE AGRICOLA, DENOMINATO "BULLI", SITO NEL COMUNE DI NARDÒ (LE), IN LOCALITÀ BULLI, E DELLE OPERE ED INFRASTRUTTURE CONNESSE NEI COMUNI DI NARDÒ, COPERTINO E LEVERANO (LE), CON POTENZA NOMINALE PARI A 14.250,00 KWN E POTENZA DI PICCO (POTENZA MODULI) PARI A 16.564,80 KWP.

Oggetto: Relazione Geologica

ELABORATO:
AG7SE31_RelazioneGeologica_Rev1

IL TECNICO::
Dott. Geologo Dario Fischetto

SCALA:

TIMBRO E FIRMA:



Dario Fischetto

STATO DI PROGETTO

PROGETTO DEFINITIVO

N°	DATA	DESCRIZIONE	PROCEDURA	PROGETTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	AGOSTO 2020	Prima emissione	AU	Ing. Giorgio Vece	Ing. Giorgio Vece	GR Value Development S.r.l.
01	DICEMBRE 2021	Prima emissione	PUA	Ing. Giorgio Vece	Ing. Giorgio Vece	GR Value Development S.r.l.
02						
03						
04						

Committente: LECCE 2 PV S.R.L.
(scissione da GR VALUE DEVELOPMENT S.r.l.)



Via Durini n°9
20122 Milano,
Cod. Fisc & P. IVA 12262240968

INDICE

1. PREMESSA	3
2. RIFERIMENTI NORMATIVI.....	4
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA INVESTIGATA.....	5
4. INQUADRAMENTO MORFOLOGICO E GEOLITOLOGICO	8
4.1 ASSETTO GEOLITOLOGICO	8
4.2 ASSETTO GEOLOGICO LOCALE	10
4.3 ASSETTO MORFOLOGICO	10
5. IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA DELL'AREA INDAGATA	11
5.1 LINEAMENTI IDROGEOLOGICI REGIONALE	11
5.2 LINEAMENTI IDROGRAFICI DELL'AREA INDAGATA.....	12
5.3 LINEAMENTI IDROGEOLOGICI DELL'AREA INDAGATA	12
5. PERICOLOSITA' GEOLOGICHE, ASSETTO IDROGEOLOGICO ED IDROGRAFICO	15
6. INDAGINI GEOGNOSTICHE	17
7. DEFINIZIONE CATEGORIE DI SOTTOSUOLO, CONDIZIONI TOPOGRAFICHE E PARAMETRI SISMICI LOCALI	21
8.1 DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	24
8.1.1 Definizione categoria di sottosuolo locale	25
8.2 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	35
8.2.1 Definizione condizioni topografiche locali	35
9. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI DEPOSITI INDAGATI.....	36
9.1 SISMICA A RIFRAZIONE.....	36
9.2 RISULTANZE INDAGINI.....	41
9.2.1 Indagine n° 1	41
9.2.2 Indagine n° 2	50

9.2.3 Indagine n° 3	59
9.3 SINTESI PARAMETRI GOTECNICI.....	68
10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	70

1. PREMESSA

La **LECCE 2 PV S.r.l.** con sede legale in Milano (MI) in via Durini n°9 (P.Iva 12262240968) ha affidato allo scrivente Geologo dott. Dario FISCHETTO, iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi di Puglia con il N° 475 con studio in Brindisi (BR) al Corso Garibaldi civ. 27, l'incarico di effettuare uno studio geologico-geotecnico sui terreni ubicati nel Comune di Nardò (LE), in località "BUILLI" su un'area agricola (zona "E" del PRG) distinta al catasto del Comune di Nardò:

- lotto di impianto Builli 1: Foglio n° 35, comprendendo interamente le particelle n° 570 – 571 e parzialmente le particelle n° 572 – 573,
- lotto di impianto Builli 2: Foglio n° 35 e 33, comprendendo interamente la particella n° 567 parzialmente le particelle 573 – 572 del foglio 35 e interamente le particelle n° 99 – 516 – 517 del foglio 33,

interessati dalla realizzazione di Impianto Fotovoltaico, e delle opere ed infrastrutture connesse e lungo il tracciato delle relative opere di connessione fino alla più vicina cabina MT di consegna nei comuni di *Nardò, Copertino e Leverano (LE)*.

Lo studio dell'area che sarà interessata dai lavori, secondo quanto previsto dal D.M. 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" come aggiornate dal D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", è finalizzato alla definizione:

- a. della caratterizzazione e modellazione geologica al fine della ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio indagato onde verificare la fattibilità tecnica delle opere in progetto;
- b. della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni indagati, definire il modello geotecnico e la categoria sismica di sottosuolo ed i parametri e coefficienti sismici locali.

L'indagine, svolta in conformità alle normative tecniche vigenti, è stata articolata nelle seguenti fasi di studio:

- raccolta e consultazione della documentazione geologica e geomorfologica esistente relativa a studi ed analisi effettuate nella stessa area, in aree limitrofe o in situazioni del tutto analoghe;
- raccolta ed analisi accurata della cartografia dell'area;
- rilievi di superficie, effettuati allo scopo di definire le forme e l'estensione delle strutture di superficie e di descrivere l'idrografia superficiale (Rilievo geomorfologico), di riconoscere l'estensione areale ed i limiti dei litotipi presenti nell'area (Rilievo geolitologico), di individuare eventuali strutture di tipo fragile e di tipo duttile (Rilievo geologico - strutturale);
- campagna di indagine di prospezione sismica dei terreni eseguita dallo scrivente per mezzo di:
 - ✓ n° 3 stendimento sismico in onda S a tecnica **MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves)**,
 - ✓ n° 3 stendimento sismico in onda S a tecnica **RE.MI. (Refraction Microtremor)**,
 - ✓ n° 3 stendimento sismico tomografico a rifrazione in onda P (**Rifrazione**);
- elaborazione dei dati e stesura della presente relazione geologico – tecnica.

La Committenza, con la presente e con quanto altro dovesse rendersi necessario, intende adempiere alle prescrizioni legislative in vigore secondo la prassi corrente.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

- D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni".
- Circolare 21 gennaio 2019 , n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- D.M. 14.01.2008 – "Norme Tecniche per le Costruzioni".
- D.M. 11.03.1988 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", applicabile per le costruzioni di tipo 1 e 2 e Classe d'uso I e II, limitatamente a siti ricadenti in Zona 4 (CAPITOLO 2.7 del D.M. 14.01.2008).
- Legge Regionale 9 dicembre 2002, n. 19 "Istituzione dell'Autorità di bacino della Puglia"
- Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) approvato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino con delibera n° 39 della seduta del 30.11.2005 e relative Norme Tecniche di Attuazione
- D.M. 25 ottobre 2016 "Disciplina dell'attribuzione e del trasferimento alle Autorità di bacino distrettuali del personale e delle risorse strumentali, ivi comprese le sedi, e finanziarie delle Autorità di bacino, di cui alla legge 18 maggio 1989, n. 183.
- D.P.C.M. 4 aprile 2018 "Individuazione e trasferimento delle unità di personale, delle risorse strumentali e finanziarie delle Autorità di bacino, di cui alla legge n. 183/1989, all'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale e determinazione della dotazione organica dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale, ai sensi dell'articolo 63, comma 4, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e del decreto n. 294 del 25 ottobre 2016".

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA INVESTIGATA

L'area investigata, ubicata nel Comune di Nardò (LE), in località "BULLI" su un'area agricola (zona "E" del PRG) distinta al catasto del Comune di Nardò come riportato in premessa, interessata dalla realizzazione di un *campo fotovoltaico e lungo il tracciato delle opere di connessione fino alla più vicina cabina MT di consegna nei comuni di Nardò, Copertino e Leverano (LE)*, è cartografata in parte nel I quadrante del foglio n° 213 della Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 "MARUGGIO", nella tavoletta I.G.M. scala 1:25.000 S.E. denominata "Torre S. Isidoro",

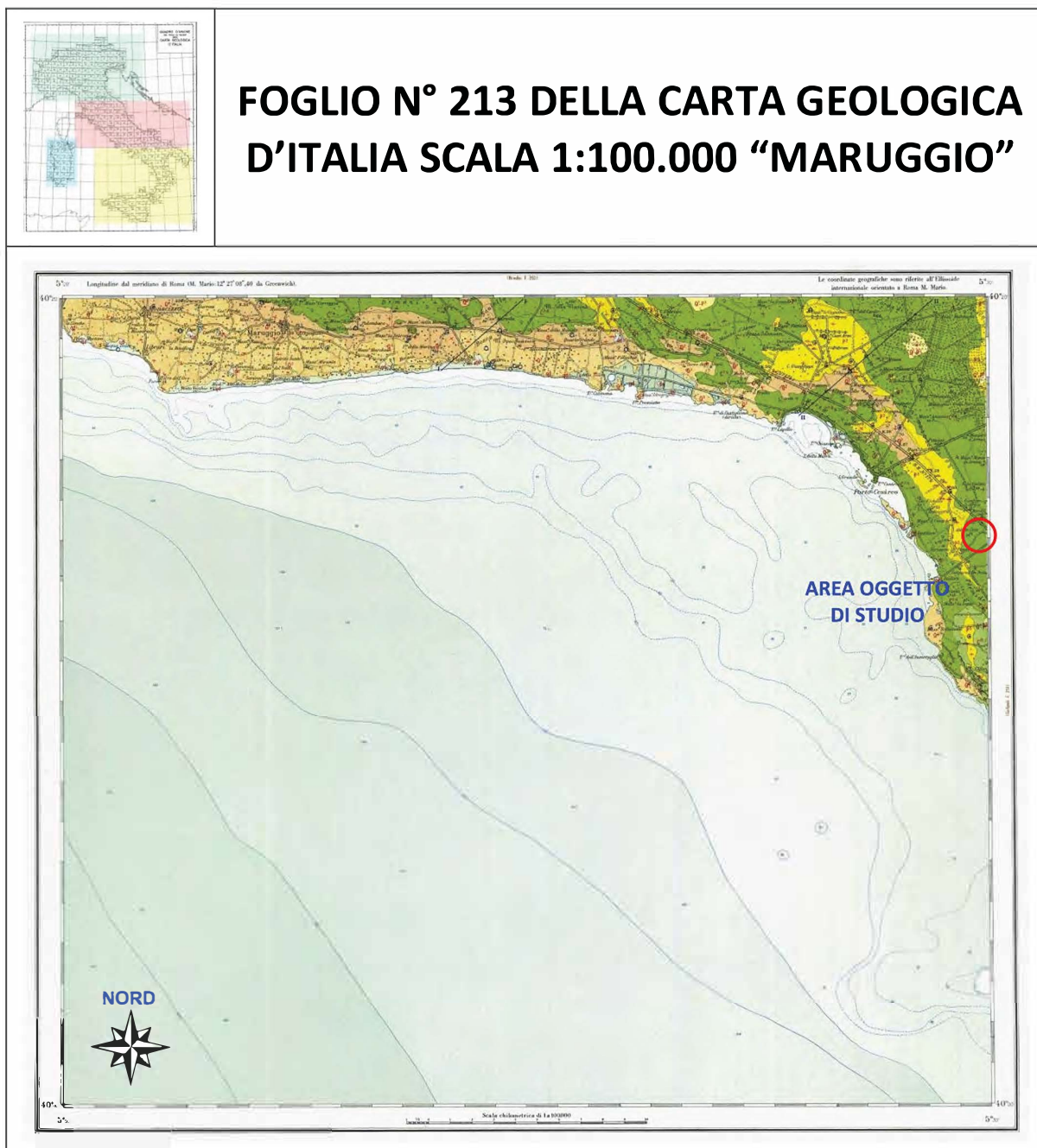


FIG. 3.1: Ubicazione dell'area indagata

ed in parte nel IV quadrante del foglio n° 214 della Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 "GALLIPOLI", a cavallo delle tavolette I.G.M. scala 1:25.000 S.O. denominata "Nardò" e N.O. denominata "Copertino" (Tav. 1 Ortofoto dell'area oggetto dell'intervento progettuale e Tav. 2 "Corografia dell'area indagata" allegate in calce alla presente relazione).

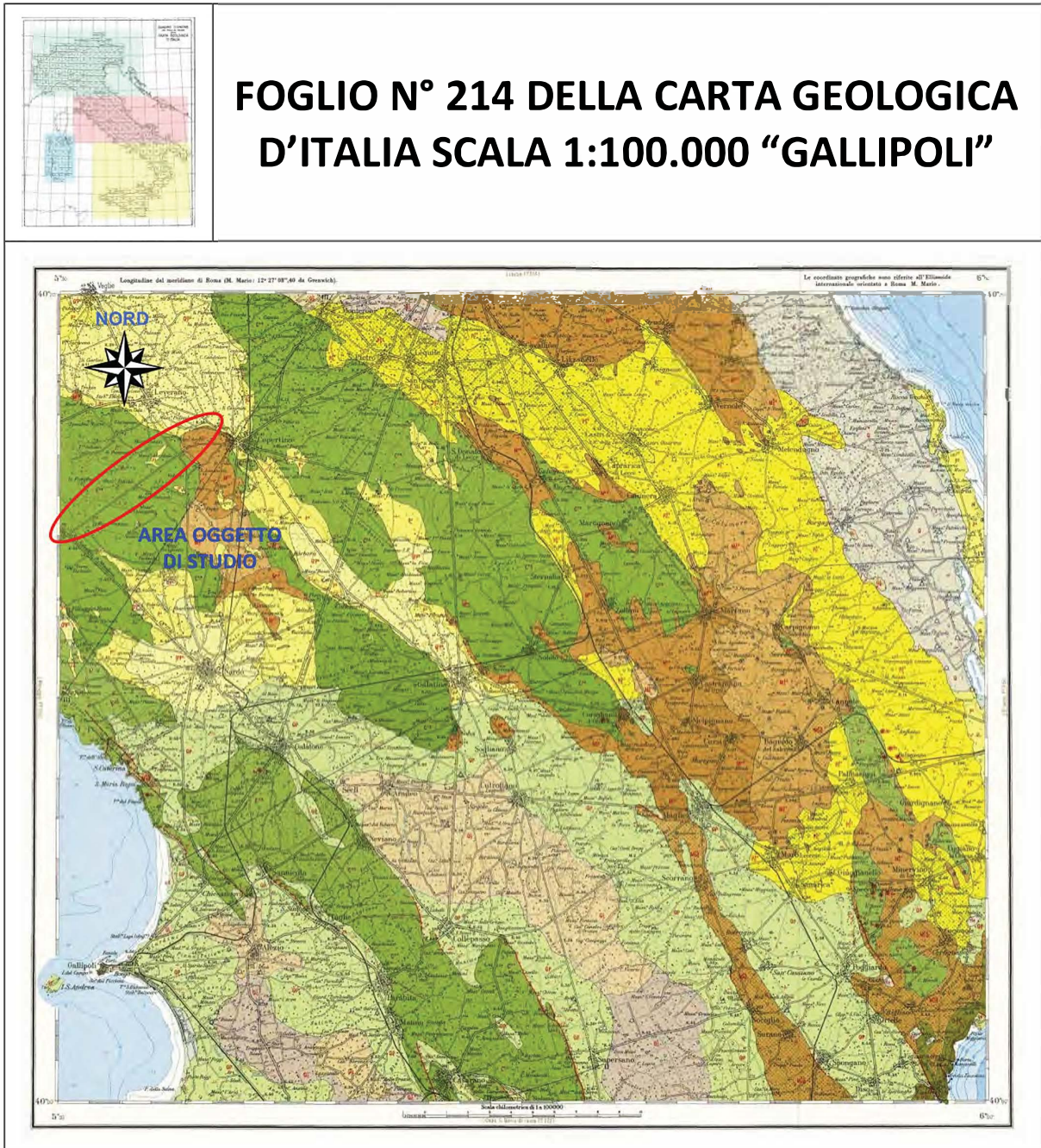
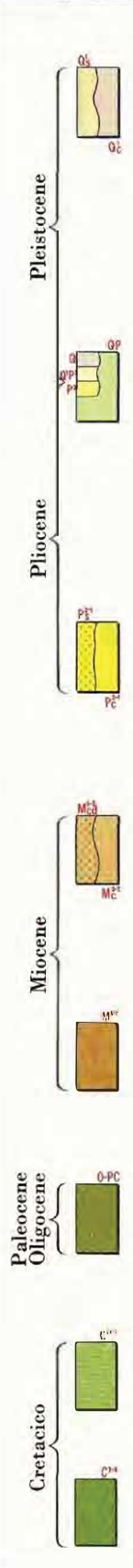


FIG. 3.2: Ubicazione dell'area indagata

LEGENDA:



FORMAZIONE DI GALLIPOLI - Sabbie argillose giallastre, talora debolmente cementate in strati di qualche cm di spessore, che passano inferiormente a marne argillose-sabbiose e marne argillose grigio-azzurrasse (O_q); l'unità spesso ha intercalati banchi arenacei e calcarenitici, ben cementati (O_q). I macrofossili sono rari nelle sabbie argillose, mentre diventano frequenti nelle sottostanti marne argillose con *Arctica islandica* (LIN.), *Chlamys septemradiata* (MIL.) ed altri Molluschi. I Foraminiferi sono sempre più o meno abbondanti; particolarmente frequenti sono: *Elphidium crispum* (LIN.), *Ammonia beccarii* (LIN.), *Bulimina elegans* (DOR.) *marginata* (DOR.), *Bulimina catanensis* (DOR.), *Cassidulina laevigata* (DOR.) *carinata* (DOR.) *seu* *Hyalinea balthica* (DOR.) (CALABRIANO).

CALCARENITI DEL SALENTO - Calcarenitici, calcari grossolani tipo «panchina», sabbioni calcarei più o meno cementati, talora argillosi («tuffi»); verso la base sono presenti alle volte breccie e conglomerati; il colore è grigio, giallastro o rossastro, la stratificazione è molto variabile, talora indistinta od incrociata; i resti fossili sono spesso abbondanti. Le distinzioni in seno all'unità sono state fatte in base ai caratteri micropaleontologici e morfologici.

Ascolazione microfaunistica con *Elphidium aculeatum* (DOR.), *Elphidium crispum* (LIN.), *Elphidium macellum* (RICHT. & MOUL.), *Discorbis orbicularis* (DOR.), *Cibicides lobatulus* (WALK. & JACK.), *Cibicides refulgens* (MONT.), in base ai rapporti stratigrafici il livello è attribuibile al QUATERNARIO (Q).

Accanto a *Ostrea*, *Pecten*, *Pinna*, *Mytilus* ecc. e Foraminiferi di facies come *Elphidium*, *Cibicides*, *Nonion*, *Discorbis*, si rinvengono talora forme più significative che permettono di distinguere le seguenti associazioni: a *Hyalinea balthica* (DOR.), *Cassidulina laevigata* (DOR.) *carinata* (DOR.) *seu* *Bulimina marginata* (DOR.), *Bulimina catanensis* (DOR.) (CALABRIANO); a *Elphidium complanatum* (DOR.), *Globulina gibba* (DOR.) *fissuratum* (CUSH. & OZ.), *Valvulineria complanata* (DOR.), *Globorotalia inflata* (DOR.) (PLIOCENE). Al Quaternario, in particolare e per posizione stratigrafica, vanno riferite le calcareniti dei dintorni di Gallipoli dove inoltre, presso la costa, la presenza di *Strombus buboninus* (LAM.) testimonia il TIRRENIANO (T).

La fauna, nei livelli più elevati è caratterizzata da *Hyalinea balthica* (DOR.), *Cassidulina laevigata* (DOR.) *carinata* (DOR.) *seu* *Bulimina marginata* (DOR.), *Ammonia beccarii* (LIN.) (CALABRIANO-PLIOCENE SUPERIORE?) (Pp).

Accanto a *Cancer siamondoi antistina* (MAY.), sono presenti: *Bulimina marginata* (DOR.), *Cassidulina laevigata* (DOR.) *carinata* (DOR.) *seu* *Discorbis orbicularis* (DOR.), *Cibicides ungerianus* (DOR.), *Cibicides lobatulus* (WALK. & JACK.), *Globigerinoides rubra* (DOR.), *Globigerinoides sacculifer* (BRADY), *Orbulina unisera* (DOR.), *Hastigerina aequilateralis* (BRADY) (PLIOCENE SUPERIORE-MEDIO?) (Pp).

SABBIE DI UGGIANO - Sabbie calcaree e calcareniti marnose giallastre fossilifere, a stratificazione indistinta od in banchi di 15-40 cm di spessore (P₁²); calcari detritici organogeni, compatti, fossiliferi (P₁²); alla base si notano spesso conglomerati. Le microfaune, ricche, presentano due associazioni caratteristiche: a *Globorotalia inflata* (DOR.), *Anomalina ornata* (DOR.), *Bulimina catanensis* (DOR.), *Loxostoma perforatum* (DI NAPOLI) (PLIOCENE SUPERIORE prob.) ed a *Uvigerina rutila* (CUSH. & TODD.), *Siphonina pliocenica* (DOR.) *seu* *Marginalina costata* (BARTSCH.), *Bulimina placantina* (DOR.) (PLIOCENE INFERIORE).

CALCARENITI DI ANDRANO - Calcari detritici porosi, bianchi, con frammenti di Echinidi, Lamellibranchi e rari Foraminiferi, calcareniti marnose organogene simili (Scorrano, Surano, Poggiardo, etc.) alla tipica «Pietra leccese» (M₁²).

Calcari compatti grigi o nocciola (M₁²). I macrofossili sono spesso abbondanti con *Arca barbata* (LIN.), *Aturia aturi* (BASTI.), *Aturia formae* (FAL.), *Chlamys haueri* (MICH.), *Chlamys northamptoni* (MICH.), *Flabellipecten koheni* (DOR.), *Pycnodonta navicularis* (MOC.), *Venus multimella* (LAM.). Tra i Foraminiferi sono presenti: *Uvigerina tenuistriata* (DOR.), *Rectuvigerina gaudrynaides* (DOR.), *Rectuvigerina siphonigerinoides* (DOR.), *Bulimina dilatata* (DOR.), *Bulimina arca* (MACHAD.), *Bulimina scalprata* (SCHW.) *miocenica* (MACHAD.), *Buliminoides miocenicus* (GIAN.), *Cassidulina laevigata* (DOR.), *Pseudocassidulina rudis* (DOR.), *Globigerina neperthes* (DOR.), *Globorotalia menardi* (DOR.), *Orbulina unisera* (DOR.) (MIOCENE SUPERIORE & MEDIO). Nei livelli inferiori sono presenti, saltuariamente (Castro, Poggiardo): *Globorotalia meyeri* (CUSH.) *seu* *Bulimina hebes* (MACHAD.), *Bulimina testiformis* (CUSH.) e *Globoquadrina* (ELVEZIANO-LANGHIANO).

«PIETRA LECCESE» - Calcareniti marnose, organogene, a grana uniforme, giallo-grigiastre o paglierine, a stratificazione talora indistinta od in banchi di 10-30 cm di spessore. I fossili sono spesso abbondanti con Molluschi, Echinidi, Briozoi, Crostacei e Vertebrati; tra i Foraminiferi, sono presenti: *Uvigerina auberiana* (DOR.), *Uvigerina barbata* (MACHAD.), *Bulimina hebes* (MACHAD.), *Sitilostomella verneilli* (DOR.), *Buliminoides miocenicus* (GIAN.), *Spiroplectammina carinata* (DOR.), *Bulimina scalprata* (SCHW.) *miocenica* (MACHAD.), *Orbulina suturalis* (MACHAD.) (ELVEZIANO e forse LANGHIANO). Recentemente sono stati segnalati, nei livelli più elevati affioranti nella zona di Cursi-Melpignano, fossili ritenuti del TORTONIANO e tuttora in studio.

CALCARI DI CASTRO - Calcari bioclastici, talora porcellanacci e subcristallini, grigio-chiari, a frattura in genere conoide e stratificazione alle volte indistinta, ma spesso ben evidente in strati di 20-60 cm di spessore; i fossili sono abbondanti e rappresentati da Coralli, Briozoi, Echinidi, Alghe e Foraminiferi. In base a quest'ultimi, sono distinguibili le seguenti associazioni: a *Eulopidineae*, *Nephrolepidinae*, *Miogyssinoidae*, *Heterosteginae* (OLIGOCENE?); a *Nannulites*, *Operculinae*, *Discocyrtinae* (EOCENE?); a *Coskinolina liburnica* (ZACCH.), limitatamente a NNE di Porto Miggiano (PALEOCENE?).

«CALCARI DI MELISSANO» - Calcari compatti, a frattura irregolare, grigi e nocciola, talora chiari e porcellanacci, con intercalati calcari dolomitici e raramente dolomie vucolari nocciola. Tra i fossili, particolarmente significativi sono *Sinuogastrea*, *Durania*, *Jostia reticulata* (DOR.). Le microfaune sono in genere scarse e con forme prive di significato cronostatigrafico; occasionalmente sono presenti *Orbitoides*, *Acordiella conica* (FAL.), *Cuneolina portoria* (DOR.) *parva* (MACHAD.) (SENONIANO-TURONIANO). Presso Mass. Capriglia (Vigliano) si rinviene *Sellialveolina viallii* (DOR.) associata a *Cuneolina pavonia* (DOR.) *parva* (MACHAD.) e *Rotalinae* (CENOMANIANO).

DOLOMIE DI GALATINA - Dolomie grigio-nocciola, spesso vucolari, calcari dolomitici e calcari grigi a frattura irregolare. I resti fossili sono in genere scarsi e particolarmente rappresentati da *Apricardia carantonensis* (DOR.), e *Cerithium* sp. cui si unisce presso Corigliano d'Otranto *Eurydiolites calabrianus* (FAL.); anche le microfaune sono scarse con *Miliolidae*, *Ophthalimididae* e *Textularidae* (CENOMANIANO e forse TURONIANO INFERIORE).

4. INQUADRAMENTO MORFOLOGICO E GEOLITOLOGICO

4.1 ASSETTO GEOLITOLOGICO

L'area oggetto di studio, ubicata ad una quota variabile compresa tra 35 ÷ 55 mt s.l.m.m. lungo la linea che congiunge il campo di fotovoltaico *nel comune di Nardò* e la *cabina MT di consegna nel comune di Copertino attraversando il Comune di Leverano* per una lunghezza complessiva di poco meno di 8 km, è caratterizzata da una morfologia per lo più pianeggiante con escursioni altimetriche modeste ed una pendenza media di circa 1,5 %.

Nel complesso, l'assetto geomorfologico di questa porzione di territorio appare indubbiamente influenzato dallo sviluppo dei fenomeni morfogenetici di tipo carsico, che, tuttavia, hanno dato origine ad una serie di tipiche strutture di superficie (doline e "vore") concentrate soprattutto a sud e a nord del sito di progetto, ovvero laddove affiorano formazioni di età più antica che, conseguentemente, sono rimaste più a lungo esposte all'aggressione chimica delle acque pluviali.

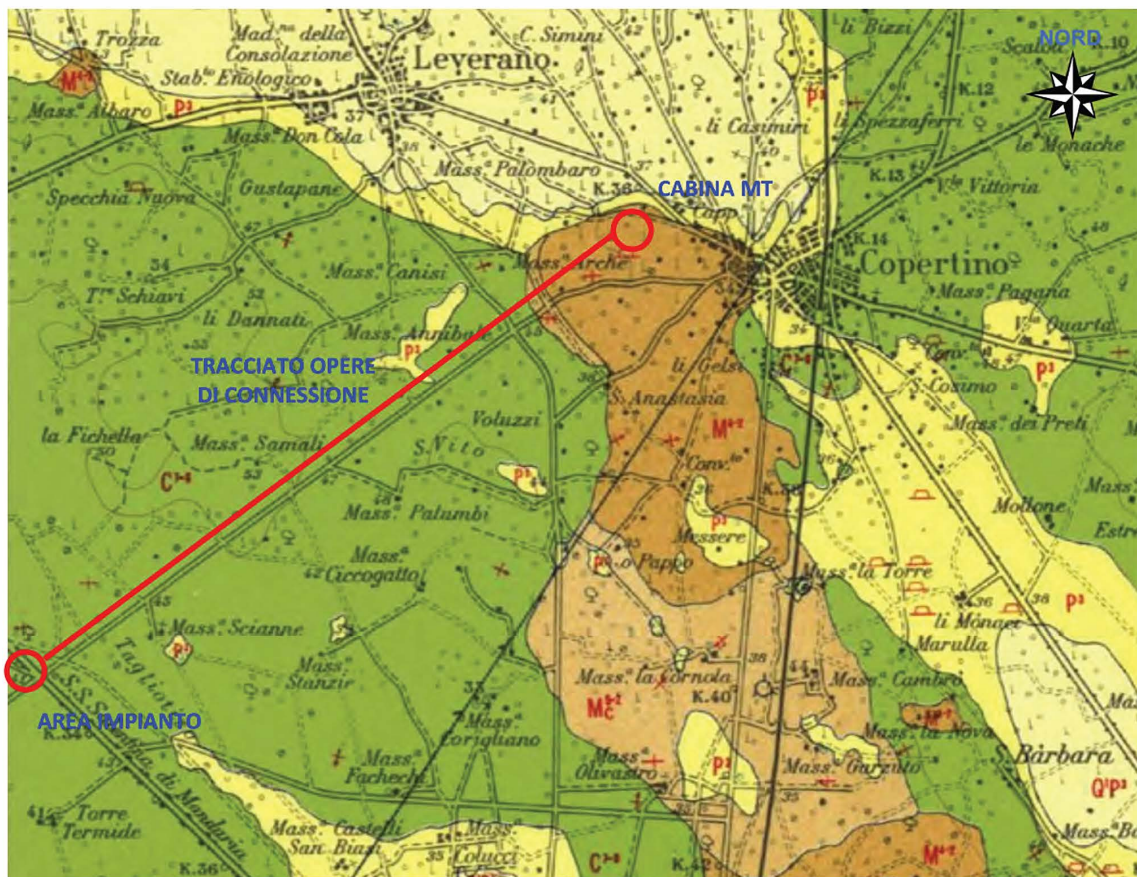


Tavola 3.1: Carta geologica dell'area indagata

Al fine di risalire alle condizioni lito-stratigrafiche generali e di dettaglio dell'area in esame è stato condotto un rilevamento geologico di superficie integrato dai dati desunti dalle indagini in sito eseguite.

Al di sotto di una più o meno spessa copertura vegetale di terreno alterato, si evidenziano condizioni geologiche piuttosto semplici ed uniformi; nelle sue linee essenziali lo schema stratigrafico dell'area indagata, può essere distinta, in ordine cronologico dalla più antica alla più recente, come segue:

1. "Dolomie di Galatina";
2. "Pietra Leccese";

Si riporta una descrizione sintetica della successione geologica riscontrabile:

Dolomie di Galatina (Cretaceo superiore): La formazione cretacea è costituita da una successione di calcari microcristallini di colore biancastro o grigio chiaro, in genere piuttosto compatti e tenaci, a luoghi alternati a calcari dolomitici e dolomie. Ad alcune altezze stratigrafiche si rinvencono anche calcari bioclastici di colore biancastro con abbondanti resti di Rudiste.

I termini prettamente dolomitici (calcari dolomitici e dolomie), di origine diagenetica secondaria, si presentano in genere con un aspetto sub-saccaroide e una colorazione più scura, dal grigio scuro al nocciola sino al nerastro (livelli bituminosi).

La formazione si presenta di norma ben stratificata, con strati di spessore da medio (20 ÷ 40 cm) a elevato (40 ÷ 100 cm).

Le masse calcaree risultano inoltre interessate da un diffuso e a luoghi intenso stato di fratturazione (acquisito nel corso delle pregresse vicissitudini tettoniche) cui si accompagna un grado di carsificazione ugualmente intenso.

L'unità stratigrafica continua nel sottosuolo per uno spessore complessivo dell'ordine delle migliaia di metri, come si rileva dalla stratigrafia del pozzo profondo "Ugento 1" realizzato dall'AGIP mineraria per scopi di ricerca di idrocarburi.

Sulla base del contenuto microfaunistico, la formazione è ascrivibile al Cenomaniano (Cretaceo superiore).

Pietra Leccese (del Miocene): nota in letteratura geologica per il suo ricco contenuto paleontologico (molluschi, coralli isolati, denti di Elasmobranchi, ossa di vertebrati) e perché da tempi immemorabili è utilizzata in tutto il Salento leccese come materiale da costruzione, si presenta come una roccia carbonatica debolmente marnosa, di granulometria in genere fine e di colore prevalentemente avana con tonalità da chiare fino al bruno-tabacco, non stratificata o mal stratificata in banchi, con dispersi rari o rarissimi macrofossili. Da un punto di vista petrografico è costituita da biomicriti e biospariti a foraminiferi planctonici con piccoli granuli apatitici e gusci di foraminiferi fosfatizzati. Verso l'alto le biomicriti divengono con gradualità glauconitiche ed assumono un colore verdastro. All'interno di questo intervallo che è indicato dai cavaatori col nome

di "piromafo" è evidente una maggiore concentrazione di noduletti apatitici e di fossili. Tra i fossili più comuni si possono ricordare Pycnodonte, Flabellipecten ed Amusium. Localmente la potenza della Pietra Leccese è di pochi metri.

4.2 ASSETTO GEOLOGICO LOCALE

L'area oggetto di interesse progettuale, come da Tav. 3 "Carta degli elementi geostutturali dell'area oggetto dell'intervento progettuale: litologia superficiale" estratta dal sito internet dell'Autorità di Bacino della Puglia <http://www.adb.puglia.it> ed allegata in calce alla presente relazione), al di sotto di una più o meno spessa copertura di terreno vegetale alterato, è caratterizzata dalla presenza in affioramento dall'alternanza di depositi calcarenitici e calcarei; in particolar modo:

1. nell'area interessata dalla realizzazione dell'impianto come in gran parte del tracciato delle opere di connessione, affiorano:

- Unità prevalentemente calcarea o dolomitica (Dolomie di Galatina), costituita da una successione di calcari microcristallini di colore biancastro o grigio chiaro, in genere piuttosto compatti e tenaci, a luoghi alternati a calcari dolomitici e dolomie.

2. nella parte finale delle opere di connessione fino alla più vicina cabina MT di consegna abbiamo:

- Unità a prevalente componente arenitica (Pietra Leccese), costituita da calcareniti marnose di granulometria in genere fine e di colore prevalentemente avana con tonalità da chiare fino al bruno-tabacco, non stratificata o mal stratificata in banchi.

4.3 ASSETTO MORFOLOGICO

Dal punto di vista morfologico:

- l'area interessata dalla realizzazione del campo fotovoltaico ubicata ad una quota topografica media di 35 mt s.l.m.m., si presenta generalmente pianeggiante e caratterizzata da pendenze medie inferiori all'1%,

- l'area interessata dal tracciato delle opere di connessione, ubicata ad una quota topografica compresa tra 35 ÷ 55 mt s.l.m.m. lungo la linea che congiunge il campo di fotovoltaico *nel comune di Nardò* e la *cabina MT di consegna nel comune di Copertino attraversando il Comune di Leverano* per una lunghezza complessiva di poco meno di 8 km, è caratterizzata da una morfologia per lo più pianeggiante con escursioni altimetriche modeste ed una pendenza media di circa 1,5 %.

5. IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA DELL'AREA INDAGATA

5.1 LINEAMENTI IDROGEOLOGICI REGIONALE

I caratteri litologici delle diverse formazioni, le loro giaciture ed i relativi rapporti di posizione, fanno sì che in Puglia la circolazione idrica sotterranea si espliciti attraverso di due distinti sistemi la cui interazione tende a variare da luogo a luogo.

Il primo, più profondo, come falda di base o profonda è rappresentato dalla falda carsica circolante nel basamento carbonatico mesozoico, fortemente fratturato e carsificato; il secondo, rinvenibile nei depositi della copertura post-cretacea è costituito da una serie di falde superficiali, che si rinvergono a profondità ridotte dal piano campagna, ovunque la presenza di livelli impermeabili vada a costituire uno sbarramento a letto.

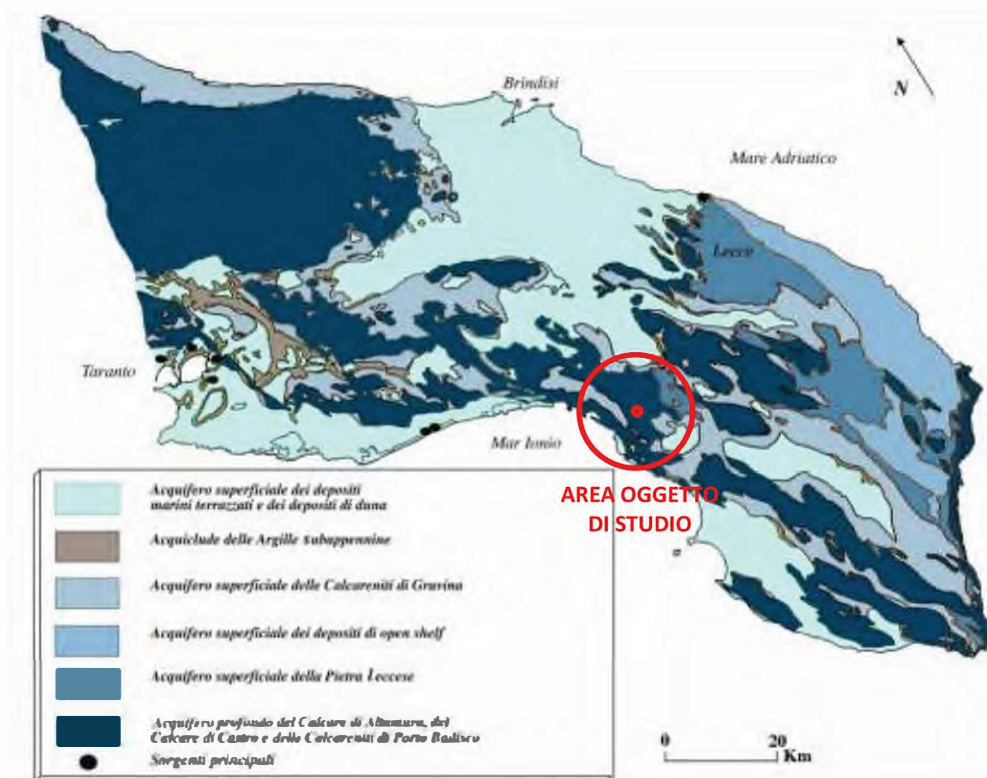


Fig. 5.1: Carta della permeabilità e delle principali manifestazioni sorgentizie costiere del Salento

Le acque dolci della falda profonda, invece, sono sostenute alla base dalle acque marine di invasione continentale, dalle quali sono separate da una fascia idrica di transizione, la zona di diffusione, caratterizzata da un rapido incremento verticale del contenuto salino; naturalmente, essendo l'equilibrio fra queste acque legato al carico idraulico delle acque dolci, lo spessore di queste ultime si riduce man mano che ci si avvicina alla linea di costa, fino ad annullarsi completamente.

Nell'ambito della falda profonda sono inoltre individuabili tre distinte unità idrogeologiche; la garganica, la murgiana e la salentina. In particolare, queste ultime due sono in contiguità laterale tra di loro lungo l'allineamento Taranto-Brindisi attraverso il quale, in virtù dei differenti carichi idraulici, si

concretizza un forte sversamento di acque sotterranee dall'unità murgiana in quella salentina; nell'unità idrogeologica murgiana, infatti, si riscontrano sempre carichi idraulici molto alti, anche oltre i 50 metri, ed una circolazione prevalentemente in pressione, mentre in tutto il Salento si hanno carichi modesti, mai superiori ai 4 metri, con una circolazione usualmente a pelo libero.

5.2 LINEAMENTI IDROGRAFICI DELL'AREA INDAGATA

L'area indagata si colloca nel sistema morfoclimatico temperato con regime pluviometrico di tipo mediterraneo-marittimo caratterizzato da un periodo di massima piovosità compreso tra ottobre e marzo (con massimi in novembre e dicembre) e da un periodo di magra compreso tra aprile e settembre (con minimi in luglio e agosto).

Il fenomeno carsico, i caratteri di permeabilità delle formazioni presenti, comune a tutto il territorio salentino o se vogliamo sud pugliese, nonché quelle delle precipitazioni meteoriche non favoriscono il regolare deflusso delle acque di origine meteorica verso il mare per via superficiale portando ad un modesto sviluppo della rete idrografica, caratterizzata per lo più dalla presenza di una serie di canali più o meno profondi che a loro volta hanno disegnato un reticolo idrografico oramai appena accennato a causa dell'intenso sfruttamento agricolo e della forte urbanizzazione che ha cancellato o ha mascherato molto di quello che può essere significativo dal punto di vista morfologico.

In particolare, come da Tav. 4 "Carta Idrogeomorfologica della Puglia" estratta dal sito internet dell'Autorità di Bacino della Puglia <http://www.adb.puglia.it> ed allegata in calce alla presente, l'area oggetto dell'intervento progettuale risulta interessata, nella sola parte terminale dell'area interessata dalle opere di connessione dalla presenza di un corso d'acqua episodico immissario di un piccolo bacino endoreico.

5.3 LINEAMENTI IDROGEOLOGICI DELL'AREA INDAGATA

Il modesto sviluppo della rete idrografica sopradescritta, si contrappone ad un più accentuato afflusso al sistema idrico sotterraneo, le cui proprietà geometriche ed idrogeologiche costituiscono, di norma, un sistema idrico discontinuo a seguito delle proprietà geolitologiche dei depositi interessati, in funzione delle quali gli stessi depositi possono essere suddivise in tre gruppi:

- a. **impermeabili** a cui appartengono i terreni affioranti costituiti da argille e limi, presenti seppur fino a modeste profondità, in maniera quasi omogenea su tutto il territorio comunale ed in particolar modo in quello indagato (coefficiente di permeabilità compreso tra $10^{-7} \div 10^{-9}$ cm/s);
- b. **permeabili per porosità interstiziale** a cui appartengono i terreni pleistocenici a composizione sabbioso-limosa e calcarenitica. I primi, localizzati negli strati più superficiali, al di sopra delle calcareniti e/o delle argille, presentano una permeabilità alquanto modesta (K dell'ordine di $10^{-4} \div 10^{-5}$ cm/s), a causa dell'abbondante presenza di frazione fine (limoso-argillosa) che ne riduce significativamente la porosità efficace. Viceversa, significativamente maggiore risulta il grado di permeabilità dei sedimenti pleistocenici a composizione calcarenitica ("tufi calcarei"), caratterizzati

da un'elevata porosità efficace che conferisce loro un coefficiente di permeabilità "K" dell'ordine di $10^{-2} \div 10^{-3}$ cm/s;

- c. **permeabili per fessurazione e carsismo**, a cui appartengono le rocce permeabili del complesso carbonatico, la formazione mesozoica calcarea che, costituente l'acquifero sotterraneo, è caratterizzato dalla presenza di permeabilità di tipo "secondario", cioè non direttamente legata alle caratteristiche litologico-tessiturali dei materiali, ma piuttosto acquisita, in un secondo momento, per il concorso di cause esterne (tettonica, carsismo); esse infatti risultano interessate da un diffuso, esteso e talora piuttosto intenso stato di fessurazione, che, associato ad un carsismo a luoghi piuttosto spinto, conferisce loro una permeabilità media assai elevata sia verticalmente che lateralmente ($K \cong 10^{-1} \div 10^{-2}$ cm/sec).

In virtù di quanto sopra, l'area in studio è caratterizzata dalla presenza di un unico sistema idrico sotterraneo definito profondo, rinvenibile nell'ammasso carbonatico mesozoico che trovando alimentazione in un vasto bacino idrografico che è quello dei massicci calcarei, presenta portata consistente la cui superficie piezometrica si attesta ad una profondità tale (superiore ai 30 ÷ 35 mt dal p.c.) da non interferire con le opere in progetto, avente carico idraulico che varia nell'area in oggetto fra gli 1 ÷ 2 mt (Fig. 5.3), il cui deflusso ha prevalentemente direzione NE-SO verso l'attuale linea di costa.

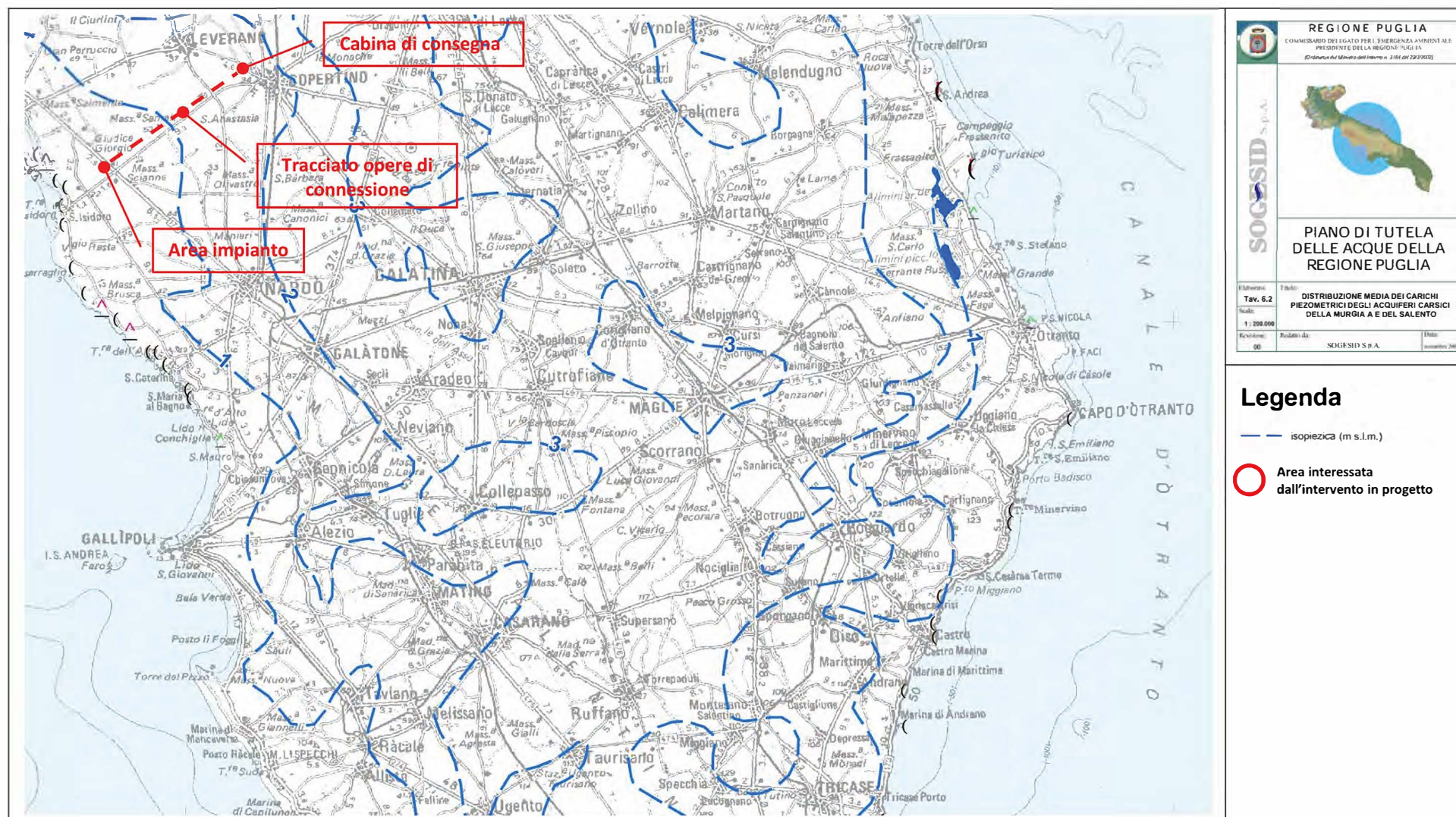


Fig. 5.3: Estratto Tav. 6.2 "Distribuzione media dei carichi piezometrici degli acquiferi carsici della murgia e del Salento" del Piano di tutela delle acque della Regione Puglia - isofreatiche dell'acquifero profondo

5. PERICOLOSITA' GEOLOGICHE, ASSETTO IDROGEOLOGICO ED IDROGRAFICO

Con deliberazione del comitato istituzionale n. 39 del 30 novembre 2005, la Regione Puglia ha adottato il Piano di Bacino stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia (PAI), finalizzato al miglioramento delle condizioni di regime idraulico e della stabilità geomorfologia, necessario a ridurre gli attuali livelli di pericolosità e a consentire uno sviluppo sostenibile del territorio nel rispetto degli assetti naturali, della loro tendenza evolutiva e delle potenzialità d'uso.

Il PAI costituisce Piano Stralcio del Piano di Bacino, ai sensi dall'articolo 17 comma 6 ter della Legge 18 maggio 1989, n. 183, ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia.

Le finalità del Piano sono:

- a) la definizione del quadro della pericolosità idrogeologica in relazione ai fenomeni di esondazione e di dissesto dei versanti;
- b) la definizione degli interventi per la disciplina, il controllo, la salvaguardia, la regolarizzazione dei corsi d'acqua e la sistemazione dei versanti e delle aree instabili a protezione degli abitati e delle infrastrutture, indirizzando l'uso di modalità di intervento che privilegino la valorizzazione ed il recupero delle caratteristiche naturali del territorio;
- c) l'individuazione, la salvaguardia e la valorizzazione delle aree di pertinenza fluviale;
- d) la manutenzione, il completamento e l'integrazione dei sistemi di protezione esistenti;
- e) la definizione degli interventi per la protezione e la regolazione dei corsi d'acqua;
- f) la definizione di nuovi sistemi di protezione e difesa idrogeologica, ad integrazione di quelli esistenti, con funzioni di controllo dell'evoluzione dei fenomeni di dissesto e di esondazione, in relazione al livello di riduzione del rischio da conseguire.

Come riportato all'Art. 1 comma 6 del Piano, nei programmi di previsione e prevenzione e nei piani di emergenza per la difesa delle popolazioni e del loro territorio ai sensi della legge 24 febbraio 1992 n. 225 si dovrà tener conto delle aree a pericolosità idraulica e a pericolosità geomorfologica considerate rispettivamente ai titoli II e III del presente Piano.

Premesso quanto sopra, al fine di effettuare una valutazione complessiva della pericolosità geomorfologia, idraulica e del rischio, interessante l'area oggetto dell'intervento progettuale, è stata effettuata:

1. l'analisi della **Carta Idro-geomorfologica della Regione Puglia allegata al Piano di bacino stralcio assetto idrogeologico (P.A.I.)** della Regione Puglia in cui l'Autorità di Bacino, al fine della salvaguardia dei corsi d'acqua, della limitazione del rischio idraulico e per consentire il libero deflusso delle acque, ha individuato il reticolo idrografico in tutto il territorio di competenza,

nonché l'insieme degli alvei fluviali in modellamento attivo e le aree golenali, ove vige il divieto assoluto di edificabilità;

2. l'analisi della cartografia allegata al **Piano di bacino stralcio assetto idrogeologico (P.A.I.)** della Regione Puglia in cui l'Autorità di Bacino ha individuato le aree esposte a pericolosità geomorfologica e idraulica e pertanto a rischio;

di cui alle Tav. 3 "Carta Idrogeomorfologica della Puglia", Tav. 4 "Carta delle aree a pericolosità Idraulica e Geomorfologica" estratte dal sito internet dell'Autorità di Bacino della Puglia <http://www.adb.puglia.it> allegate in calce alla presente relazione.

Dall'analisi di cui al punto 1 precedente, si evidenzia come:

- a. **l'area interessata dalla realizzazione dell'impianto in progetto non ricade**, neanche parzialmente:
 - a meno di 75 mt da tratti di reticolo idrografici, in alveo in modellamento attivo;
 - a meno di 150 mt da tratti di reticolo idrografici, in aree golenale non arealmente individuabile.
- b. **l'area interessata dalla realizzazione delle opere di connessione fino alla più vicina cabina MT di consegna** intercettando nella parte terminale verso la cabina di MT, un corso d'acqua episodico immissario di un piccolo bacino endoreico (cerchiata in viola nella Tav. 3), **ricade** pertanto:
 - a meno di 75 mt da tratti di reticolo idrografici, in alveo in modellamento attivo;
 - a meno di 150 mt da tratti di reticolo idrografici, in aree golenale non arealmente individuabile.

Dall'analisi di cui al punto 2 precedente, si evidenzia come:

- a. **l'area interessata dalla realizzazione dell'impianto in progetto non ricade**, neanche parzialmente:
 - in aree identificate e perimetrate a pericolosità idraulica;
 - in aree identificate e perimetrate a pericolosità geomorfologica;
 - in aree identificate e perimetrate a rischio;
- b. **l'area interessata dalla realizzazione delle opere di connessione fino alla più vicina cabina MT di consegna**:
 - intercetta nella parte iniziale una piccola area identificata a **Bassa Pericolosità idraulica (B.P.)** come definita all'art. 36 delle Norme Tecniche di Attuazione, rappresentata da una piccola depressione (conca) a carattere endoreica (cerchiata in viola nella Tav. 4);
 - intercetta nella parte terminale, un'area identificata ad **Alta (A.P.), Media (M.P.) e Bassa (B.P.)** pericolosità idraulica, come definite all'art. 36 delle Norme Tecniche di Attuazione (cerchiata in viola nella Tav. 3).

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, la caratterizzazione fisico-meccanica e la definizione della categoria di sottosuolo e dei parametri e coefficienti sismici locali dei terreni oggetto dell'intervento in progetto, in relazione alle opere in progetto è stata eseguita, a cura dello scrivente, una campagna di indagine geognostica (D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"), come di seguito specificata:

- indagine di prospezione sismica realizzata per mezzo di:
 - ✓ n° 3 stendimenti sismici in onda S a tecnica **MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves)**,
 - ✓ n° 3 stendimenti sismici in onda S a tecnica **RE.MI. (Refraction Microtremor)**,
 - ✓ n° 3 stendimenti sismici tomografici a rifrazione in onda P (**Rifrazione**);

ubiccate come da figure 6.1 e 6.2 seguenti.

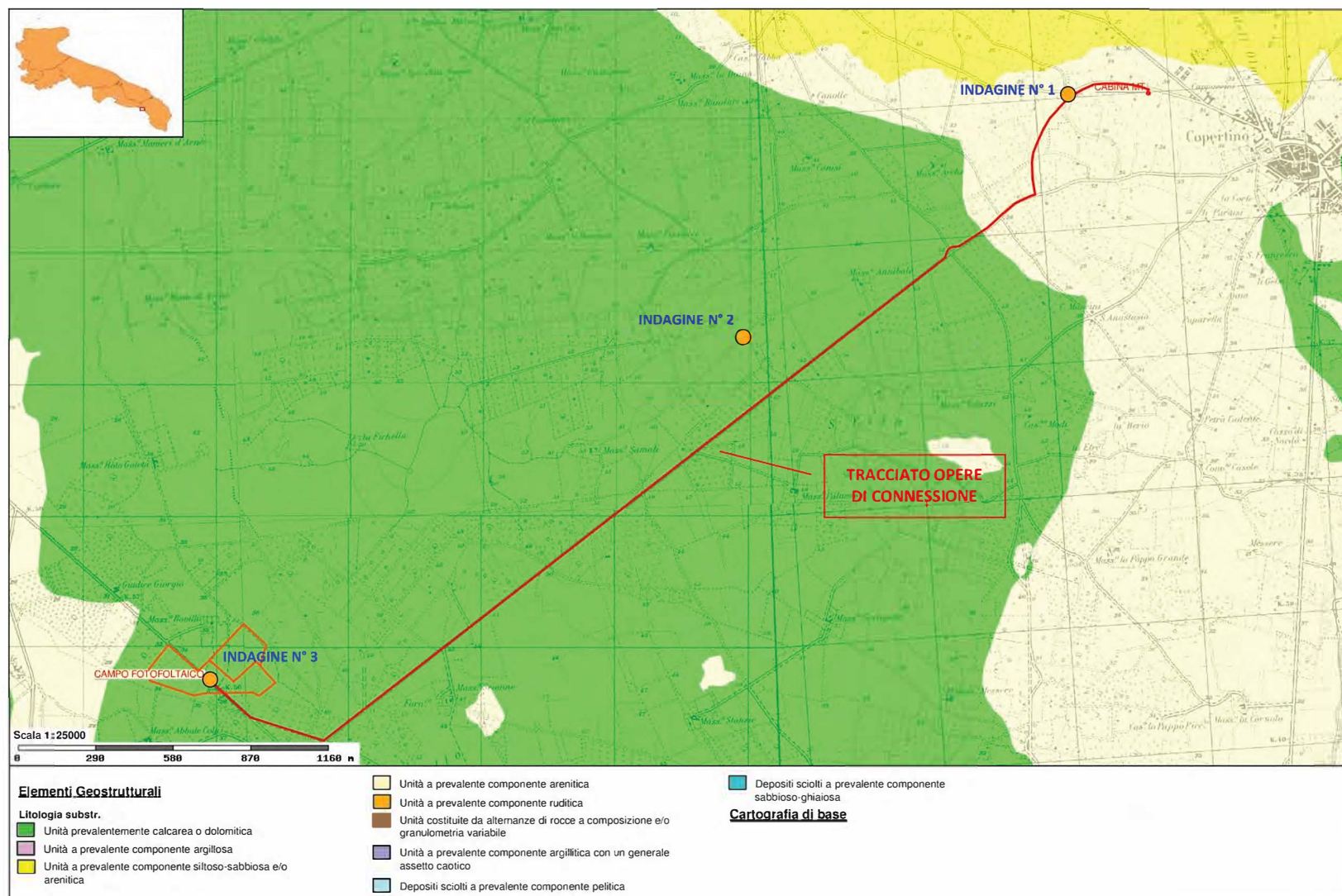


Fig. 6.1 Ubicazione delle indagini geostitiche realizzate





Fig. 6.2 Ubicazione delle indagini geognostiche

LEGENDA:

◆—◆ Profilo sismico M.A.S.W. - RE.MI - TOMOGRAFICO A RIFRAZIONE

7. DEFINIZIONE CATEGORIE DI SOTTOSUOLO, CONDIZIONI TOPOGRAFICHE E PARAMETRI SISMICI LOCALI

L'attuale normativa sismica si fonda sull'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20.03.2003 pubblicata sulla G.U. n° 105 del 08.05.2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zone sismiche" .

L'O.P.C.M. n° 3274/2003 rappresenta un primo tentativo di allineamento della normativa italiana con quella europea dato che esso si ispira completamente all'Eurocodice 8.

In prima fase di applicazione dell'ordinanza e fino alla formale individuazione e riclassificazione delle zone sismiche delle singole regioni, tale ordinanza, individua 4 nuove zone sismiche da 1 (maggiore pericolo) a 4 (minore pericolo) nelle quali suddivide l'intero territorio nazionale in relazione all'intensità e frequenza dei terremoti del passato.

A differenza della precedente classificazione, con l'O.P.C.M. n° 3274/2003, sparisce il territorio "non classificato", e viene introdotta la zona 4.

Secondo tale provvedimento legislativo, tutti i comuni italiani sono stati classificati in 4 categorie principali, indicative del loro rischio sismico, calcolato in base al PGA, Peak Ground Acceleration, cioè il valore di accelerazione massima del suolo (picco di accelerazione al suolo) misurata nel corso di un terremoto o attesa in un determinato sito che tiene conto dell'influenza degli eventuali effetti di amplificazione del moto sismico dovuti alle caratteristiche del sottosuolo o alla topografia.

Zona 1 (identificata nella carta della "Classificazione sismica del territorio nazionale" con il colore **ROSSO**): Sismicità alta

Identifica la zona più pericolosa dove "possono verificarsi fortissimi terremoti" (PGA oltre 0,25 g).

Zona 2 (identificata nella carta della "Classificazione sismica del territorio nazionale" con il colore **ARANCIONE**): Sismicità medio-alta

In questa zona possono verificarsi forti terremoti (PGA fra 0,15 e 0,25 g).

Zona 3 (identificata nella carta della "Classificazione sismica del territorio nazionale" con il colore **GIALLO**): Sismicità medio-bassa

In questa zona possono verificarsi forti terremoti ma rari (PGA fra 0,05 e 0,15 g).

Zona 4 (identificata nella carta della "Classificazione sismica del territorio nazionale" con il colore **GRIGIO**): Sismicità bassa

È la zona meno pericolosa (PGA inferiore a 0,05 g).

L'O.P.C.M. n° 3274/2003 attribuisce alle singole regioni la facoltà di introdurre o meno l'obbligo della progettazione antisismica in opere da edificare in zona 4 ad eccezione delle tipologie di edifici ed opere strategiche e rilevanti ai fini di protezione civile e del collasso degli stessi ove sussiste comunque l'obbligo di progettazione antisismica anche in zona 4.

In seguito con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3519 del 28 aprile 2006, è stato adottato un aggiornamento dello studio di pericolosità di riferimento nazionale, fornendo alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (ag), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche.

Nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, alcune Regioni hanno classificato il territorio nelle quattro zone proposte, altre Regioni hanno classificato diversamente il proprio territorio, ad esempio adottando solo tre zone (zona 1, 2 e 3) e introducendo, in alcuni casi, delle sottozone per meglio adattare le norme alle caratteristiche di sismicità.

La Regione Puglia, con Deliberazione di Giunta n° 153 del 02.03.2004 pubblicata sul B.U.R.P. n° 33 del 18.03.2004, in recepimento della previgente normativa statale ha, provveduto alla classificazione sismica dell'intero territorio pugliese, elencando i comuni ricadenti nelle zone sismiche 1, 2, 3 e 4, nonché individuando le tipologie di edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità, durante gli eventi sismici assumeva rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, nonché degli edifici e delle opere infrastrutturali che potevano assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso, così come distinti negli elenchi "A" e "B", allegati alla medesima delibera n° 153/04. Contestualmente, stabiliva, "sino ad eventuale diversa determinazione" l'insussistenza dell'obbligo "della progettazione antisismica per gli edifici e le opere da realizzare sul territorio pugliese classificato in zona sismica 4", eccezion fatta per gli edifici di interesse strategico e/o rilevanti di cui ai suddetti elenchi "A" e "B", per i quali erano immediatamente applicabili i disposti normativi introdotti dalla citata O.P.C.M. n° 3274/03 e s.m.i., di cui all'O.P.C.M. n° 3316/03.

A seguito dell'anticipazione alla data dell'01.07.2009 dell'entrata in vigore delle Norme Tecniche, approvate con D.M. 14.01.2008, in conseguenza degli eventi sismici avvenuti in Abruzzo, al fine di meglio tutelare la pubblica e privata incolumità, la Regione Puglia con D.G.R. n. 1626 del 15 settembre 2009 ha ritenuto opportuno l'estensione dell'obbligo della progettazione antisismica anche per le costruzioni private da realizzare in zona sismica classificata "4", modificando quanto precedentemente previsto, nella fattispecie, dalla succitata delibera di G.R. n° 153/04. Pertanto, per tutte le tipologie di fabbricati ricadenti in siti classificati come zona sismica 4, il riferimento normativo è da ricondursi al disposto di cui al cap. 2 punto 2.7 delle Norme Tecniche di cui al D.M. 14.01.2008 come aggiornate dal D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", nonché al capitolo C7 della relativa circolare esplicativa ministeriale 02 febbraio 2009 n° 617.

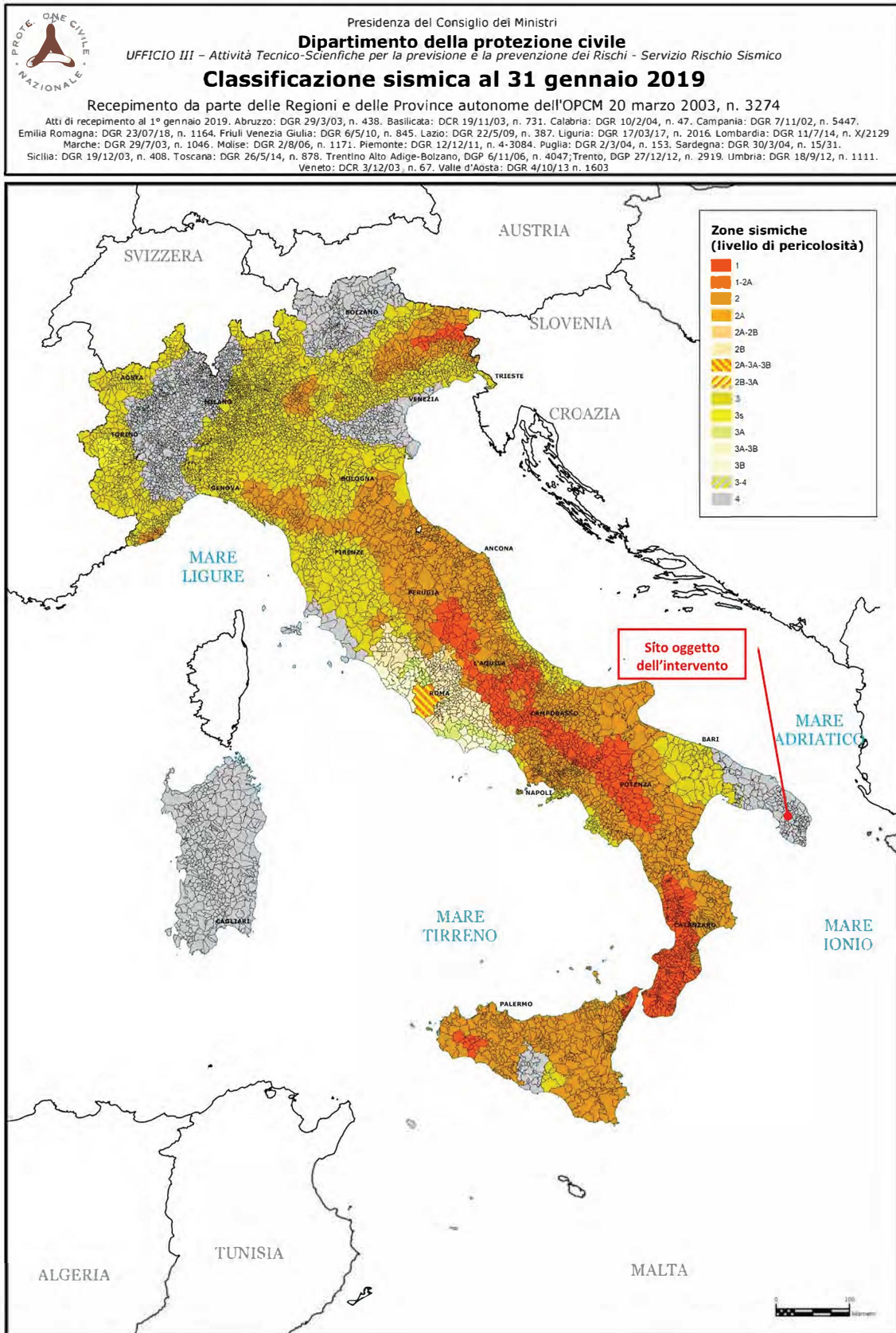


Fig. 8.1 Classificazione sismica del territorio del territorio nazionale
 (<http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-sismico/attivita/classificazione-sismica>)

8.1 DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

In ottemperanza a quanto prescritto dal D.M. 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" come aggiornate dal D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 del D.M. 17 gennaio 2018 (NTC 2018).

In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II di cui al D.M. 17 gennaio 2018 come sotto riportata, 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 .

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

CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo (si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso), ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, 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 dalla seguente 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.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

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

Il profilo delle velocità equivalenti di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ risulta necessario per:

- valutare l'azione sismica di progetto al livello delle fondazioni di qualunque struttura;
- valutare il rischio di liquefazione del terreno in sito;
- valutare rischi di instabilità dei pendii e/o delle opere di sostegno;
- valutare i cedimenti dei rilevati stradali, delle opere di sostegno, delle fondazioni degli edifici;
- valutare la trasmissione delle vibrazioni generate dai treni, dalle macchine vibranti, dalle esplosioni in superficie o in sottosuolo, dal traffico veicolare.

Le azioni sismiche delle cinque categorie di sottosuolo descritte nella tabella 3.2. Il sopra riportata, sono definite al § 3.2.3 delle NTC 2018.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

8.1.1 Definizione categoria di sottosuolo locale

Per la definizione della categoria di sottosuolo, come anticipato al capitolo precedente, ci si è riferiti alle risultanze di una campagna di indagine di prospezione sismica dei terreni a mezzo di **N° 3 indagine sismica con metodologia Re.Mi. (Refraction Microtremor)** e **N° 3 indagine sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)** eseguite con sismografo DoReMi RS232 a 12 canali e 16 bit della SARA Electronic Instruments con geofoni a 4.5 Hz, elaborate per mezzo del software MASW ver. 4.1.0.0.

L'**analisi sismica** di sito, effettuata tramite l'utilizzo di antenne sismiche e metodologie **Re.Mi. (Refraction Microtremor)** e **MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)**, consente di determinare il profilo di rigidità del sito (velocità delle onde di taglio S) tramite la misura di velocità di propagazione delle onde di superficie (onde di Rayleigh) ed un successivo processo di inversione. Le sorgenti sismiche sono rappresentate da una sorgente sismica passiva "rumori ambientali", o microtremori, costantemente generati da disturbi naturali o artificiali per la prova con metodologie **Re.Mi. (Refraction Microtremor)** e da una sorgente sismica attiva, quale una mazza del peso di 5 kg battente verticalmente su una piastra circolare in acciaio del diametro di 220 mm, per la prova con metodologie **MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)**.

Le metodologie sopra riportate permettono altresì di definire il parametro $V_{s_{eq}}$ utile per la classificazione dei terreni nelle categorie di suolo da utilizzare in seguito per la progettazione delle costruzioni secondo la normativa antisismica.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency" (p-f), che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni (orizzontale e verticale) della linea sismica, e nel rappresentarne poi lo spettro di potenza su un grafico p-f (Fig. 8.2).

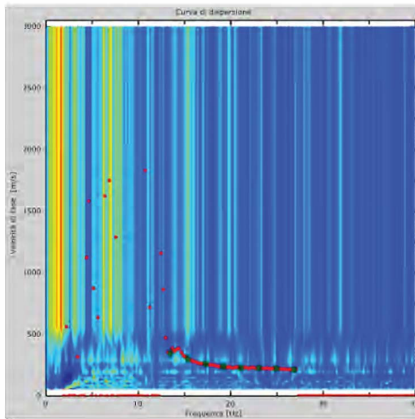


Fig. 8.2: Esempio di spettro di potenza p-f con picking.

Nell'immagine, riportata sopra, sono evidenziati gli andamenti che possiedono sia una spiccata coerenza di fase che una potenza rilevante, e ciò consente un riconoscimento visivo delle onde di Rayleigh in quanto queste presentano un carattere dispersivo rispetto a quelle riconducibili ad altre modalità e tipi d'onda.

Sullo spettro di frequenza è eseguito un "picking" (soprassegno con quadratini neri) attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness (inverso della velocità di fase) per alcune frequenze (Fig. 8.2).

Tali valori poi sono riportati su di un diagramma periodo-velocità di fase (Fig. 8.3) per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

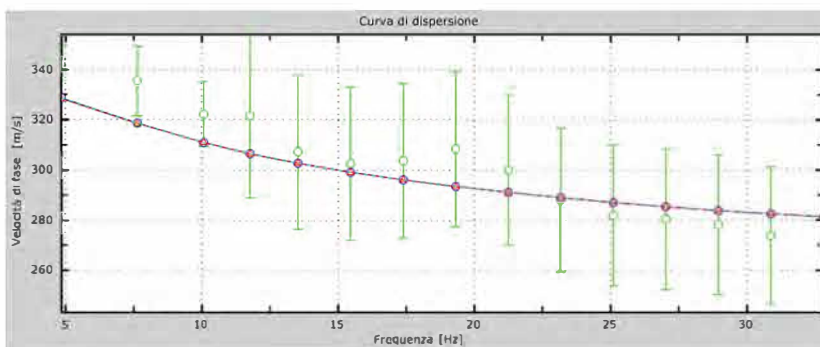


Fig. 8.3: Esempio di diagramma periodo-velocità di fase estratto dalla prova Re.Mi.

Variando la geometria del modello interpretativo ed i valori di velocità delle onde "S" si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione, rappresentata con il colore magenta nella figura 3; si consegue un buon fitting con i valori sperimentali e si assume tale modello come interpretativo.

Lo studio dello spettro di potenza permette in definitiva la ricostruzione di un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, con le velocità delle onde di superficie "S" (esprese in m/s) e la profondità (espressa in metri).

Si riporta di seguito la documentazione fotografica e la restituzione grafica delle risultanze dell'indagine in oggetto.

A. INDAGINE N° 1:

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Fig. 8.4.1: Documentazione fotografica Indagini Sismiche Re.Mi.-MASW

RESTITUZIONE GRAFICA INDAGINE RE.MI. - MASW

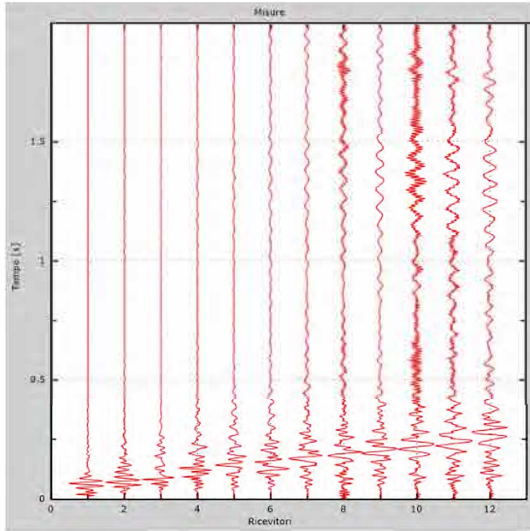


Fig. 8.5.1 Tracce sperimentali MASW

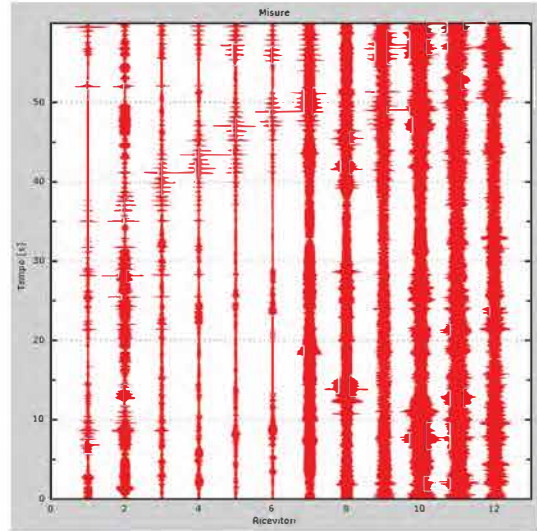


Fig. 8.6.1 Tracce sperimentali RE.MI

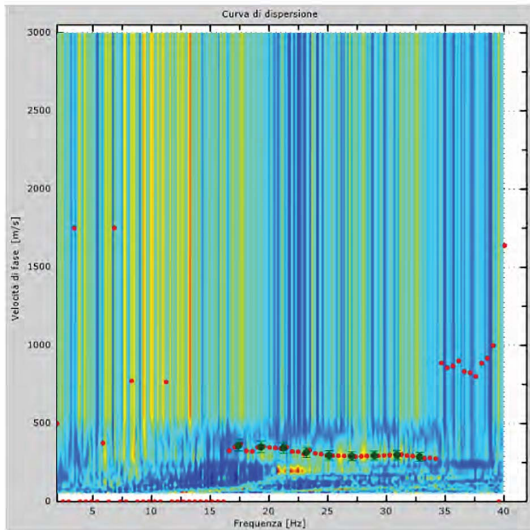


Fig. 8.7.1 Curva di dispersione nel piano f-p

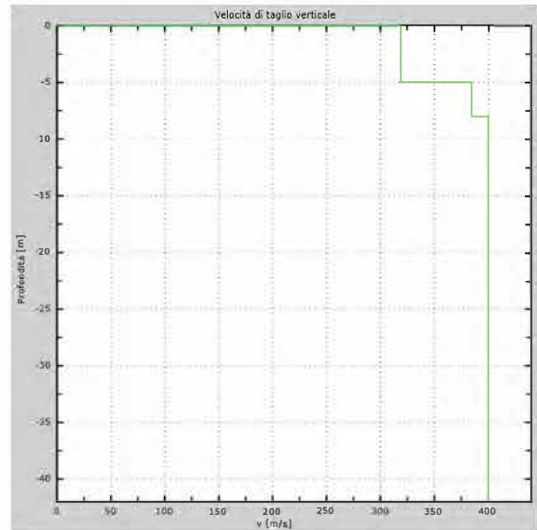


Fig. 8.8.1 Profilo Vs numerico

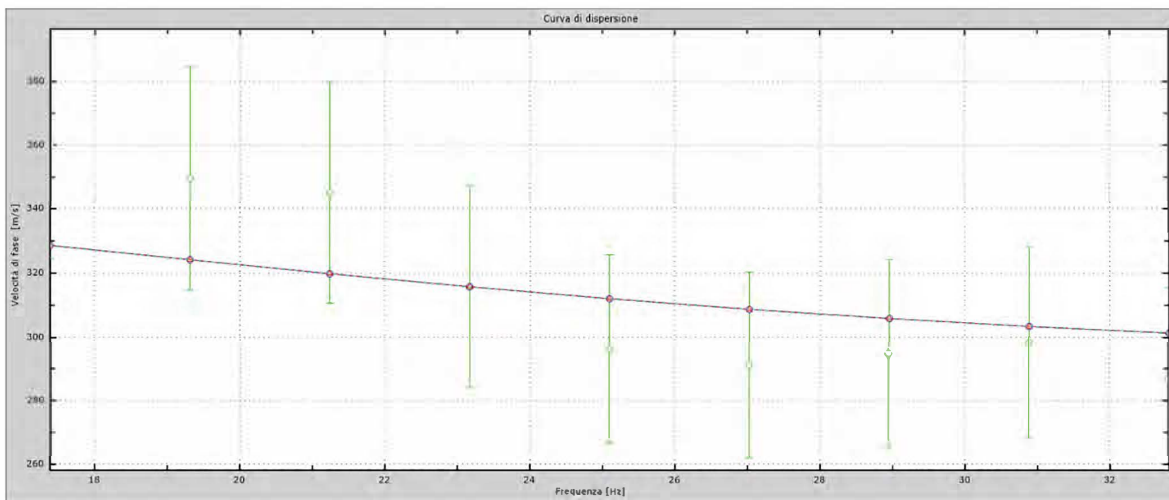


Fig. 8.9.1 Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

Dall'analisi sismica in sito effettuata tramite la metodologia **Re.Mi. (Refraction Microtremor)** e **MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)** di cui sopra ci si è ricavati un valore della velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$, sulla base della quale è possibile classificare il sottosuolo di fondazione come segue:

Tabella: Classificazione della categoria di sottosuolo

V_{Seq} (m/s)	Descrizione	Stima categoria sottosuolo
382,00	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.	B

B. INDAGINE N° 2:

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Fig. 8.4.2: Documentazione fotografica Indagini Sismiche Re.Mi.-MASW

RESTITUZIONE GRAFICA INDAGINE RE.MI. - MASW

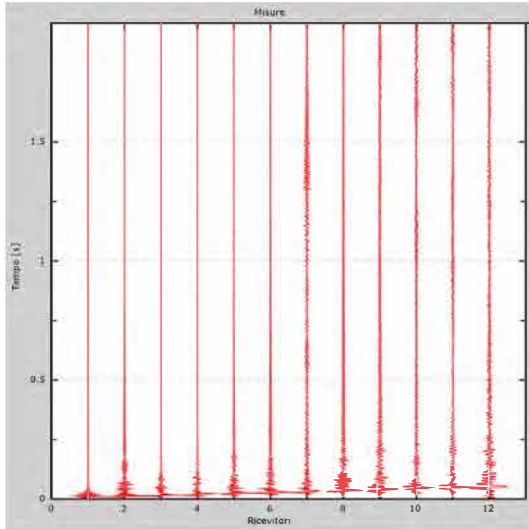


Fig. 8.5.2 Tracce sperimentali MASW

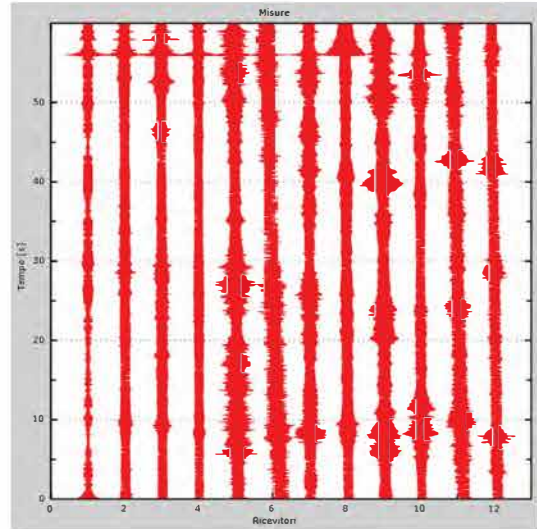


Fig. 8.6.2 Tracce sperimentali RE.MI

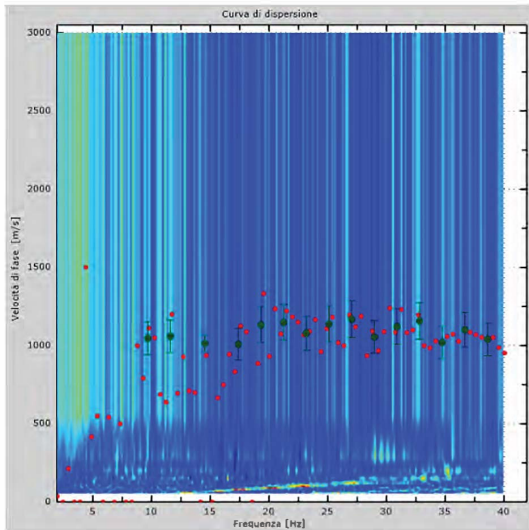


Fig. 8.7.2 Curva di dispersione nel piano f-p

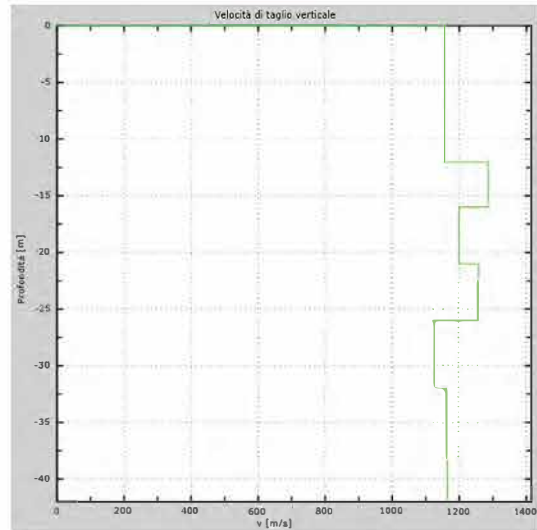


Fig. 8.8.2 Profilo Vs numerico

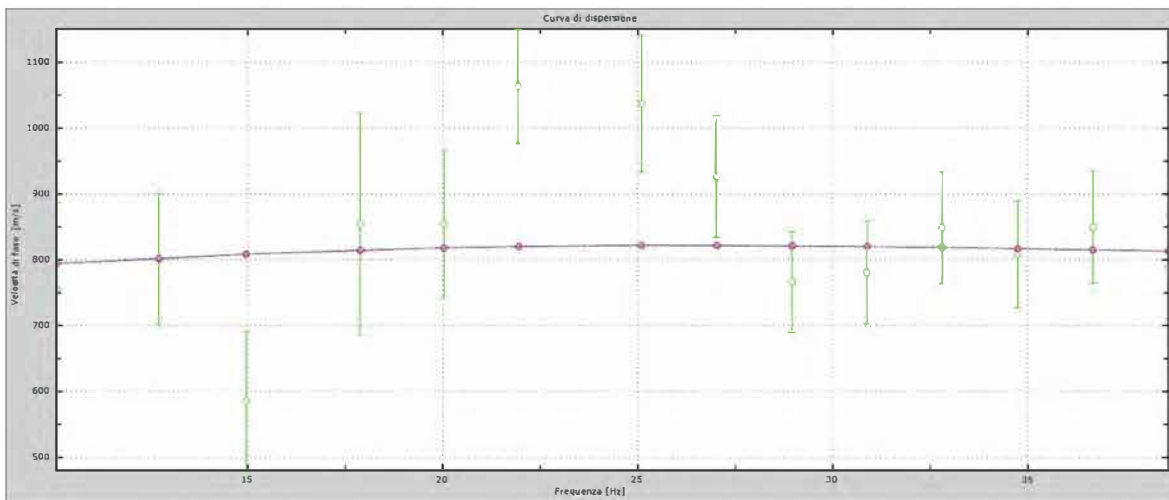


Fig. 8.9.2 Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

Dall'analisi sismica in sito effettuata tramite la metodologia **Re.Mi. (Refraction Microtremor)** e **MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)** di cui sopra ci si è ricavati un valore della velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$, sulla base della quale è possibile classificare il sottosuolo di fondazione come segue:

Tabella: Classificazione della categoria di sottosuolo

V_{Seq} (m/s)	Descrizione	Stima categoria sottosuolo
1.190	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.	A

C. INDAGINE N° 3:

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Fig. 8.4.3: Documentazione fotografica Indagini Sismiche Re.Mi.-MASW

RESTITUZIONE GRAFICA INDAGINE RE.MI. - MASW

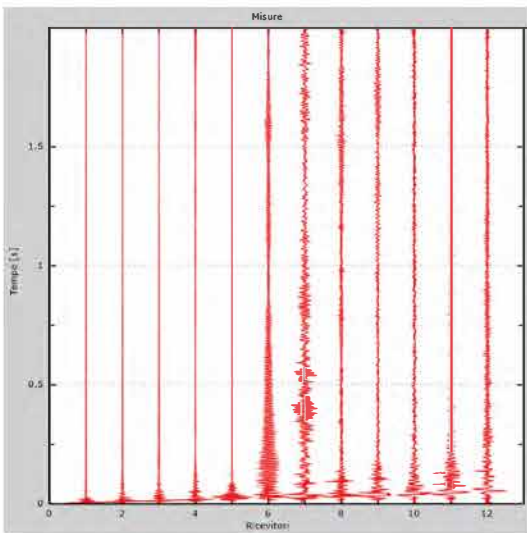


Fig. 8.5.3 Tracce sperimentali MASW

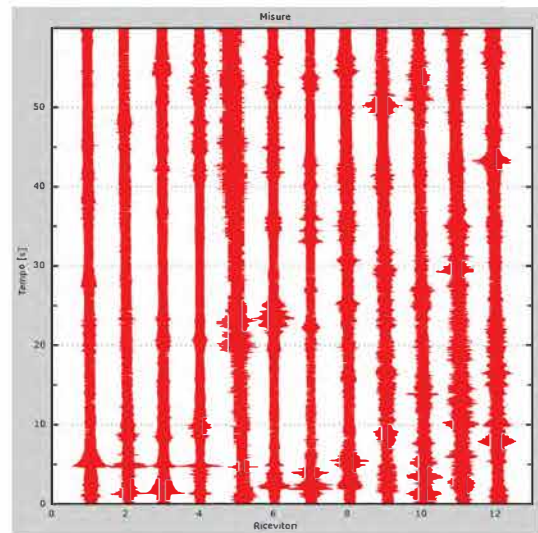


Fig. 8.6.3 Tracce sperimentali RE.MI

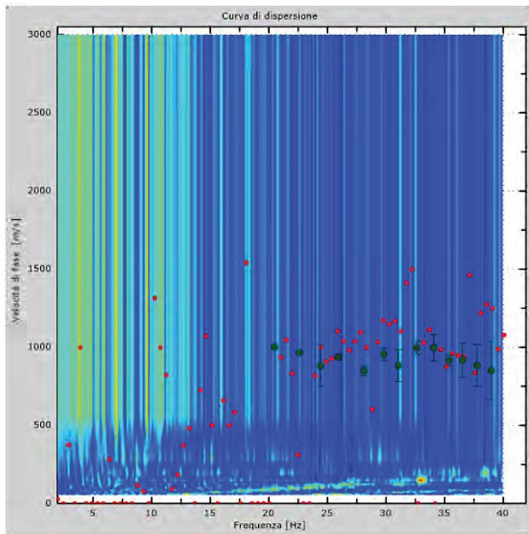


Fig. 8.7.3 Curva di dispersione nel piano f-p

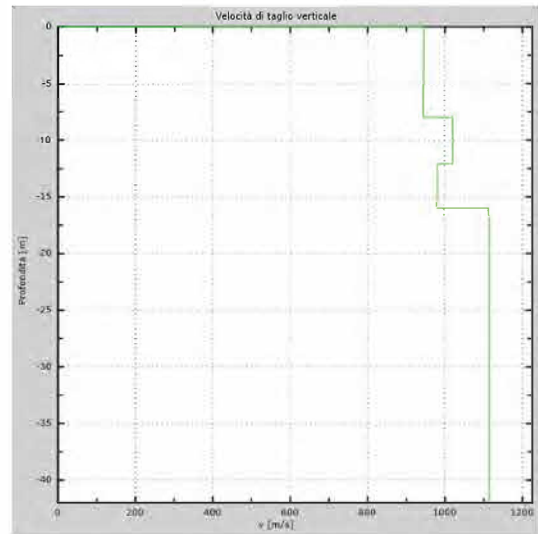


Fig. 8.8.3 Profilo Vs numerico

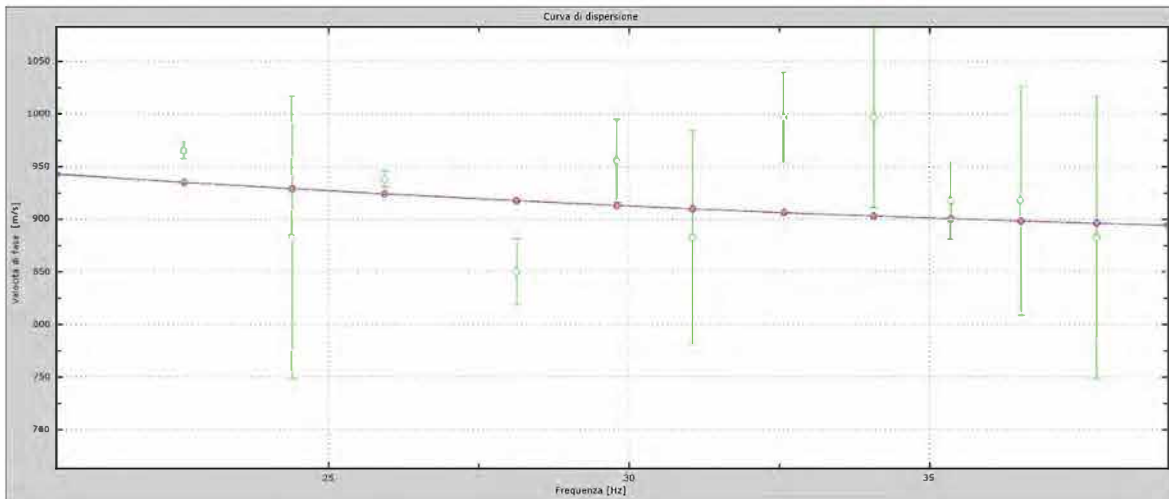


Fig. 8.9.3 Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

Dall'analisi sismica in sito effettuata tramite la metodologia **Re.Mi. (Refraction Microtremor)** e **MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)** di cui sopra ci si è ricavati un valore della velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$, sulla base della quale è possibile classificare il sottosuolo di fondazione come segue:

Tabella: Classificazione della categoria di sottosuolo

$V_{s,eq}$ (m/s)	Descrizione	Stima categoria sottosuolo
1.033	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.	A

8.2 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

8.2.1 Definizione condizioni topografiche locali

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III - NTC-2018):

Tabella 3.2.III – Categorie topografiche

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
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 $i > 30^\circ$

Trovandoci in condizioni superficiali semplici sulla base di quanto sopra esposto, è possibile classificare le condizioni topografiche dell'intera area indagata come rientranti nella categoria **T1** "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ".

9. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI DEPOSITI INDAGATI

Per la definizione delle caratteristiche geotecniche dei depositi indagati, come anticipato al 6, è stata realizzata a cura dello scrivente una campagna di indagine di prospezione sismica dei terreni per mezzo di N° 3 rilievi sismici tomografici a rifrazione in onda P (**Rifrazione**), con sismografo DoReMi RS232 a 12 canali e 16 bit della SARA Electronic Instruments con geofoni a 4.5 Hz, attraverso n° 3 stendimenti, le cui risultanze sono state elaborate per mezzo del software EasyRefract versione: 2021.20.4.728 fornito dalla GeoStru.

9.1 SISMICA A RIFRAZIONE

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo e la determinazione la velocità di propagazione delle onde e le costanti elastiche dei terreni attraversati, attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda λ , comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde λ , equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

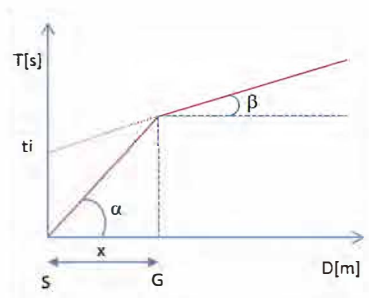
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

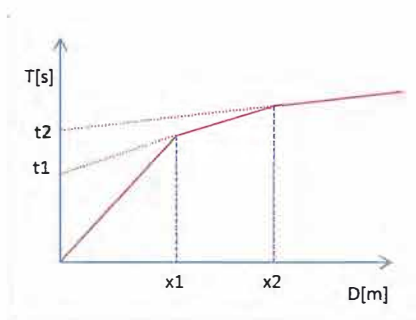
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

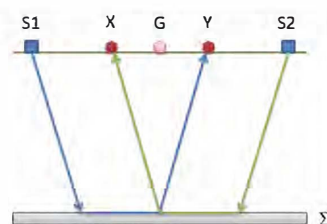


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

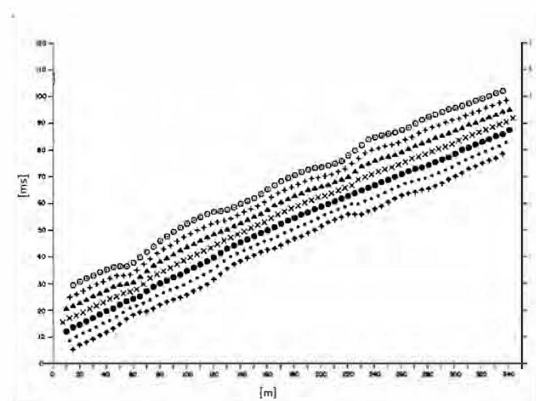
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



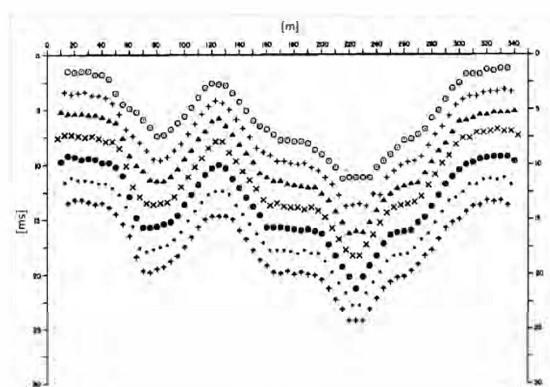
dove T_{S1Y} e T_{S2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre T_{S1S2} è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_V è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione T_V viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S1Y} + T_{S2X} - \left(T_{S1S2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifratore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifratore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°.

Si riporta di seguito le risultanze delle indagini eseguite.

9.2 RISULTANZE INDAGINI

9.2.1 Indagine n° 1

Il rilievo sismico in oggetto è stato realizzato attraverso uno stendimento di lunghezza pari a 44,0 mt a 12 canali ed una distanza geofonica pari a 4,0 mt; l'energizzazione è stata ottenuta utilizzando una massa battente del peso di 5 kg ed una piastra circolare.

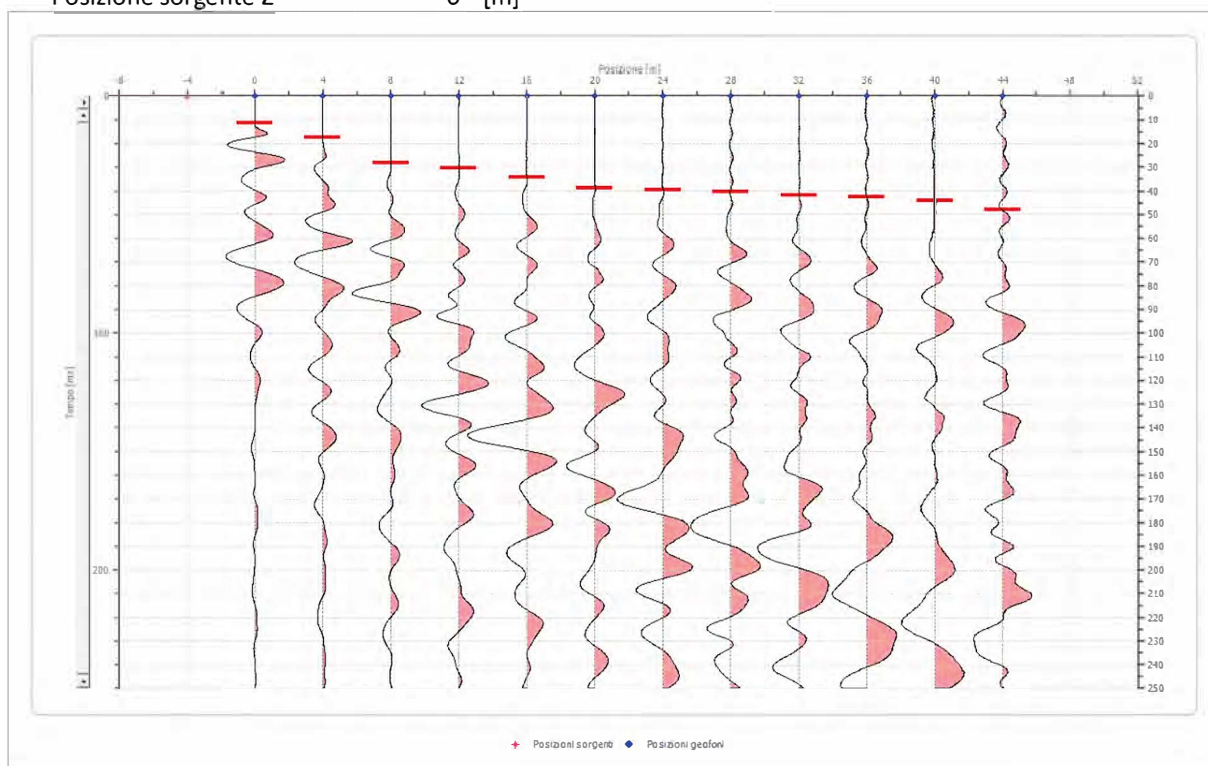
Geometria geofoni

N° geofoni	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	4.0	0.0
3	8.0	0.0
4	12.0	0.0
5	16.0	0.0
6	20.0	0.0
7	24.0	0.0
8	28.0	0.0
9	32.0	0.0
10	36.0	0.0
11	40.0	0.0
12	44.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

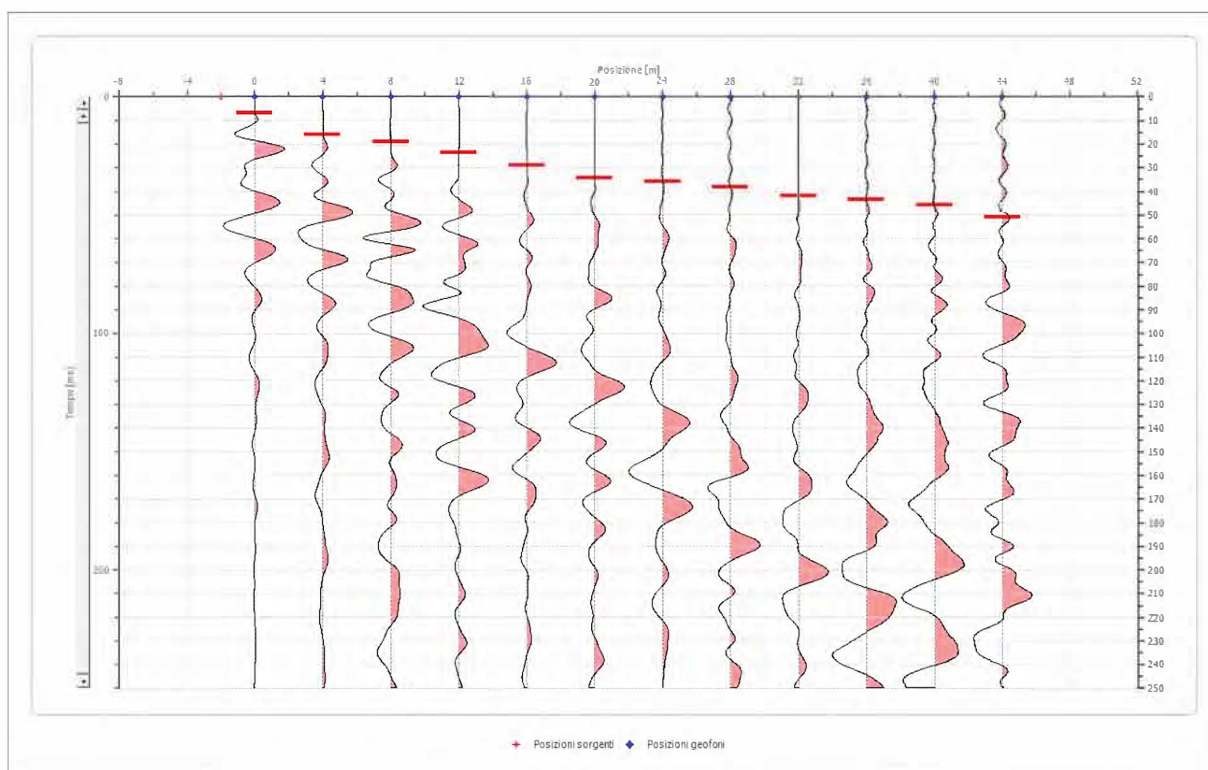
Posizione sorgente X -4 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	11.4201
4.0	17.5108
8.0	28.1696
12.0	30.4536
16.0	34.2603
20.0	38.8283
24.0	39.5896
28.0	40.3510
32.0	41.8737
36.0	42.6350
40.0	44.1577
44.0	47.9644

Battuta 2

Posizione sorgente X -2 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



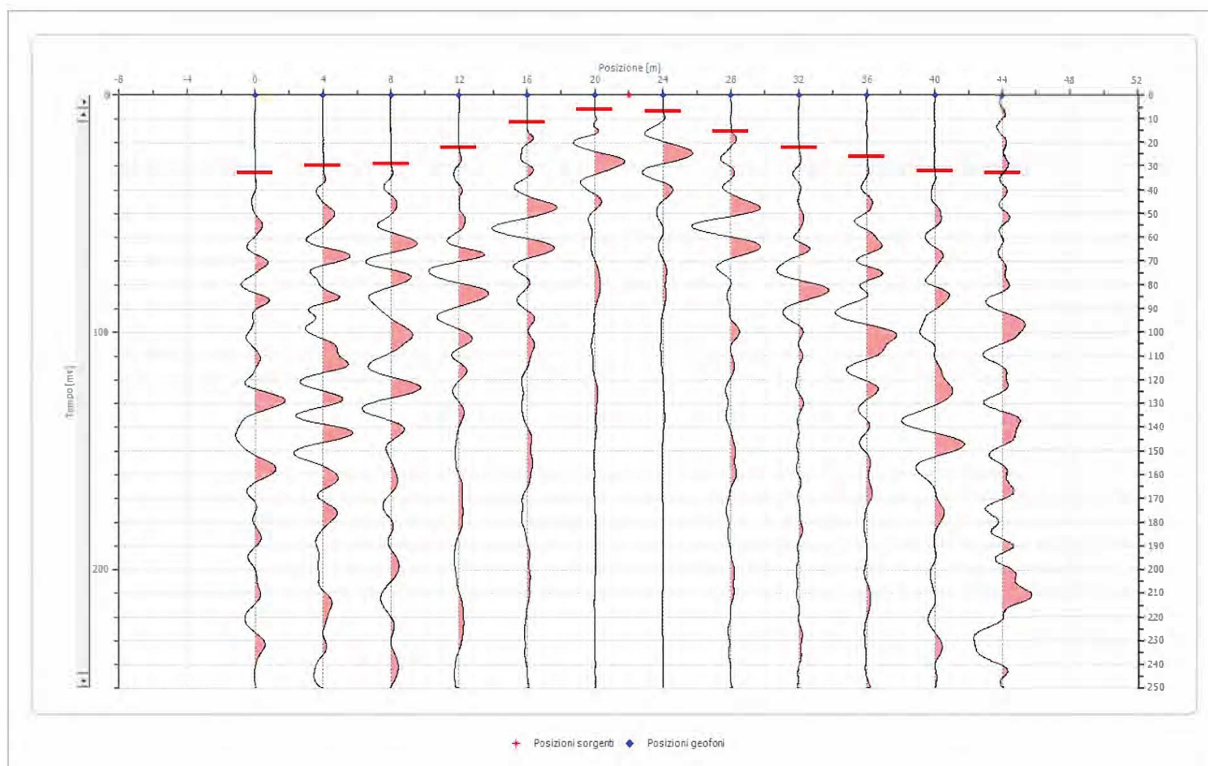
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	6.8521
4.0	15.9881
8.0	19.0335
12.0	23.6015
16.0	28.9309
20.0	34.2603
24.0	35.7830
28.0	38.0670
32.0	41.8737

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
36.0	43.3963
40.0	45.6804
44.0	51.0097

Battuta 3

Posizione sorgente X 22 [m]

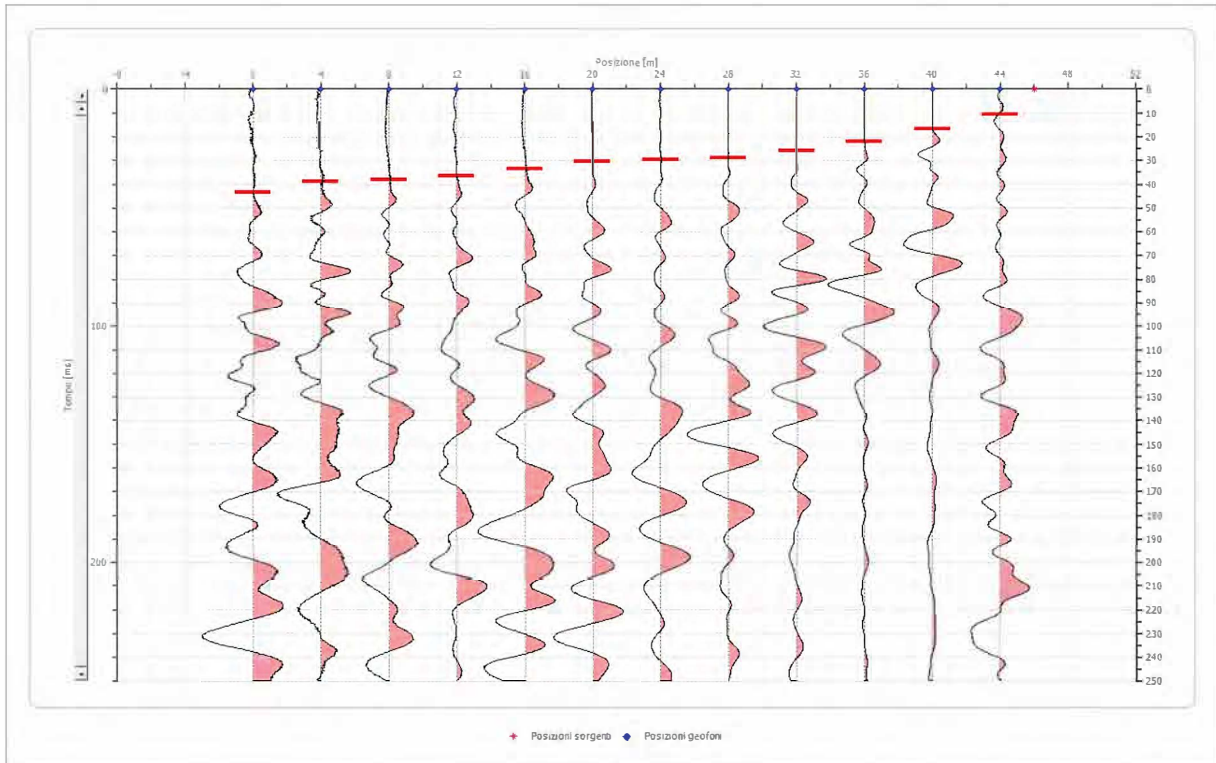
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	32.7376
4.0	29.6922
8.0	28.9309
12.0	22.0788
16.0	11.4201
20.0	6.0907
24.0	6.8521
28.0	15.2268
32.0	22.0788
36.0	25.8855
40.0	31.9763
44.0	32.7376

Battuta 4

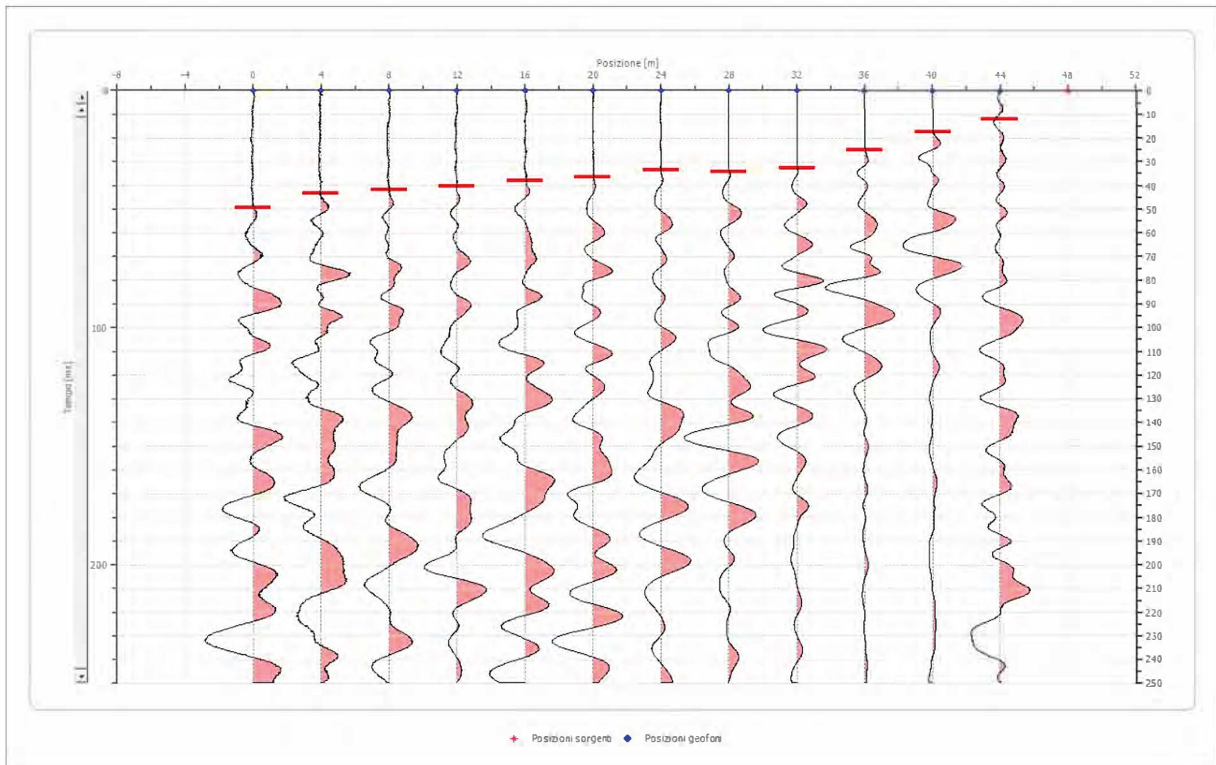
Posizione sorgente X 46 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	43.3963
4.0	38.8283
8.0	38.0670
12.0	36.5443
16.0	33.4989
20.0	30.4536
24.0	29.6922
28.0	28.9309
32.0	25.8855
36.0	22.0788
40.0	16.7495
44.0	10.6588

Battuta 5

Posizione sorgente X 48 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



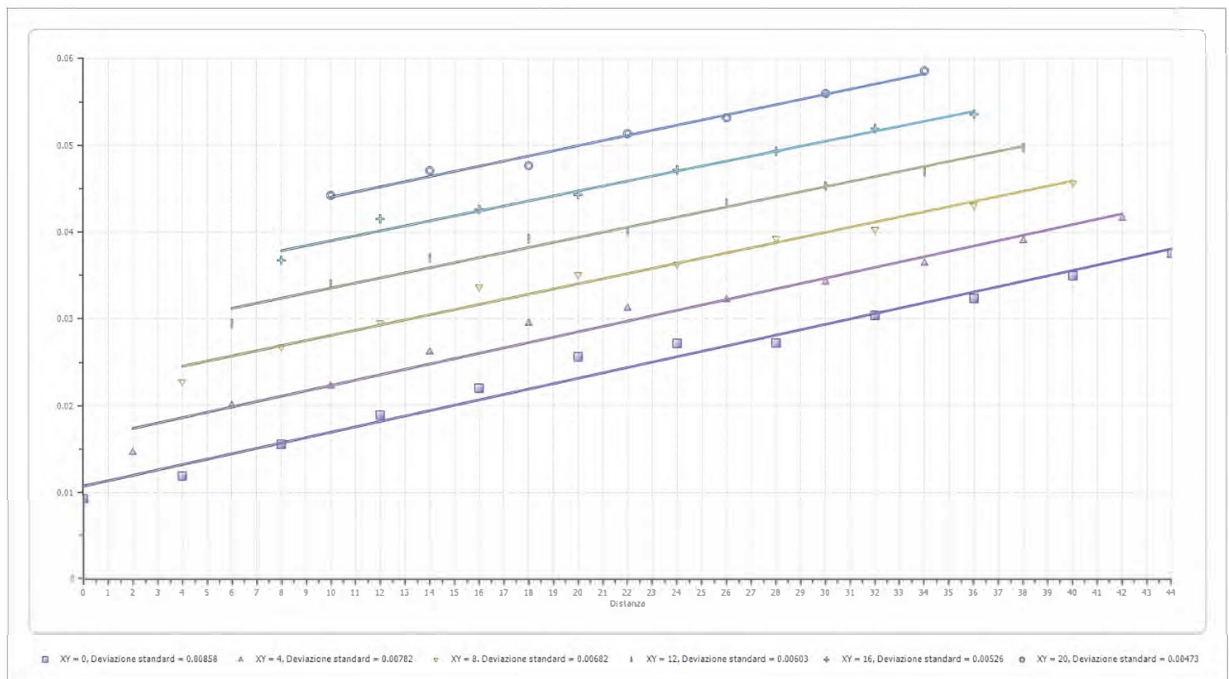
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	49.4871
4.0	43.3963
8.0	41.8737
12.0	40.3510
16.0	38.0670
20.0	36.5443
24.0	33.4989
28.0	34.2603
32.0	32.7376
36.0	25.1242
40.0	17.5108
44.0	12.1814

Interpretazione col metodo G,,R.M.

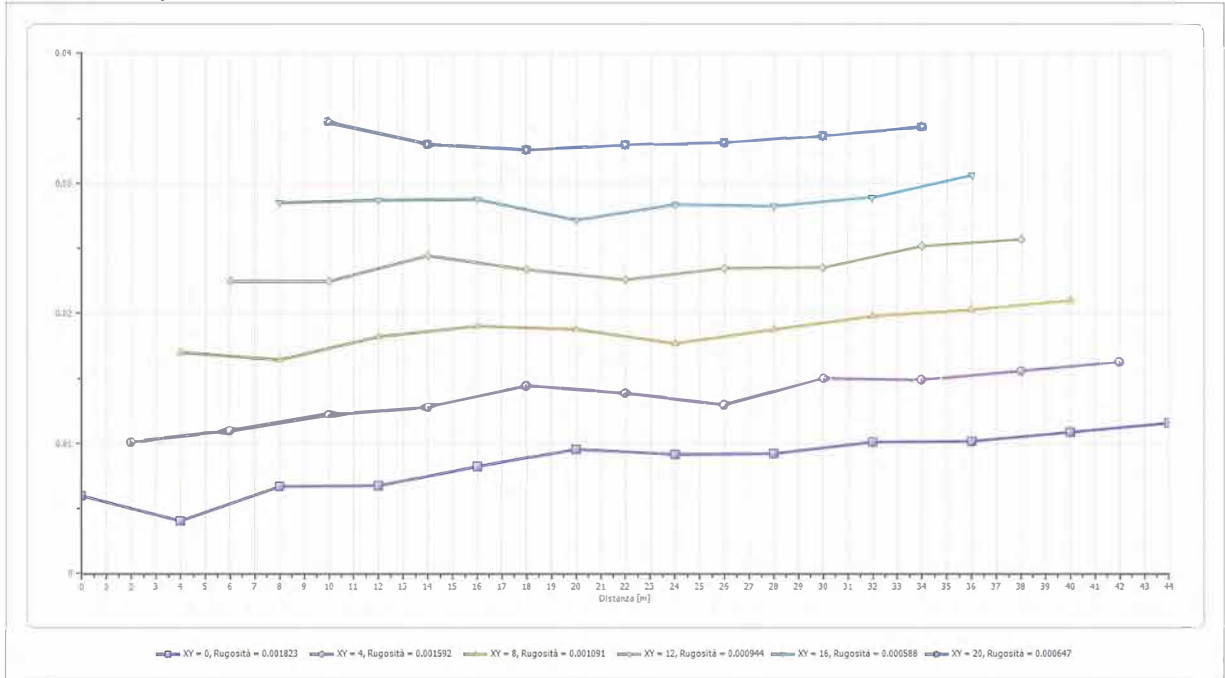
XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 0.0 [m]	2.9	--
G= 4.0 [m]	2.0	--
G= 8.0 [m]	3.3	--
G= 12.0 [m]	3.3	--
G= 16.0 [m]	4.0	--
G= 20.0 [m]	4.7	--
G= 24.0 [m]	4.5	--
G= 28.0 [m]	4.5	--
G= 32.0 [m]	4.9	--
G= 36.0 [m]	5.0	--
G= 40.0 [m]	5.3	--
G= 44.0 [m]	5.7	--
Velocità [m/sec]	467.8	1608.9
Descrizione	UNITA' A PREVALENTE COMPONENTE ARENITICA	UNITA' A PREVALENTE COMPONENTE CALCAREA MEDIAMENTE FRATTURATA

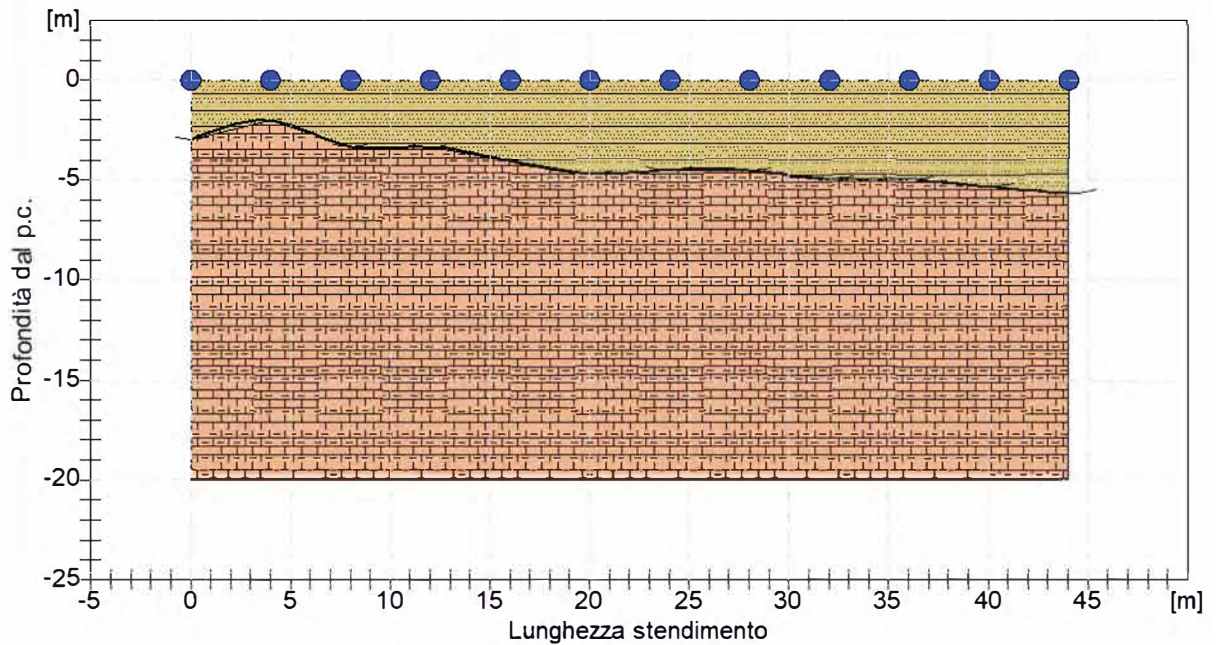
Funzione Velocità



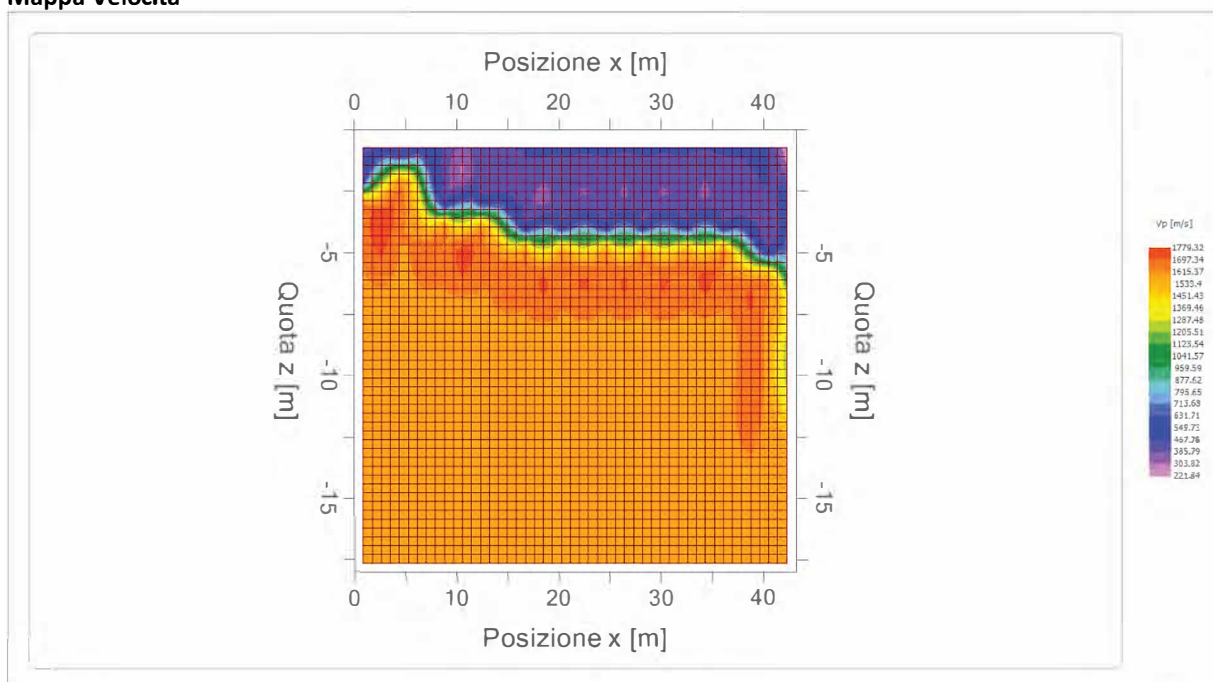
Funzione Tempo Velocità



Andamento morfologico rifrattori (stratigrafia)



- UNITA' A PREVALENTE COMPONENTE ARENITICA
467.76[m/s]
- UNITA' A PREVALENTE COMPONENTE CALCAREA MEDIAMENTE FRATTURATA
1608.87[m/s]

Mappa Velocità**Parametri geotecnici**

Parametri geotecnici*	Strato n. 1	Strato n. 2
Profondità da p.c.	0,00 ÷ 3,50 mt	3,50 ÷ 15,00 mt
Litologia	UNITA' A PREVALENTE COMPONENTE ARENITICA	UNITA' A PREVALENTE COMPONENTE CALCAREA MEDIAMENTE FRATTURATA
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	467.76	1608.87
Vs [m/s]	224.70	772.88
G0 [MPa]	90.89	1075.21
Ed [Mpa]	393.84	4659.23
M0 [MPa]	302.95	3584.02
Ey [Mpa]	245.39	2903.06
Ø [°]	28	32
Cu [Mpa]	0,05	0,15

* G0: Modulo di deformazione al taglio; Ed: Modulo edometrico; M0: Modulo di compressibilità volumetrica; Ey: Modulo di Young; Ø: Angolo di attrito; Cu: Coesione

9.2.2 Indagine n° 2

Il rilievo sismico in oggetto è stato realizzato attraverso uno stendimento di lunghezza pari a 44,0 mt a 12 canali ed una distanza geofonica pari a 4,0 mt; l'energizzazione è stata ottenuta utilizzando una massa battente del peso di 5 kg ed una piastra circolare.

Geometria geofoni

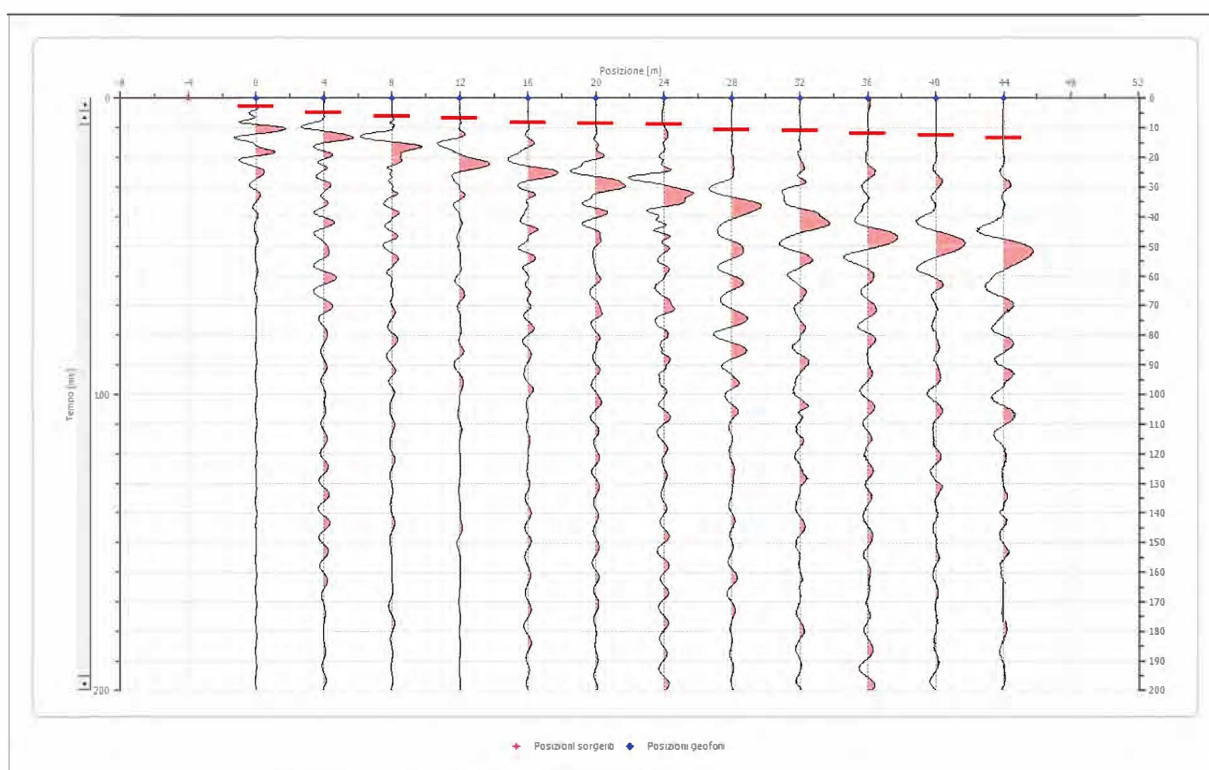
N° geofoni	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	4.0	0.0
3	8.0	0.0
4	12.0	0.0
5	16.0	0.0
6	20.0	0.0
7	24.0	0.0
8	28.0	0.0
9	32.0	0.0
10	36.0	0.0
11	40.0	0.0
12	44.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X -4 [m]

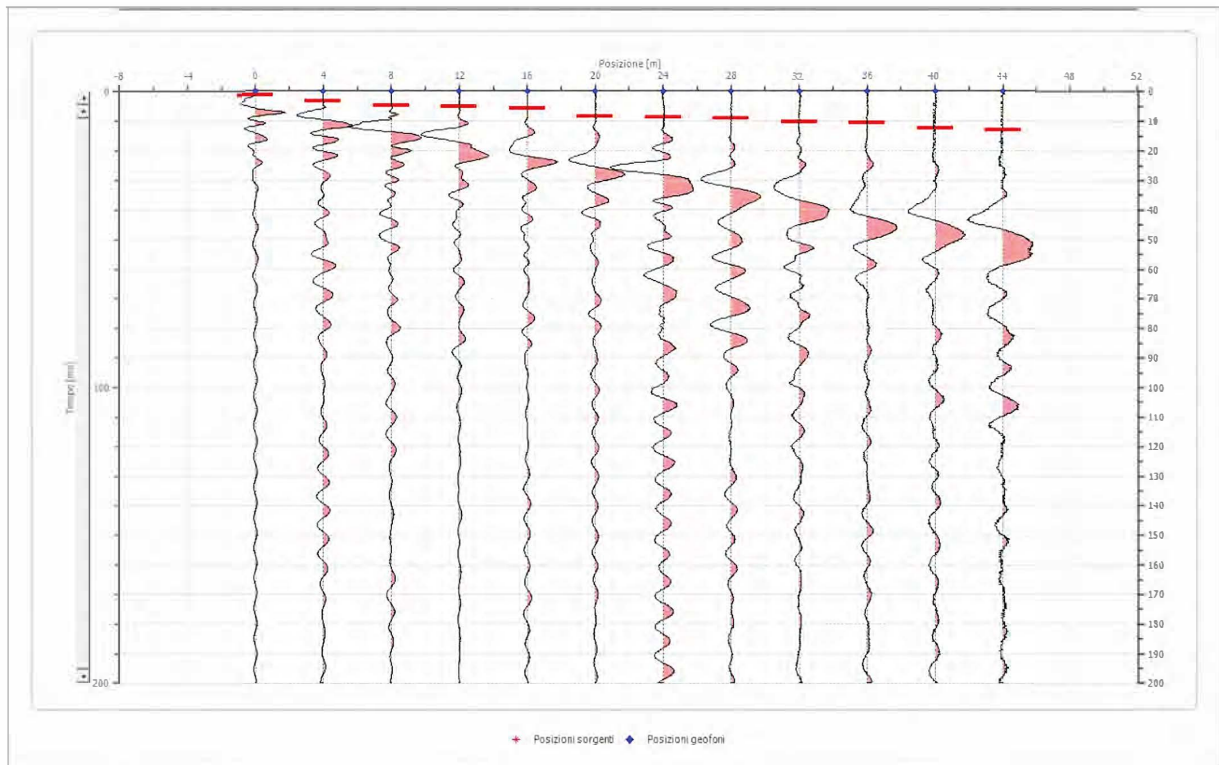
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	2.7397
4.0	4.8706
8.0	6.0883
12.0	6.6971
16.0	8.2192
20.0	8.5236
24.0	8.8280
28.0	10.6545
32.0	10.9589
36.0	11.8721
40.0	12.4810
44.0	13.3942

Battuta 2

Posizione sorgente X -2 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

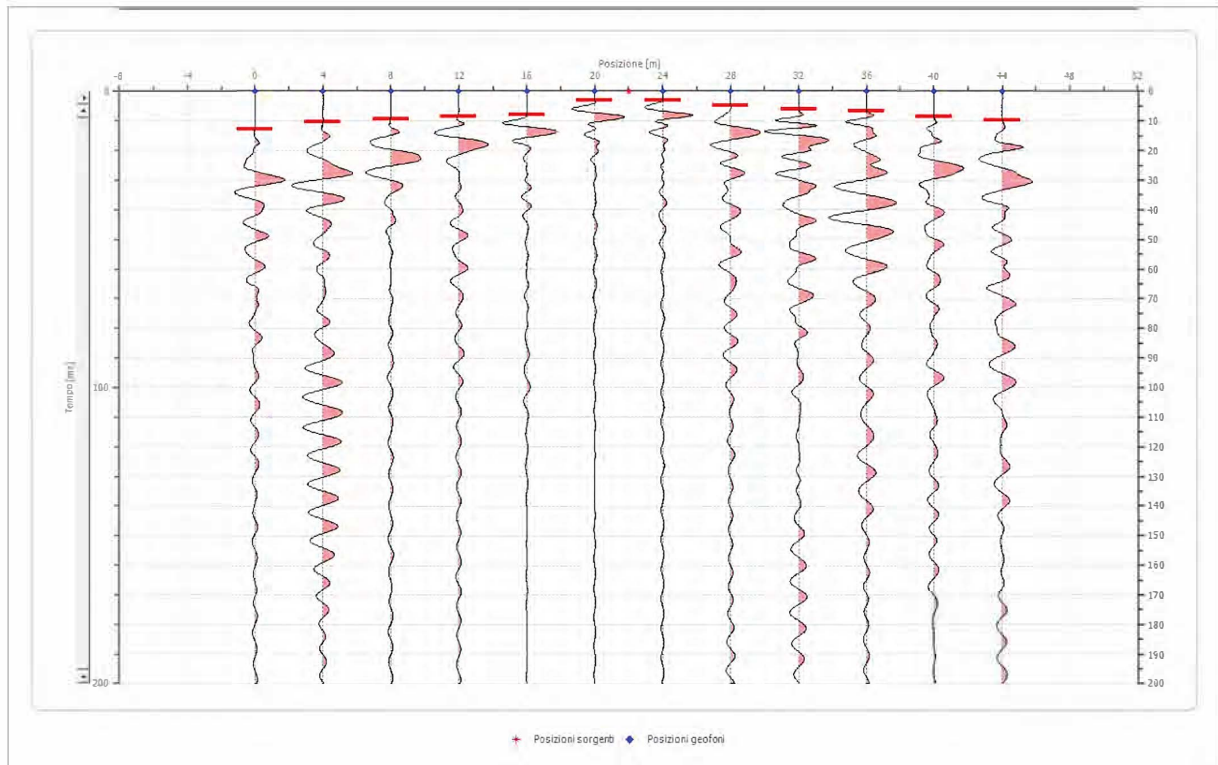


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	1.2177
4.0	3.3486
8.0	4.8706
12.0	5.1750
16.0	5.7839
20.0	8.5236
24.0	8.8280
28.0	9.1324
32.0	10.3501

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
36.0	10.6545
40.0	12.4810
44.0	13.0898

Battuta 3

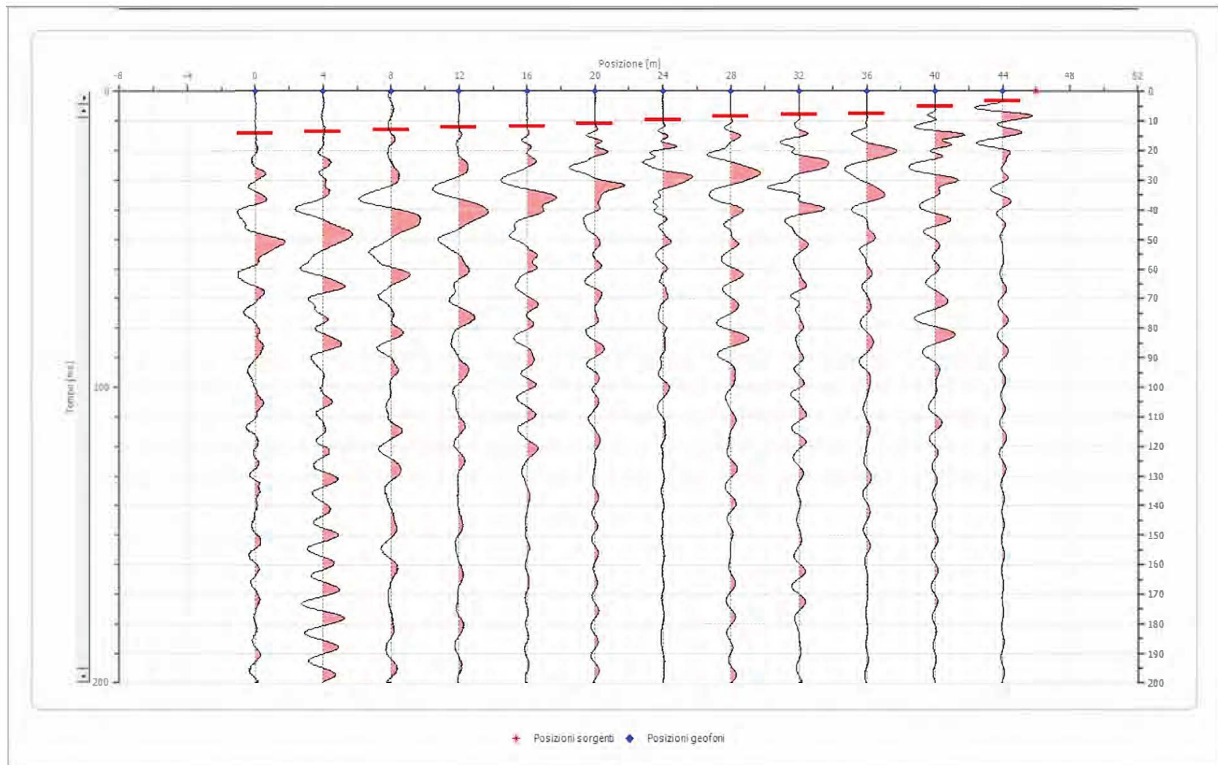
Posizione sorgente X 22 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	12.7854
4.0	10.3501
8.0	9.4368
12.0	8.5236
16.0	7.9148
20.0	3.0441
24.0	3.0441
28.0	4.8706
32.0	6.0883
36.0	6.6971
40.0	8.5236
44.0	9.7412

Battuta 4

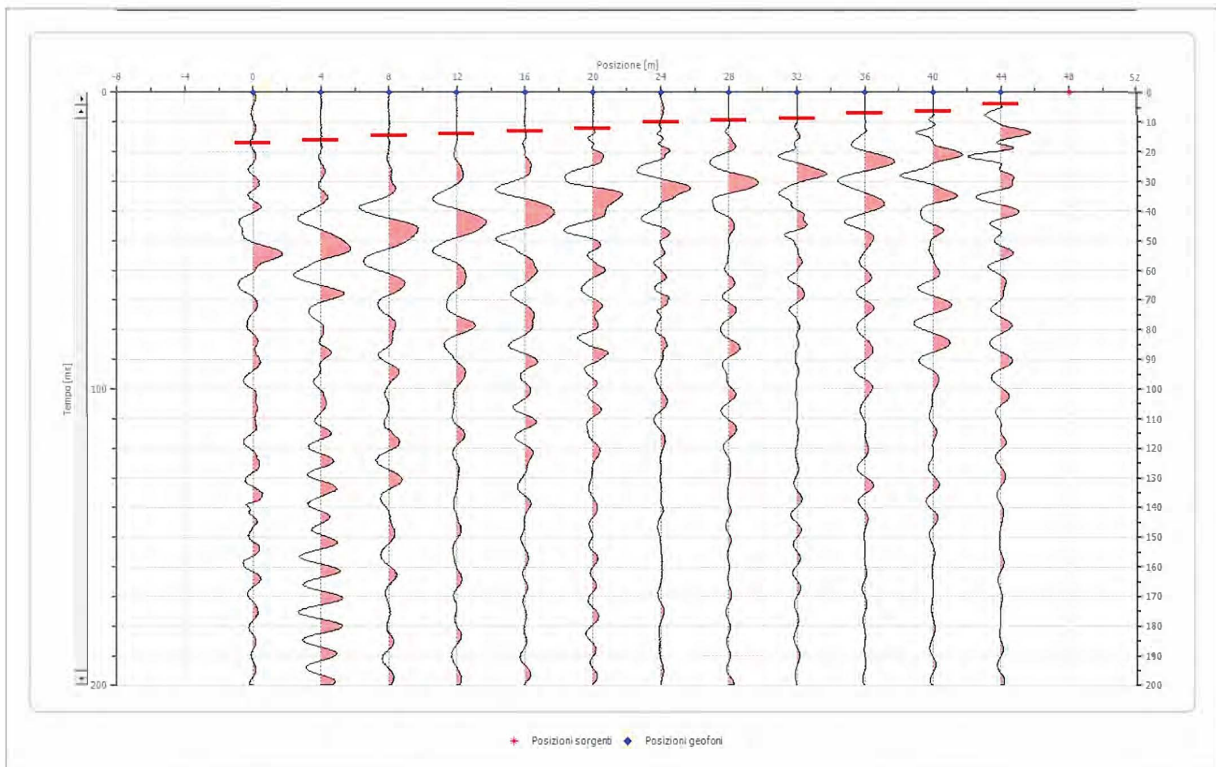
Posizione sorgente X 46 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	14.3075
4.0	13.6986
8.0	13.0898
12.0	12.1766
16.0	11.8721
20.0	10.9589
24.0	9.7412
28.0	8.5236
32.0	7.9148
36.0	7.6104
40.0	5.1750
44.0	3.3486

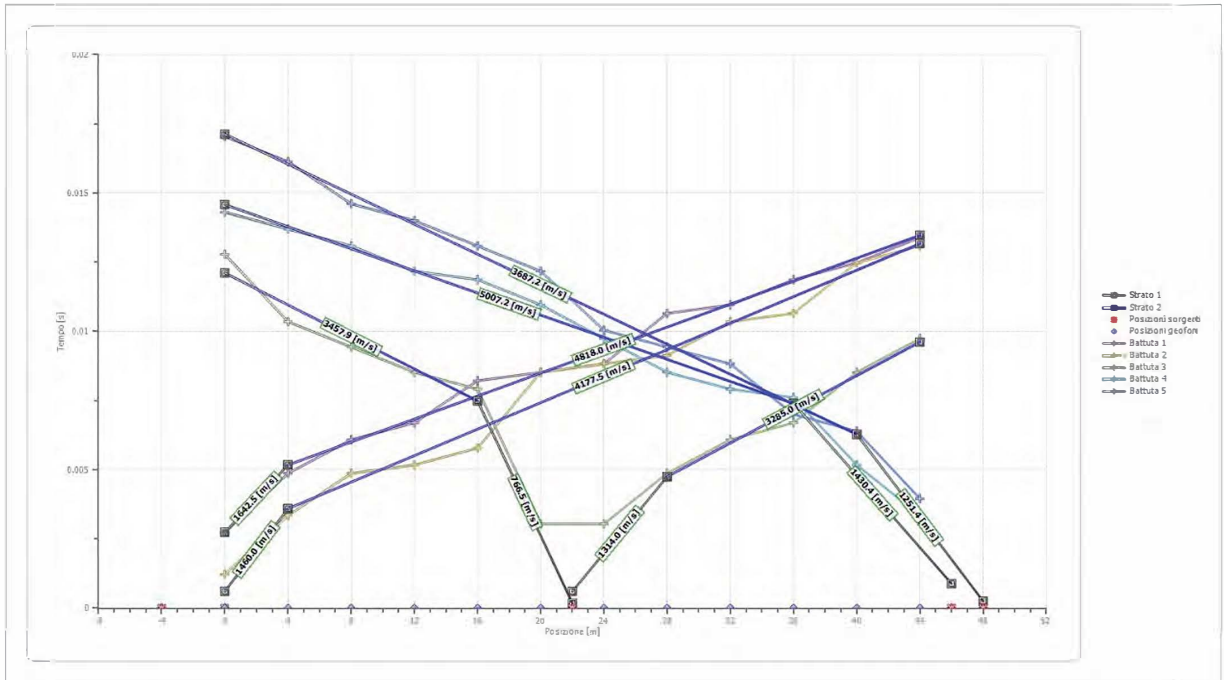
Battuta 5

Posizione sorgente X 48 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

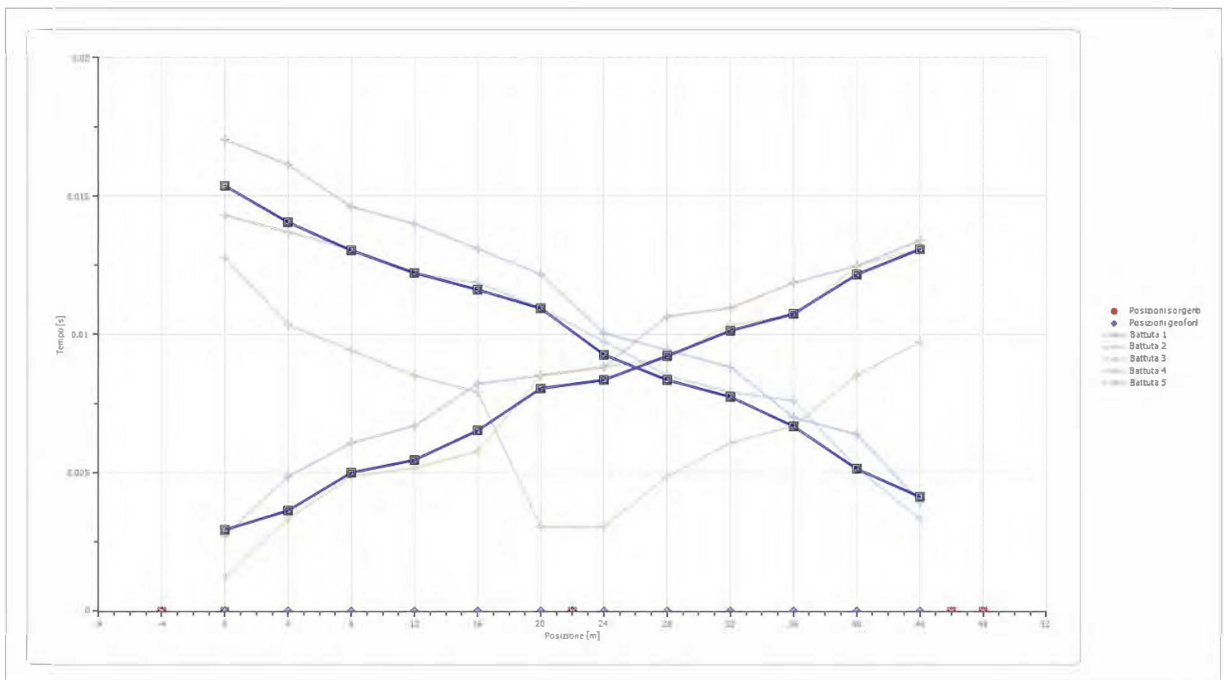


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	17.0472
4.0	16.1339
8.0	14.6119
12.0	14.0030
16.0	13.0898
20.0	12.1766
24.0	10.0457
28.0	9.4368
32.0	8.8280
36.0	7.0015
40.0	6.3927
44.0	3.9574

Dromocrone



Dromocrone traslate

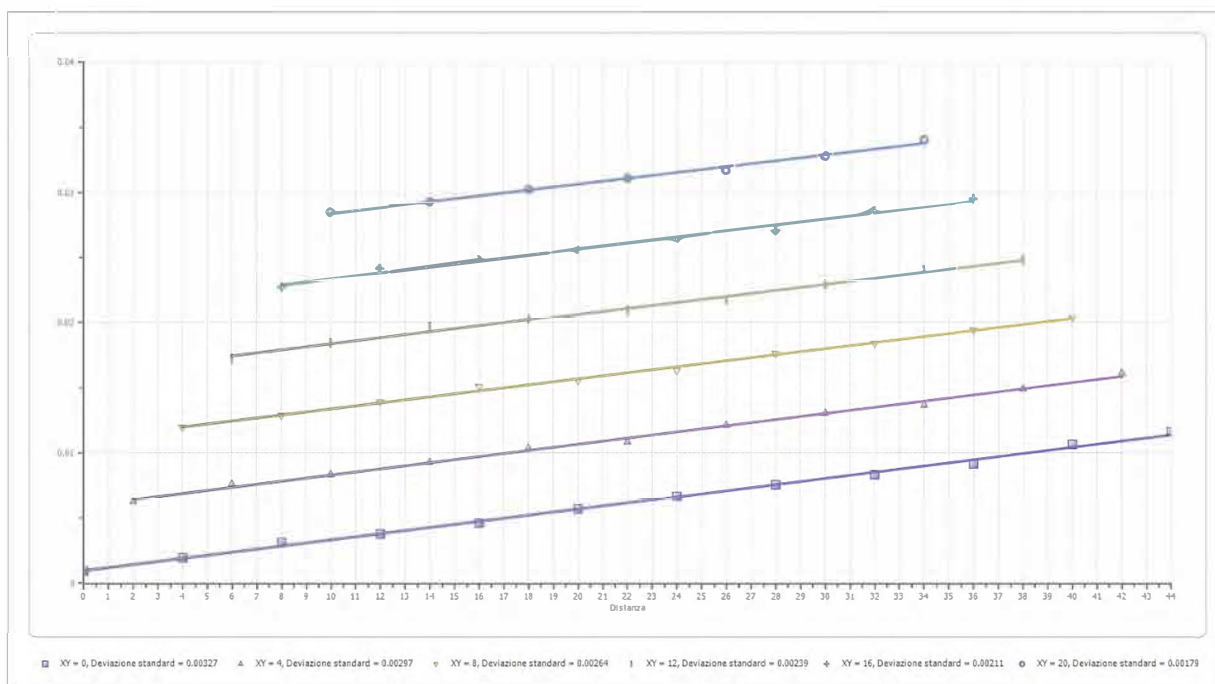


Interpretazione col metodo G,,R.M.

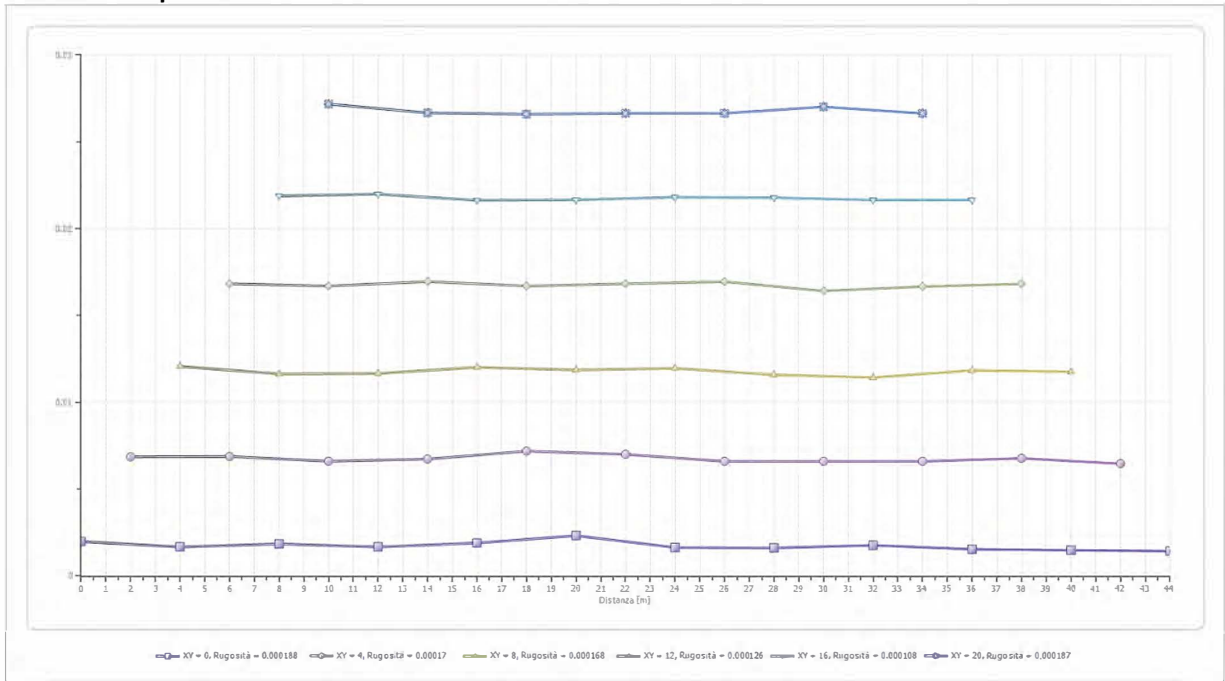
XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 0.0 [m]	2.8	5.3
G= 4.0 [m]	2.3	10.4
G= 8.0 [m]	2.6	8.4
G= 12.0 [m]	2.3	5.8
G= 16.0 [m]	2.6	5.5
G= 20.0 [m]	3.2	5.8
G= 24.0 [m]	2.3	2.3
G= 28.0 [m]	2.2	2.2
G= 32.0 [m]	2.5	2.5
G= 36.0 [m]	2.1	2.1
G= 40.0 [m]	2.1	2.1
G= 44.0 [m]	2.0	2.0
Velocità [m/sec]	1310.8	4218.7
Descrizione	UNITA' A PREVALENTE COMPONENTE CALCAREA (DA FRATTURATA A POCO FRATTURATA)	UNITA' A PREVALENTE COMPONENTE CALCAREA (DA POCO FRATTURATA A COMPATTA)

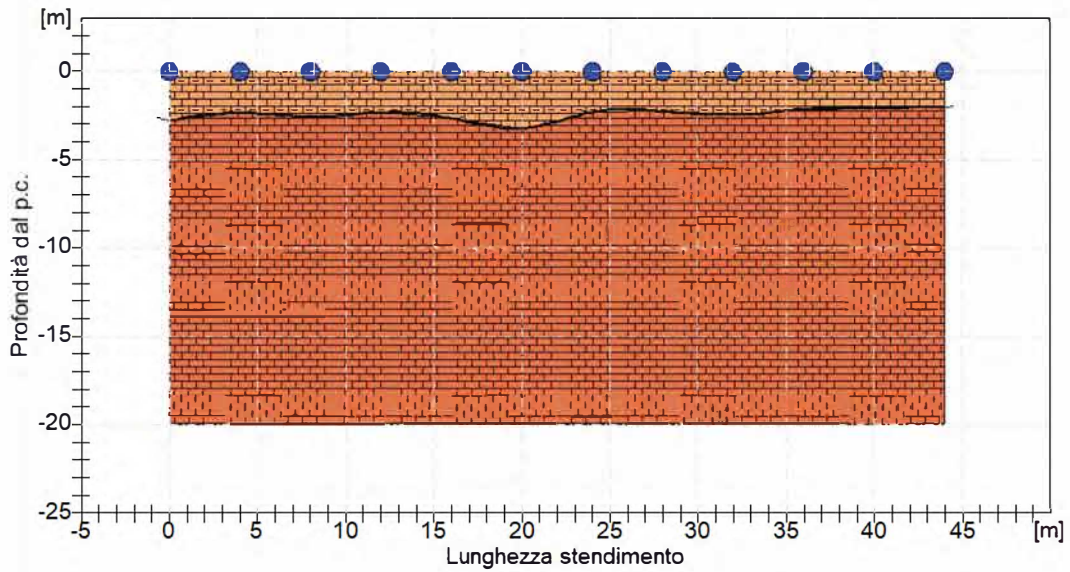
Funzione Velocità



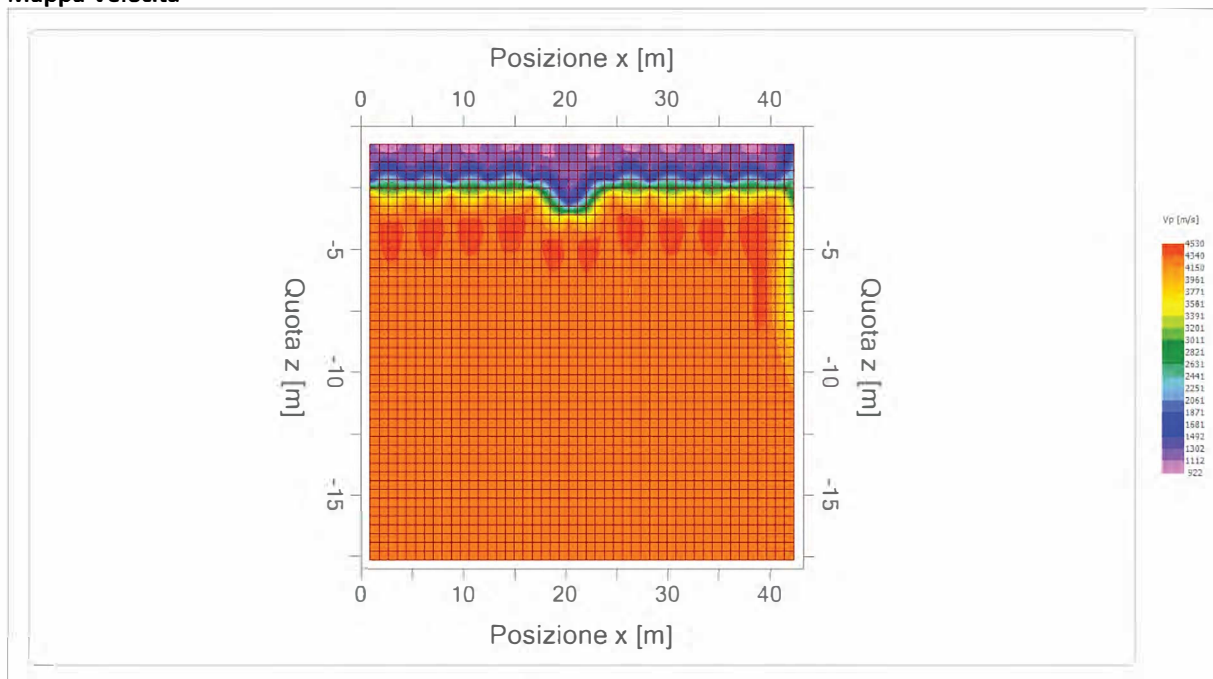
Funzione Tempo Velocità



Andamento morfologico rifrattori (stratigrafia)



- UNITA' A PREVALENTE COMPONENTE CALCAREA (DA FRATTURATA A POCO FRATTURATA) 1310.80[m/s]
- UNITA' A PREVALENTE COMPONENTE CALCAREA (DA POCO FRATTURATA A COMPATTA) 4218.67[m/s]

Mappa Velocità**Parametri geotecnici**

Parametri geotecnici*	Strato n. 1	Strato n. 2
Profondità da p.c.	0,00 ÷ 3,00 mt	3,00 ÷ 15,00 mt
Litologia	UNITA' A PREVALENTE COMPONENTE CALCAREA (DA FRATTURATA A POCO FRATTURATA)	UNITA' A PREVALENTE COMPONENTE CALCAREA (DA POCO FRATTURATA A COMPATTA)
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	1310.80	4218.67
Vs [m/s]	629.69	2026.58
G0 [MPa]	713.71	7392.66
Ed [Mpa]	3092.75	32034.88
M0 [MPa]	2379.04	24642.21
Ey [Mpa]	1927.02	19960.19
Ø [°]	30	34
Cu [Mpa]	0,13	0,20

* G0: Modulo di deformazione al taglio; Ed: Modulo edometrico; M0: Modulo di compressibilità volumetrica; Ey: Modulo di Young; Ø: Angolo di attrito; Cu: Coesione

9.2.3 Indagine n° 3

Il rilievo sismico in oggetto è stato realizzato attraverso uno stendimento di lunghezza pari a 44,0 mt a 12 canali ed una distanza geofonica pari a 4,0 mt; l'energizzazione è stata ottenuta utilizzando una massa battente del peso di 5 kg ed una piastra circolare.

Geometria geofoni

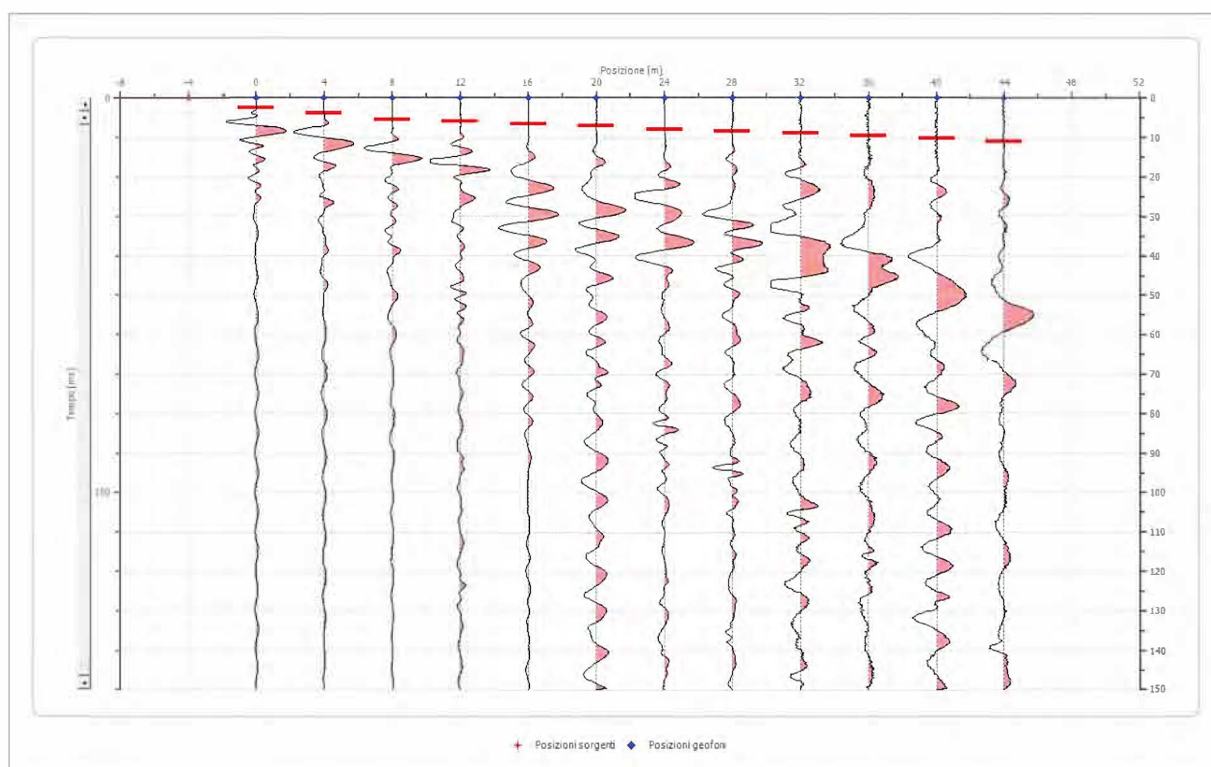
N° Geofoni	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	4.0	0.0
3	8.0	0.0
4	12.0	0.0
5	16.0	0.0
6	20.0	0.0
7	24.0	0.0
8	28.0	0.0
9	32.0	0.0
10	36.0	0.0
11	40.0	0.0
12	44.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X -4 [m]

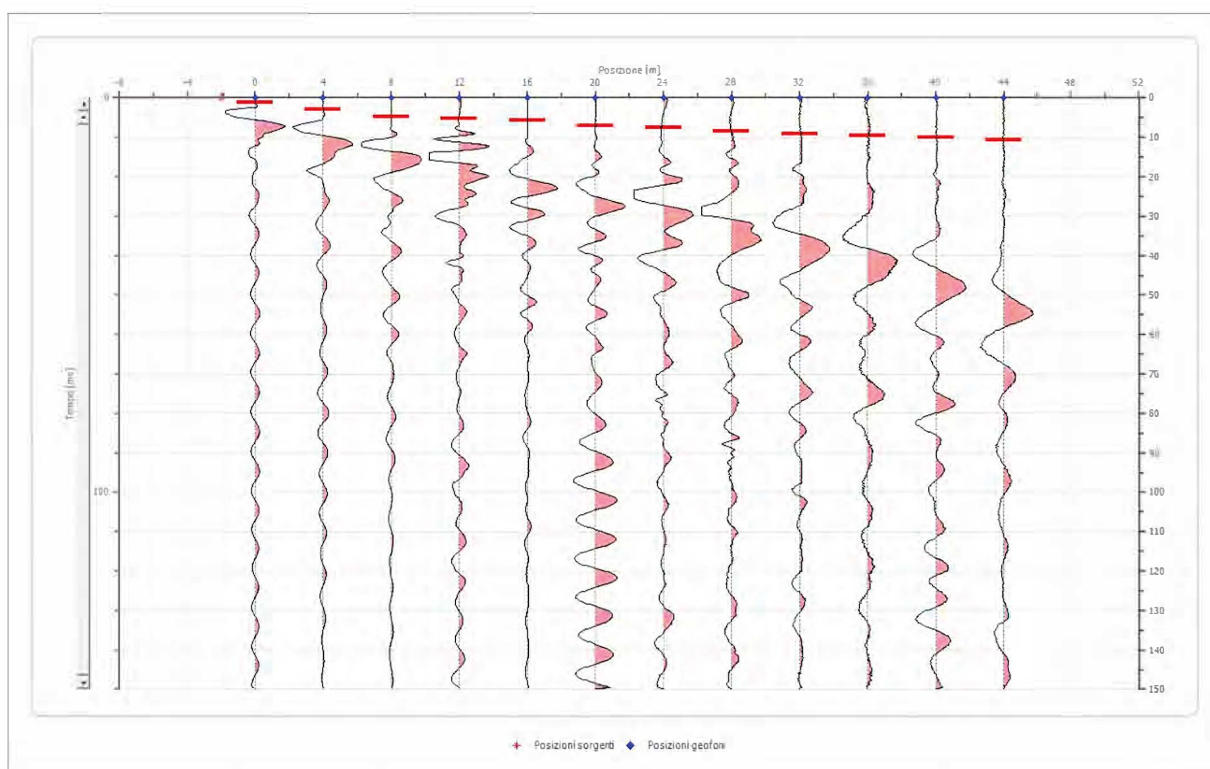
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	2.5114
4.0	3.8813
8.0	5.4795
12.0	5.9361
16.0	6.6971
20.0	7.0015
24.0	7.9909
28.0	8.5236
32.0	8.9041
36.0	9.5890
40.0	10.2740
44.0	10.9589

Battuta 2

Posizione sorgente X -2 [m]
 Posizione sorgente Z 0[m]



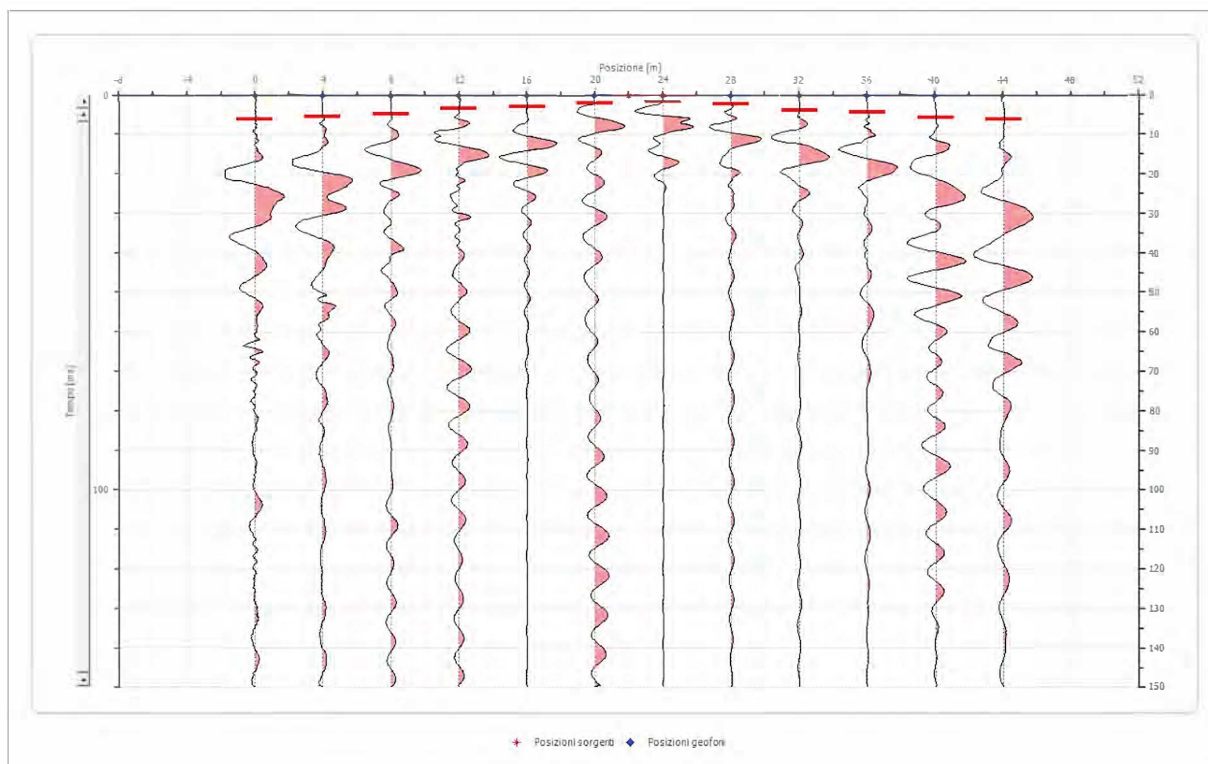
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	1.2177
4.0	3.0441
8.0	4.8706
12.0	5.1750
16.0	5.7839
20.0	7.0015
24.0	7.6104
28.0	8.4475
32.0	9.1324

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
36.0	9.5890
40.0	10.0457
44.0	10.7306

Battuta 3

Posizione sorgente X 22 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

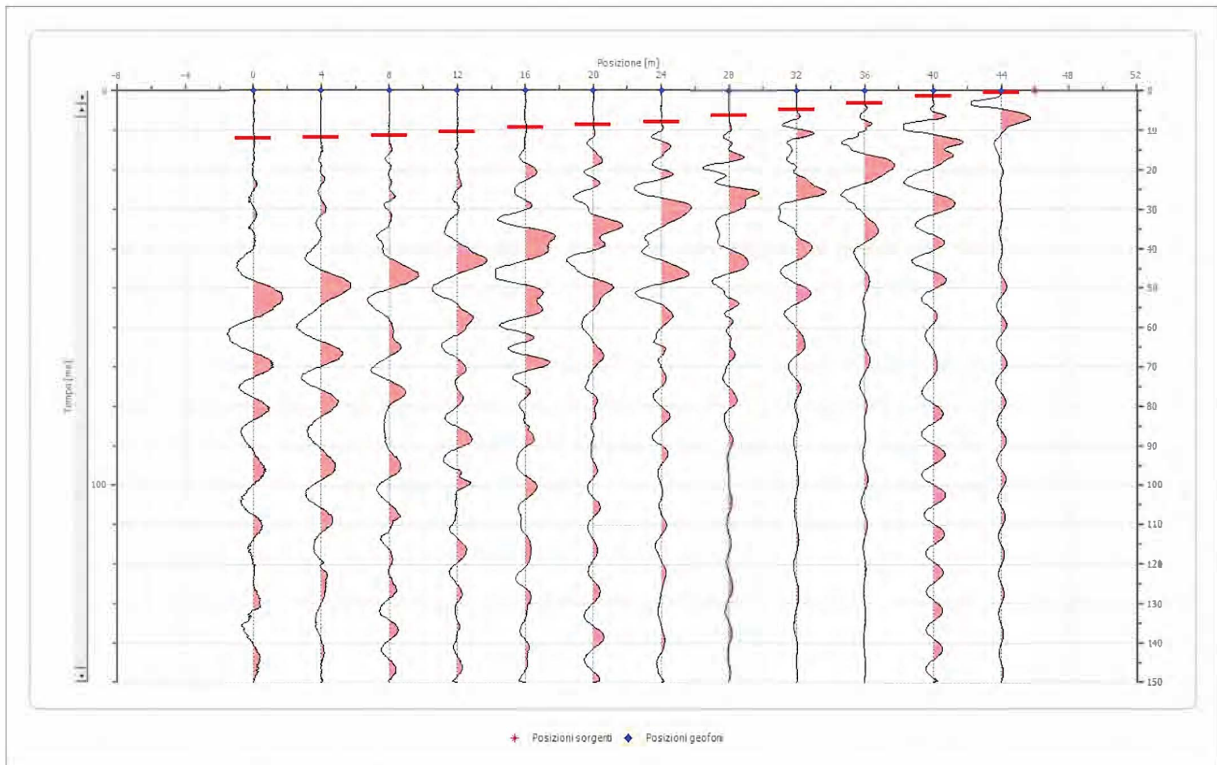


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	6.1644
4.0	5.4795
8.0	4.7945
12.0	3.4247
16.0	3.0441
20.0	2.0548
24.0	1.5221
28.0	2.2831
32.0	3.9574
36.0	4.2618
40.0	5.7078
44.0	6.1644

Battuta 4

Posizione sorgente X 46 [m]

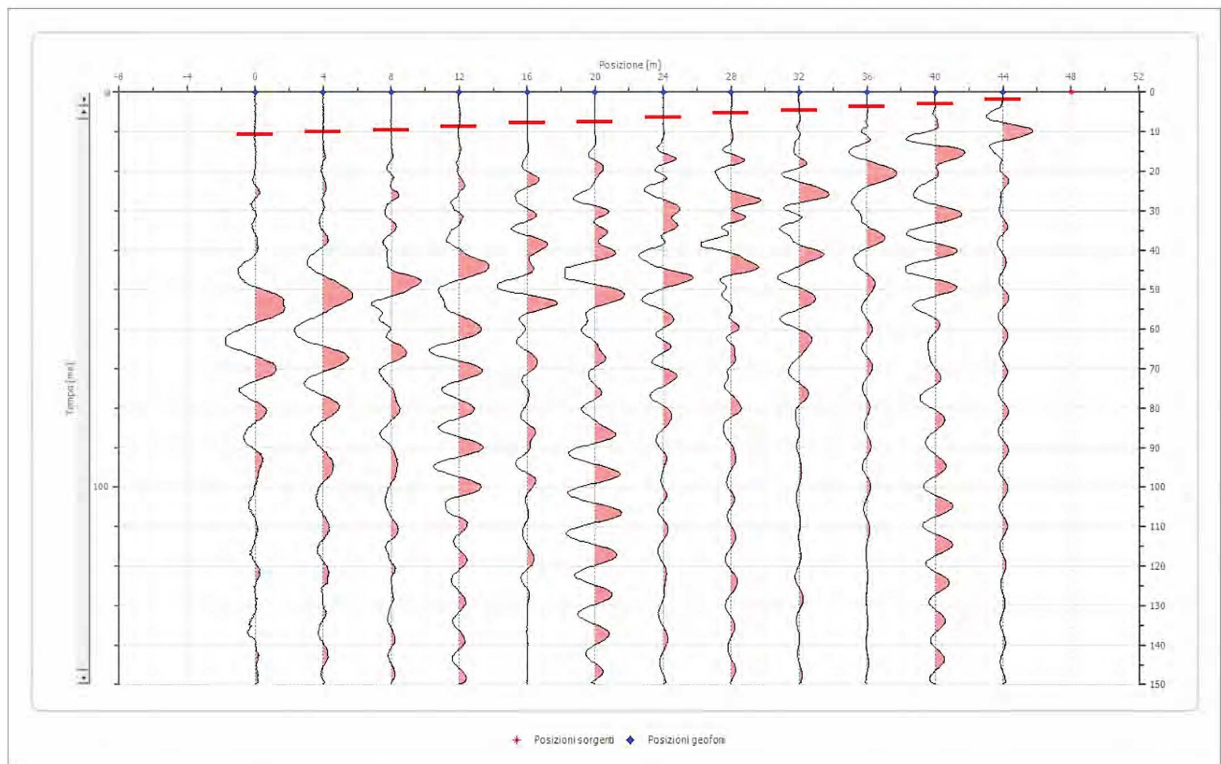
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	12.1005
4.0	11.8721
8.0	11.4155
12.0	10.5023
16.0	9.3607
20.0	8.6758
24.0	7.9909
28.0	6.3927
32.0	4.7945
36.0	3.1963
40.0	1.3699
44.0	0.4566

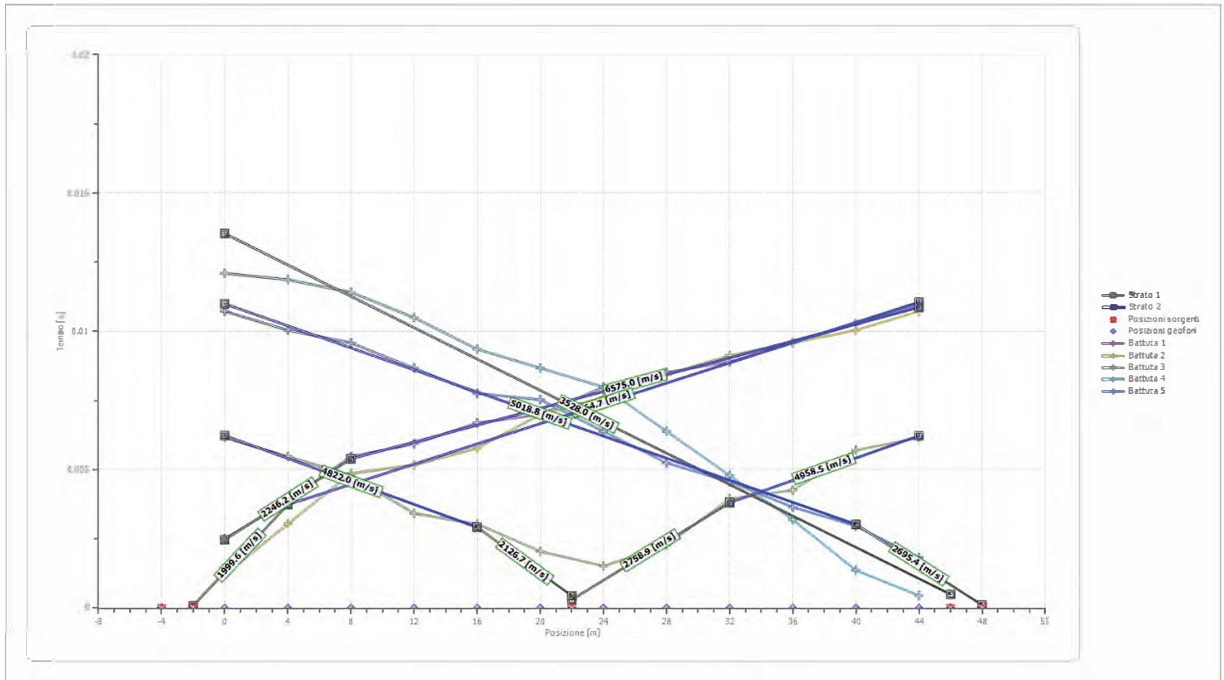
Battuta 5

Posizione sorgente X 48 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

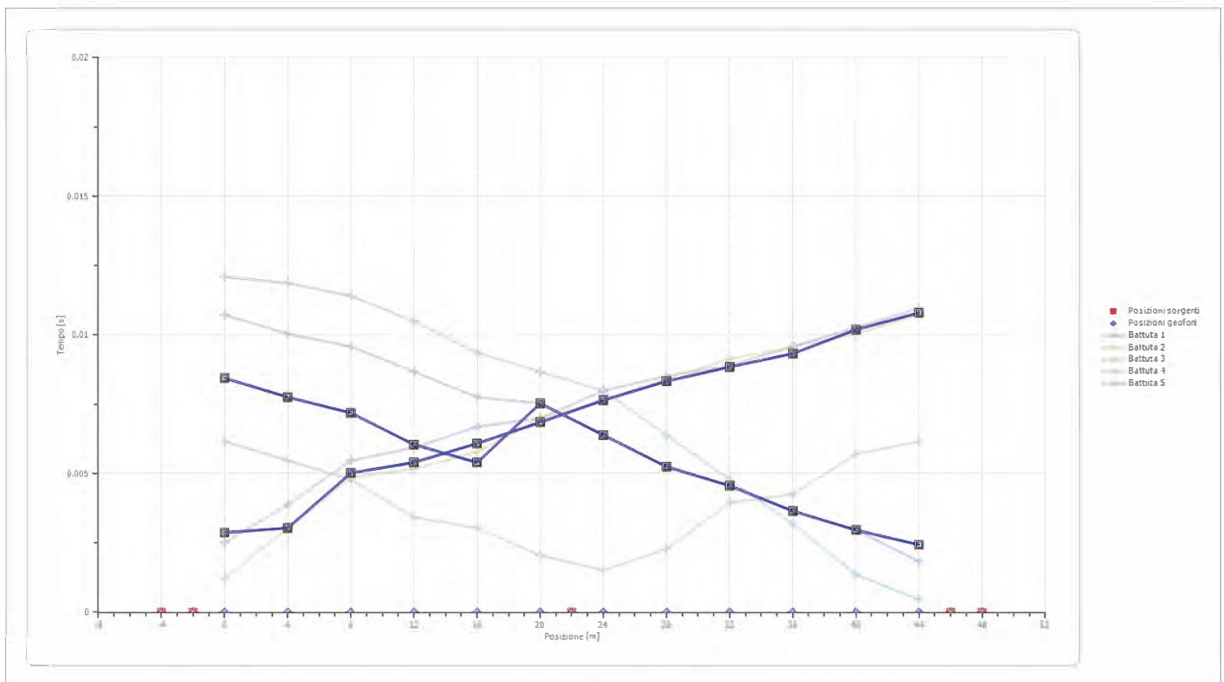


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	10.7306
4.0	10.0457
8.0	9.5890
12.0	8.6758
16.0	7.7626
20.0	7.5342
24.0	6.3927
28.0	5.2511
32.0	4.5662
36.0	3.6530
40.0	2.9680
44.0	1.8265

Dromocrone



Dromocrone traslate

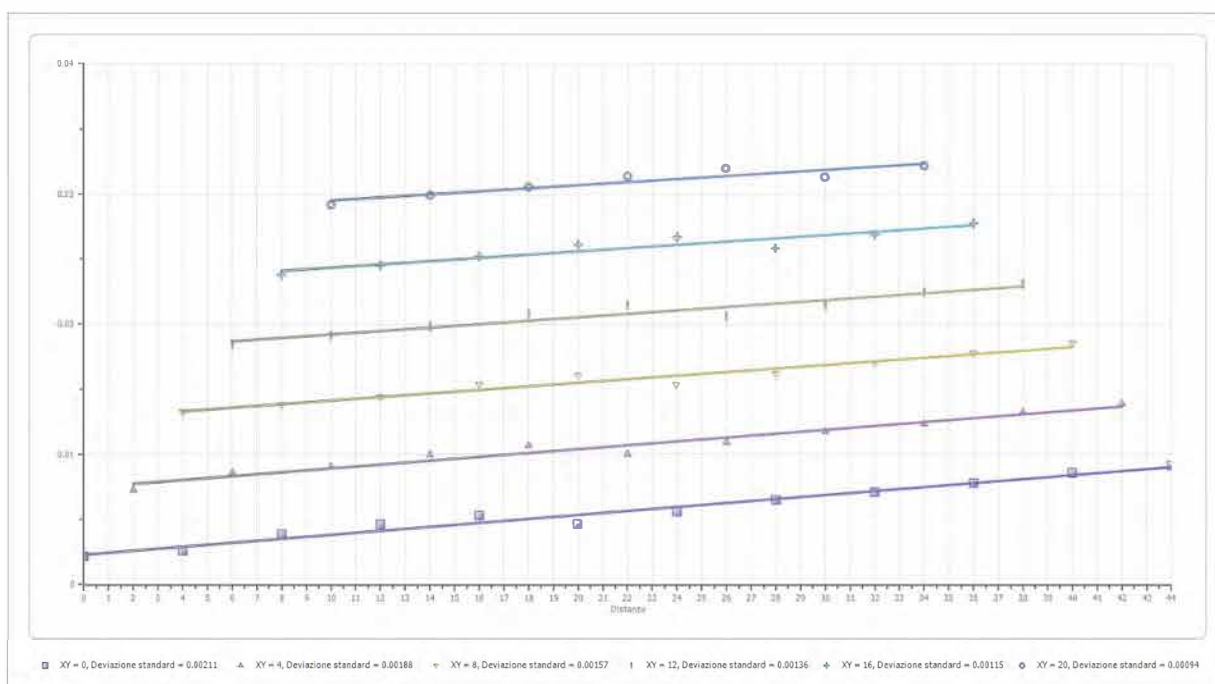


Interpretazione col metodo G,,R.M.

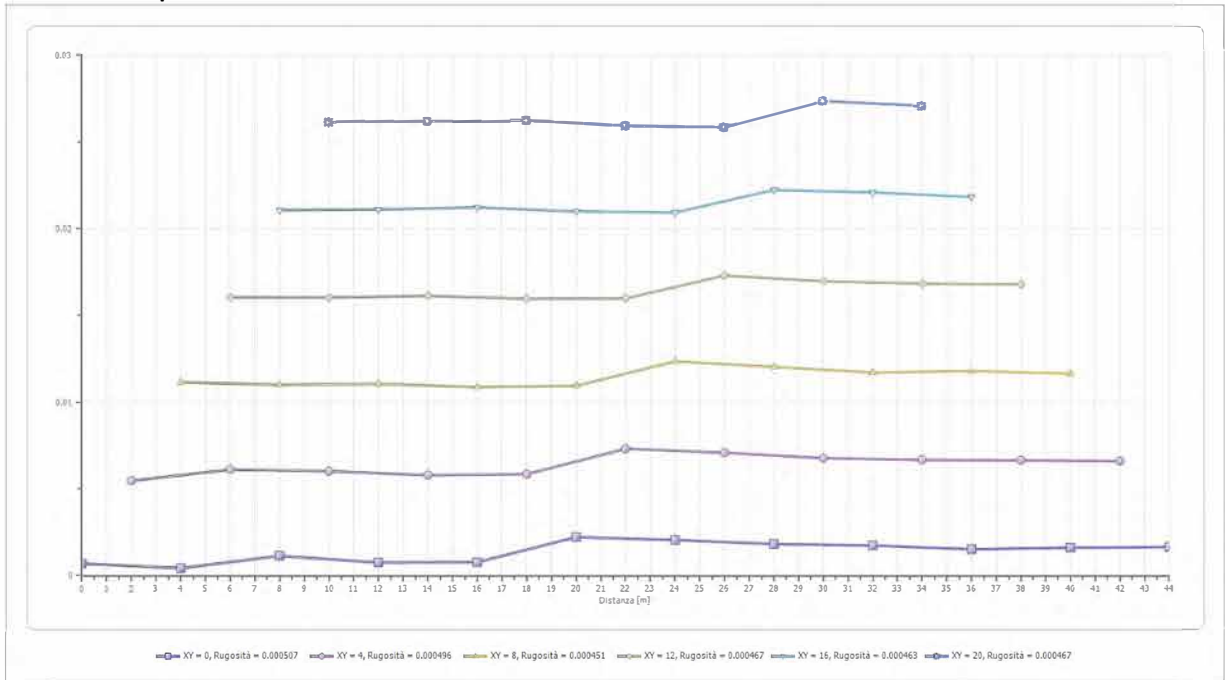
XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 0.0 [m]	1.9	4.5
G= 4.0 [m]	1.2	9.3
G= 8.0 [m]	3.2	9.0
G= 12.0 [m]	2.1	5.6
G= 16.0 [m]	2.2	5.0
G= 20.0 [m]	6.2	8.7
G= 24.0 [m]	5.7	5.7
G= 28.0 [m]	5.1	5.1
G= 32.0 [m]	4.8	4.8
G= 36.0 [m]	4.2	4.2
G= 40.0 [m]	4.5	4.5
G= 44.0 [m]	4.6	4.6
Velocità [m/sec]	2559.1	6547.1
Descrizione	UNITA' A PREVALENTE COMPONENTE CALCREA (POCO FRATTURATA)	UNITA' A PREVALENTE COMPONENTE CALCREA (COMPATTA)

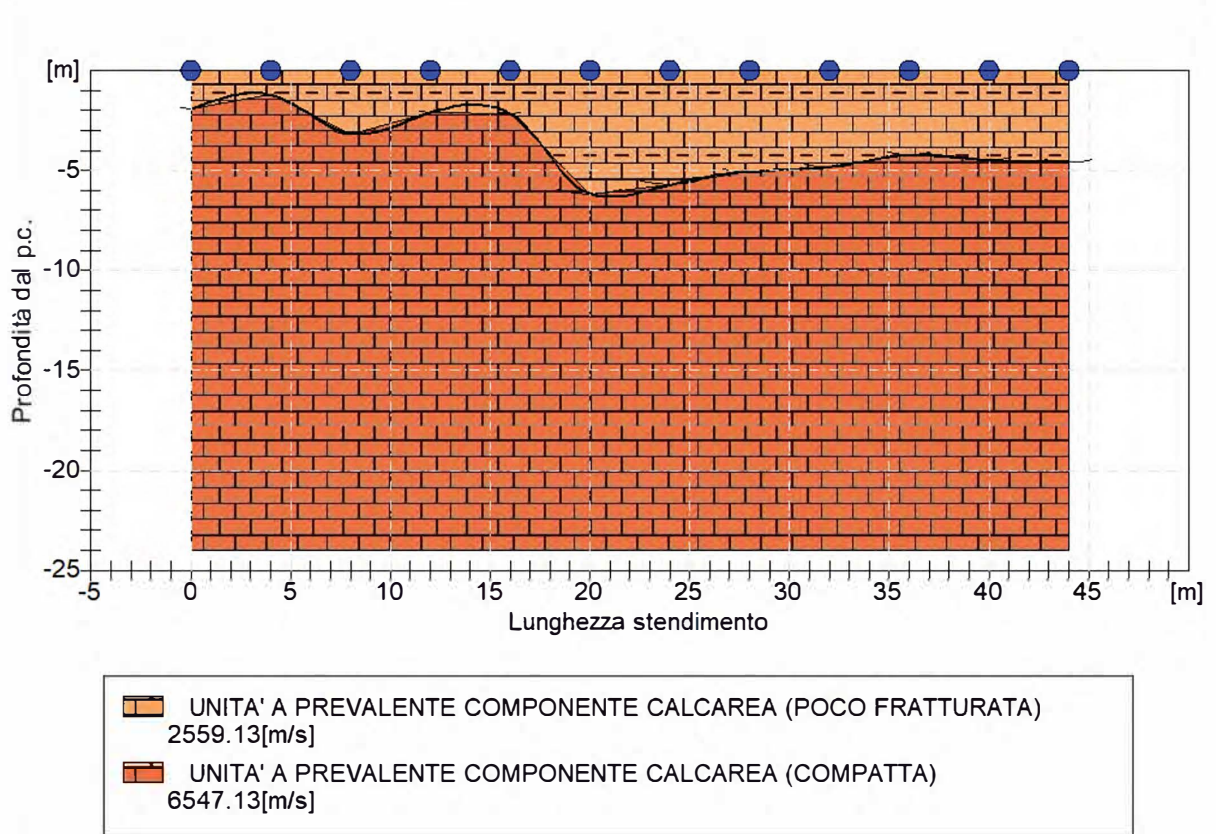
Funzione Velocità

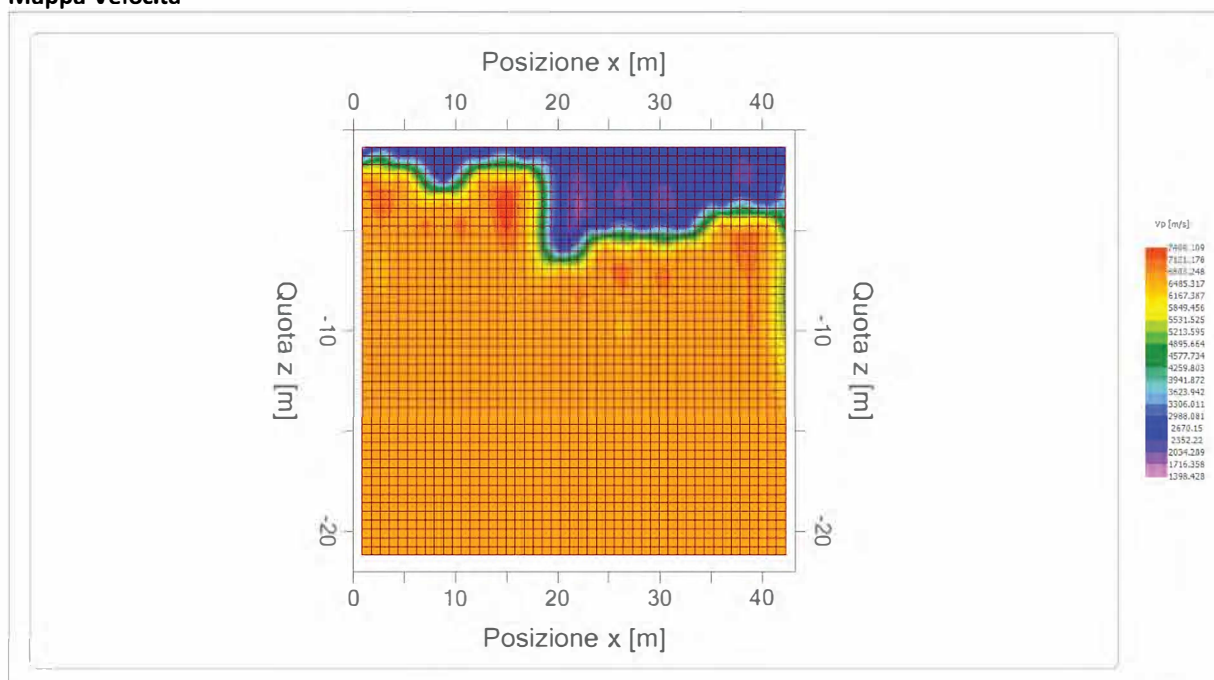


Funzione Tempo Velocità



Andamento morfologico rifrattori (stratigrafia)



Mappa Velocità**Parametri geotecnici**

Parametri geotecnici*	Strato n. 1	Strato n. 2
Profondità da p.c.	0,00 ÷ 6,50 mt	6,50 ÷ 15,00 mt
Litologia	UNITA' A PREVALENTE COMPONENTE CALCAREA (POCO FRATTURATA)	UNITA' A PREVALENTE COMPONENTE CALCAREA (COMPATTA)
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	2559.13	6547.13
Vs [m/s]	1229.37	3145.14
G0 [MPa]	2720.41	17805.45
Ed [Mpa]	11788.44	77156.96
M0 [MPa]	9068.03	59351.51
Ey [Mpa]	7345.11	48074.72
Ø [°]	34	40
Cu [Mpa]	0,25	0,60

* G0: Modulo di deformazione al taglio; Ed: Modulo edometrico; M0: Modulo di compressibilità volumetrica; Ey: Modulo di Young; Ø: Angolo di attrito; Cu: Coesione

9.3 SINTESI PARAMETRI GOTECNICI

Alla luce delle indagini di cui ai capitoli precedenti si riporta di seguito la sintesi dei principali parametri fisico meccanici che caratterizzano il modello geotecnico dei depositi indagati.

Sito 1

Parametri geotecnici*	Strato n. 1	Strato n. 2
Profondità da p.c.	0,00 ÷ 3,50 mt	3,50 ÷ 15,00 mt
Litologia	Unità a prevalente componente arenitica	Unità a prevalente componente calcarea mediamente fratturata
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	467.76	1608.87
Vs [m/s]	224.70	772.88
G0 [MPa]	90.89	1075.21
Ed [Mpa]	393.84	4659.23
M0 [MPa]	302.95	3584.02
Ey [Mpa]	245.39	2903.06
Ø [°]	28	32
Cu [Mpa]	0,05	0,15
Categoria sismica	B (V _{s,eq} = 382)	
Falda (mt dal p.c.)	> 30	

* G0: Modulo di deformazione al taglio; Ed: Modulo edometrico; M0: Modulo di compressibilità volumetrica; Ey: Modulo di Young; Ø: Angolo di attrito; Cu: Coesione

Sito 2

Parametri geotecnici*	Strato n. 1	Strato n. 2
Profondità da p.c.	0,00 ÷ 3,00 mt	3,00 ÷ 15,00 mt
Litologia	Unità a prevalente componente calcarea (da fratturata a poco fratturata)	Unità a prevalente componente calcarea (da poco fratturata a compatta)
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	1310.80	4218.67
Vs [m/s]	629.69	2026.58
G0 [MPa]	713.71	7392.66
Ed [Mpa]	3092.75	32034.88
M0 [MPa]	2379.04	24642.21
Ey [Mpa]	1927.02	19960.19
Ø [°]	30	34
Cu [Mpa]	0,13	0,20
Categoria sismica	A (V _{s,eq} = 1.190)	
Falda (mt dal p.c.)	> 30	

* G0: Modulo di deformazione al taglio; Ed: Modulo edometrico; M0: Modulo di compressibilità volumetrica; Ey: Modulo di Young; Ø: Angolo di attrito; Cu: Coesione

Sito 3

Parametri geotecnici*	Strato n. 1	Strato n. 2
Profondità da p.c.	0,00 ÷ 6,50 mt	6,50 ÷ 15,00 mt
Litologia	Unità a prevalente componente calcarea (poco fratturata)	Unità a prevalente componente calcarea (compatta)
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	2559.13	6547.13
Vs [m/s]	1229.37	3145.14
G0 [MPa]	2720.41	17805.45
Ed [Mpa]	11788.44	77156.96
M0 [MPa]	9068.03	59351.51
Ey [Mpa]	7345.11	48074.72
Ø [°]	34	40
Cu [Mpa]	0,25	0,60
Categoria sismica	A (Vs,eq = 1.033)	
Falda (mt dal p.c.)	> 30	
* G0: Modulo di deformazione al taglio; Ed: Modulo edometrico; M0: Modulo di compressibilità volumetrica; Ey: Modulo di Young; Ø: Angolo di attrito; Cu: Coesione		

10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente studio è stato finalizzato alla definizione:

1. della caratterizzazione e modellazione geologica al fine della ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio indagato onde verificare la fattibilità tecnica delle opere in progetto;
2. della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni indagati, definire il modello geotecnico e la categoria sismica di sottosuolo ed i parametri e coefficienti sismici locali, secondo quanto previsto dal D.M. 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" come aggiornate dal D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni";

dei terreni di fondazione ubicati nel Comune di Nardò (LE), in località "BUILLI" su un'area agricola (zona "E" del PRG) distinta al catasto del Comune di Nardò:

- lotto di impianto Builli 1: Foglio n° 35, comprendendo interamente le particelle n° 570 – 571 e parzialmente le particelle n° 572 – 573,
- lotto di impianto Builli 2: Foglio n° 35 e 33, comprendendo interamente la particella n° 567 parzialmente le particelle 573 – 572 del foglio 35 e interamente le particelle n° 99 – 516 – 517 del foglio 33,

interessati dalla realizzazione di Impianto Fotovoltaico, e delle opere ed infrastrutture connesse e lungo il tracciato delle relative opere di connessione fino alla più vicina cabina MT di consegna nei comuni di *Nardò, Copertino e Leverano (LE)*.

L'indagine, svolta in conformità alle normative tecniche vigenti, è stata articolata nelle seguenti fasi di studio:

- raccolta e consultazione della documentazione geologica e geomorfologica esistente relativa a studi ed analisi effettuate nella stessa area, in aree limitrofe o in situazioni del tutto analoghe;
- raccolta ed analisi accurata della cartografia dell'area;
- rilievi di superficie, effettuati allo scopo di definire le forme e l'estensione delle strutture di superficie e di descrivere l'idrografia superficiale (Rilievo geomorfologico), di riconoscere l'estensione areale ed i limiti dei litotipi presenti nell'area (Rilievo geolitologico), di individuare eventuali strutture di tipo fragile e di tipo duttile (Rilievo geologico - strutturale);
- campagna di indagine di prospezione sismica dei terreni eseguita dallo scrivente per mezzo di:
 - ✓ n° 3 stendimento sismico in onda S a tecnica **MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves)**,
 - ✓ n° 3 stendimento sismico in onda S a tecnica **RE.MI. (Refraction Microtremor)**,
 - ✓ n° 3 stendimento sismico tomografico a rifrazione in onda P (**Rifrazione**);
- eseguite dallo scrivente in area limitrofa e del tutto analoga a quella in oggetto.

In virtù di quanto sopra, si attesta che l'area interessata dalle opere in progetto:

1. dall'analisi della cartografia allegata al **Piano di bacino stralcio assetto idrogeologico (P.A.I.)** della Regione Puglia in cui l'Autorità di Bacino ha individuato le aree esposte a pericolosità geomorfologia

- e idraulica e pertanto a rischio si evidenzia come:
- a. **l'area interessata dalla realizzazione dell'impianto in progetto non ricade**, neanche parzialmente:
 - in aree identificate e perimetrate a pericolosità idraulica;
 - in aree identificate e perimetrate a pericolosità geomorfologica;
 - in aree identificate e perimetrate a rischio;
 - b. **l'area interessata dalla realizzazione delle opere di connessione fino alla più vicina cabina MT di consegna:**
 - intercetta nella parte iniziale una piccola area identificata a **Bassa Pericolosità idraulica** (B.P.) come definita all'art. 36 delle Norme Tecniche di Attuazione, rappresentata da una piccola depressione (conca) a carattere endoreica;
 - intercetta nella parte terminale, un'area identificata ad **Alta (A.P.), Media (M.P.) e Bassa (B.P.) pericolosità idraulica**, come definite all'art. 36 delle Norme Tecniche di Attuazione.
2. dall'analisi della **Carta Idro-geomorfologica della Regione Puglia allegata al Piano di bacino stralcio assetto idrogeologico (P.A.I.)** si evidenzia come:
- a. **l'area interessata dalla realizzazione dell'impianto in progetto non ricade**, neanche parzialmente:
 - a meno di 75 mt da tratti di reticolo idrografici, in alveo in modellamento attivo;
 - a meno di 150 mt da tratti di reticolo idrografici, in aree golenale non arealmente individuabile.
 - b. **l'area interessata dalla realizzazione delle opere di connessione fino alla più vicina cabina MT di consegna** intercettando nella parte terminale, un corso d'acqua episodico immissario di un piccolo bacino endoreico, **ricade** pertanto:
 - a meno di 75 mt da tratti di reticolo idrografici, in alveo in modellamento attivo;
 - a meno di 150 mt da tratti di reticolo idrografici, in aree golenale non arealmente individuabile.
3. non risulta interessata dalla presenza di una falda superficiale che possa interferire con le opere in progetto;
4. poiché, sulla base del valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{s,eq}$) ricavata dall'analisi sismica in sito è possibile classificare il sottosuolo di fondazione oggetto di indagine in parte di tipo B ed in parte di tipo A come da sintesi riportata al paragrafo 9.3, in relazione alle opere in progetto allo scopo di rendere omogenea la progettazione delle stesse, si raccomanda di adottare a titolo del tutto cautelativo una categoria sismica di tipo B;
5. le condizioni topografiche dell'area indagata fanno sì che la stessa rientri nella categoria T1 "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ "
6. i principali parametri fisico-meccanici che caratterizzano il modello geotecnico dei depositi indagati, idonei ad ospitare tali opere, sono sintetizzati nelle tabelle di cui al paragrafo 9.3.

Dovendo sempre supporre un certo grado di imprevedibilità, caratteristica propria delle formazioni geologiche, si rimanda comunque al progettista e/o direttore dei lavori l'onere di verificare, in fase esecutiva, la rispondenza tra quanto previsto e quanto effettivamente riscontrato, differendo in caso contrario le soluzioni progettuali sulla scorta di ulteriori approfondimenti.

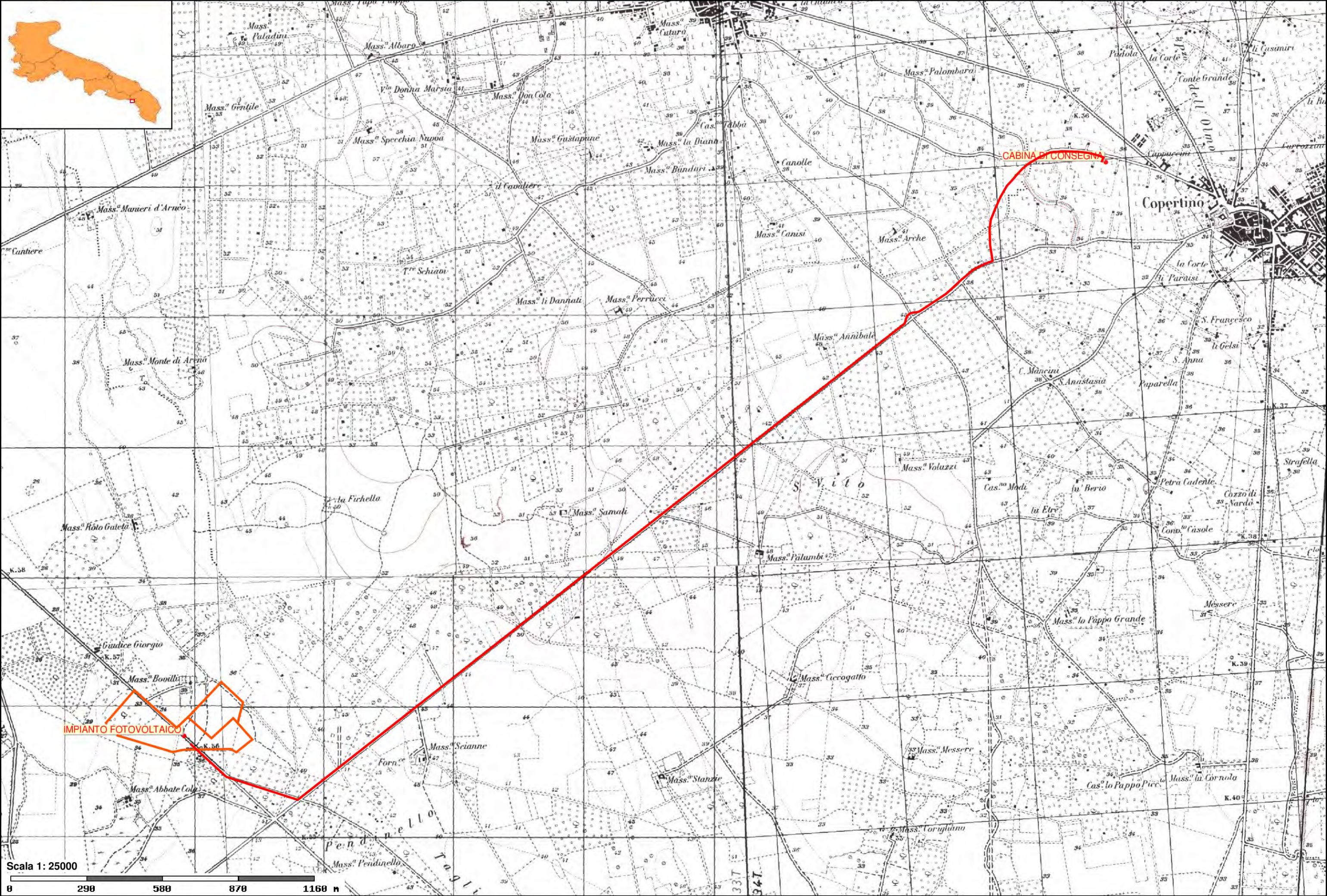
Tanto si doveva in espletamento dell'incarico affidatomi.

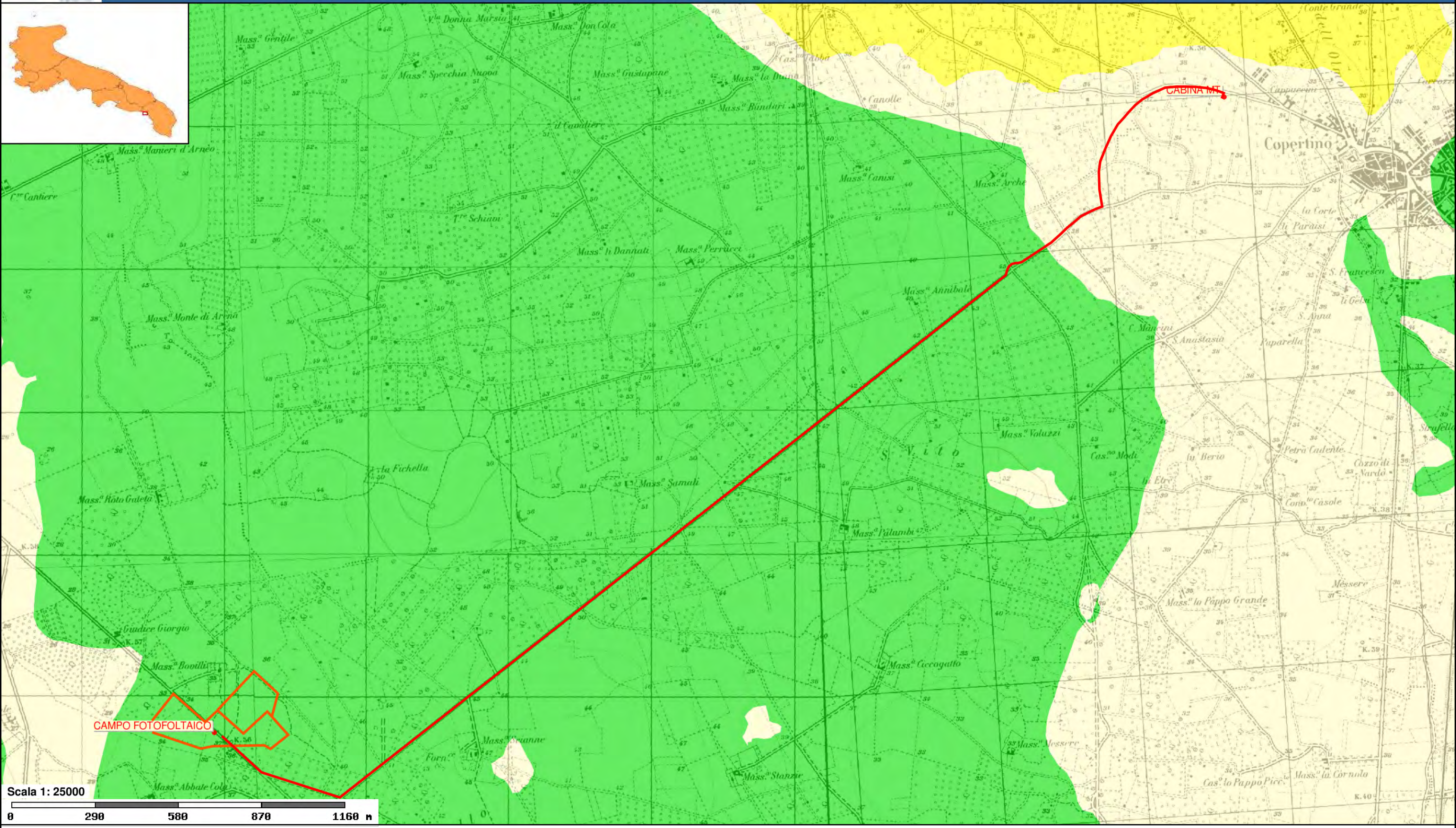
IL TECNICO
(Timbro e firma)
Geologo dott. Dario FISCHETTO



The image shows a circular professional stamp for Dario Fischetto, a geologist registered with the Order of Geologists in Puglia (Ordine dei Geologi Puglia) under number 475. The stamp is partially obscured by a blue ink signature that reads 'Dario'.







Elementi Geostrutturali

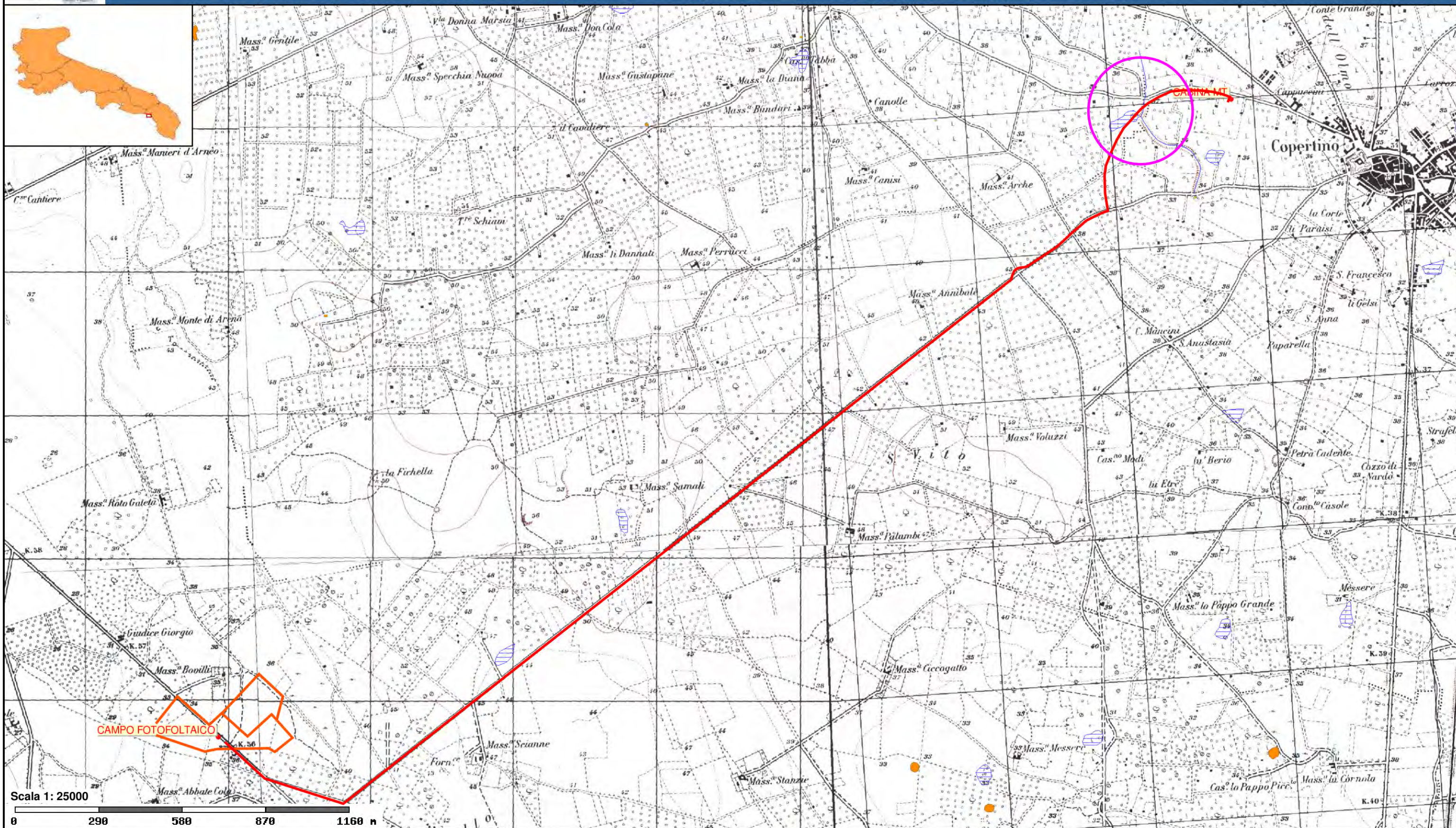
Litologia substr.

- Unità prevalentemente calcarea o dolomitica
- Unità a prevalente componente argillosa
- Unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica

- Unità a prevalente componente arenitica
- Unità a prevalente componente ruditica
- Unità costituite da alternanze di rocce a composizione e/o granulometria variabile
- Unità a prevalente componente argillitica con un generale assetto caotico
- Depositi sciolti a prevalente componente pelitica



- Depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa

Cartografia di base








Forme di modellamento di corso d'acqua


Cigli e ripe


-  Ciglio di sponda
-  Ripa di erosione

Forme ed elementi legati all'idrografia superficiale

Corsi di acqua

-  Corso d'acqua
-  Corso d'acqua episodico
-  Corso d'acqua obliterato
-  Corso d'acqua tombato
-  Recapito finale di bacino endoreico

 Sorgenti

 Canali lagunari

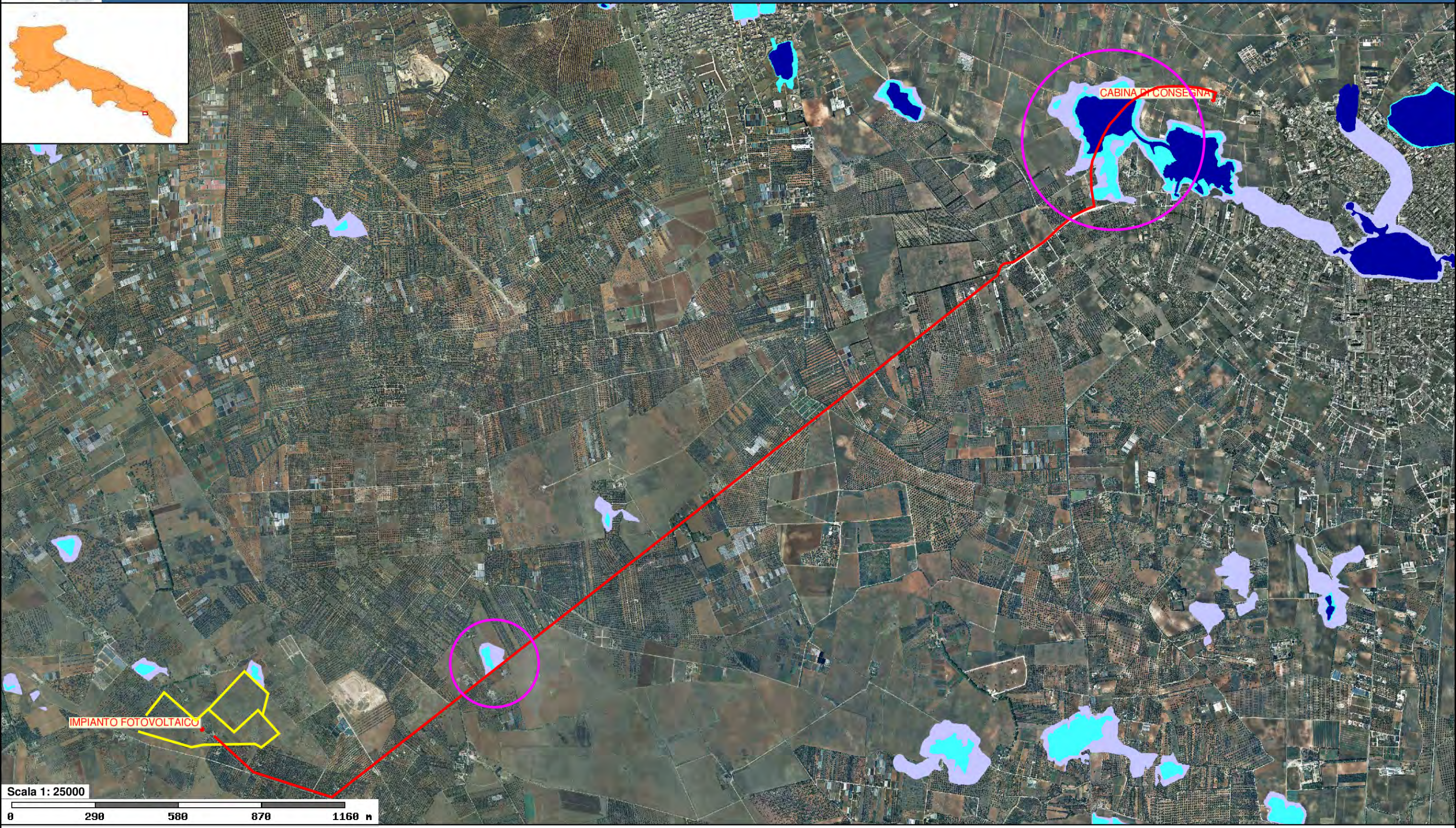
Forme Carsiche

-  Doline
-  Grotte naturali

 Orlo di depressione carsica

 Voragini

Cartografia di base



Pericolosità e Rischio

Peric. Geomorf.
 media e moderata (PG1)

elevata (PG2)

elevata (PG3)

Peric. Idraulica
 bassa (BP)

media (MP)

alta (AP)