



STUDIO GEOMEGA

Via Fontana, n°29

73045 Leverano (LE)

E-mail: [info@studiogeomega.it](mailto:info@studiogeomega.it)

PEC:

[geo.megap@pec.epap.it](mailto:geo.megap@pec.epap.it)

Tel. & Fax 0832 1696974

Cell. +39 3273692681

# COMUNE DI LEVERANO

Provincia di Lecce

Committente:

**MEDIA IMMOBILIARE SRL**

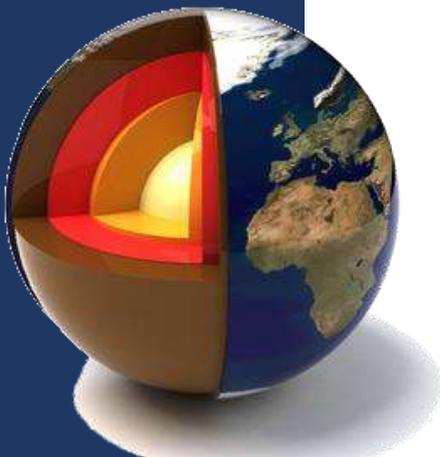
**PROGETTO DI VARIANTE PER LA PARZIALE RICONVERSIONE  
DELL'EX AREA F3.15, F3.16 ED F3.17 DEL PIANO  
PARTICOLAREGGIATO C2.3 DEL VIGENTE PRG, IN LOTTI DI  
TERRENO EDIFICABILI, IN RELAZIONE AL DECORSO TERMINE  
STABILITO PER LA ESECUZIONE DEL P.P.  
EX ART. 17 LEGGE N.1150/42 E, SMI**

*Relazione di Compatibilità Geomorfológica  
(ai sensi dell'art. 89 DPR 380/2001)*

Leverano, Maggio 2023

il geologo:

dott. Giovanni Paolo Mega



**INDICE**

1	PREMESSA.....	2
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	5
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO.....	7
3.1	Aspetti stratigrafici e litologici .....	9
3.1.1	Limi argillosi brunastri.....	9
3.1.2	Sabbie limose, limi sabbiosi .....	9
3.1.3	Argille e limi argillosi grigio azzurri (“Argille Subappennine”).....	10
3.1.4	Calcareniti a grana media (“Calcareniti di Gravina”).....	10
3.1.5	Calcari, calcari dolomitici, dolomie (“Calcari di Altamura”).....	11
4	CARATTERI IDROGEOLOGICI.....	14
4.1	caratteri di permeabilità .....	14
4.1.1	Formazioni permeabili per porosità .....	14
4.1.2	Formazioni permeabili per fratturazione e carsismo .....	14
4.1.3	Formazioni praticamente impermeabili .....	14
4.2	Idrografia superficiale .....	14
4.3	Idrografia sotterranea .....	18
4.3.1	Falda superficiale .....	18
4.3.2	Falda profonda.....	18
5	CARATTERIZZAZIONE DELL’AREA NELL’AMBITO DEL PIANO DI BACINO STRALCIO PER L’ASSETTO IDROGEOLOGICO DELLA REGIONE PUGLIA (P.A.I.) .....	21
6	INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	23
6.1	Indagine Sismica a Rifrazione & Masw .....	23
6.1.1	Geometria degli stendimenti, Hardware e Software.....	30
7	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA .....	31
7.1	Modello Geologico e valutazione dei parametri meccanici (Indagine IS1).....	34
7.2	Modello Geologico e valutazione dei parametri meccanici (Indagine IS2).....	34
8	SISMICITÀ DELL’AREA .....	36
9	CONCLUSIONI .....	39

ALLEGATO 1 - *Indagini sismiche a rifrazione & M.A.S.W.*

## **1 PREMESSA**

In seguito all'incarico ricevuto dalla **MEDIA IMMOBILIARE SRL**, con sede in via Celso, 29 Nardò (LE), è stato effettuato lo *studio geologico* su un'area distinta nel *NCEU al Fg. 33 particelle 105 e 324*.

Il D.P.R. 6 giugno 2001, n.380 - Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia. (Testo A). GU n. 245 del 20-10-2001- Suppl. Ordinario n.239 al Capo IV - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche Sezione I Norme per le costruzioni in zone sismiche, nell' Art. 89 recita:

*1. Tutti i comuni nei quali sono applicabili le norme di cui alla presente sezione e quelli di cui all'articolo 61, devono richiedere il parere del competente ufficio tecnico regionale sugli strumenti urbanistici generali e particolareggiati prima della delibera di adozione nonché sulle lottizzazioni convenzionate prima della delibera di approvazione, e loro varianti ai fini della verifica della compatibilità delle rispettive previsioni con le condizioni geomorfologiche del territorio.*

*2. Il competente ufficio tecnico regionale deve pronunciarsi entro sessanta giorni dal ricevimento della richiesta dell'amministrazione comunale.*

*3. In caso di mancato riscontro entro il termine di cui al comma 2 il parere deve intendersi reso in senso negativo.*

L'O.P.C.M. n° 3274/03 (pubblicata sulla G.U. n° 105 - Supplemento Ordinario - dell'08.05.2003) ha introdotto i "primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica". In tale contesto normativo, il comune di **LEVERANO** ricade in un'area classificata come Zona 4 che è quella a minor rischio sismico.

Ai sensi l'art. 2 - comma 1 e 3 della suddetta O.P.C.M., le Regioni avrebbero dovuto "provvedere all'individuazione, formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche" fatta salva la facoltà, per le sole zone classificate "4", di "introdurre o meno l'obbligo della progettazione antisismica ad eccezione degli "edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile" nonché degli "edifici e delle opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso".

Di fatto, 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, tra



l'altro, 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, si 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'entrata in vigore delle Norme Tecniche, approvate con D.M. 14.01.2008 (e successivamente aggiornate con D.M. 17.01.18), in conseguenza degli eventi sismici avvenuti in Abruzzo, al fine di meglio tutelare la pubblica e privata incolumità, la Regione Puglia (Delib. G.R. 15 settembre 2009 n. 1626), ha ritenuto opportuno che l'obbligo della progettazione antisismica venga estesa anche per le costruzioni private da realizzare in zona sismica classificata "4", modificando quanto precedentemente previsto, nella fattispecie, dalla delibera di G.R. n° 153/04. A completamento della documentazione del ***"Progetto di variante per la parziale riconversione dell'ex area F3.15, F3.16 ed F3.17 del piano particolareggiato C2.3 del vigente PRG, in lotti di terreno edificabili, in relazione al decorso termine stabilito per la esecuzione del P.P. ex Art. 17 Legge n.1150/42 e, smi"*** nel Comune di LEVERANO, è stata elaborata la presente ***"Relazione di Compatibilità Geomorfológica"*** secondo l'***art 89 del DPR 380/01.***

Lo studio geologico effettuato si è basato su:

- ***un'analisi cartografica di base e bibliografica del sito in esame;***
- ***un rilevamento di superficie comprendente l'individuazione delle unità litostratigrafiche presenti, delle lineazioni morfologiche, nonché delle eventuali aree di dissesto;***
- ***una campagna geognostica di indagini di tipo indiretto consistita in:***  
***n. 2 prospezioni sismiche a rifrazione di superficie in onde P & M.A.S.W. (IS1 e IS2).***



Lo studio ha permesso di:

- rilevare i caratteri geomorfologici e idrogeologici dell'area e verificare, in ordine a tali aspetti, la compatibilità del sito alla scelta urbanistica effettuata;
- individuare la locale sismostratigrafia del sottosuolo;
- definire i parametri elastici dei terreni, attraverso i quali è possibile costruire un modello geologico-geotecnico di sintesi;
- stimare i valori delle  $V_{seq}$  al fine di determinare la categoria del suolo di appartenenza dei terreni in esame, necessaria alla definizione dell'azione sismica di progetto, ai sensi delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" – D.M. 17.01.18;
- verificare che le attività in progetto non alterino la sicurezza del territorio.

Il presente studio ottempera altresì a quanto prescritto dal D.M. 17.01.18 in materia di criteri di carattere geologico e geotecnico da adottarsi nell'elaborazione dei piani urbanistici.

Ai fini della verifica delle condizioni di assetto idraulico e geomorfologico dell'area di intervento, si è proceduto alla consultazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità distrettuale dell'Appennino Meridionale, relativo alle aree a pericolosità geomorfologica e idraulica.

## 2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area interessata dal progetto di lottizzazione è ubicata nel Comune di Leverano (LE), ricade nel Foglio 214 quadrante IV N.O., denominazione "COPERTINO", della Carta I.G.M. a scala 1:25.000 (Fig. 1). Nella cartografia regionale CTR appartiene all'Elemento n°512094 denominazione "CASA SIMINI" (Fig. 2).

Le quote dell'area variano tra i 39,00 e i 40,00 metri slm.

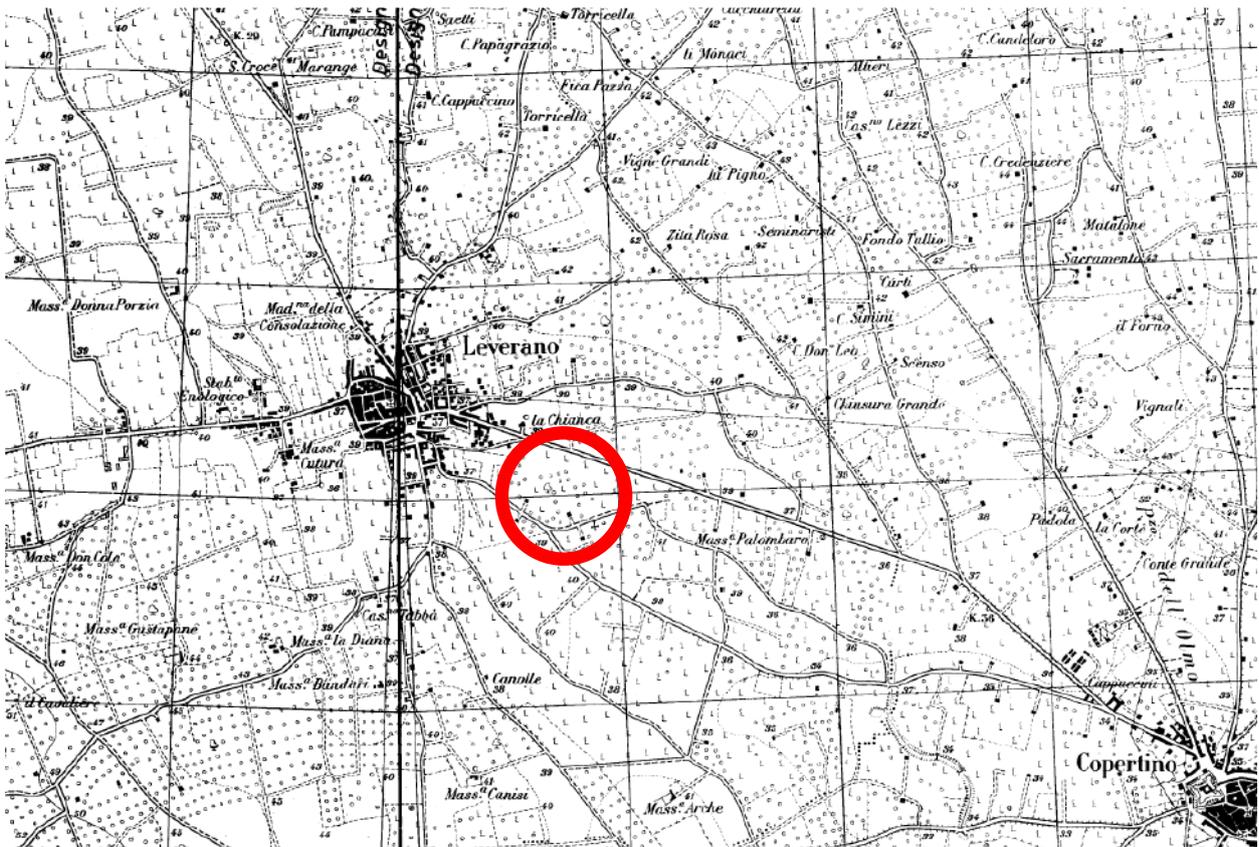
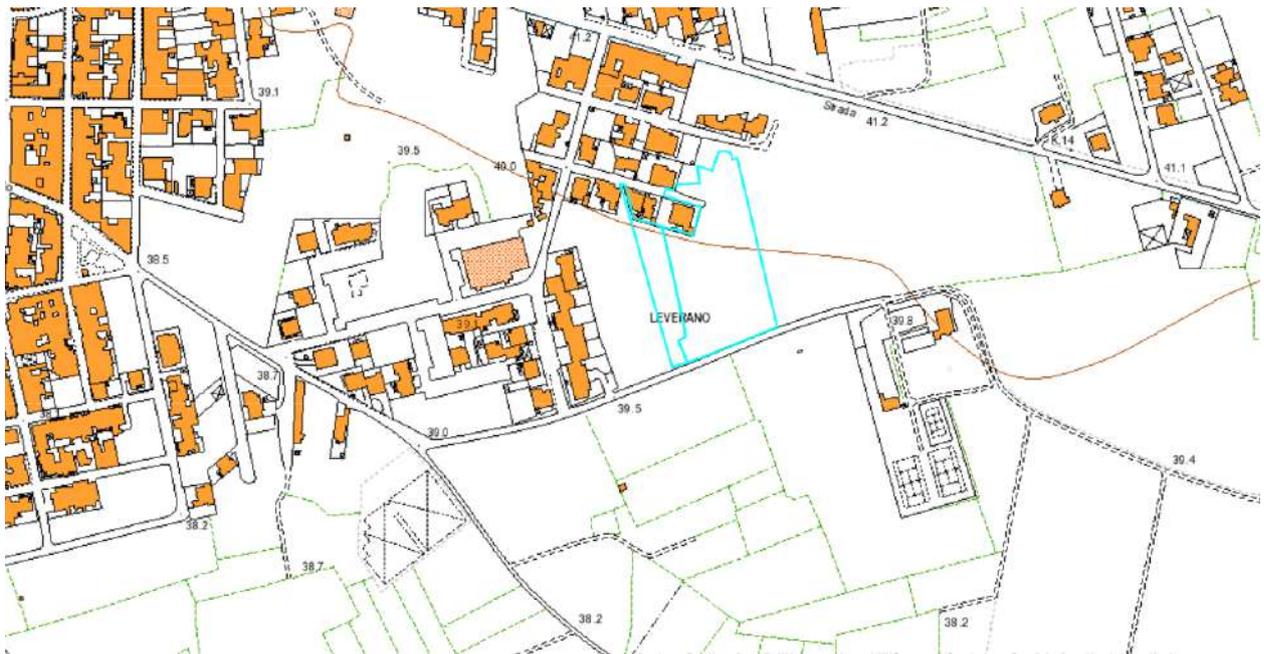


Fig. 1: Inquadramento su I.G.M.



*Fig. 2: Inquadramento su CTR*



*Fig. 3: Inquadramento su ortofoto*

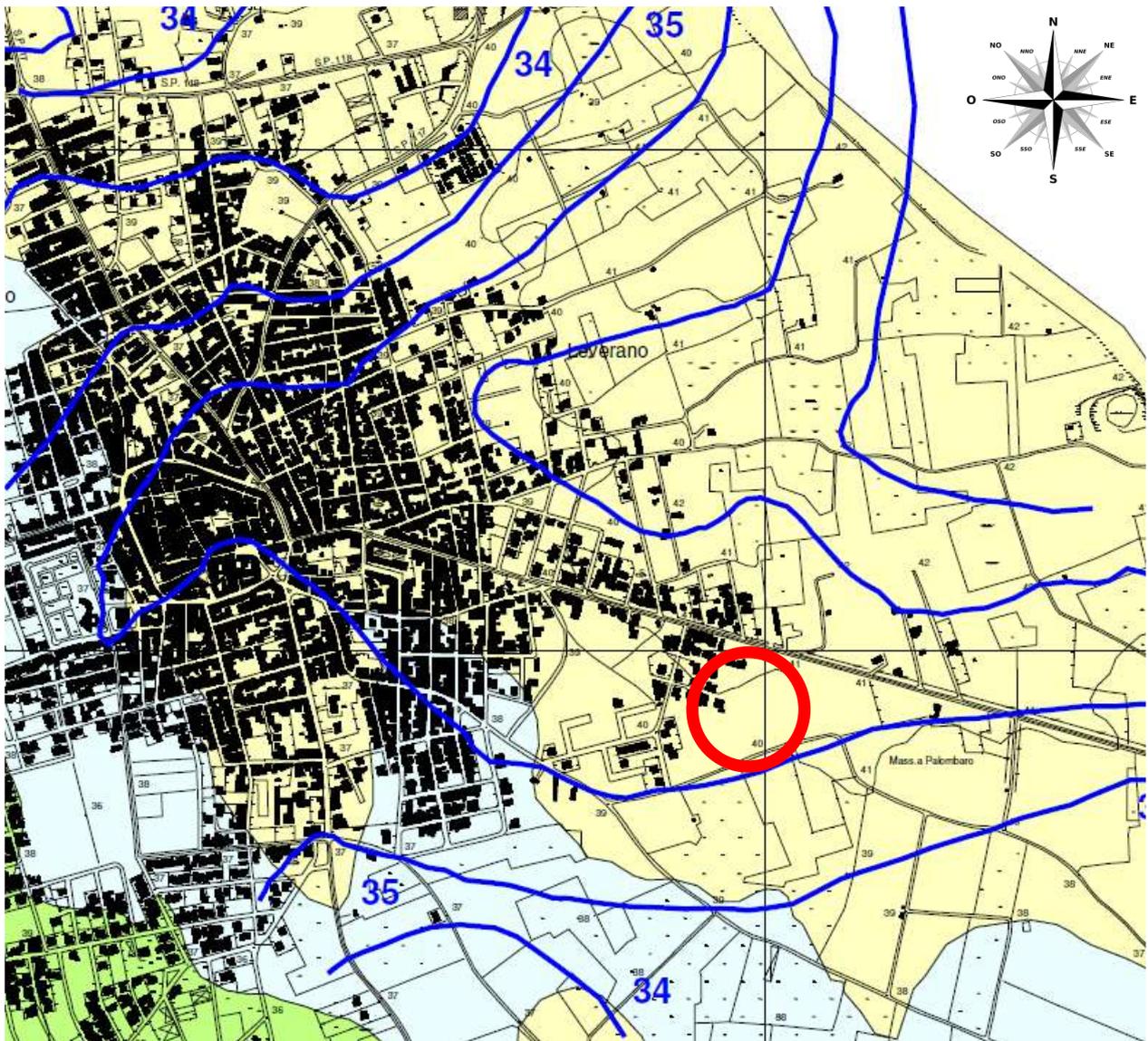
### **3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO**

L'abitato di Leverano è collocato, in parte, in corrispondenza di una fascia allungata in direzione NW-SE, altimetricamente depressa e idealmente delimitata dalle isoipse dei 40,00 metri ad Est ed a Ovest, mentre per la rimanente parte, verso W, su un rilievo calcareo cretaceo con quote leggermente più elevate.

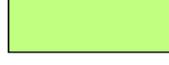
Nelle zone più basse, riferibili ad aree tettonicamente depresse, ricadono la periferia orientale dell'abitato e quella che si estende in direzione di Copertino, mentre in quelle più elevate ricade quasi per intero il Rione "Pozzolungo", in direzione di Porto Cesareo, e le nuove zone di espansione in direzione SW.

La morfologia è legata strettamente all'assetto tettonico dell'area e in particolare alla presenza di una dislocazione (*faglia*) con uguale direzione NW-SE. La faglia non è direttamente riscontrabile in superficie ma si può individuare interpretando dati stratigrafici o ancora più facilmente osservando il quasi perfetto allineamento delle voragini naturali secondo l'anzidetta direttrice.

L'area d'interesse si trova a circa 39 m.s.l.m e in affioramento si rinvengono sabbie limose e limi meglio caratterizzati nel capitolo 7 (Fig. 4).



**Fig. 4: Carta geolitologica (Scala 1:10.000)**

-  Limi argillosi brunastri - Recente)
-  Sabbie limose, limi sabbiosi (-Pleistocene)
-  Calcareniti a grana media (Calcareniti di Gravina -Pliopleistocene)
-  Calcari, calcari dolomitici, dolomie (Calcari di Altamura -Cretaceo)

 **Area interessata**

### **3.1 ASPETTI STRATIGRAFICI E LITOLOGICI**

La ricostruzione della stratigrafia è stata fatta in base al rilievo geolitologico di dettaglio, alle indagini geognostiche, allo studio idrogeologico e all'interpretazione delle stratigrafie dei pozzi per acqua esistenti nella zona.

Si sono così delineati i limiti fra le singole formazioni affioranti ed i rapporti stratigrafici esistenti tra queste e quelle che si rinvencono in profondità.

La successione stratigrafica comprende, dall'alto verso il basso e nel senso più generale, i seguenti termini geolitologici:

- **Limi argillosi brunastri (-Recente-)**
- **Sabbie limose, limi sabbiosi (-Pleistocene-)**
- **Argille e limi argillosi grigio azzurri ("Argille Subappennine" -Pleistocene-)**
- **Calcareniti a grana media ("Calcareniti di Gravina" -Pliopleistocene-)**
- **Calcari, calcari dolomitici, dolomie ("Calcari di Altamura" -Cretaceo-)**

In Fig. 2 si riporta una sezione geolitologica schematica dell'area di Leverano.

#### **3.1.1 Limi argillosi brunastri**

Limitatamente ad una stretta fascia continua di territorio allungata da N-NO a S-SE nei dintorni dell'abitato di Leverano ed in lembi isolati fin quasi a Veglie, si rinvencono dei depositi alluvionali costituiti da limi sabbioso-argillosi brunastri e da depositi residuali (terra rossa).

I terreni alluvionali sono presenti con modesti spessori nelle zone più depresse, sedi di compluvio delle acque piovane; in alcuni sondaggi eseguiti presso le scuole elementari di Via V. Turati, lo spessore di detti terreni è risultato essere pari a 2,50 metri.

#### **3.1.2 Sabbie limose, limi sabbiosi**

Si tratta di depositi che affiorano nell'abitato di Leverano e si estendono a Nord ed a Est dello stesso. Trattasi litologicamente di sabbie calcaree fini spesso concrezionate localmente passanti a calcareniti. A luoghi è caratterizzata nella parte alta dalla presenza di Brachiopodi, interi o in frammenti, appartenenti alla specie *Terebratula scillae* (Seg.). Caratteristica è anche la presenza di sparsi noduli tenaci di colore biancastro e di sottili livelli calcarenitici a grana fine.

Verso Nord dette sabbie presentano delle variazioni granulometriche verticali passando in profondità a limi sabbiosi e limi argillosi. Al letto di tali litotipi si rinvencono le argille grigio-azzurre.

Dalle stratigrafie dei pozzi che si attestano nella falda superficiale, poiché dette sabbie sono il serbatoio di detto acquifero, si può dedurre che la potenza delle sabbie si aggira intorno ai 5,00 ÷ 6,00 metri.

### **3.1.3 Argille e limi argillosi grigio azzurri (“Argille Subappennine”)**

Questa unità non affiora nell'area oggetto di studio, ma si rinviene a poca profondità dal piano campagna al di sotto dei depositi sabbiosi calcarei pleistocenici.

Litologicamente è costituita da due litotipi: argille, spesso marnose nella parte inferiore al contatto con le “Calcareniti di Gravina”, e limi sabbiosi più o meno argillosi in sommità al contatto con le sovrastanti sabbie calcaree.

Le argille sono in prevalenza grigio-azzurre (grigio-giallastre per ossidazione, nella parte sommitale), plastiche e con sottili lamine di sabbie finissime. Verso l'alto i sedimenti diventano via via più limoso-sabbiosi, di colore giallastro, con frequenti noduli calcarei biancastri.

Alla variazione verticale di facies fa riscontro una variazione nel contenuto in minerali argillosi e in carbonati. Di norma la parte argillosa, costituita da illite e subordinatamente da caolinite, nella parte bassa oscilla intorno al 65% e va riducendosi a valori intorno al 50% nella parte sommitale. Alla diminuzione di contenuto in minerali argillosi corrisponde un aumento dei minerali carbonatici.

Dalle stratigrafie dei pozzi per ricerche d'acqua e dei pozzi assorbenti perforati in L. S.ta Croce e in Via T. Livio è risultata una potenza massima, in quelle zone, di circa 30,00 metri.

### **3.1.4 Calcareniti a grana media (“Calcareniti di Gravina”)**

In questa formazione sono compresi sedimenti denominati con termine generico ed improprio “tufi calcarei”. Essi affiorano su un'estesa area a W ed a NW del territorio comunale.

Fa parte della formazione nota nella Carta Geologica d'Italia come “Calcareniti del Salento” che raggruppa rocce calcarenitiche appartenenti ad età diverse. Poiché le calcareniti affioranti nella zona in esame presentano caratteristiche litostratigrafiche e tecniche analoghe alle “Calcareniti di Gravina”, qui si farà riferimento a tale termine formazionale.

Da un punto di vista litologico si tratta principalmente di biocalcareni e biocalciruditi in grossi banchi con intercalazioni calcilutitiche, inoltre di biospariti costituite essenzialmente da frammenti fossili con piccole percentuali di granuli di quarzo e feldspati; il cemento è di tipo sparitico.

Le calcareniti di Gravina sono costituite mineralogicamente da prevalente calcite (raggiunge in media il 95%) e da subordinata dolomite (raggiunge in media il 2%). Anche in questo caso il residuo insolubile (molto basso, con valori più frequenti nell'intervallo tra 1,3%÷1,9%) è costituito da SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Il contenuto in minerali argillosi, quarzo e feldspati varia considerevolmente da zona a zona.

Abbondanti sono i gusci di macrofossili che si ritrovano spesso accentrati in nidi o livelli.

L'età è riferibile al Pliopleistocene. Lo spessore massimo misurato nel territorio studiato è di poco superiore ai 10,00 metri.

Al tetto di detta formazione si rinvengono in continuità di sedimentazione le argille pleistoceniche ("Argille grigio-azzurre").

### **3.1.5 Calcari, calcari dolomitici, dolomie ("Calcari di Altamura")**

Questa formazione è costituita da calcari biancastri e avana e da calcari dolomitici; subordinatamente sono presenti dolomie grigio scure.

Nella seconda edizione del Foglio 213 "MARUGGIO" e 214 "GALLIPOLI", i calcari cretacei affioranti nella zona in esame, sono stati distinti, soprattutto su basi litologiche, in due unità indicate coi nomi di "Dolomie di Galatina", di età cenomaniano-turoniana, e di "Calcari di Melissano", di età turoniano-senoniano (Martinis, 1967). Successivi studi (Ricchetti 1971 e 1972) hanno dimostrato non solo la non esistenza di una vera separazione verticale tra gli elementi calcarei e gli elementi dolomitici, ma anche l'esistenza di una perfetta correlazione con la formazione del "Calcare di Altamura", istituita in precedenza nel territorio delle Murge; di conseguenza qui si farà riferimento a tale termine formazionale.

I Calcari di Altamura rappresentano la parte affiorante del basamento rigido mesozoico della regione. Formano un complesso roccioso costituito da un'alternanza di banchi e strati di calcari detritici chiari a grana più o meno fine, di calcari dolomitizzati e di dolomie.

I passaggi verticali dagli orizzonti calcarei a quelli dolomitici sono difficilmente localizzabili nelle sequenze soprattutto per il fatto che in molte zone tali passaggi avvengono anche in senso laterale.

Gli affioramenti sono discontinui e ciò a causa di una più o meno estesa copertura di terra rossa, localmente nota con il nome di "bolo".

I tipi litologici più rappresentativi sono i seguenti:

- a) dolomie grigie e grigio scure a grana fine, massicce o in grossi banchi;
- b) dolomie grigio chiare, con abbondanti modelli interni di macrofossili, massicce o in banchi;
- c) calcari detritici a grana più o meno fine, di colore bianco, a luoghi con abbondanti macrofossili, di norma ben stratificati in banchi;
- d) calcari, calcari dolomitici e dolomie cristalline cariate, senza stratificazione evidente, di colore grigio-rossastro. Di norma questi ultimi litotipi si incontrano in successione stratigrafica nella zona di passaggio tra gli orizzonti calcarei e quelli dolomitici e viceversa.

L'origine è biochimica per i calcari mentre probabilmente secondaria per i termini dolomitici.

Dal punto di vista paleontologico, alcuni livelli sono caratterizzati da abbondanti resti di macrofossili, appartenenti in complesso alla famiglia delle Rudiste.

Indicativamente l'età dei calcari e dolomie può essere compresa tra il Cenomaniano e il Senoniano inf.

L'ambiente di sedimentazione appare di mare basso con episodi di tipo salmastro.

Petrograficamente i calcari sono costituiti in prevalenza da micriti più o meno fossilifere e intraclastiche, raramente a pellets, talora dolomitizzate, cui si associano intramicriti, biomicriti, biomicruditi e biomicriti intraclastiche, talora a intraclasti e, raramente, sparsi bioclasti.

Dal punto di vista geochimico tali rocce sono costituite quasi esclusivamente dai carbonati calcite e dolomite, che da soli superano il 99 % del totale, in un rapporto che ne determina la classificazione (da calcare a dolomia con tutti i termini intermedi).

I termini calcarei, attaccati blandamente con HCl, mandano in soluzione oltre ai carbonati anche piccole quantità di  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $SO_3$ ,  $P_2O_5$  e  $SiO_2$ , con  $Al_2O_3$  che prevale su tutti gli altri e con  $Fe_2O_3$  in quantità relativamente non trascurabili.

La stratificazione è sempre ben evidente con strati di potenza di ordine decimetrico o metrico, assai raramente la roccia si presenta massiccia. Gli strati si presentano ondulati con inclinazione inferiore ai 10° gradi.



La stratificazione ben netta e la fratturazione, localmente anche intensa, danno origine a una rete di fessure che conferisce alla formazione in parola una permeabilità generalmente elevata alla scala dell'ammasso.

Su questa influisce anche le diffusioni dei fenomeni carsici, più o meno sviluppati lungo particolari orizzonti, interessati di volta in volta dalla circolazione idrica a seconda delle variazioni del livello della falda in essi contenuta, dipendente a sua volta dalle oscillazioni del livello del mare.

Le cavità carsiche possono presentarsi in parte o in toto riempite da un materiale fine residuale di colore rossastro (Terre rosse).

## **4 CARATTERI IDROGEOLOGICI**

### **4.1 CARATTERI DI PERMEABILITÀ**

Sulla base dei caratteri litologici osservati ed in precedenza descritti, è possibile schematizzare i caratteri di permeabilità delle formazioni affioranti nell'area.

Riguardo al tipo di permeabilità, fra i complessi rocciosi permeabili, si è fatta una distinzione tra le rocce permeabili per porosità, rocce permeabili per fratturazione e carsismo e rocce praticamente impermeabili.

Riguardo al tipo e al grado di permeabilità i terreni si possono suddividere in:

- permeabili per fessurazione;
- permeabili per porosità interstiziale;
- praticamente impermeabili.

#### **4.1.1 Formazioni permeabili per porosità**

Appartengono a questa categoria i sedimenti a grana grossa, media e medio fine, più precisamente: le sabbie e le calcareniti pliopleistoceniche (tufi calcarei).

Il litotipo a maggiore permeabilità è dato dalle calcareniti pliopleistoceniche ( $K = 10^{-5}$  m/s) seguito dalle sabbie ( $K = 10^{-6} \div 10^{-7}$  m/s).

#### **4.1.2 Formazioni permeabili per fratturazione e carsismo**

Permeabilità per fessurazione e carsismo presentano i calcari mesozoici. Difatti questa formazione è caratterizzata da discontinuità (fratture, cavità carsiche). La permeabilità risulta mediamente elevata per fratturazione e carsismo ( $K \approx 10^{-3} \div 10^{-4}$  m/sec).

#### **4.1.3 Formazioni praticamente impermeabili**

Rientrano in questa categoria le argille e limi argillosi grigio azzurri e i depositi alluviali e di "terra rossa". Il coefficiente di permeabilità è dell'ordine dei  $10^{-7} \div 10^{-8}$  m/s.

### **4.2 IDROGRAFIA SUPERFICIALE**

Come riportato in precedenza, il sito di Leverano presenta una particolare conformazione per quanto riguarda le caratteristiche idrografiche e geomorfologiche essendo ubicato in corrispondenza di una stretta fascia depressa, allungata in direzione NO - SE, idealmente delimitata dalle isoipse dei 40,00 metri ad Est ed a Ovest. Esso costituisce una naturale zona di

afflusso delle acque pluviali provenienti dalle campagne circostanti e che in passato trovavano nelle voragini e nell'area depressa di Palude Cupa una via preferenziale per il deflusso nel sottosuolo. In tali aree, le acque pluviali erano recapitate da una rete idrografica poco gerarchizzata e normalmente costituita da solchi brevi e poco incisi.

Dal punto di vista idrografico, l'area ricade all'interno di un vasto bacino endoreico, codificato nel PTA con la sigla R16-208, l'estensione è di 59 Km<sup>2</sup>.

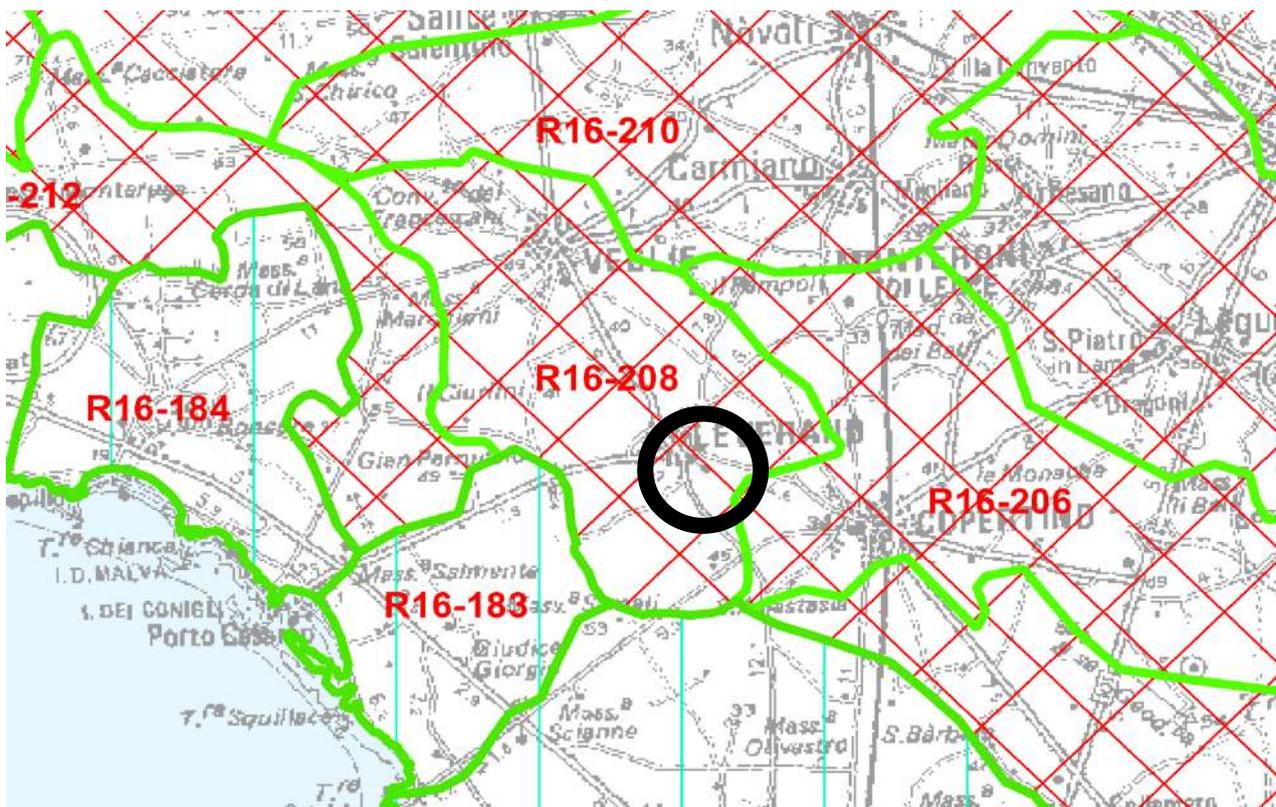
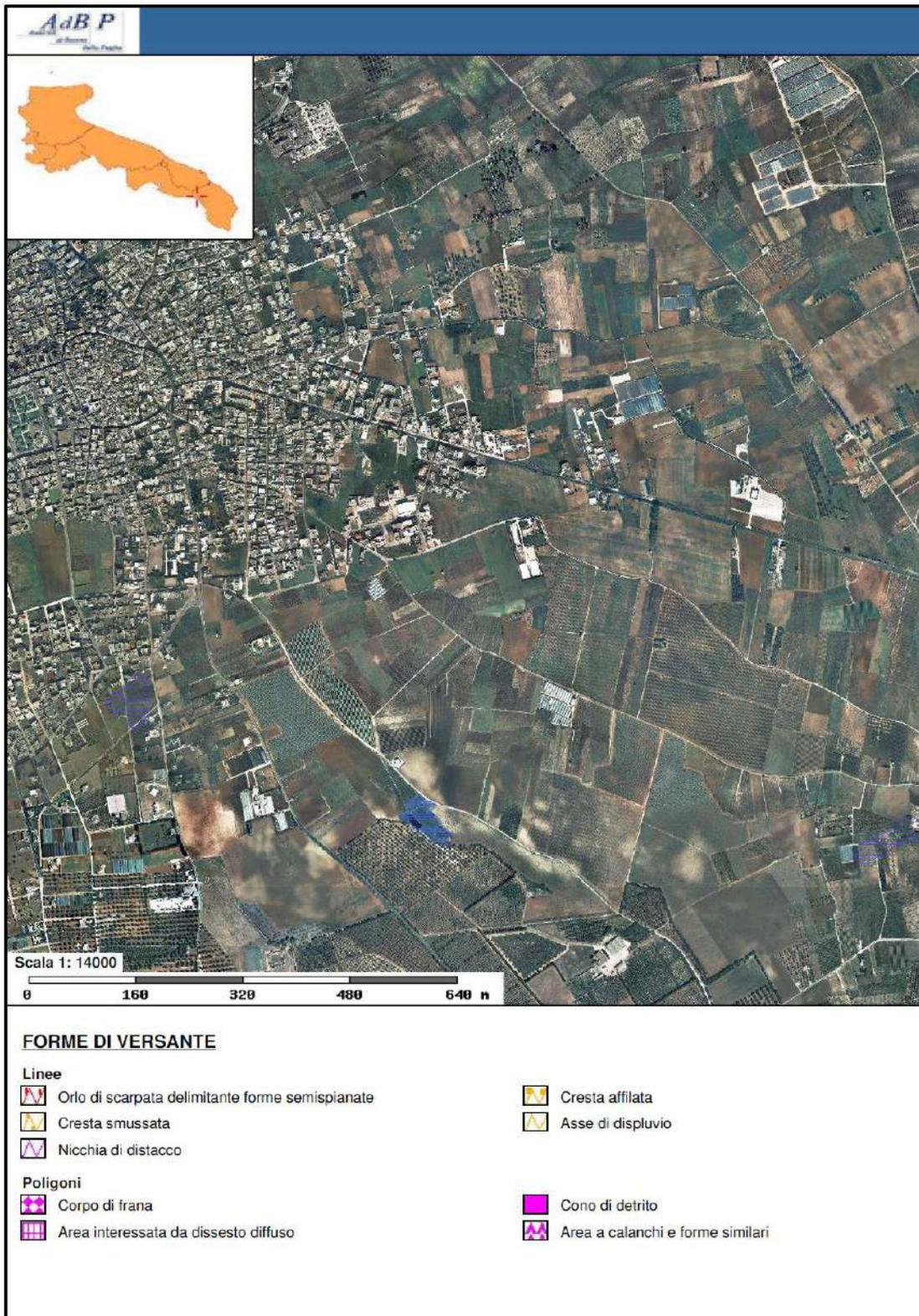


Fig. 5: Tav. 1.4 PTA

Nella Figura 6 si riporta, per l'area interessata, la **“Carta Idrogeomorfologica dell'AdB della Puglia”** dalla quale si evince che l'intervento non intercetta nessuna tra **“FORME ED ELEMENTI LEGATI ALL'IDROGRAFIA SUPERFICIALE”**, a **“BACINI IDRICI”** e a **“FORME CARSICHE”**.



**Fig. 6: Carta Idrogeomorfologica**

**FORME DI MODELLAMENTO DI CORSO D'ACQUA**

**Cigli e ripe**

 Ciglio di sponda

 Ripa di erosione

**FORME ED ELEMENTI LEGATI ALL'IDROGRAFIA SUPERFICIALE**

**Corsi d'acqua**

 Corso d'acqua

 Corso d'acqua episodico

 Corso d'acqua obliterato

 Corso d'acqua tombato

 Recapito finale di bacino endoreico

 Sorgenti

 Canali lagunari

**BACINI IDRICI**

**Bacini**

 Lago naturale

 Lago artificiale

 Laguna costiera

 Salina

 Stagno, acquitrino, zona palustre

**FORME CARSICHE**

 Doline

 Grotte naturali

 Orlo di depressione carsica

 Voragini

**FORME ED ELEMENTI DI ORIGINE MARINA**

**Tipo di costa**

 Costa rocciosa

 Costa rocciosa con spiaggia ciottolosa al piede

 Costa rocciosa con spiaggia sabbiosa al piede

 Falesia

 Falesia con spiaggia ciottolosa al piede

 Falesia con spiaggia sabbiosa al piede

 Rias

 Spiaggia sabbiosa

 Spiaggia ciottolosa

 Spiaggia sabbiosa-ciottolosa

 Cordoni dunari

 Faraglioni

**FORME ED ELEMENTI DI ORIGINE ANTROPICA**

**Linee**

 Argine

 Traversa fluviale

 Opera di difesa costiera

**Poligoni**

 Diga

 Opera ed infrastruttura portuale

 Discarica controllata

 Area di cava attiva

 Cava abbandonata

 Cava riqualificata

 Cava rinaturalizzata

 Discarica di residui di cava

### **4.3 IDROGRAFIA SOTTERRANEA**

Sono presenti due falde idriche sotterranee distinte: una superficiale, contenuta nelle sabbie e sostenuta dalle argille, l'altra, più cospicua, denominata "profonda" è contenuta nelle masse calcaree-dolomitiche cretacee.

#### **4.3.1 Falda superficiale**

Questa falda idrica è contenuta nelle sabbie pleistoceniche, è presente nell'abitato di Leverano e a Nord e a Est del territorio comunale di Leverano, e si rinviene a pochi metri dal piano campagna (1,00 ÷ 5,00 metri).

I tratti idrogeologici principali di tale falda sono stati ricavati da un censimento di pozzi nei quali sono state effettuate delle misure freatrimetriche. L'interpretazione dei valori freatrimetrici ottenuti, ha permesso di costruire le curve isofreatiche riportate in Fig. 4.

È possibile affermare che tale falda è da ritenersi continua, anche se modesta, con caratteri idrologici piuttosto semplici e costanti nelle linee generali.

L'andamento delle curve isofreatiche è sinuoso e tali curve in generale presentano una concavità rivolta verso Ovest e Sud-Ovest. È possibile pertanto definire tale falda come una falda a filetti radiali convergenti, con linee di deflusso dirette verso sud-ovest.

Tale flusso non è uniforme e ciò è deducibile dalla diversa spaziatura delle isofreatiche. Il gradiente idraulico varia in funzione delle variazioni di permeabilità dell'acquifero ed è compreso tra il 4,5% ed il 9%.

Attraverso lo studio di alcuni pozzi in zona è stata riscontrata la presenza della falda superficiale a 1,5-2,0 m dal p.c.

#### **4.3.2 Falda profonda**

La fitta rete di fessure e cavità che interessa l'ammasso carbonatico cretaceo, fa sì che al suo interno possa aversi circolazione idrica.

Tale falda viene alimentata tramite le infiltrazioni dalla superficie di acque piovane e trova il suo naturale equilibrio attraverso gli sversamenti che avvengono in corrispondenza della linea di costa, dove le acque arrivano in virtù di un gradiente idraulico diretto dalle zone interne verso la costa.

Il livello di base su cui tale circolazione si esplica, è rappresentato dalla superficie delle acque marine di invasione continentale sulle quali l'acqua dolce di falda galleggia grazie alla sua minore densità.

I rapporti tra i due tipi di acque sono regolati dalla legge di Ghyben-Herzberg; essa lega lo spessore della parte dolce di acquifero al carico piezometrico; in forma semplificata ma più che sufficientemente approssimata si ha:

$$h = 40 * t$$

dove **h** è lo spessore e **t** il carico piezometrico.

La separazione tra le acque dolci e quelle marine, non è netta, ma avviene attraverso una zona di transizione in cui la salinità dell'acqua dolce aumenta gradualmente sino a raggiungere valori tipici dell'acqua marina. Normalmente si ritiene che la parte dolce di un acquifero abbia uno spessore espresso dalla seguente relazione:

$$h = 30 * t$$

Il livello statico di tale falda a si trova a quote in media di circa 1,50 metri s.l.m.m, cui corrispondono profondità comprese in media intorno ai 38,00 metri dal piano campagna a secondo della quota topografica; ciò comporta, secondo la relazione riportata precedentemente, uno spessore della parte dolce di acquifero intorno ai 45,00 metri (Fig. 7).

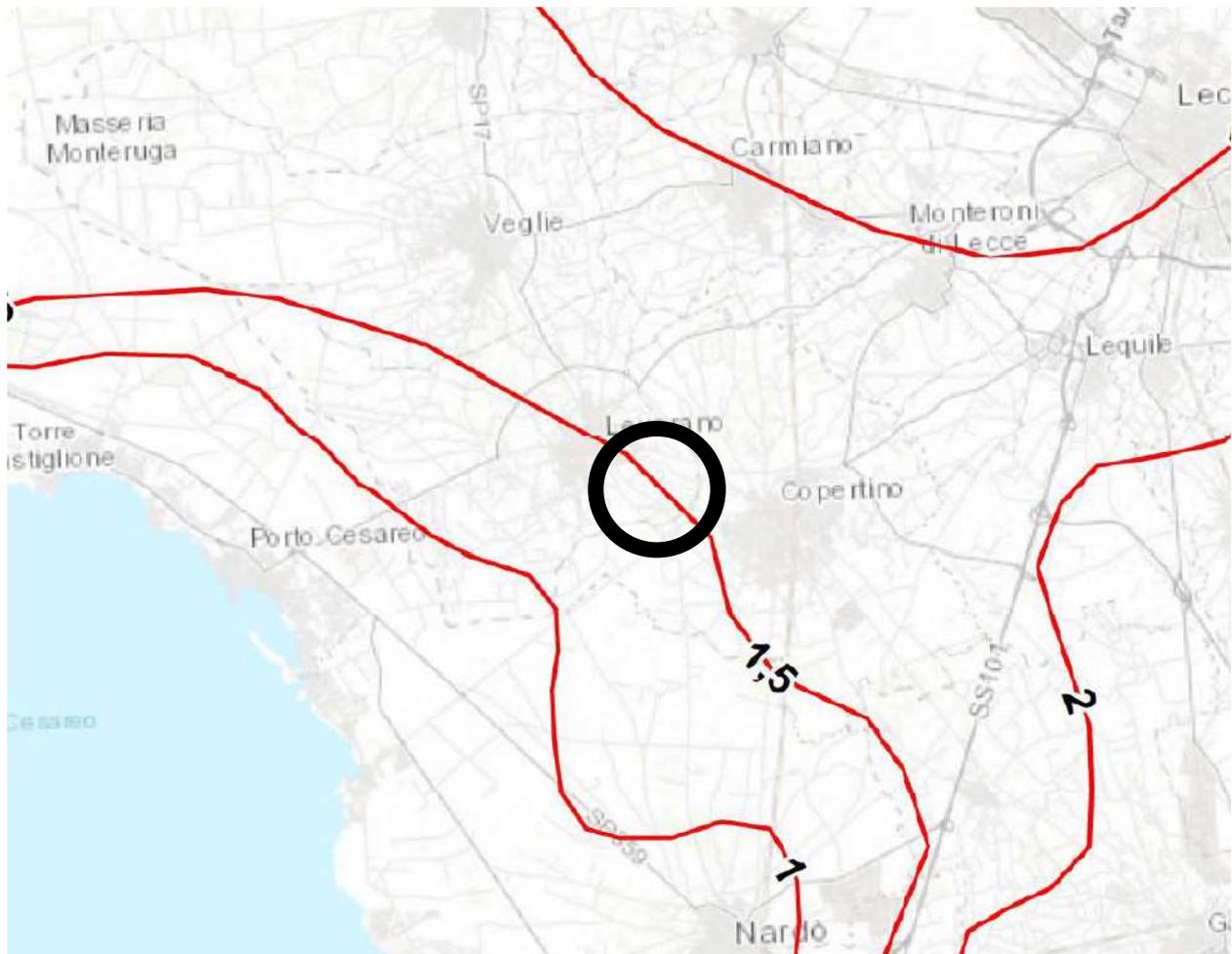


Fig. 7: Distribuzione media dei carichi piezometrici degli acquiferi (Elaborato C05 del P.T.A.)

## Legenda

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

(presunte se tratteggiate)

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

## **5 CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA NELL'AMBITO DEL PIANO DI BACINO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DELLA REGIONE PUGLIA (P.A.I.)**

L'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale Sede Puglia, individua nel territorio regionale le seguenti aree:

### **Aree a pericolosità da frana:**

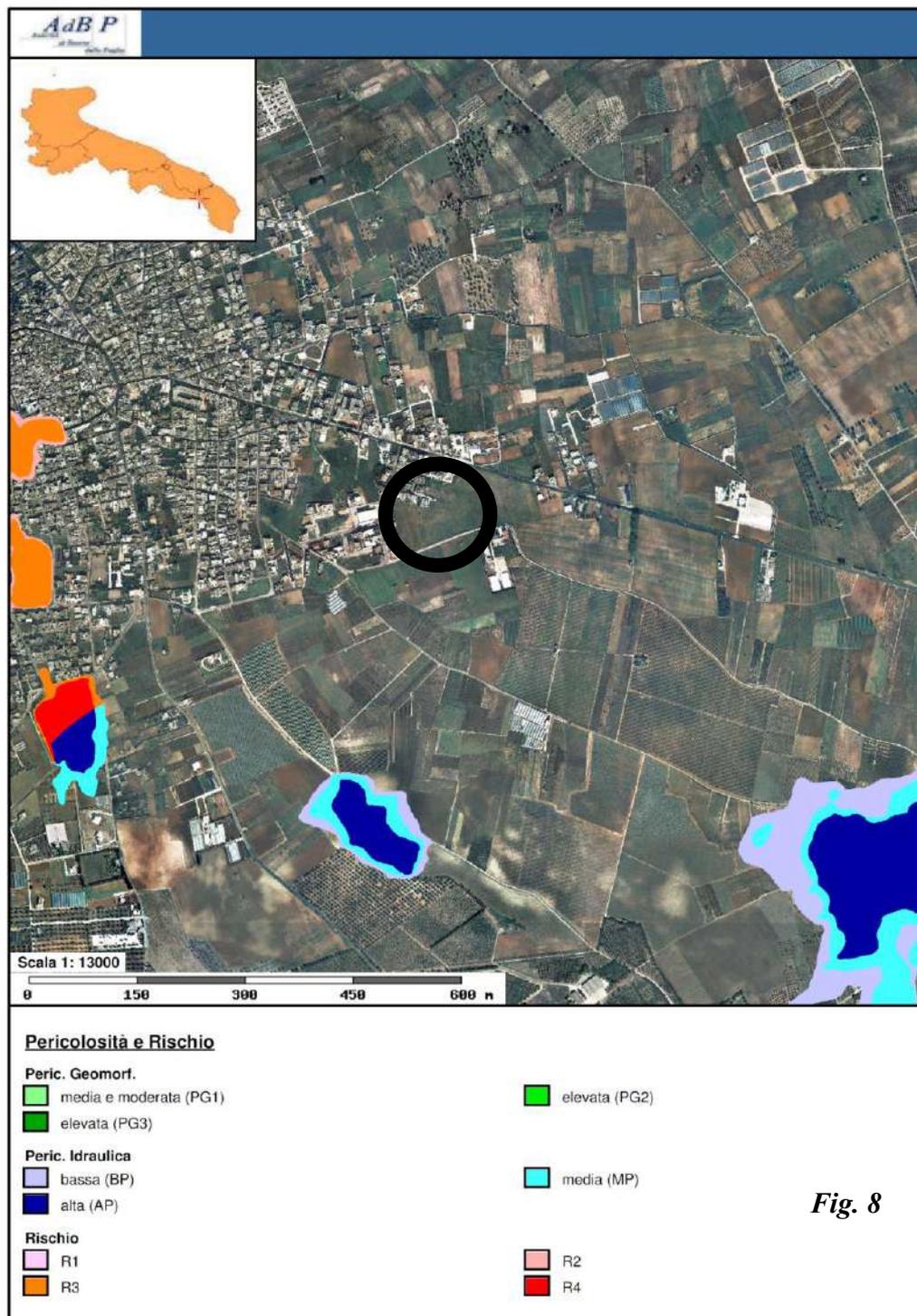
- *PG3 aree a pericolosità da frana molto elevata*
- *PG2 aree a pericolosità da frana elevata*
- *PG1 aree a pericolosità da frana media e moderata*

### **Aree a pericolosità idraulica:**

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

### **Aree a rischio:**

- *R4 aree a rischio molto elevato*
- *R3 aree a rischio elevato*
- *R2 aree a rischio medio*
- *R1 aree a rischio moderato*



**Fig. 8**

*L'area di studio non ricade in alcuna delle perimetrazioni sopra distinte (Fig. 8 dal sito dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale Sede Puglia).*

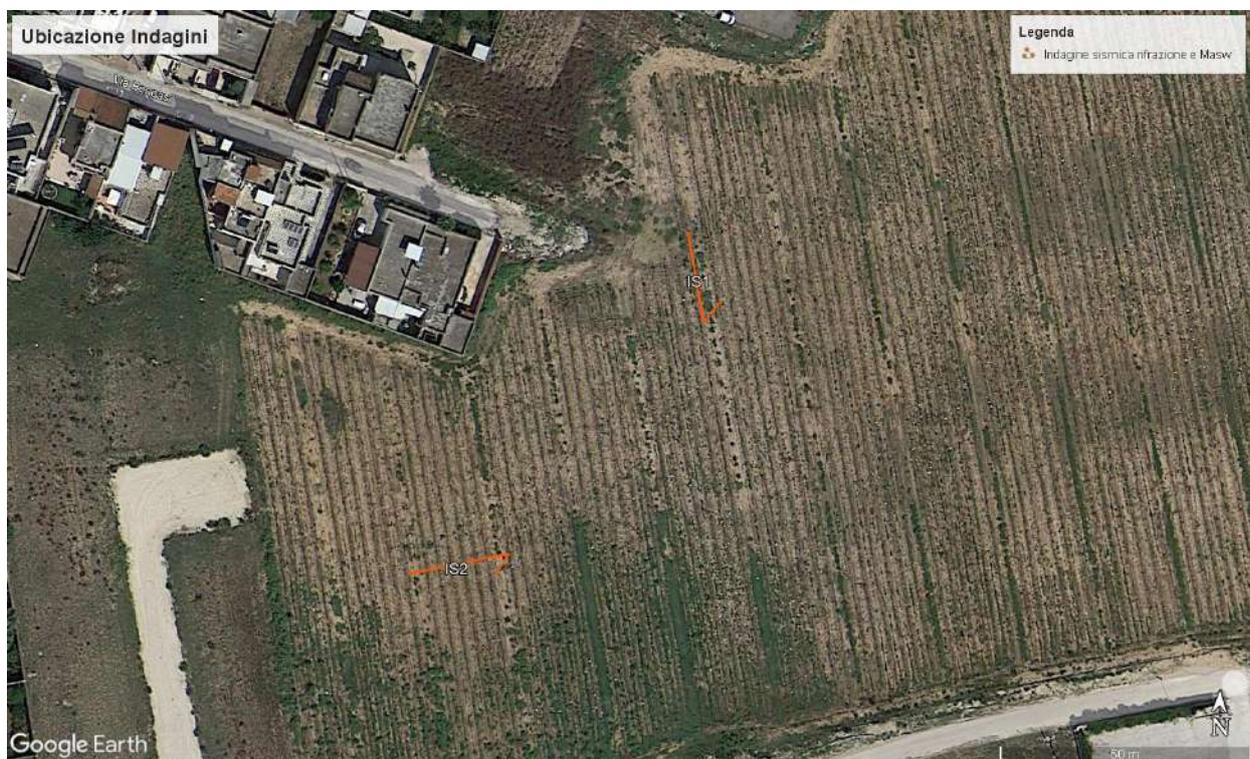
## 6 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la ricostruzione del modello del sottosuolo è stato necessario ricostruire la stratigrafia, e rilevare i principali parametri elastici dell'area di studio.

Per assolvere a quanto detto, è stato necessario predisporre una campagna geognostica di prospezioni indirette (prospezioni sismiche) la cui ubicazione è visibile in Figura 9 e i report in allegato.

Il giorno 19/05/2023 sono state eseguite:

**- n. 2 prospezioni sismiche a rifrazione di superficie in onde P & M.A.S.W. (IS1 e IS2)**



**Fig. 9: Ubicazione Indagini**

### 6.1 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE & MASW

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo 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 o, 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 o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\theta_i$  mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione  $\theta_r$ . 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

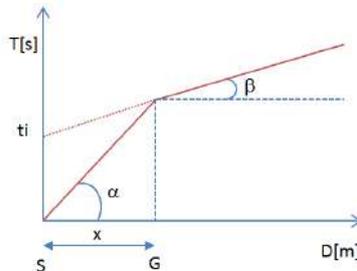
$$T = x_i / V_1$$

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

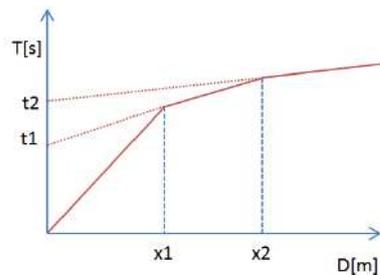
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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.



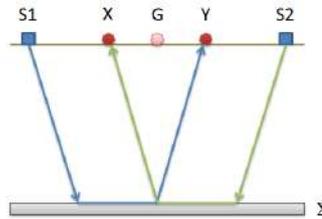
Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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

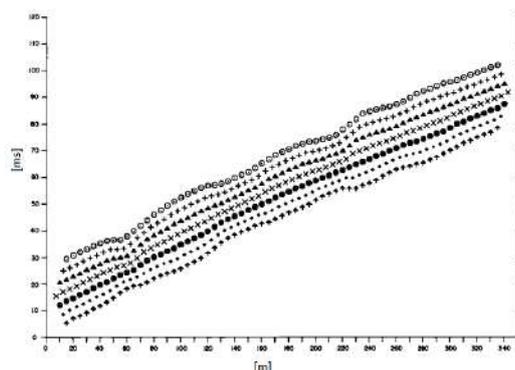
geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



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  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_v$  è il tempo

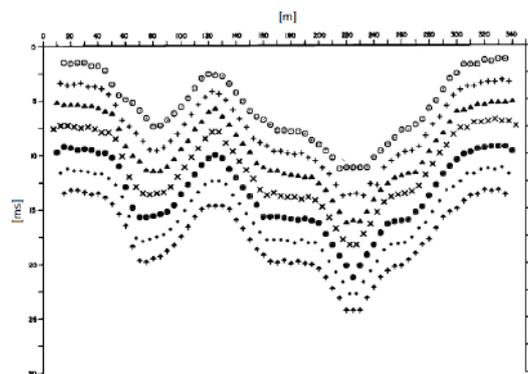
calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

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:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left( T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

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 rifrattore 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 rifrattore 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°.



L'indagine, finalizzata alla determinazione del profilo verticale di velocità delle Onde di taglio (Onde S), è stata condotta secondo la metodologia MASW.

La tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) rappresenta una tipologia d'indagine sismica non invasiva che consente di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misurazione della velocità delle onde superficiali fatta in corrispondenza di uno stendimento di geofoni disposti sulla superficie libera del terreno.

Questa tipologia d'indagine, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità mediante lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Sebbene una sorgente puntiforme verticale generi anche onde P ed S, nell'analisi sismica effettuata con la metodologia MASW si studiano solamente le onde di superficiali di Rayleigh, trascurando gli effetti dovuti alle onde di volume, alle riflesse o alle rifratte, sebbene una sorgente puntiforme verticale generi anche onde P ed S, oltre alle onde superficiali.

Com'è noto, la scelta di analizzare le sole onde di Rayleigh è determinata dal fatto che queste trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente e che, allontanandosi dalla sorgente, subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e SV in quanto esse si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, mentre le onde P e SV si propagano secondo fronti d'onda sferici. In sintesi, il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, poiché queste viaggiano con una velocità correlabile alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle stesse.

In un mezzo stratificato, le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo ovvero la velocità di fase apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

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

Il metodo d'indagine MASW, è una metodologia d'indagine del tipo attivo, nel quale le onde superficiali sono indotte o generate artificialmente mediante l'impatto di un grave sulla superficie del suolo e misurate lungo uno stendimento lineare di sensori.

Questo consente di ottenere una curva di dispersione sperimentale apparente, generalmente nell'intervallo di frequenze compreso tra 4.5Hz ÷ 80Hz; il metodo, pertanto, permette di ottenere informazioni indirette sulla parte del sottosuolo compresa entro i primi 30÷50 metri circa dal piano campagna, in funzione della rigidità o rigidità sismica dei litotipi costituenti il sottosuolo.

La fase di elaborazione è stata effettuata avvalendosi di software specifici che, opportunamente guidati, hanno proceduto secondo il seguente processo:

- i dati sperimentali, acquisiti in formato residente dell'hardware utilizzato, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (Easy Masw);

- trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "phase velocity-frequency (c-f)" che analizza e visualizza sul grafico la quantità di energia prodotta dalla propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica;

- picking dello spettro di frequenze nella curva di dispersione (ovvero individuazione dei punti costituenti la curva sperimentale);

- ottimizzazione del modello interpretativo (con eventuali variazioni del modello di partenza) sino ad ottenere il miglior fitting con i valori sperimentali;

- determinazione del profilo di velocità delle  $V_s$ , calcolo della velocità media ponderata per i primi metri di profondità  $V_{seq}$  e individuazione della categoria sismica del suolo (D.M. 17.01.2018).



### 6.1.1 Geometria degli stendimenti, Hardware e Software

Sono stati utilizzati 12 canali e un'interdistanza geofonica di 1,50 metri e quindi una lunghezza complessiva dello stendimento sismico di 18,00 metri.

Le onde rilevate dai geofoni sono state registrate per mezzo di un sismografo PASI modello Gea 24. Le principali specifiche tecniche sono di seguito riportate:

SPECIFICHE TECNICHE GEA 24	
Numero di canali	24 can.+trigger (can. AUX) - 2 unità serializzabili per un tot. di 48 can.
Conversione Dati	Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit reali (compatibile con geofoni analogici a qualsiasi frequenza di risonanza)
Intervallo Campionamento	Acquisizioni "a pacchetto": - fino a 125 microsec (8000sps) con 24 can. - fino a 31.25 microsec (32000sps) con 6 can. Acquisizione continua: - fino a 4000 microsec (250sps) con 24 can. - fino a 500 microsec (2000sps) con 3 can.
Lunghezza Acquisizione	27500 campioni @ 24 can. (+aux) 174500 campioni @ 3 can. (+aux) Numero di campioni illimitato per acquisizioni continue
Guadagno Preamp.	0/52 dB, selezionabile via software
Stacking	Numero di stacking illimitato
Impedenza di ingresso	2M $\Omega$ // 22nF
Range Dinamico	144dB (sistema); >117dB (istantaneo, misurato @1ksps)
Distorsione	0.007% @16kHz
Largh. Banda -3dB Largh. Banda +/- 0.1dB	6.8kHz@32ksps - 0.21 kHz@1ksps 3.5 kHz@32ksps - 0.11 kHz@1ksps
Filtri	Passa Basso:125-200-500-1000Hz Passa Alto: 10-20-30-40-50-70-100-150-200-300-400Hz
Filtri "Notch"	50-60Hz + armoniche
Trigger	Contatto normalmente chiuso, normalmente aperto (es. per uso con esplosivo), segnale analogico (geofono starter, starter piezoelettrico), trigger TTL. Sensibilità del trigger regolabile via software
Visualizzazione Tracce	Wiggle-trace (formato oscilloscopio) / area variabile
Noise-monitor	Tutti i canali + trigger
Canale AUX (ausiliario)	1x (per il trigger o qualsiasi altro segnale in ingresso)
Interfaccia comunicazione	1x USB 2.0 per PC esterno (di fornitura Cliente)
Formato Dati	SEG2, SAF (altri formati su richiesta)
Alimentazione	5VDC da USB, 0.25A
Temp.operativa/stoccaggio	-30°C to +80°C
Umidità	80% umidità relativa, non condensante
Dimensioni	24cm x19.5cm x11cm
Peso	2 Kg

Associato al sismografo è stato utilizzato anche il seguente hardware:

- cavi sismici da 12 tracce con connettori per geofoni e spaziatura max 5 m;
- geofoni verticali da 4,5 Hz;
- geofono starter (trigger);
- mazza battente da 8 kg;
- piattello di battuta in alluminio (dim. 20 x 20 x 5 cm);
- pc portatile.

Il sismografo è gestito tramite il software Pasi Gea 24 su PC portatile e sul cui SSD sono memorizzati i dati. L'interpretazione dei dati è stata eseguita con i software Easy Masw e Easy Refract della GeoStru. Il report e i risultati ottenuti sono illustrati di seguito.

## 7 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Si rappresenta che i caratteri geologici della zona interessata sono stati ricostruiti in base alle indagini svolte in situ.

L'elaborazione dell'indagine sismica a rifrazione e M.A.S.W., che ha permesso di ricavare i parametri in funzione delle velocità delle onde superficiali nei singoli strati. Ai fini della corretta interpretazione dei risultati dell'indagine sismica è importante precisare che generalmente:

a) i sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si propagano con la stessa velocità;

b) la risoluzione del metodo è funzione della profondità di indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore  $h$  ubicato a profondità  $z$  dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismostrati in cui  $h < 0.25 \cdot z$ .

c) nelle indagini superficiali, le onde di taglio, meno veloci, arrivano in un tempo successivo, per cui il segnale registrato sarà la risultante delle onde S con le onde P e quindi la lettura dei tempi di arrivo delle onde S può risultare meno precisa della lettura dei tempi di arrivo delle onde P;

d) i terreni esaminati possono ricoprire un ampio campo delle velocità sismiche, in relazione alla presenza di materiale di riporto, di terreno vegetale e di acqua di falda nonché ai vari gradi di stratificazione, carsificazione e di fratturazione dell'ammasso terroso.

In particolare, i parametri caratteristici sono stati ricavati attraverso lo studio delle indagini e relative correlazioni, elencate di seguito:

- Indice di Poisson:  $\nu = \frac{\frac{1}{2}v_p^2 - v_s^2}{v_p^2 - v_s^2}$ ;
- Densità:  $\rho = 0.51 \cdot v_p^{0.19}$  (Gardner et al., 1974);
- Peso di volume  $\gamma$  (Tezcan et al, 2009);
- Modulo di taglio:  $G_0 = v_s^2 \cdot \rho$ ;
- Modulo elastico dinamico:  $E_{din} = \frac{v_s^2 \cdot \rho (3v_p^2 - 4v_s^2)}{v_p^2 - v_s^2}$ ;



- Modulo elastico statico:  $E_{stat} = \frac{E_{din}^{-0.97}}{8.3}$  (Rzhevsky e Novik, 1971);
- Modulo di Young:  $E_y = 2G_0(1 - \nu)$ ;
- Modulo edometrico:  $E_{ed} = v_p^2 \cdot \rho$ ;

**Per i terreni:**

- Coesione non drenata  $c_u$  (Likitlersuang e Kyaw, 2010);
- Angolo di resistenza al taglio  $\varphi$  (relazione polinomiale in funzione di  $\nu$  per terreni coesivi – “stima dei parametri geotecnici in geofisica applicata”, F. Roccaforte, C. Cucinotta).

**Per gli ammassi rocciosi:**

Tutti i rilievi e le indagini svolte sono finalizzati a raccogliere le informazioni necessarie alla caratterizzazione dell'ammasso roccioso secondo il criterio di Hoek & Brown.

Il criterio generalizzato di rottura di Hoek-Brown:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)$$

in cui:

- $m_b$  è il valore ridotto della costante di Hoek-Brown per l'ammasso considerato, pari a:

$$m_b = m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right);$$

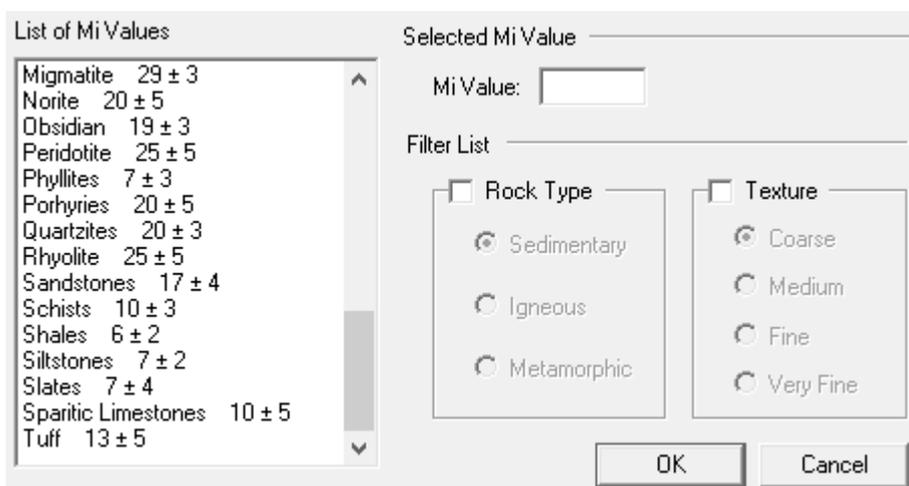
- $s$  ed  $a$  sono costanti dell'ammasso date dalle seguenti relazioni:

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right),$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right);$$

- $\sigma'_1$  e  $\sigma'_3$  sono il minimo e il massimo sforzo efficace alla rottura;
- $\sigma_{ci}$  è la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta, ricavata tramite la correlazione di Kahraman (2001)

- $D$  è un fattore che dipende dal grado di disturbo dell'ammasso, variabile tra 0 (ammasso in posto indisturbato) e 1 (ammasso scavato con esplosivo). Con riferimento alla problematica geotecnica in esame, si è assunta la condizione di assenza di disturbo corrispondente a  $D = 0$ ;
- $GSI$  è il "Geological Strength Index" è ricavato dalla correlazione di Sjöberg (1997);
- $m_i$  è il valore della costante di Hoek-Brown per la roccia intatta, stimato tenendo conto da bibliografia (Tab. 2) e dall'esperienza pregressa del sottoscritto sulle medesime litologie.



Tab.2: valori del parametro  $m_i$  proposti dal programma RocLab in base alla litologia.

Per lo strato d'interesse le caratteristiche meccaniche sono state ricavate in base alle correlazioni proposte da N. Barton in "Rock Quality, Seismic Velocity, Attenuation and Anisotropy, 2006. Conoscendo il valore della velocità  $V_p$ , è possibile una stima dell'indice  $Q_c$  ( $Q_c = Q$  normalizzato rispetto ad una resistenza a compressione monoassiale di 100 Mpa) tramite la seguente relazione:

$$Q_c = 10^{v_p - 3.5} \quad \text{per il calcare,}$$

$$Q_c = 10^{v_p - 1.212} \quad \text{per la calcarenite}$$

Passando dall'indice  $Q$  di Barton alla classificazione  $GSI$  di Hoek & Brown, è possibile stimare i parametri di resistenza al taglio dell'ammasso roccioso ( $c$  e  $\phi$ ), come prevede la normativa.

$K_w$  è il coefficiente di Winkler, ricavato dalla relazione proposta dal Vesic (1961) che correla  $K_w$  con il modulo di elasticità del terreno e della fondazione.

Infine è stata studiata la capacità portante delle fondazioni superficiali e dei cedimenti relativi:

- Carico limite ultimo:  $Q_{ult} = \rho \cdot v_s$  (Koceli, 2012);
- Pressione ammissibile:  $Q_{amm} = \frac{Q_{ult}}{F_s}$ , con  $F_s$  fattore di sicurezza, pari a  $\frac{v_p}{v_s}$ .

**7.1 MODELLO GEOLOGICO E VALUTAZIONE DEI PARAMETRI MECCANICI (INDAGINE IS1)**

strato	denominazione	intervallo di profondità	vs (m/s)	vp (m/s)
[1]	Terreno vegetale	0,0 m ÷ 0,60 m	87	182
[2]	Unità limoso - sabbiosa	0,60 m ÷ 2,50/3,0 m	278	580
[3]	Unità limoso - argillosa	2,50/3,0 m ÷ profondità d'interesse geotecnica	426	887

	Strato 1	Strato 2	Strato 3
velocità onde S: $v_s$ (m/s)	87	278	426
velocità onde P: $v_p$ (m/s)	182	580	887
indice di Poisson: $\nu$	0,352	0,351	0,350
densità $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,371	1,709	1,852
peso di volume: $\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	16,36	18,16	17,77
modulo di taglio: $G_0$ (MPa)	10	132	336
modulo di Young: $E_y$ (MPa)	37	377	883
modulo edometrico $E_d$ (MPa)	59	605	1417
modulo di Bulk: $K$ (MPa)	32	399	1009
coefficiente di Winkler: $K_w$ (Kg/cm <sup>3</sup> )	0,32	4,07	10,34

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE PER LE TERRE			
coesione non drenata: $C_u$ (KPa)	15	148	341
angolo d'attrito interno: $\phi$ (°)	27	25	26

CAPACITA' PORTANTE - FONDAZIONE SUPERFICIALE			
fattore di sicurezza: $F_s$	2,09	2,09	2,08
$Q_{ult}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,19	4,75	7,89
$Q_{amm}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,57	2,28	3,79

**7.2 MODELLO GEOLOGICO E VALUTAZIONE DEI PARAMETRI MECCANICI (INDAGINE IS2)**

strato	denominazione	intervallo di profondità	vs (m/s)	vp (m/s)
[1]	Terreno vegetale	0,0 m ÷ 0,60 m	112	233
[2]	Unità limoso - sabbiosa	0,60 m ÷ 2,50/3,0 m	297	618
[3]	Unità limoso - argillosa	2,50/3,0 m ÷ profondità d'interesse geotecnica	548	1141



	Strato 1	Strato 2	Strato 3
velocità onde S: $v_s$ (m/s)	112	297	548
velocità onde P: $v_p$ (m/s)	233	618	1141
indice di Poisson: $\nu$	0,350	0,350	0,350
densità $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,437	1,729	1,943
peso di volume: $\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	16,47	18,24	18,28
modulo di taglio: $G_0$ (MPa)	18	153	583
modulo di Young: $E_y$ (MPa)	61	429	1461
modulo edometrico $E_d$ (MPa)	98	688	2345
modulo di Bulk: $K$ (MPa)	54	457	1751
coefficiente di Winkler: $K_w$ (Kg/cm <sup>3</sup> )	0,55	4,69	17,96

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE PER LE TERRE			
coesione non drenata: $C_u$ (KPa)	25	168	558
angolo d'attrito interno: $\phi$ (°)	26	26	27

CAPACITA' PORTANTE - FONDAZIONE SUPERFICIALE			
fattore di sicurezza: $F_s$	2,08	2,08	2,08
$Q_{ult}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,61	5,14	10,65
$Q_{amm}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,77	2,47	5,11

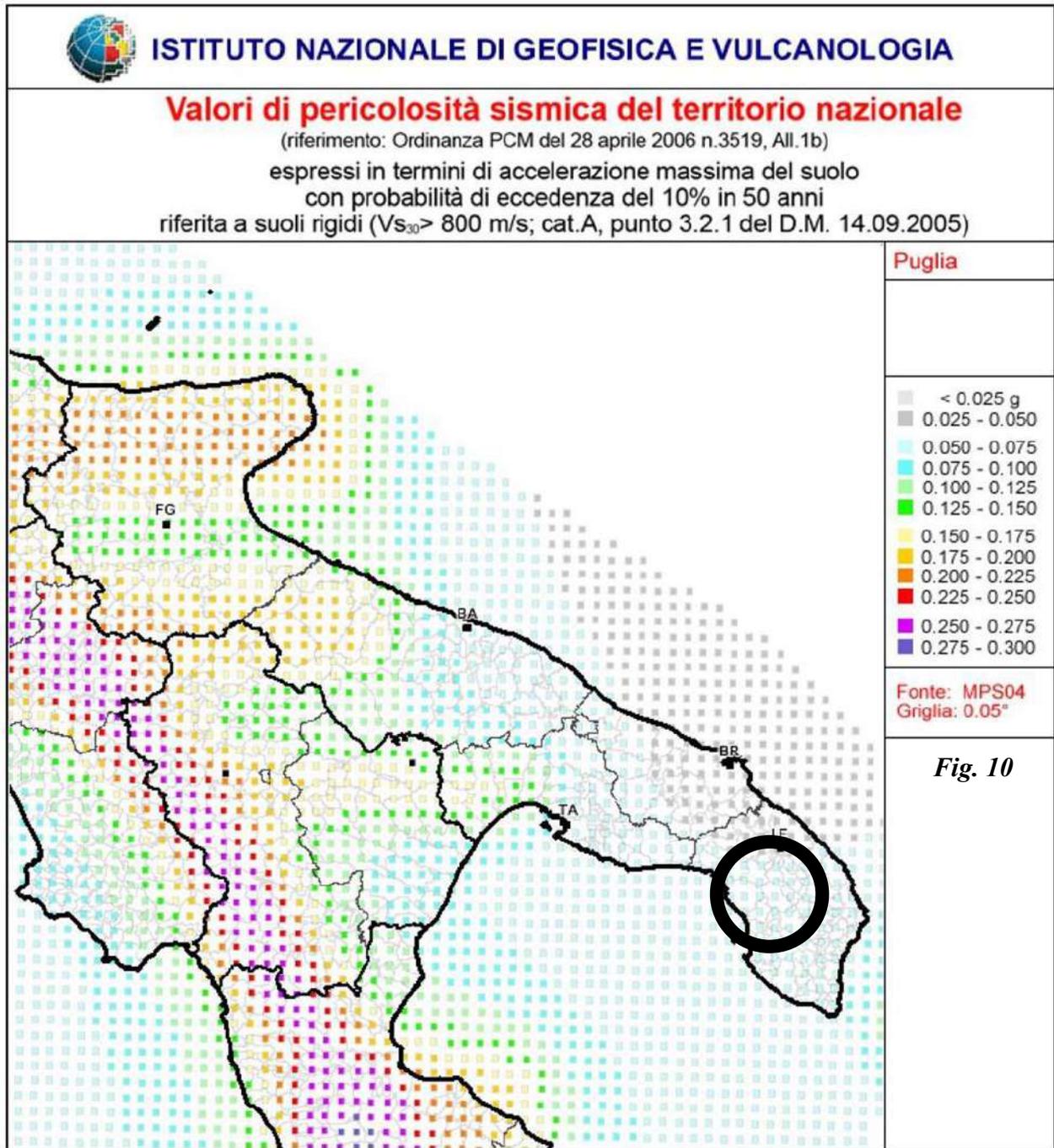
## 8 SISMICITÀ DELL'AREA

Il territorio comunale di LEVERANO non era classificato sismico ai sensi del D.M. 19.03.1982., l'O.P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 ha riclassificato l'intero territorio nazionale. In tale quadro il Comune di LEVERANO ricade in Zona Sismica 4.

Di seguito si riporta la tabella ove ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo  $a_g$ , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ag/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ag/g]
<b>1</b>	<b>&gt; 0.25</b>	<b>0.35</b>
<b>2</b>	<b>0.15 – 0.25</b>	<b>0.25</b>
<b>3</b>	<b>0.05 – 0.15</b>	<b>0.15</b>
<b>4</b>	<b>&lt; 0.05</b>	<b>0.05</b>

Nelle NTC, l'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione, viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica. Il primo passo consiste nella determinazione di  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido). Tali valori sono forniti dall'Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia (INGV) in base agli studi del Gruppo di Lavoro MPS (2004), che ha provveduto alla redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003 riportata nel Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici) - Fig. 10 -.



Secondo le nuove NTC 2018 per quanto riguarda l'approccio semplificato, la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:



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

con

$h_i$  = spessore dello stato isesimo

$V_{S,i}$  = 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/sec

Tab. 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 $i > 30^\circ$

Il caso in esame ricade nella categoria topografica T1.

Le categorie di sottosuolo individuate dalle NTC 2018 sono le seguenti:

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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.

In funzione della stratigrafia del terreno e del bedrock “geofisico”:

$V_{Seq} = V_{S30} = 331,38$  m/sec (IS1),  $354,14$  m/sec (IS2): il suolo di fondazione rientra nella ***categoria 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.*).

## 9 CONCLUSIONI

Lo studio geologico ha permesso di verificare la compatibilità delle previsioni di intervento con le condizioni geomorfologiche del territorio, ai sensi dell'art.89 del Testo Unico per l'edilizia –DPR 380/2001 e s.m.i.

Si premette che le analisi relative ai singoli lotti, pur appartenendo al medesimo contesto geologico, saranno sviluppate nel dettaglio dai tecnici che seguiranno l'edificazione lotto per lotto.

Sulla base degli studi e delle indagini eseguite, non sono stati riscontrati elementi di incompatibilità con le condizioni geomorfologiche del territorio alla realizzazione del **“Progetto di variante per la parziale riconversione dell'ex area F3.15, F3.16 ed F3.17 del piano particolareggiato C2.3 del vigente PRG, in lotti di terreno edificabili, in relazione al decorso termine stabilito per la esecuzione del P.P. ex Art. 17 Legge n.1150/42 e, s.m.i.”**.

Le indagini hanno consentito di delineare un modello geologico, valido per l'intera area, che individua al di sotto del terreno vegetale (circa 0,60 m di spessore) un'unità limoso sabbiosa sino a 2,50/3,00 m e un'unità limoso argillosa sino alla profondità d'interesse geotecnico. Possiamo stimare un coefficiente di permeabilità  $K = 10^{-6} \div 10^{-7}$  m/s per il terreno vegetale e l'unità limoso-sabbiosa mentre un coefficiente  $K$  dell'ordine dei  $10^{-7} \div 10^{-8}$  m/s per l'unità limoso-argillosa.

Per ciò che concerne l'interferenza fondazioni-acque sotterranee, si può affermare che tale eventualità non è da escludere in quanto, attraverso lo studio di alcuni pozzi della zona, è stata riscontrata la presenza della falda superficiale a 1,50-2,00 m dal p.c.; inoltre per le caratteristiche geotecniche dei terreni si consiglia di ricorrere a fondazioni profonde.

La morfologia dell'area è subpianeggiante e non si individuano, inoltre, nell'area condizioni di instabilità o di movimento di massa (frane) in atto, senescenti o pregresse.

Dall'analisi della cartografia allegata al Piano di Assetto Idrogeologico fornita dall'Autorità Distrettuale dell'Appennino Meridionale, la zona d'intervento non ricade all'interno di aree a pericolosità idraulica o geomorfologica.

In relazione a quanto richiesto dalle Norme Tecniche del D.M.14/01/2008 e della normativa sismica OPCM 3274 del 20/03/2003, aggiornata in riferimento al D.M. del 17 gennaio 2018 (Suppl. Ord. G. U. 20.2.2018, n. 8), la categoria di suolo dell'area, in virtù della misurazione delle  $V_{seq}$  effettuate in sito, è riferibile alla **categoria “C”** con una velocità sismica  $V_{seq} = V_{s30} = 331,38$  m/sec (IS1), 354,14 m/sec (IS2).

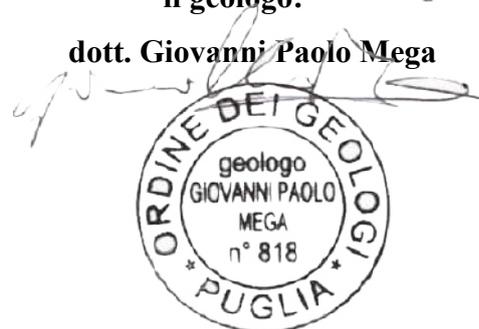
In riferimento alla **“Carta Idrogeomorfologica dell’AdB”** si evince che l’intervento non intercetta nessuna tra **“FORME ED ELEMENTI LEGATI ALL’IDROGRAFIA SUPERFICIALE”**, a **“BACINI IDRICI”** e a **“FORME CARSICHE”**.

Si esprime parere geologico favorevole alle scelte urbanistiche dei suoli.

**Leverano, Maggio 2023**

**il geologo:**

**dott. Giovanni Paolo Mega**





# ALLEGATO 1

## Indagini sismiche a rifrazione & M.A.S.W.

**IS1**

Numero geofoni: 12

Lunghezza stendimento: 18 m

Interdistanza geofonica: 1,50 m



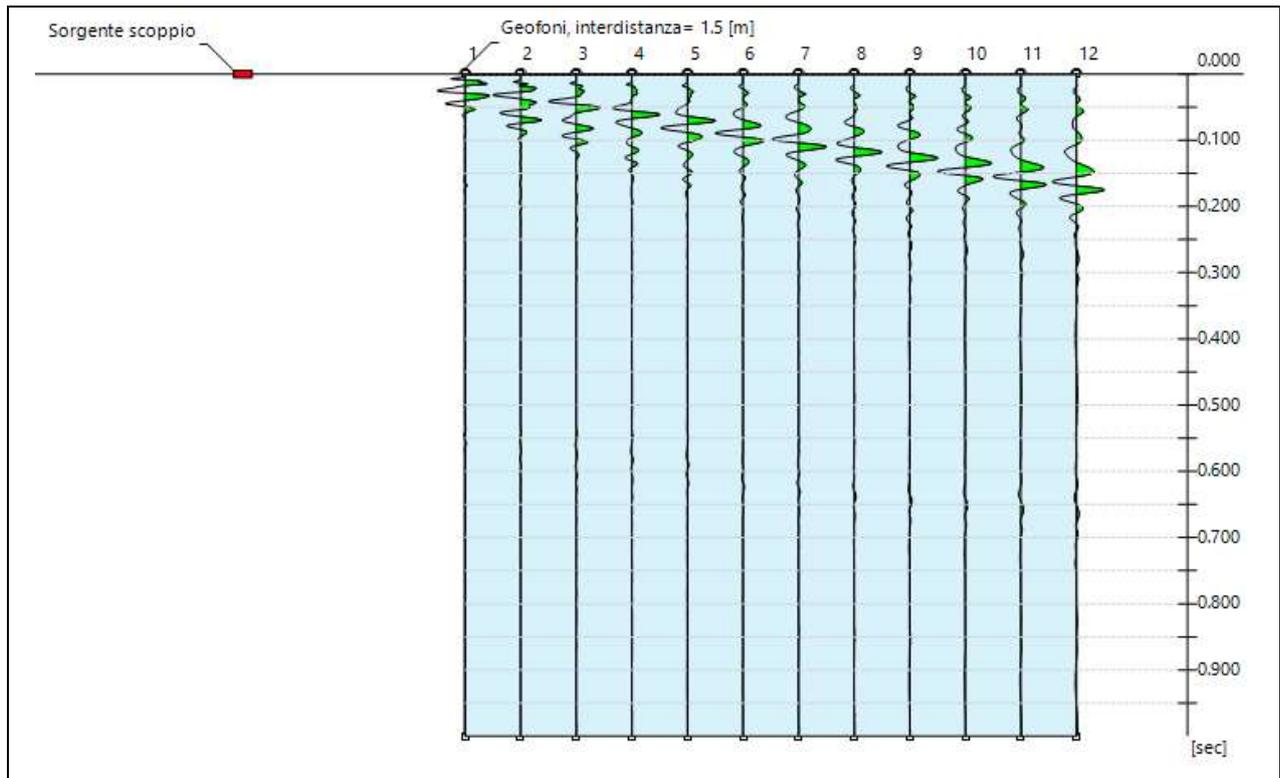
Progetto di variante per la parziale riconversione dell'ex area F3.15, F3.16 ed F3.17 del piano particolareggiato C2.3 del vigente PRG, in lotti di terreno edificabili, in relazione al decorso termine stabilito per la esecuzione del P.P. ex Art. 17 Legge n.1150/42 e, smi





**INDAGINE M.A.S.W.**

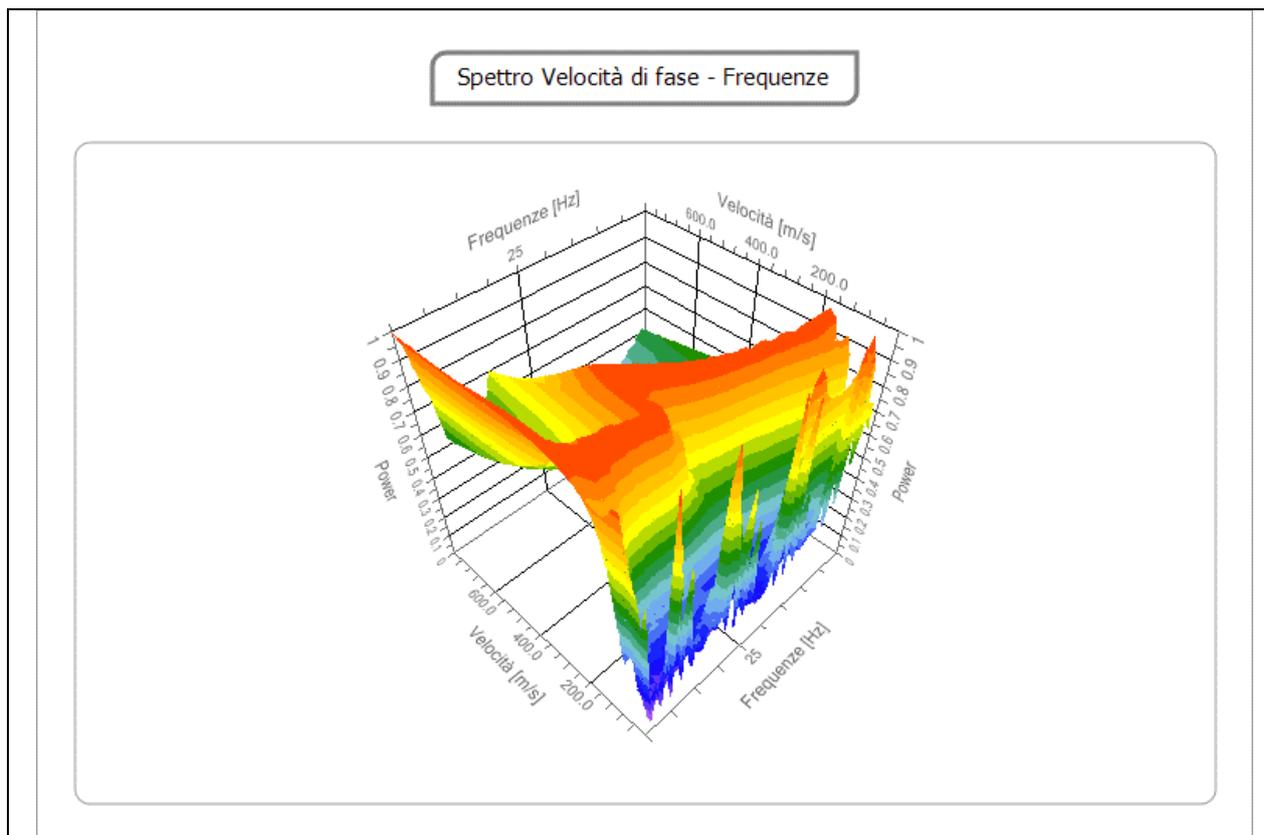
N. tracce 12  
 Durata acquisizione [msec] 1000.0  
 Interdistanza geofoni [m] 1.5  
 Periodo di campionamento [msec] 1.00



*Sismogramma del segnale*

**Analisi spettrale**

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	5
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	50
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

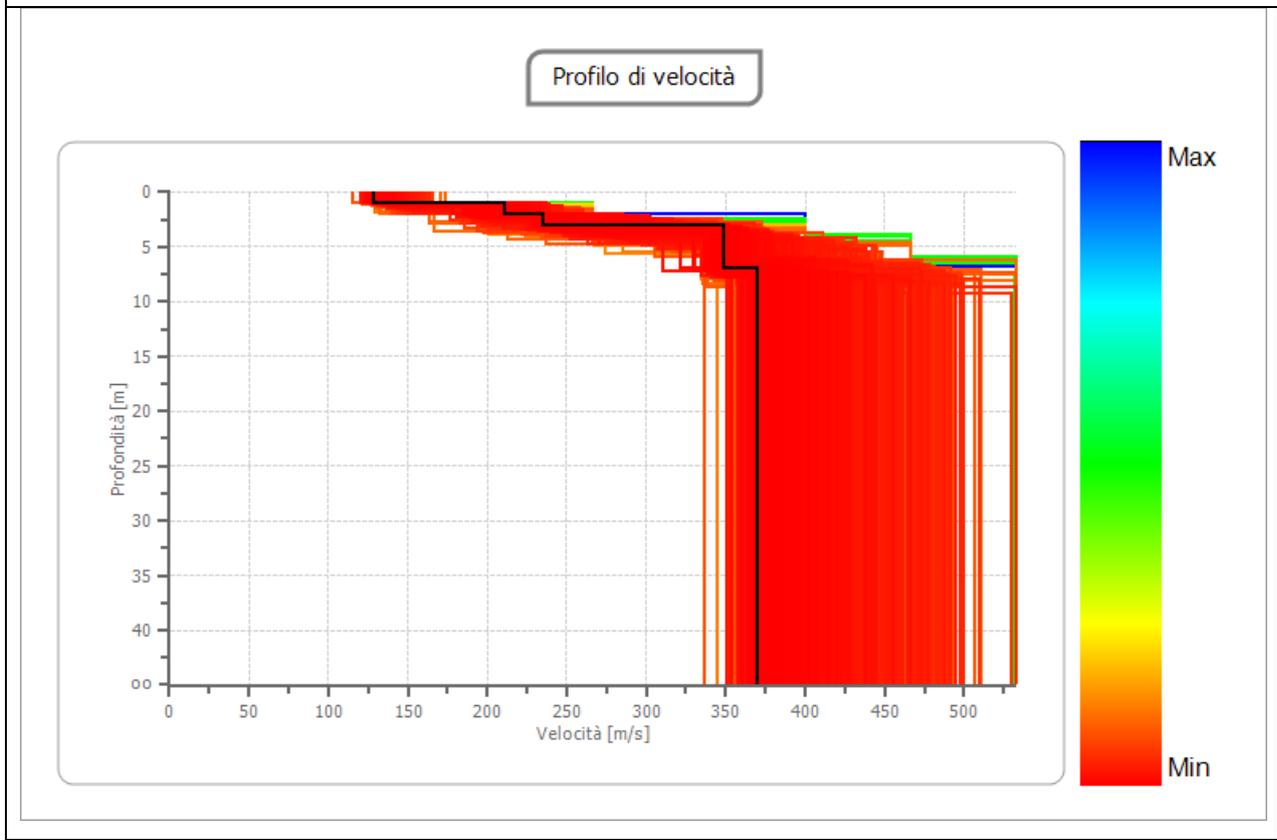
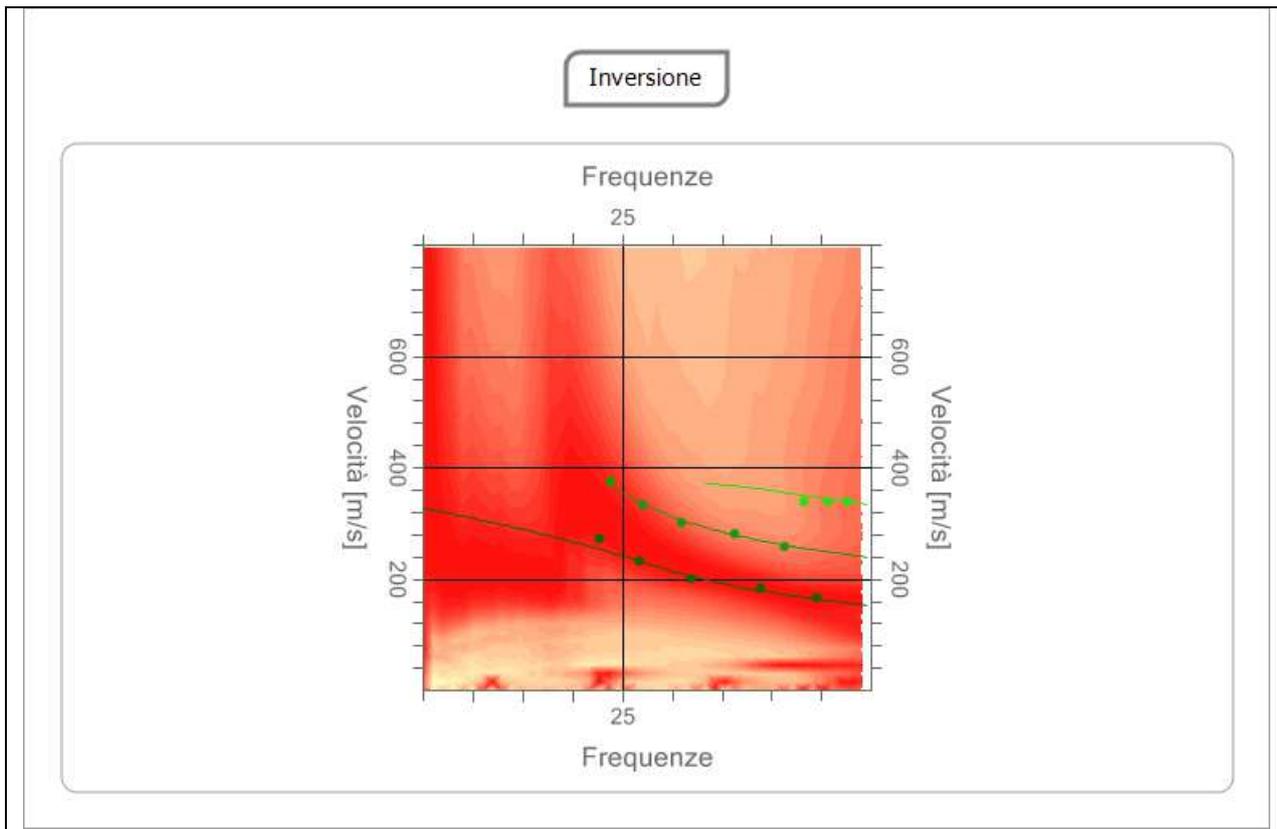


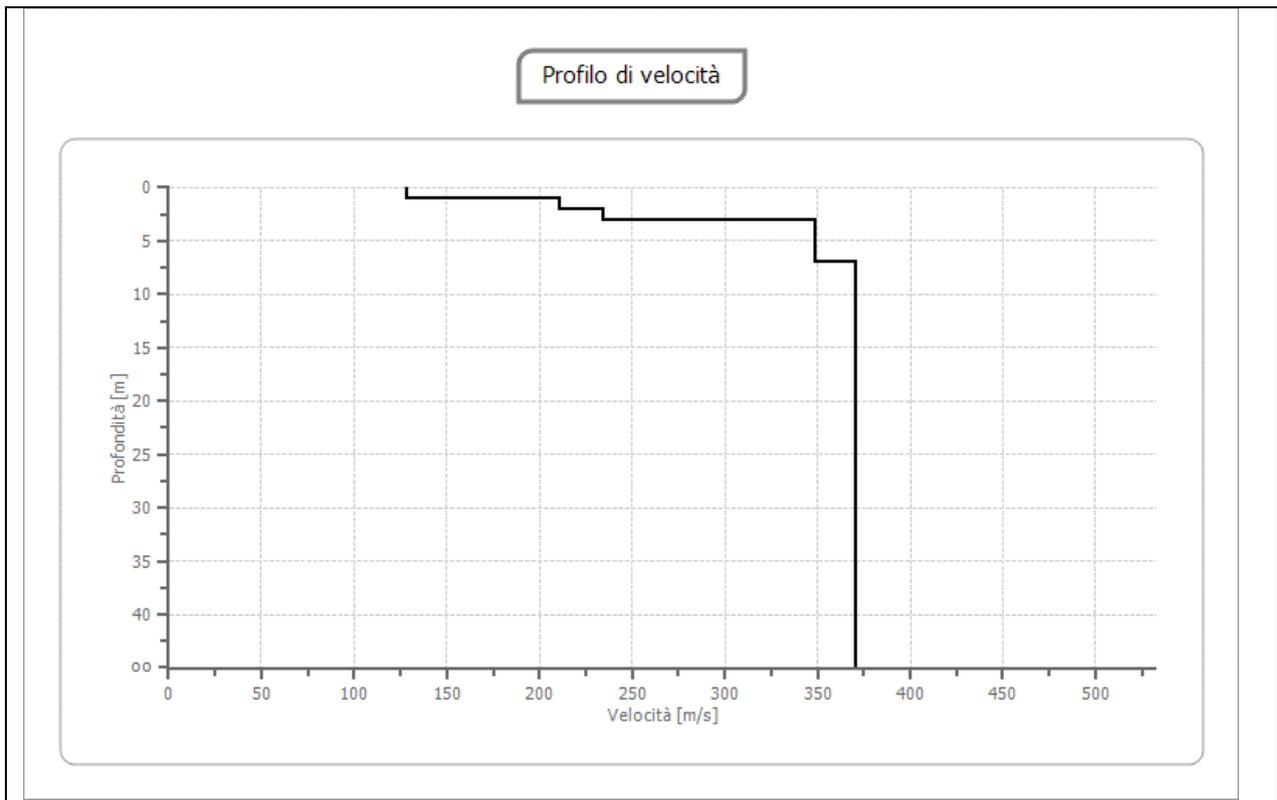
**Inversione**

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.00	1.00	1800.0	0.30	No	239.4	127.9
2	2.02	1.02	1800.0	0.30	Si	394.7	211.0
3	3.08	1.05	1800.0	0.30	Si	438.9	234.6
4	6.96	3.88	1800.0	0.30	Si	652.8	348.9
5	∞	∞	1800.0	0.30	No	692.5	370.2

Percentuale di errore 0.063%

Fattore di disadattamento della soluzione 0.025





**Risultati**

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	1.00
<b>Vs,eq [m/sec](=Vs,30)</b>	331.38
<b>Categoria del suolo</b>	C

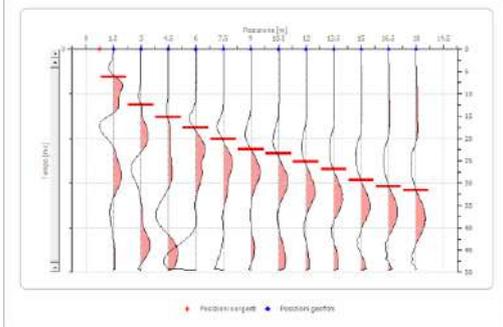
Suolo di tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s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



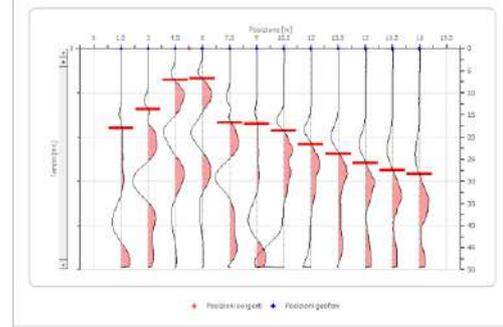
SISMICA A RIFRAZIONE

Geometria geofoni

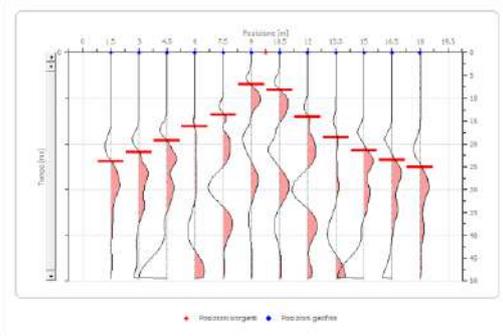
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	1.5	0.0
2	3.0	0.0
3	4.5	0.0
4	6.0	0.0
5	7.5	0.0
6	9.0	0.0
7	10.5	0.0
8	12.0	0.0
9	13.5	0.0
10	15.0	0.0
11	16.5	0.0
12	18.0	0.0



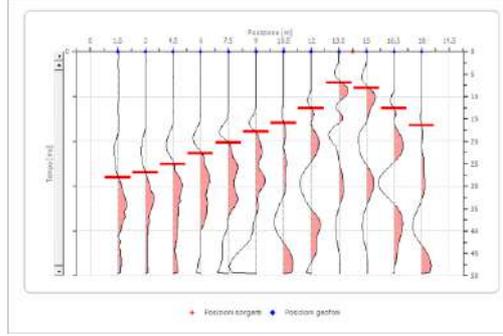
Battuta 1



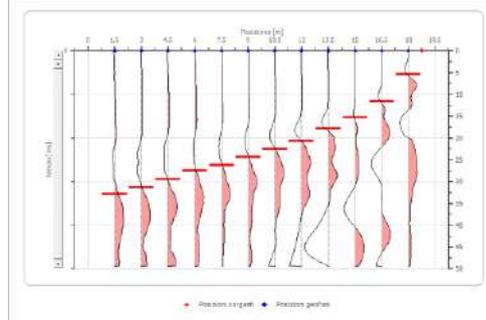
Battuta 2



Battuta 3



Battuta 4

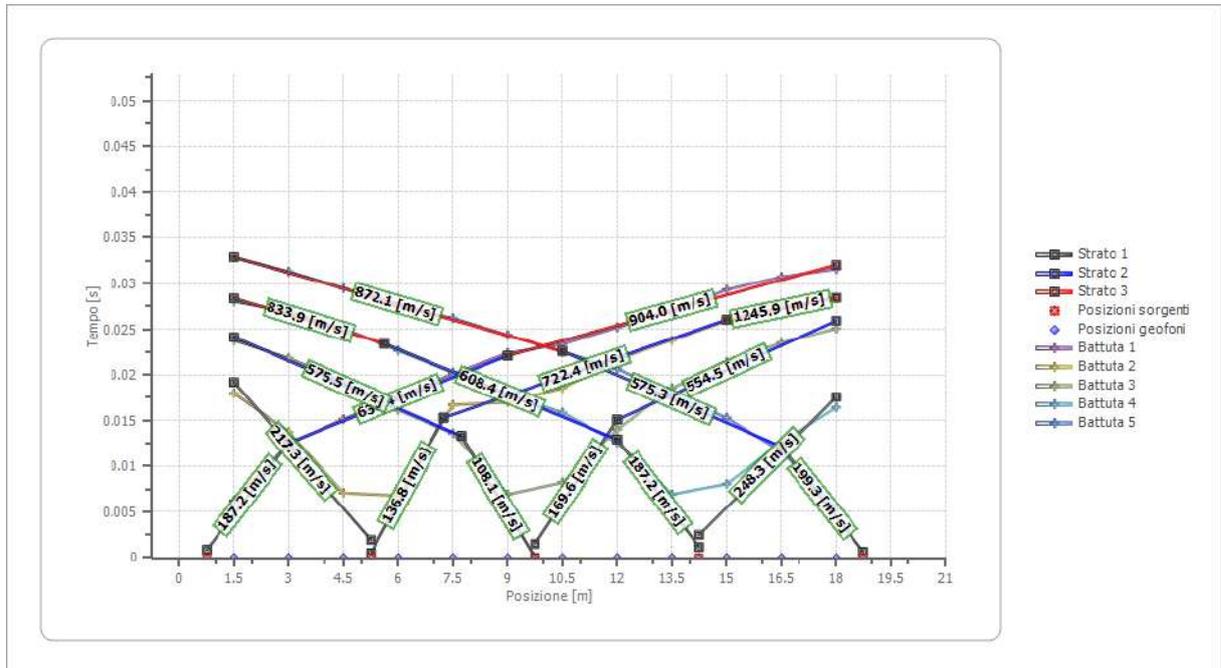


Battuta 5

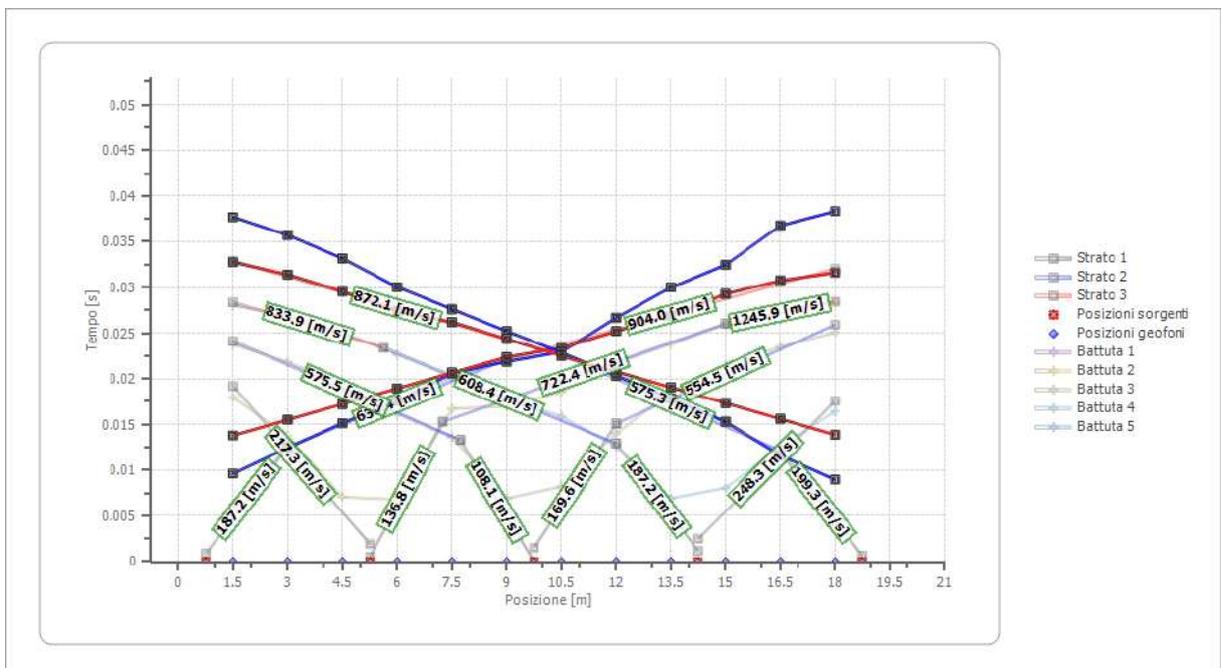
Progetto di variante per la parziale riconversione dell'ex area F3.15, F3.16 ed F3.17 del piano particolareggiato C2.3 del vigente PRG, in lotti di terreno edificabili, in relazione al decorso termine stabilito per la esecuzione del P.P. ex Art. 17 Legge n.1150/42 e, smi



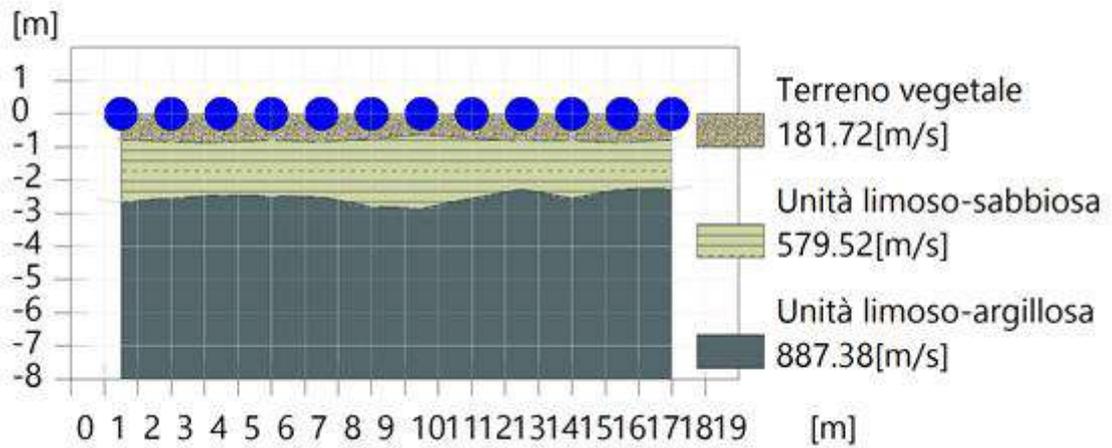
**Dromocrone**



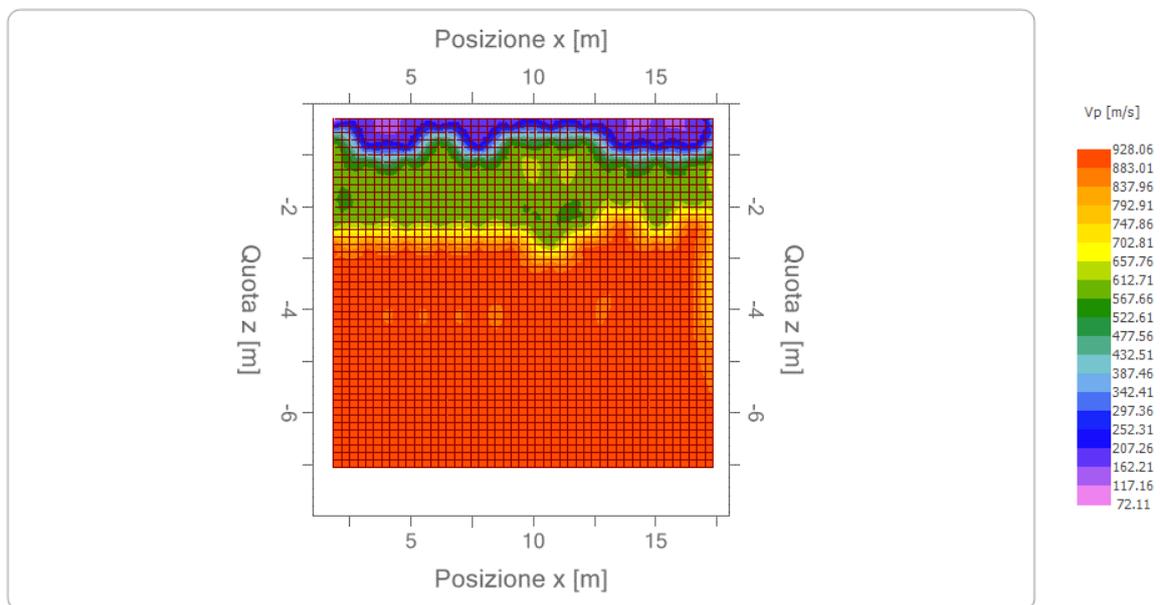
**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**



Sezione GRM



Velocità  $v_p$

**IS2**

Numero geofoni: 12    Lunghezza stendimento: 18 m    Interdistanza geofonica: 1,50 m

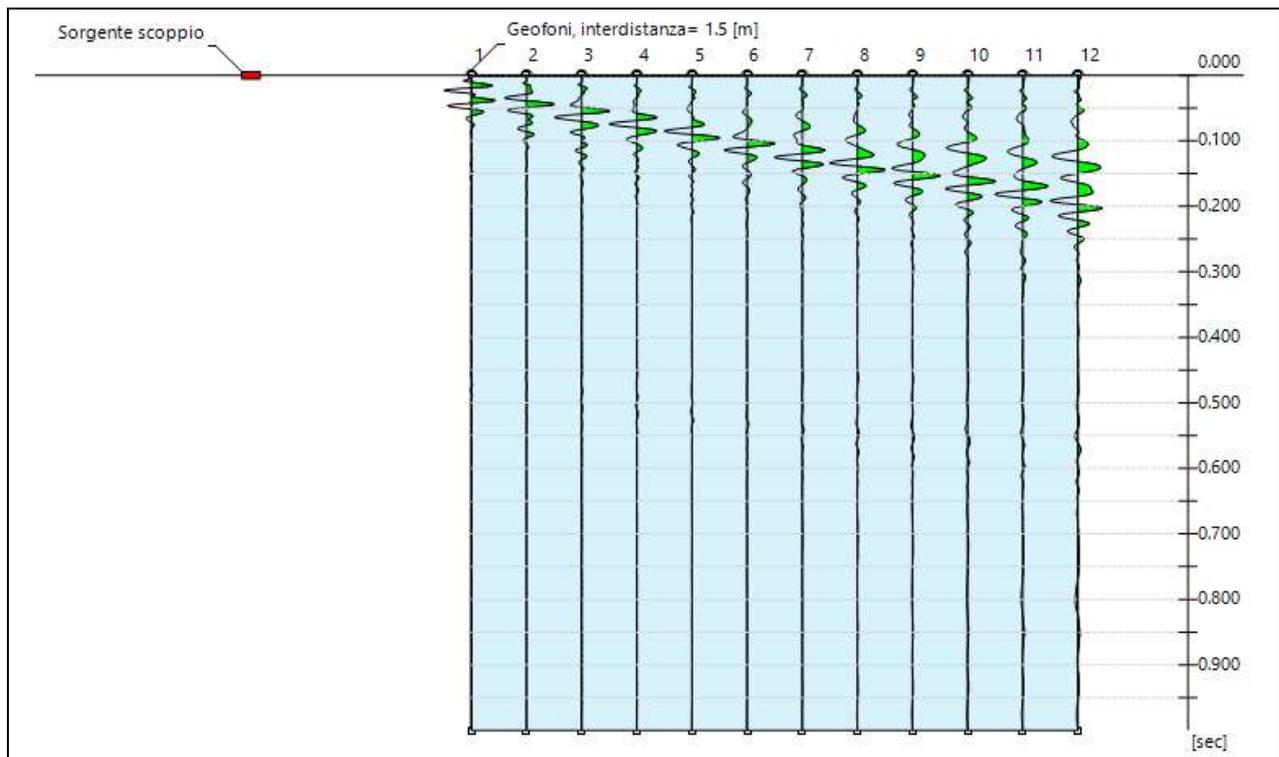






**INDAGINE M.A.S.W.**

N. tracce 12  
 Durata acquisizione [msec] 1000.0  
 Interdistanza geofoni [m] 1.5  
 Periodo di campionamento [msec] 1.00

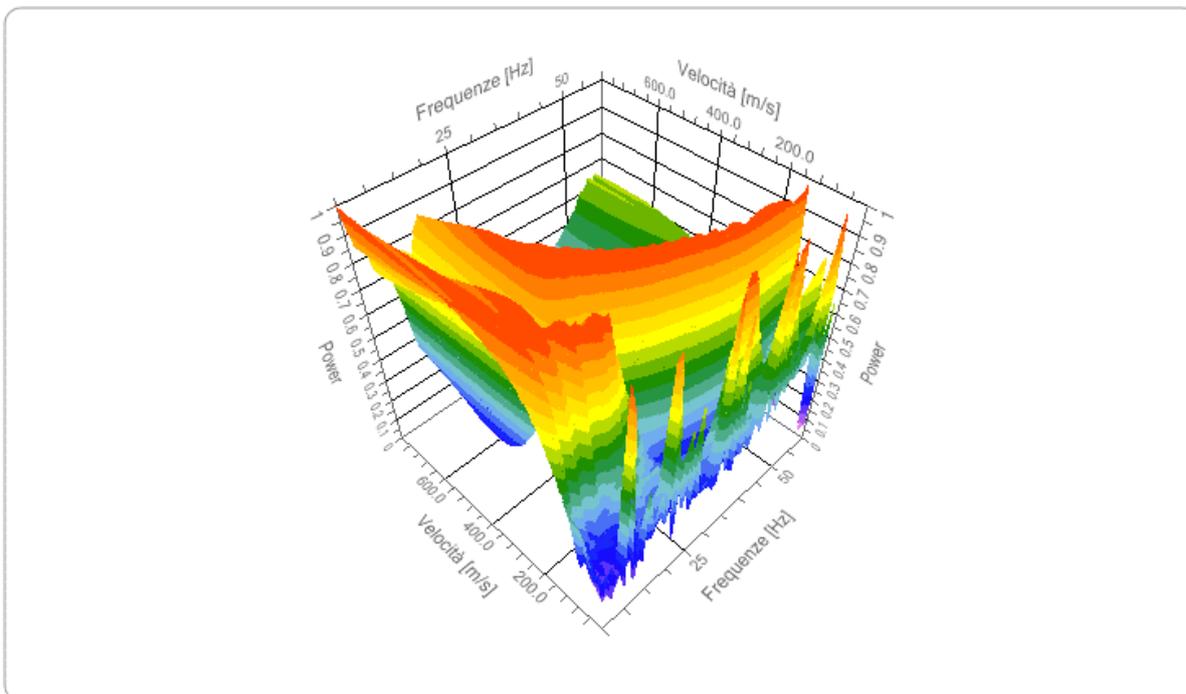


*Sismogramma del segnale*

**Analisi spettrale**

Frequenza minima di elaborazione [Hz] 5  
 Frequenza massima di elaborazione [Hz] 600  
 Velocità minima di elaborazione [m/sec] 1  
 Velocità massima di elaborazione [m/sec] 800  
 Intervallo velocità [m/sec] 1

Spettro Velocità di fase - Frequenze

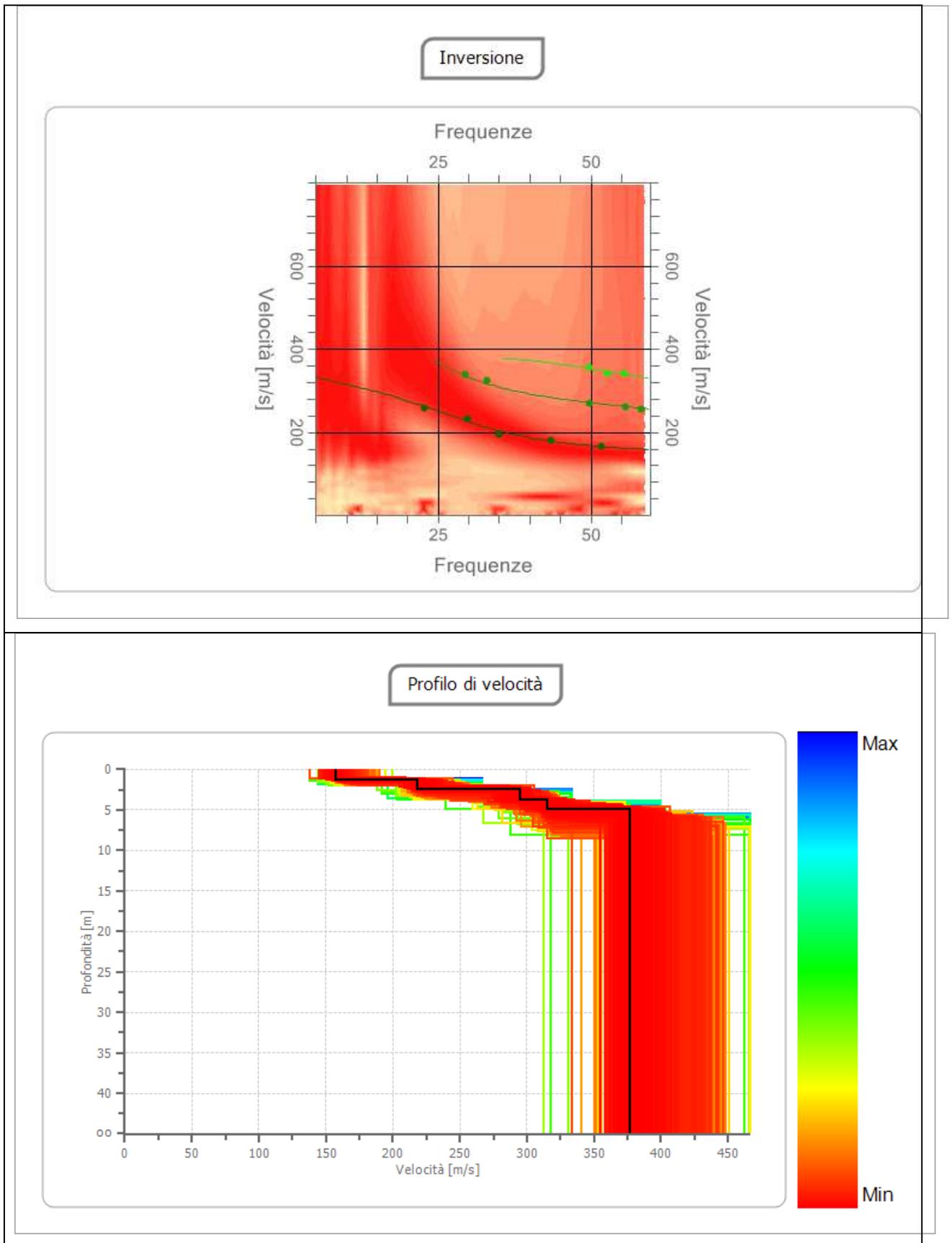


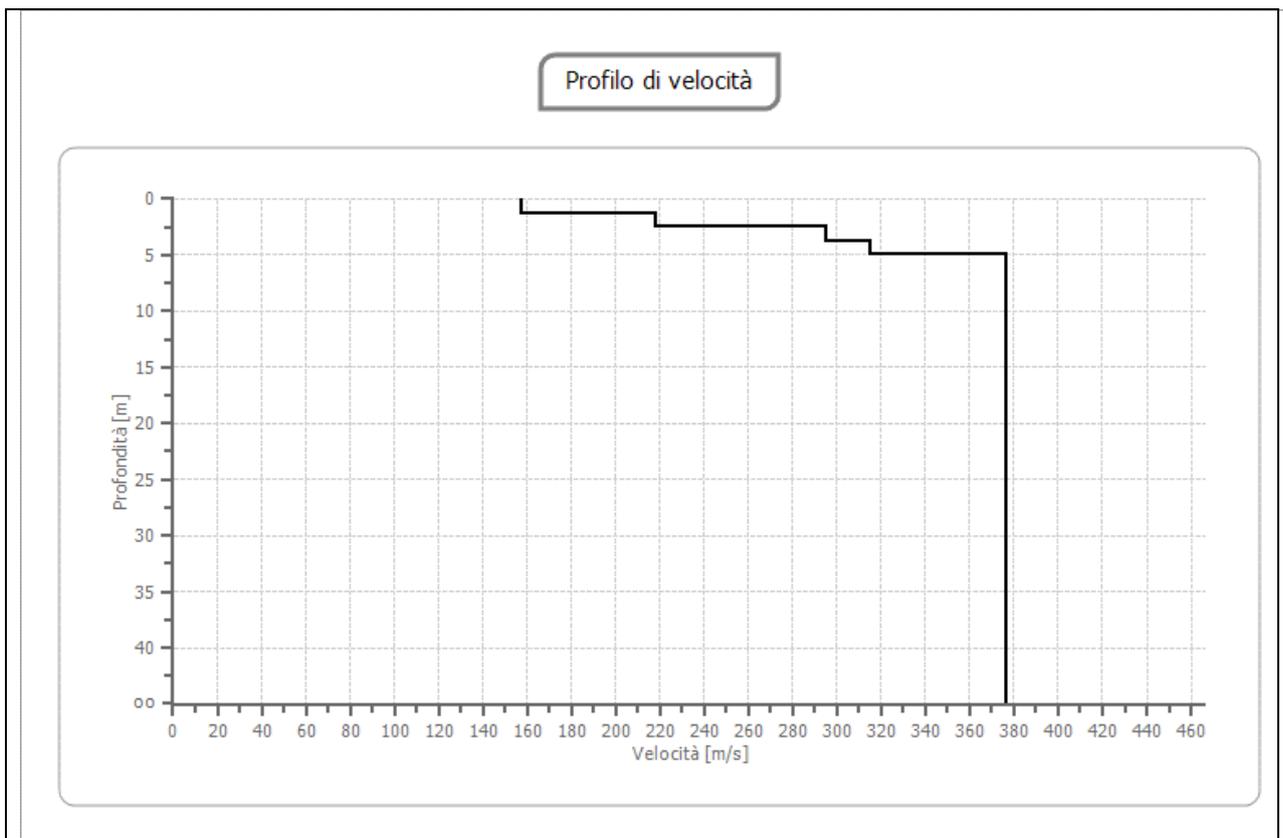
**Inversione**

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.33	1.33	1800.0	0.30	No	294.1	157.2
2	2.46	1.12	1800.0	0.30	No	408.4	218.3
3	3.77	1.31	1800.0	0.30	No	551.9	295.0
4	5.00	1.23	1800.0	0.30	No	589.6	315.2
5	∞	∞	1800.0	0.30	No	704.0	376.3

Percentuale di errore 0.022%

Fattore di disadattamento della soluzione 0.017





**Risultati**

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	1.00
<b>Vs,eq [m/sec](=Vs,30)</b>	354,14
<b>Categoria del suolo</b>	C

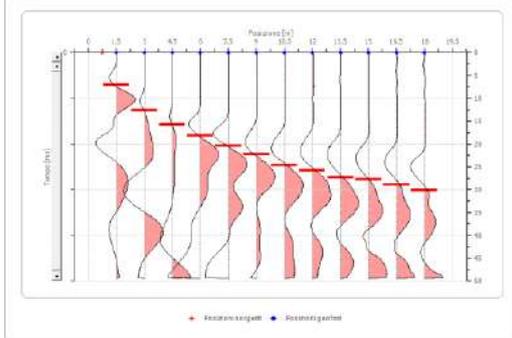
Suolo di tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s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



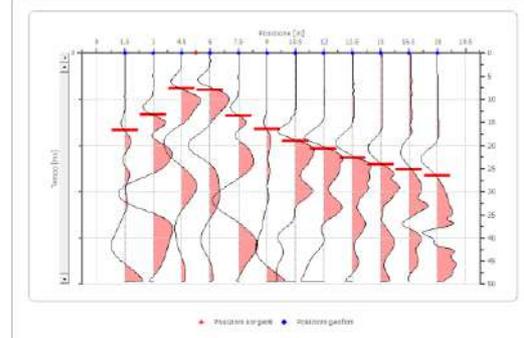
SISMICA A RIFRAZIONE

Geometria geofoni

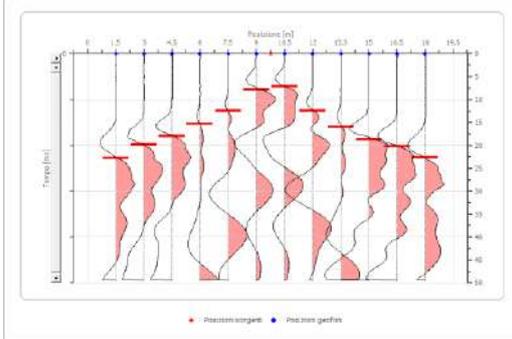
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	1.5	0.0
2	3.0	0.0
3	4.5	0.0
4	6.0	0.0
5	7.5	0.0
6	9.0	0.0
7	10.5	0.0
8	12.0	0.0
9	13.5	0.0
10	15.0	0.0
11	16.5	0.0
12	18.0	0.0



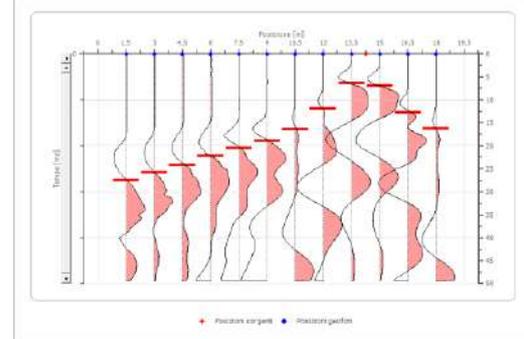
Battuta 1



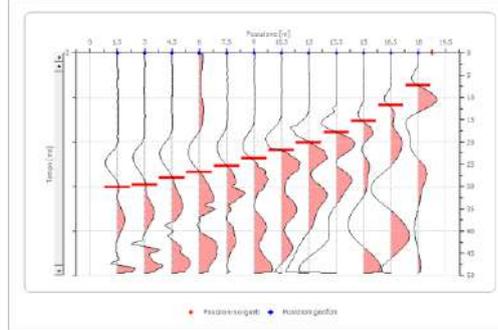
Battuta 2



Battuta 3



Battuta 4

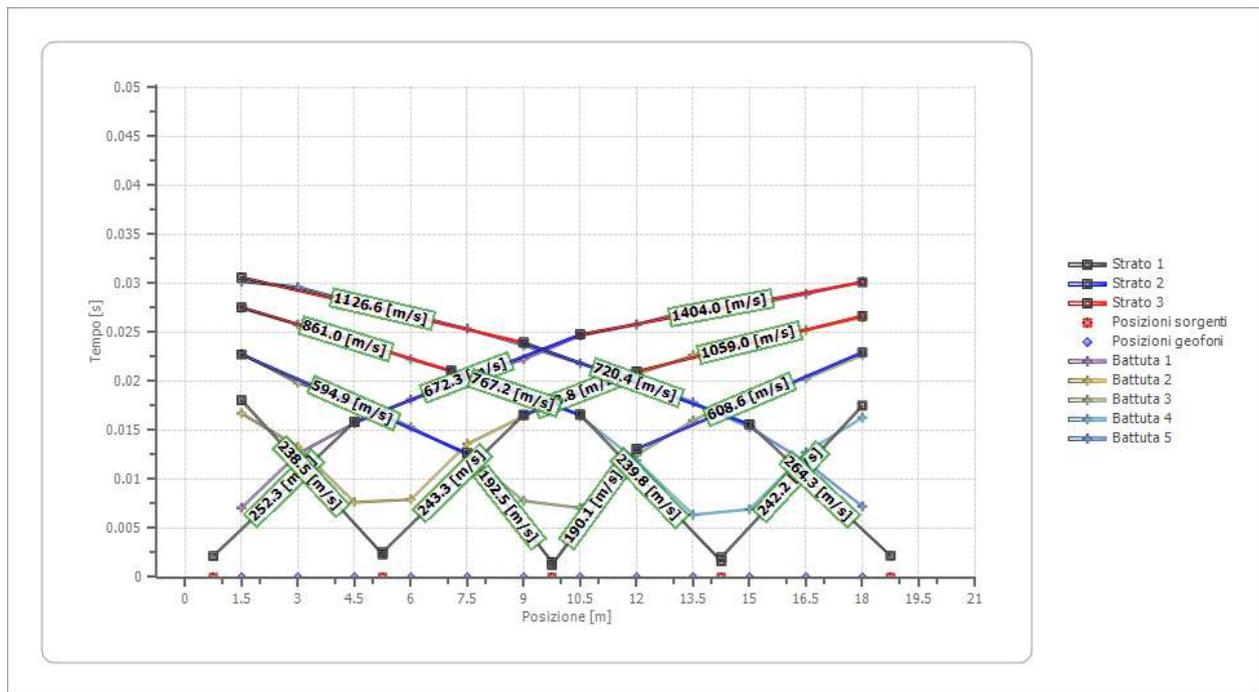


Battuta 5

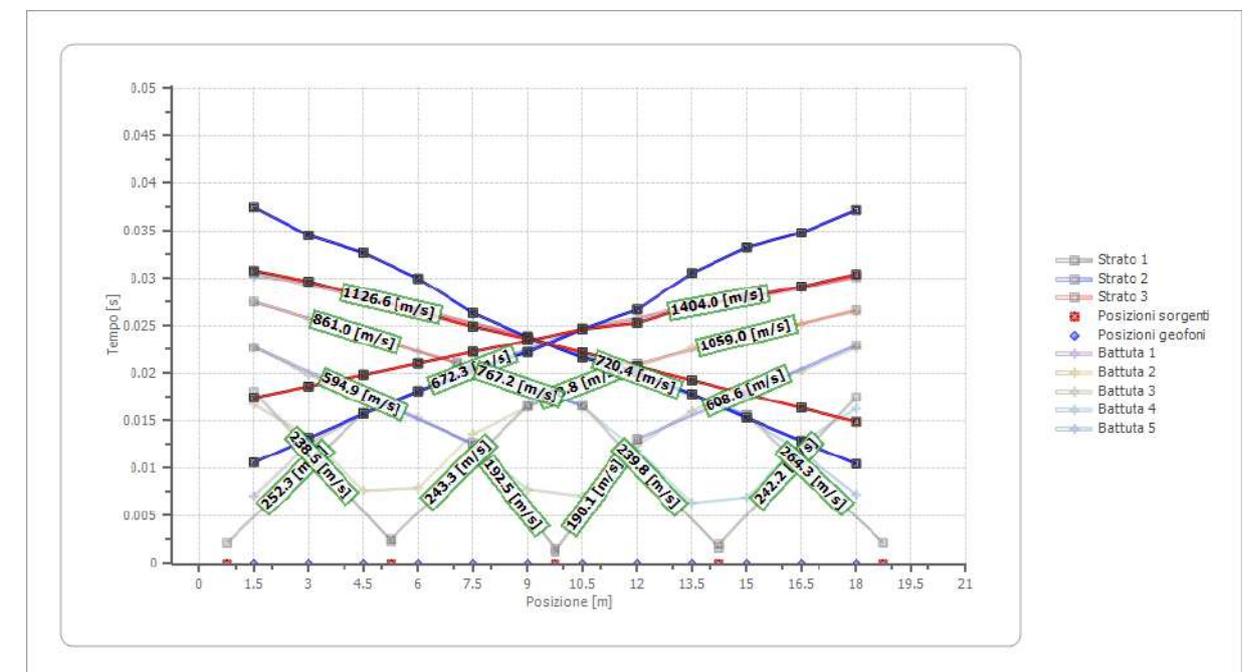
Progetto di variante per la parziale riconversione dell'ex area F3.15, F3.16 ed F3.17 del piano particolareggiato C2.3 del vigente PRG, in lotti di terreno edificabili, in relazione al decorso termine stabilito per la esecuzione del P.P. ex Art. 17 Legge n.1150/42 e, smi



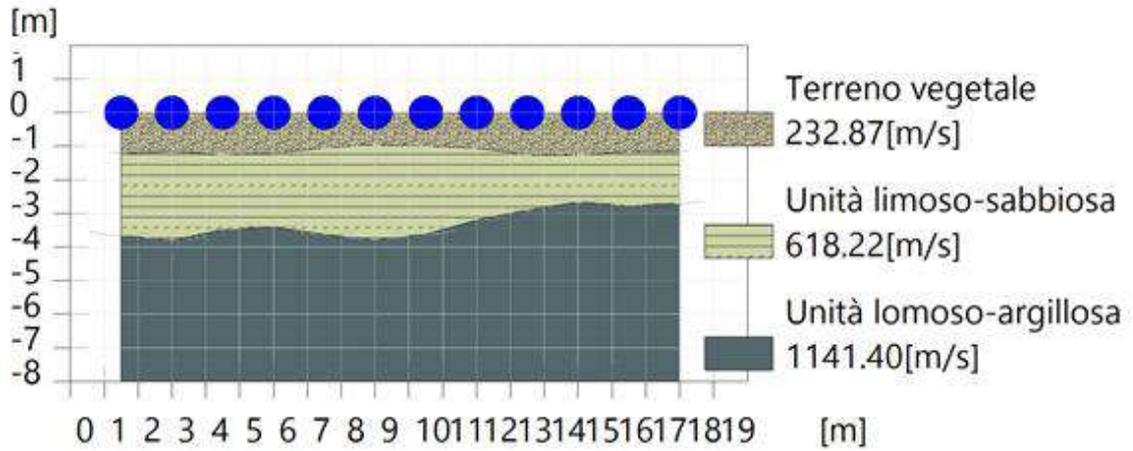
**Dromocrone**



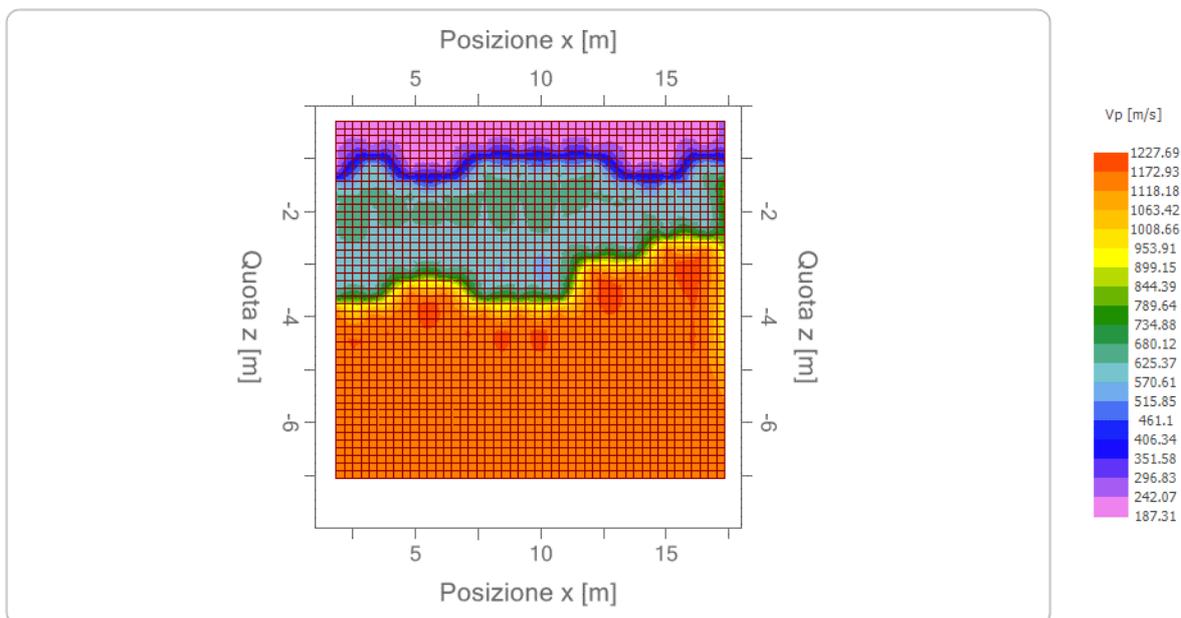
**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**



*Sezione GRM*



*Velocità  $v_p$*