



STUDIO TECNICO GEOLOGICO

dr. geol. RAFFAELE PANSINI

geologia – geotecnica – geognostica

CITTA' DI TRANI

Suolo edificabile ricompreso nel Cp/9 del PUG

Fg. 25 p.IIa 2168 – Prop. DE.LE.VA SrL

VARIANTE STRUTTURALE AL PUG

ex Delibera Commissario ad Acta n.01 del 21/08/2018

Relazione geologica e geomorfologica

**Committente: Soc. DE.LE.VA. S.r.L.
Via Papa Montini n. 13
70058 – MOLFETTA**

gennaio 2020

Via S. Giorgio, 55 - 76125 TRANI
Cell. : 333.9695511
e-mail : pansini.studiogeo@libero.it
Pec : pansini.studiogeo@epap.sicurezza postale.it

Cod. Fisc. PNS RFL 46M27 L328E – Part. IVA 02460440726

I N D I C E

1. OGGETTO E SCOPO		pag. 2
2. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO		
2.1. Zona esaminata	"	4
2.2. Caratteri litologici	"	5
2.3. Caratteri geomorfologici	"	7
2.4. Caratteri idrogeologici		
2.4.1. Idrologia superficiale	"	9
2.4.2. Idrografia sotterranea	"	9
3. INDAGINI ESEGUITE E GEOGNOSTICA DEI TERRENI		
3.1. Stratigrafia dell'area	"	12
3.2. Analisi di laboratorio	"	13
3.3. Prospezioni geofisiche	"	14
3.3.1. Sismica a rifrazione	"	15
3.3.2. Indagine MASW - Azione Sismica	"	20
4. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO	"	30
5. COMPATIBILITA' GEOMORFOLOGICA	"	31

ALLEGATI

- Fig. 1: Stralcio Catastale		scala 1: 2000
- Fig. 2: Stralcio PUG	"	1: 5000
- Fig. 3: Carta litologica	"	1: 25000
- Fig. 4: PAI Puglia	"	1: 5000
- Fig. 5: Carta Idrogeomorfologica.....	"	1: 5000
- Fig. 6: Ubic. precedenti indagini	"	1: 5000
- Fig. 7: Schema rapporti litostratigrafici		
- Fig. 8: Ubicazione profili sismici	"	1: 500
- Documentazione fotografica		
- REPORT (prospezione sismica)		

1. OGGETTO SCOPO.

- **Oggetto** del presente rapporto, su incarico conferito allo scrivente dalla Società **DE.LE.VA. S.r.L.** corrente in Molfetta alla via Papa Montini n. 13, è un'area sul viale Falcone in Trani, di proprietà della soc. committente, oggetto di Variante Strutturale al vigente PUG.

- **Scopo** del rapporto è di redigere una relazione geologica e geomorfologica relativa all'area di interesse e al suo "hinterland" per l'acquisizione del parere di compatibilità geomorfologica, ai sensi dell'art. 89 del DPR 380/2001 e s.m.i..

Per lo studio del sedime ci si è riferiti alla normativa relativa alle aree sismiche (Decreto 14/01/2008 "Norme tecniche sulle costruzioni" e successivo D.M. 17.01.2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC 2018), tenendo conto che il territorio di Trani risulta classificato sismico in "Zona 3" ai sensi della D.G.R. n°153 del 02/03/2004, emanata in attuazione della OPCM 3274/2003.

Per la **caratterizzazione e modellazione geologica e geotecnica del sito (D.M. 17.01.2018 punti 6.2.1., 6.2.2.)** ci si è avvalsi:

- delle informazioni presenti in letteratura;
- delle indagini dirette (perforazioni a carotaggio continuo e analisi di laboratorio) in possesso dello scrivente allorché si è occupato, in precedenti lavori,

dello studio dei sedimenti di fondazione posti in aree vicine;

- di n.2 profili sismici a rifrazione in onde P per la conoscenza delle caratteristiche elasto-meccaniche dei terreni costituenti il sottosuolo

Si fa presente, comunque, che sul suolo in esame non è prevista alcuna edificazione/costruzione dal momento che la sua volumetria verrebbe "riversata" elusivamente sull'area del Comparto Cp/9;

Per la definizione dell'azione sismica di progetto e l'individuazione della categoria di sottosuolo riferita all'area oggetto di intervento (D.M. 17.01.2018 punto 3.2.2.) sono stati eseguiti in situ n.2 profili sismici con la tecnica MASW metodo Re.Mi..

* * *

2. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO.

2.1. Zona esaminata

L'area in esame si colloca all'interno del centro abitato di Trani. Confina con la linea ferroviaria Bologna-Otranto (RFI) e con il Viale Falcone da cui vi si accede. Sviluppa una superficie, di forma molto allungata trapezoidale, avente area di $(m\ 230 \times m\ 7.50) = 1735\ mq$ (cfr. mappa in basso).



In Catasto Terreni è riportata al Foglio di Mappa N. 25 p.lla 2168 (Fig.1).

L'area oggetto di Variante Strutturale al vigente PUG "scarica" la sua suscettività edificatoria sulla zona di

Comparto Cp/9 a monte della RFI (Fig.2), pertanto sulla particella 2168 (lotto di terreno della prop. DE.LE.VA. srl) non si potrà prevedervi in un futuro PUE del Cp/9 alcun insediamento abitativo bensì un'area collettiva attrezzabile, per via della sua conformazione fisica, a verde pubblico/parcheeggio pubblico/pista ciclabile.

2.2. Caratteri litologici.

Dal punto di vista geologico l'area oggetto di studio, così come riportato dalla carta litologica allegata (Fig.3), è interessata in affioramento dalla formazione nota come:

- ***Qsa: "Complesso sabbioso siltoso-argilloso con presenza di calcare incrostante in superficie ("Crosta Pugliese") di età pleistocenica".***

I terreni di detta formazione sono costituiti da calcareniti, sabbie calcaree, limi sabbiosi ed argillosi.

Il grado di cementazione di questi sedimenti, medio-basso, è variabile sia in orizzontale che in verticale.

I depositi pleistocenici sopra descritti sono trasgressivi, con leggera discordanza angolare, sul sottostante calcare cretacico "Calcare di Bari" che costituisce il basamento rigido della zona.

Quest'ultima formazione è costituita da:

- ***Cc: "Calcari detritici a grana fine o micritici in strati e banchi, a luoghi stratiformi (localmente detti "Chiancarelle").***

Trattasi di una potente successione di strati di calcari in prevalenza detritici, generalmente a grana fine, spesso dolomitizzati, di colore bianco, rosato o grigio.

I calcari caratterizzano i livelli alti della sequenza, mentre dolomie e calcari dolomitici ricorrono frequentemente nella parte inferiore e media.

Lo spessore dell'unità, non calcolabile con precisione, è dell'ordine di un migliaio di metri.

Dal punto di vista dell'ambiente deposizionale, la serie descritta risulta essersi formata in un ambiente sedimentario marino assai tipico, caratterizzato da estesi bassifondi, coperti da un'esigua lama d'acqua dello spessore non superiore ai 200 metri (ambiente di piattaforma).

I rapporti stratigrafici tra le due formazioni descritte non sono direttamente osservabili nell'area in esame; sono comunque ben visibili sia nell'entroterra, lì dove si aprono fronti di cave per la coltivazione della roccia calcarea ("Pietra di Trani"), che lungo il litorale dove sezioni naturali ben esposte permettono di osservare il rapporto di trasgressione.

Per quanto riguarda lo schema tettonico, nell'area in esame, non si rilevano faglie o pieghe.

2.3. Caratteri geomorfologici.

Il territorio comunale di Trani si sviluppa nella porzione pedemurgiana del settore nord-ovest delle Murge (bordo adriatico) a quote comprese tra 200 m s.l.m. e 0.00 m (Mare Adriatico).

Nell'insieme, i caratteri morfologici richiamano il motivo più importante che contraddistingue il versante adriatico murgiano, costituito cioè da una serie di ripiani allungati quasi parallelamente alla linea di costa e disposti a quote via via più basse verso il mare.

I ripiani corrispondono a "terrazzi marini", formatisi durante il Plio-pleistocene, mentre le Murge andavano sollevandosi.

Le superfici terrazzate, debolmente inclinate verso NE, si raccordano tra loro tramite scarpate, solo a luoghi nette e ben riconoscibili, ad andamento sinuoso e di altezza variabile.

Circa la formazione di alcune scarpate che delimitano i terrazzi, non è stato ancora del tutto accertato se si tratti di antiche linee di costa sollevate o di scarpate di faglia. Comunque si riscontra una certa corrispondenza tra strutture tettoniche e forme del terreno.

L'aspetto pianeggiante e predominante del territorio risulta interrotto da elementi morfologici quali incisioni e depressioni, collegati alla presenza di faglie secondarie, allineamenti di fatturazione e pieghe di modesta rilevanza, ai quali si associano gli aspetti tipici di una sviluppata morfologia carsica (doline, inghiottitoi, lame).

L'area oggetto di studio ricade in uno dei ripiani prossimi alla linea di costa e si eleva topograficamente ad una quota compresa tra 12.10÷12.80 metri sul livello del mare (cfr. Figura).



12.1 quota topografica

Risulta pertanto pianeggiante, con dolce declivio verso nord-ovest, e **sotto l'aspetto geomorfologico non esistono problemi di stabilità** (cfr. Figg. 4-5).

2.4. Caratteri idrogeologici.

2.4.1. Idrologia superficiale.

In un contesto più generale l'idrografia del territorio di Trani è caratterizzata da alcuni solchi erosivi ("Lame") creati dall'azione fortemente erosiva degli agenti atmosferici sulla struttura litologica dell'areale costituita prevalentemente dai calcari verso l'entroterra e dai depositi terrazzati nell'abitato.

Detti compluvi si sviluppano in direzione SW-NE perpendicolarmente alla linea di costa e sono asciutti, solo in caso di copiose precipitazioni convogliano per brevi periodi notevoli quantità di acqua ("mene").

In particolare il sito di interesse si inserisce in una porzione di territorio non interessata dalla presenza di "lame" o impluvi o corsi d'acqua episodici e pertanto **non ricade, dal punto di vista idraulico, in aree a pericolosità di inondazione** (cfr. Figg. 5-6).

2.4.2. Idrografia sotterranea.

I "Calcari delle Murge" costituiscono l'acquifero di base del territorio di Trani. In questi calcari, infatti, si stabilisce una imponente falda idrica (detta "falda profonda" o "falda principale", per distinguerla da quelle "superficiali" aventi sede nei terreni post-cretacei) di tipo artesiano che raccoglie le acque meteoriche, per la parte che non evapora e non defluisce superficialmente, provenienti da un bacino

idrogeologico molto ampio in quanto si spinge nell'entroterra sino ai rilievi murgiani.

Nel settore adriatico, la falda fluisce verso mare in direzione perpendicolare alla linea di costa, con gradienti piezometrici compresi tra 0,1 % e 0,5%.

Nelle aree costiere, inoltre, la falda risulta sovrapposta ad uno spessore di acqua marina di invasione continentale che si incunea al di sotto dell'acqua dolce a motivo della sua maggiore densità.

Conseguentemente anche la salinità delle acque di falda aumenta procedendo verso costa.

L'area in esame, data la breve distanza dalla linea di costa, è interessata da una falda essenzialmente salmastra per l'infiltrazione marina.

Il suo livello statico, così come si osserva dall'andamento delle curve isopieziche (cfr. stralcio TAV.6.2.), risulta inferiore a 1 m a partire dalla quota 0.00 corrispondente al livello medio marino.

Stralcio dell'elaborato TAV.6.2.- P.T.A. Puglia "DISTRIBUZIONE MEDIA DEI CARICHI PIEZOMETRICI DEGLI ACQUIFERI CARSICI DELLA MURGIA E DEL SALENTO"



Per quanto riguarda i caratteri di permeabilità la formazione affiorante nell'area di indagine, stante sia la letteratura specifica che le prove di permeabilità eseguite in terreni simili in aree vicine, sono caratterizzati da un grado di permeabilità "medio - basso" compreso nel seguente range di valori:

$$K = 1 \times 10^{-5} \div 5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

* * *

3. INDAGINI ESEGUITE E GEOGNOSTICA DEI TERRENI.

Per le indagini dirette si è fatto riferimento, così come già riferito in premessa, a precedenti studi, di carattere geologico, eseguiti dallo scrivente su aree non molto distanti da quella in esame (cfr. Fig. 6).

All'interno dell'area in esame sono state eseguite prospezioni geofisiche di tipo sismico.

3.1. Stratigrafia dell'area.

Di seguito si riporta, a partire dall'alto verso il basso, assumendo come quota 0.00 il p.c., la stratigrafia dell'area ricostruita sulla base delle carote estratte dai sondaggi a carotaggio continuo eseguiti sui terreni ricadenti nella part.lla 1339 del F°25:

- da m 0.00 a m -1.50: terreno vegetale e/o di riporto;
- da m -1.50 a m -10.00: limo sabbioso avana - chiaro con intercalati livelli calcarenitici e sabbiosi;
- da m -9.50 a m -23.00: sabbie e sabbie limose a luoghi con livelli di argille limose;
- da m -23.00 a m -25.00: frammenti calcarei in matrice limoso-sabbiosa bianco-giallastra

Per le correlazioni litostratigrafiche si rimanda alla Fig. 7.

3.2. Analisi di laboratorio.

Nel corso dei sondaggi sono stati prelevati numerosi campioni per la determinazione dei parametri fisico-meccanici dei terreni di fondazione.

Sono state eseguite, quindi, analisi e prove sia per definire i parametri di riconoscimento del terreno campionato (granulometria, peso-volume naturale, peso-volume secco, peso specifico assoluto, contenuto naturale di acqua, porosità, indice dei pori, grado di saturazione, limiti di Attemberg) sia prove per valutare il comportamento dei terreni sotto carico (prove di taglio, prove di compressibilità edometrica).

Qui di seguito si riportano i risultati ottenuti:

Sabbia debolmente limosa

γ	= 1.72 g/cmc	(peso-volume naturale)
γ_d	= 1.46 g/cmc	(peso-volume secco)
γ_s	= 2.70 g/cmc	(peso-specifico solido)
γ_{sat}	= 1.92 g/cmc	(peso-volume saturo)
$W\%$	= 17.84	(contenuto naturale di acqua)
$n\%$	= 45.78	(porosità)
e	= 0.84	(indice dei pori)
$S_r\%$	= 57.06	(grado di saturazione)
φ	= 33.52°	(angolo di attrito interno)
c	= 0.00 Kg/cmq	(coesione)

Sabbia con limo debolmente argillosa

γ	= 1.94 g/cmc	(peso-volume naturale)
γ_d	= 1.59 g/cmc	(peso-volume secco)
γ_s	= 2.71 g/cmc	(peso-specifico solido)
γ_{sat}	= 2.00 g/cmc	(peso-volume saturo)
$W\%$	= 22.45	(contenuto naturale di acqua)
$n\%$	= 41.41	(porosità)
e	= 0.71	(indice dei pori)
$S_r\%$	= 86.10	(grado di saturazione)
ϕ	= 36.51°	(angolo di attrito interno)
c	= 0.62 Kg/cmq	(coesione)

3.3. Prospezioni geofisiche.

Le indagini sismiche, realizzate all'interno dell'area di sedime (Foglio 25 p.lla 2168) (Fig.8) sono state finalizzate alla:

- definizione delle caratteristiche fisico-dinamiche dei terreni costituenti il sottosuolo e alla ricostruzione stratigrafica del sito
(n.2 profili sismici a rifrazione in onde P);
- classificazione del suolo di fondazione così come previsto dal D.M. 17.01.2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"
(n.2 profili sismici con la tecnica MASW metodo Re.Mi.).

Le prospezioni sismiche sono state eseguite dalla "PRO-GEO s.a.s." con sede in Barletta alla via Imbriani,13. All'allegato "report" si rimanda per maggiori dettagli.

3.3.1. Metodologia sismica a rifrazione.

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

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

Il metodo di elaborazione utilizzato nel corso delle analisi dei dati a rifrazione è stato il Generalized Reciprocal Method (GRM: Palmer - 1980).

Successivamente, con l'ausilio del software "Rayfract" della Intelligent Resources Inc., si è proceduti all'analisi del sottosuolo in tomografia sismica.

Per le misure eseguite sono state utilizzate le seguenti attrezzature:

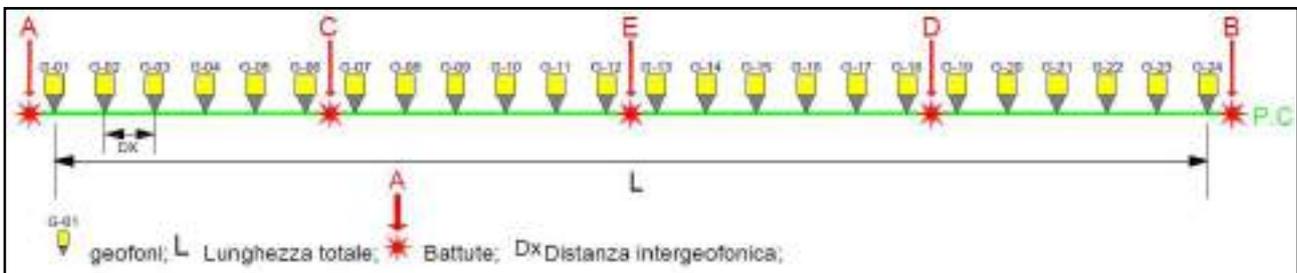
- Sismografo DAQ LINK - III a 24 bit della "Seismic Source Co" con intervallo minimo di campionamento di 0.0208 ms e altissima risoluzione (118 db);
- Cavo con 24 collegamenti per i geofoni;

- 24 geofoni a componente verticale con frequenza di 14 Hz;
- Piattello in alluminio e martello di 8 Kg dotato di trigger.

I profili, della lunghezza di 72 metri, sono stati eseguiti con uno stendimento di 24 geofoni interdistanziati di 3.0 metri.

Denominazione	Lunghezza (metri)	Distanza geofonica (metri)
Profilo sismici 1 e 2	72	3.0

Sono stati effettuati 5 punti di energizzazione, secondo il seguente schema geometrico di acquisizione.



L'elaborazione dei dati ha permesso di ricostruire il sottosuolo secondo 3 "sismostrati", così caratterizzati:

1. Il primo sismostrato (con profondità max di 1.0 m dal p.c.) ha velocità V_p compresa tra 410 ÷ 440 m/s e V_s compresa tra 114 ÷ 168 m/s. E' associabile a "terreno vegetale e/o riporto";

2. Il secondo sismostrato (con profondità di circa 17.0 ÷ 18.0 m dal p.c.) ha velocità V_p compresa tra 1100 ÷ 1200 m/s e V_s compresa tra 442 ÷ 460 m/s. E' associabile a "sabbie limose e limi sabbiosi";
3. Il substrato rifrattore ha velocità V_p compresa tra 2100 ÷ 2200 m/s e V_s compresa tra 1155 ÷ 1210 m/s. E' associabile a "calcare mediamente fratturato e carsificato".

Nella tabelle che seguono sono mostrati tutti i valori delle velocità sismiche, il coefficiente di Poisson ed i valori dei moduli dinamici E (di Young), G (di taglio) e K (di compressibilità), espressi in Kg/cm^2 . Questi valori sono calcolati considerando un peso di volume tipico della litologia presente in sito.

Le velocità V_s sono state ricavate dall'indagine sismica MASW eseguita.

Profilo 1

Profondità media (m)	V_p	V_s	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0+1	410	114	0,46	1,5	580	199	2308
2° sismostrato 1+18	1100	442	0,40	1,8	10074	3588	17440
substrato >18	2200	1210	0,28	2,3	88182	34362	67776

Profilo 2

Profondità media (m)	V_p	V_s	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0+1	440	168	0,41	1,5	1222	432	2387
2° sismostrato 1+17	1200	460	0,41	1,8	10990	3887	21267
substrato >17	2100	1155	0,28	2,3	80348	31309	61755

V_p = velocità onde longitudinali in m/s

V_s = velocità onde trasversali in m/s

σ = coefficiente di Poisson

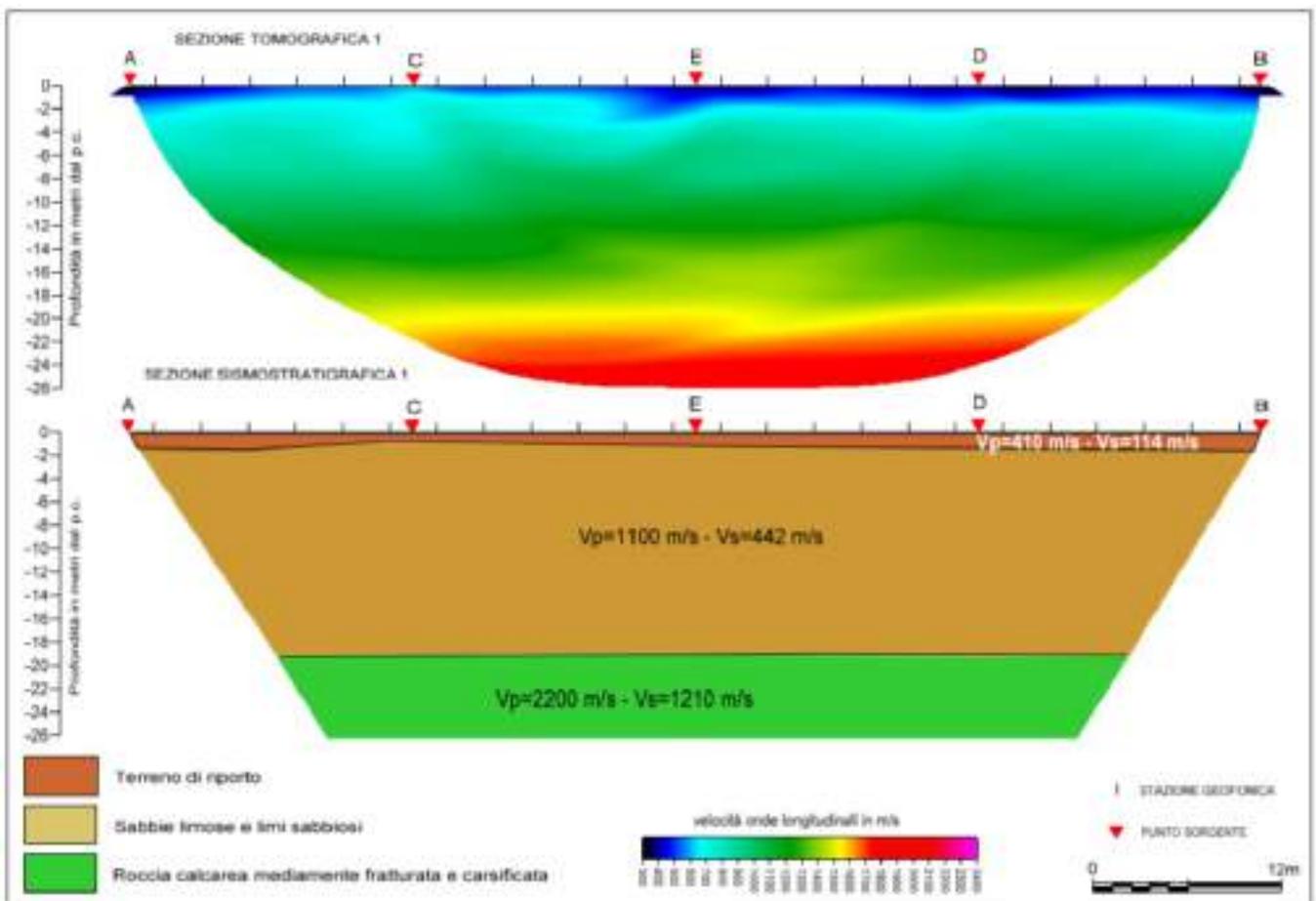
γ = peso di volume in g/cm^3

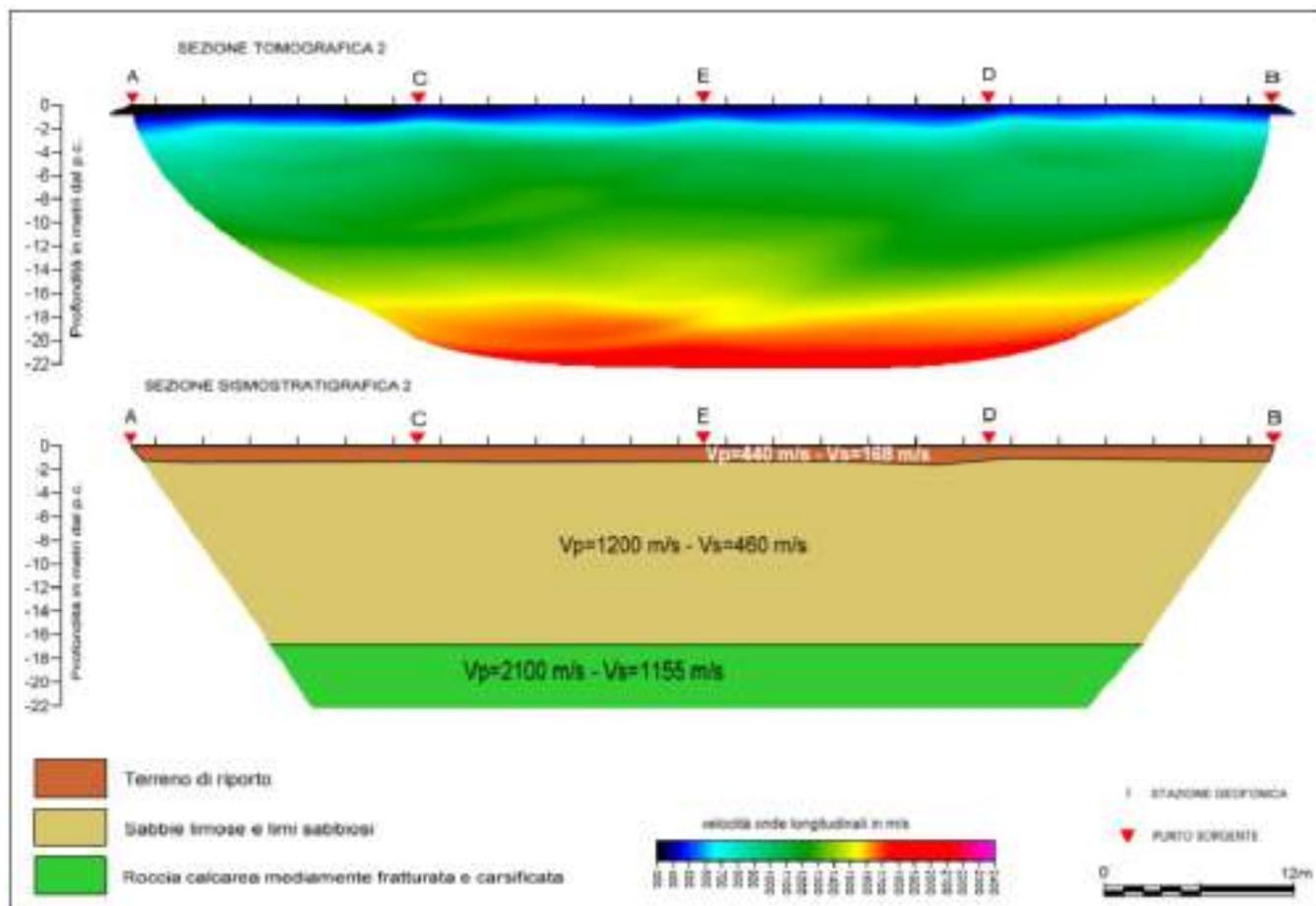
E = modulo dinamico di Young in Kg/cm^2

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

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

Di seguito si riportano le sezioni tomografiche e le sezioni sismostratigrafiche ottenute dall'interpretazione dei risultati.





3.3.2. Metodologia indagine M.A.S.W. - AZIONE SISMICA.

Il territorio comunale di Trani risulta classificato sismico in 3^a zona ai sensi della D.G.R. n°153 del 02/03/2004, emanata in attuazione della OPCM 3274/2003.

Si riporta la tabella ove ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (ag), 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]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 - 0.25	0.25
3	0.05 - 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 e successivo D.M. 17 gennaio 2018 la stima della pericolosità sismica viene però definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

La pericolosità sismica di base può essere determinata in assenza di uno studio di risposta sismica locale (RSL), facendo riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento e sulle condizioni topografiche.

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 (D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle << Norme tecniche per le costruzioni >>):

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

con:

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 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.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse.

Per la determinazione dei valori delle V_s è stata utilizzata la metodologia indagine M.A.S.W..

I profili eseguiti hanno una lunghezza di 69 metri; l'acquisizione è stata effettuata con uno stendimento di 24 geofoni interdistanziati di 3.0 metri.

Sono state acquisite sei registrazioni di 20 secondi con una frequenza di campionamento di 500 Hz.

I modelli di V_s -profondità, ottenuti mediante l'analisi MASW, sono schematizzati di seguito:

Masw 1	
V_s (m/s)	Profondità (mt)
114	0.0+1.0
442	1.0+18.0
1210	18.0+30.0

Masw 2	
V_s (m/s)	Profondità (mt)
168	0.0+1.0
460	1.0+17.0
1155	17.0+30.0

Inserendo i dati ottenuti dall'indagine MASW nella nota formula, in conformità alle NTC (D.M. 17/01/2018), si ottengono valori delle $V_{s,eq}$ pari a:

$$\text{MASW 1 } V_{s,eq} = 381 \text{ m/s}$$

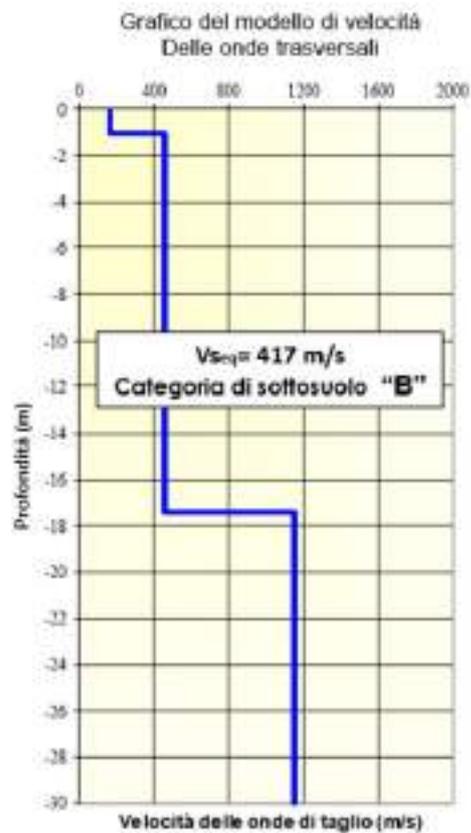
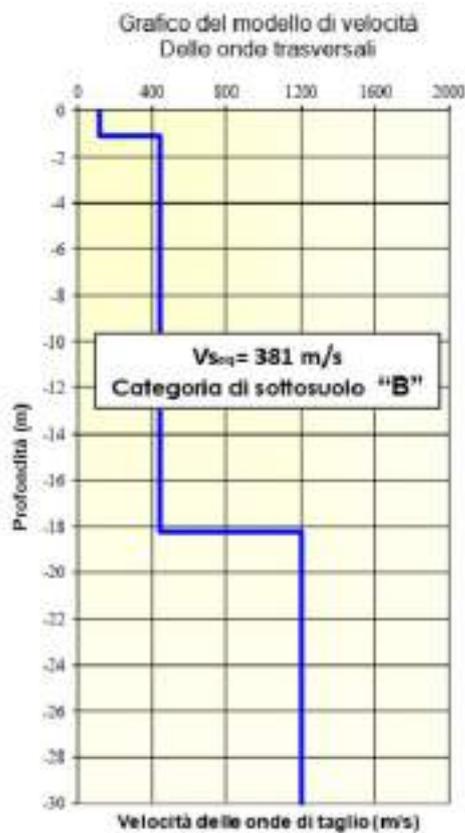
$$\text{MASW 2 } V_{s,eq} = 417 \text{ m/s}$$

Detti valori, associati alle condizioni stratigrafiche dell'area (cfr. Tab. 3.2.II - NTC 2018), pongono il suolo di

fondazione in esame, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, nella

categoria "B"

Pertanto poichè le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.11 (di seguito), 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_{S0q} .



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

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

Dal punto di vista delle condizioni topografiche il sito in esame si identifica nella **categoria T1** (cfr. 3.2.III – NTC 2018).

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 $i > 30^\circ$

cui corrisponde un valore del coefficiente di amplificazione topografica S_T pari a 1 (cfr. Tab. 3.2.V - NTC-2018)

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Per determinare le azioni sismiche di progetto è necessario stimare la "pericolosità sismica" del sito oggetto di studio, rappresentata dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo ("periodo di riferimento" V_R espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la *probabilità* è denominata "Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" = P_{VR} .

Il periodo di riferimento si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \times C_U$$

dove i valori minimi della vita nominale V_N è data dalla Tab. 2.4.I (NTC-2018)

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, dalla Tab. 2.4.II (NTC-2018)

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

e le classi d'uso sono quelle definite al punto 2.4.2. delle NTC 2018.

Nel caso del progetto in esame, la costruzione rientra nella classe d'uso II:

CLASSE D'USO II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Pertanto, nel caso in esame il periodo di riferimento è pari a:

$$V_R = 50 \times 1 = 50 \text{ anni}$$

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R il periodo di ritorno T_R del sisma è dato da:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = -C_U V_N / \ln(1 - P_{VR})$$

Calcolato il periodo di riferimento V_R , la pericolosità sismica è definita in termini di :

- accelerazione orizzontale massima attesa a_g su sito di riferimento rigido (*bed-rock*);
- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R .

Ai fini delle NTC 2018 le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Una delle novità delle NTC 2018 è appunto la stima della pericolosità sismica basata su una griglia di 10751 punti, ove viene fornita la terna di valori a_g , F_0 e T_c^* per nove distinti periodi di ritorno T_R .

Si determina, quindi, la maglia di riferimento in base alle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero e, sulla base della maglia interessata, si determinano i valori di riferimento del punto come media pesata dei valori nei vertici della maglia moltiplicati per le distanze dal punto.

L'allegato B alle norme tecniche per le costruzioni espone i nuovi dati di pericolosità sismica per tutto il territorio nazionale che permettono di definire l'azione sismica.

Per il sito in esame, i parametri sismici e i coefficienti sismici orizzontali (vedi allegati), si ottengono utilizzando l'applicazione della GEOSTRU al seguente link

<http://www.geostru.com/geoapp/parametri-sismici.aspx>

inserendo i dati riportati in tabella

Latitudine	41.268412° N
Longitudine	16.424680° E
Vita nominale	VN = 50
Classe d'uso	II
Coefficiente d'uso	CU = 1.0
Periodo di riferimento	VR = 50 anni
Categoria topografica	T1
Categoria di sottosuolo	B



WG584: Lat 41.268412 - Lng 16.424680



ED50: Lat 41.269386 - Lng 16.425508



Coefficienti sismici

Tipo **Stabilità dei pendii e fondazioni**

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m) us (m)

1 0.1

Cat. Sottosuolo **B**

Cat. Topografica **T1**

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,44	1,40	1,35	1,34
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.008	0.011	0.041	0.068
kv	0.004	0.005	0.020	0.034
Amax [m/s ²]	0.409	0.518	1.667	2.371
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Stati limite

Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale **50**

Interpolazione **Media ponderata**

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	Fo	Tc' [s]
Operatività (SLO)	30	0.035	2.504	0.258
Danno (SLD)	50	0.044	2.515	0.294
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.142	2.515	0.365
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.202	2.478	0.369
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

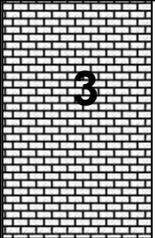
* * *

4. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO.

Sulla base delle indagini geognostiche:

- analisi di laboratorio;
- sismica a rifrazione (correlazioni esistenti in letteratura tra i parametri elastici ed i parametri geotecnici dei terreni)

è stato possibile rappresentare, relativamente al volume significativo, il seguente modello geotecnico del sito:

Litotipo	Descrizione	Spessore (medio) metri	Parametri geotecnici (valori medi)
 1	terreno vegetale e/o riporto	0.00 ÷ 1.00	$\gamma = 1.5 \text{ g/cm}^3$ (peso-volume) $\phi = 25^\circ$ (angolo di attrito) $c' = 0.00 \text{ Kg/cm}^2$ (coesione) $E_{\text{din}} = 315,5 \text{ Kg/cm}^2$ (mod. Young dinam.) $\nu = 0.43$ (coeff. Poisson)
 2	Sabbie limose e limi sabbiosi	1.00 ÷ 18.00	$\gamma = 1.83 \text{ g/cm}^3$ (peso-volume) $\phi = 35^\circ$ (angolo di attrito) $c' = 0.32 \text{ Kg/cm}^2$ (coesione) $E_{\text{din}} = 10532 \text{ Kg/cm}^2$ (mod. Young dinam.) $\nu = 0.40$ (coeff. Poisson)
 3	CALCARE fratturato e carsificato	18.00 in poi	$\gamma = 2.30 \text{ g/cm}^3$ (peso-volume) $E_{\text{din}} = 84265 \text{ Kg/cm}^2$ (mod. Young dinam.) $\nu = 0.28$ (coeff. Poisson) Ammasso roccioso (Bieniawski-1989) Classe III "discreto" $\phi = 26.50^\circ$ (angolo di attrito) $c' = 2.19 \text{ Kg/cm}^2$ (coesione)

* * *

5. COMPATIBILITA' GEOMORFOLOGICA.

L'articolo 89 del D.P.R. 6 giugno 2001, n.380 - "Parere sugli strumenti urbanistici" 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.

Ciò premesso le indicazioni utili per la valutazione del grado di compatibilità della trasformazione urbanistica proposta dalla Variante Strutturale al vigente PUG con i diversi fattori di rischio geologico presenti nel territorio sono state illustrate nella presente relazione geologica.

In sintesi gli studi geologici e idrogeo-morfologici, elaborati per l'area di interesse hanno consentito di definire quanto segue:

sotto l'aspetto geomorfologico

- il sito si mostra sub-pianeggiante con totale assenza di fenomeni di dissesto gravitativo in atto o quiescenti;

sotto l'aspetto idrogeologico

- la circolazione idrica della falda sotterranea è posizionata ad una profondità tale da non interagire con eventuali opere di fondazione;

sotto l'aspetto idrologico

- il sito in esame non ricade in aree definite dal PAI (Piano di Assetto Idrogeologico) a pericolosità idraulica;

sotto l'aspetto tettonico

- non si evidenziano linee di faglia o fratture;

sotto l'aspetto geotecnico

- le formazioni geologiche naturali presentano buoni parametri fisico-meccanici, con caratteristiche di resistenza e deformabilità più che accettabili (categoria di suolo di fondazione tipo "B")

Alla luce di quanto sopra esposto, non emerge alcuna pericolosità geologica del sito in oggetto.

§ § §

Trani, 11 gen. 2020

dr. geol. Raffaele Pansini

FIGURE - FOTO

Fig.1: Stralcio Catastale Foglio di Mappa N. 25 p.IIa 2168 – scala 1:2000

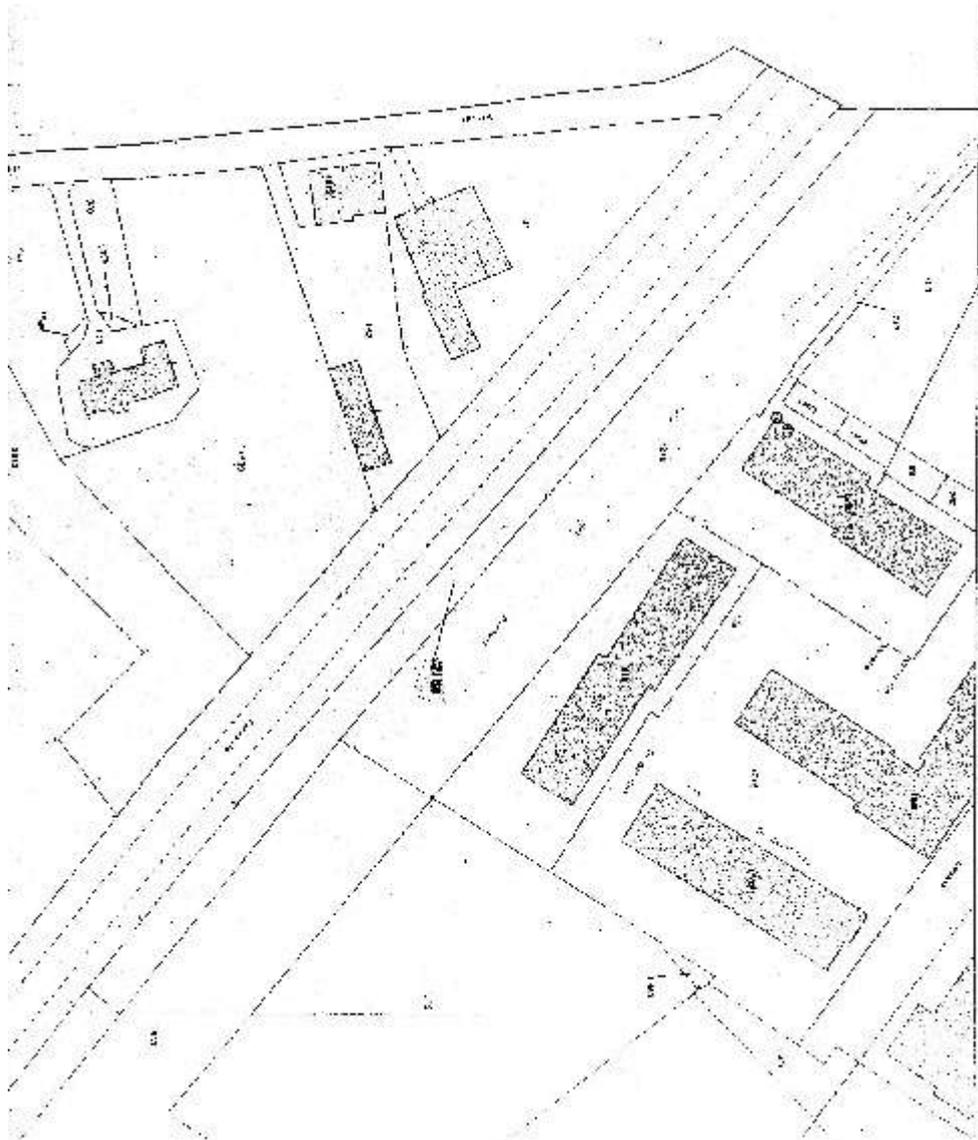
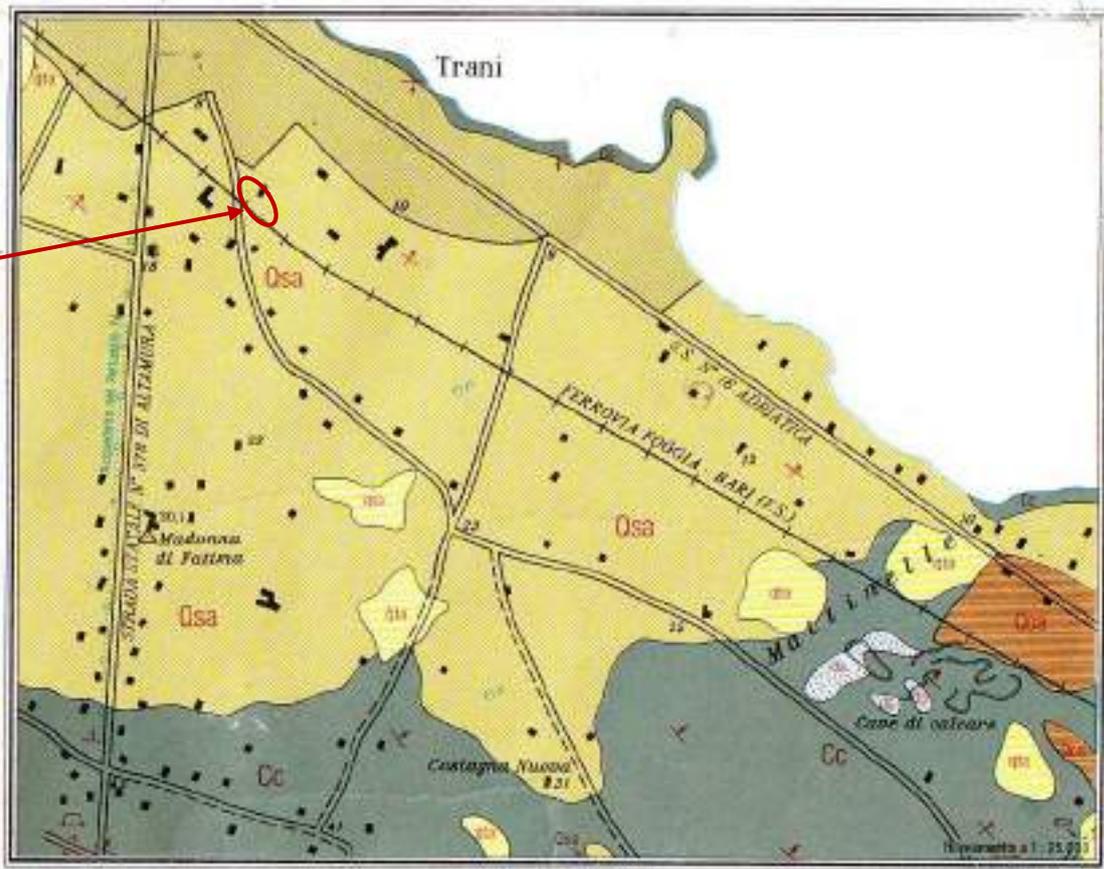


Fig.3 : Carta litologica - scala 1:25000

area in esame



Rivernante: M. Garati, P. Ricci, G. Rocchi (1978)

Scala di 1:25.000

Coordinato e edito: SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA

-  **Qsa** Discariche di cava.
-  **qta** Terre argillose bruno-rossastre a luoghi con pezzame e ciottoli calcarei, prevalenti nei solchi erosivi (localmente detti "Lame"). Idem: con matrice prevalentemente argillosa nella fascia pedemontana (scarpata dete Murge alte).
-  **Oca** Complesso sabbioso siltoso-argiloso con presenza di calcare incrostante in superficie ("Crosta Pugliese").
-  **Cc** Calcareniti organogene più o meno cementate, massicce o in banchi (localmente dette "Tufi calcarei").
-  **Cc** Calcari detritici a grana fine o micritici in strati e banchi, a luoghi stratiformi (localmente detti "Chioncarolo").
-  Linea litologica.
-  Archeol.
-  Cave.
- SIMBOLI ED INCLUSIONI DEI STRATI**
-  Roc. a 10°.
-  Olla 10°.

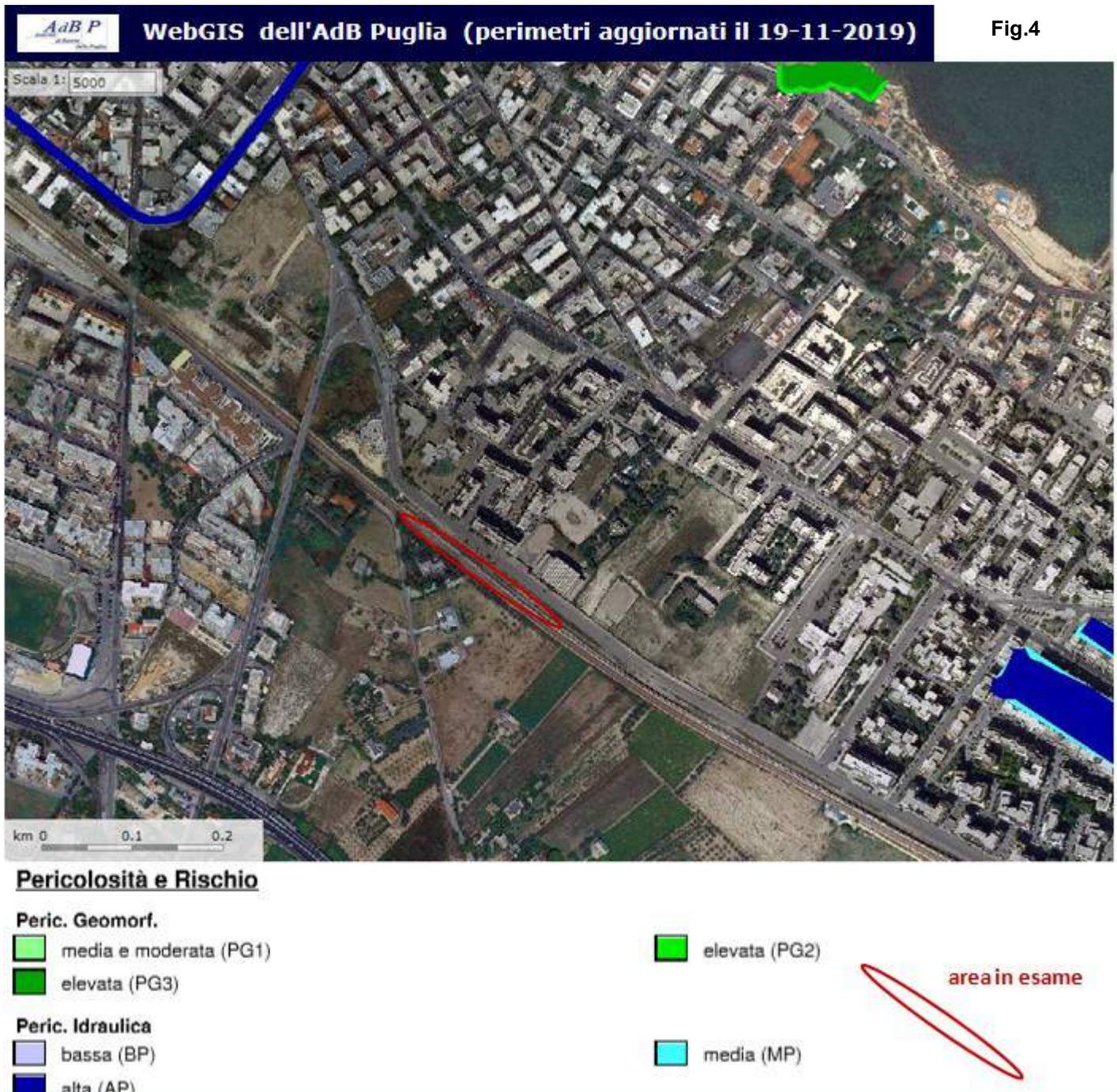


Fig.5

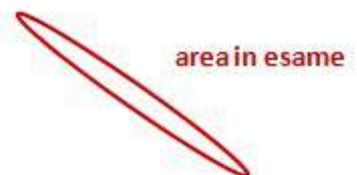


Forme ed elementi legati all'idrografia superficiale

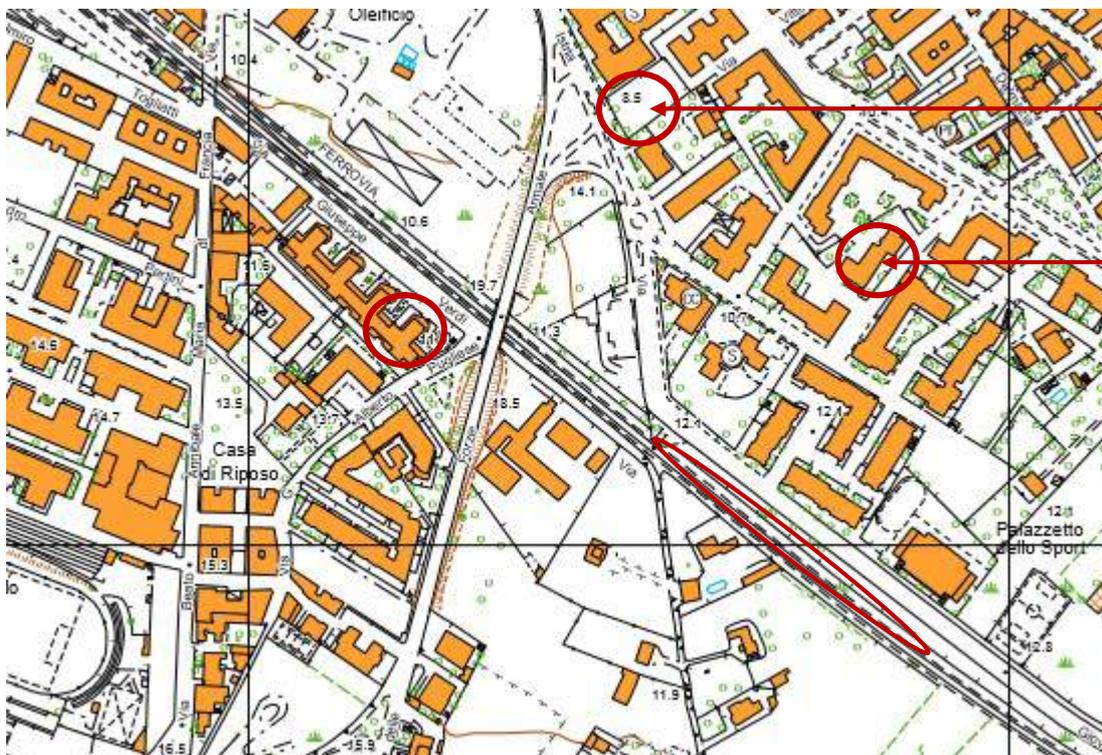
Corsi di acqua

-  Corso d'acqua
-  Corso d'acqua obliterato

-  Corso d'acqua episodico
-  Corso d'acqua tombato



**Fig.6: C.T.R. elemento 424103 – Madonna di Fatima – scala 1:5000
Ubicazione aree precedenti indagini**



Foglio 25
p.Ile 1108 - 1865

Foglio 25
p.Ile 1339

area in esame

area oggetto
di precedenti
indagini

Fig.7: Schema dei rapporti litostratigrafici
 (Ubicazione perforazioni: Catasto Terreni al F° 25 p.IIa 1339)

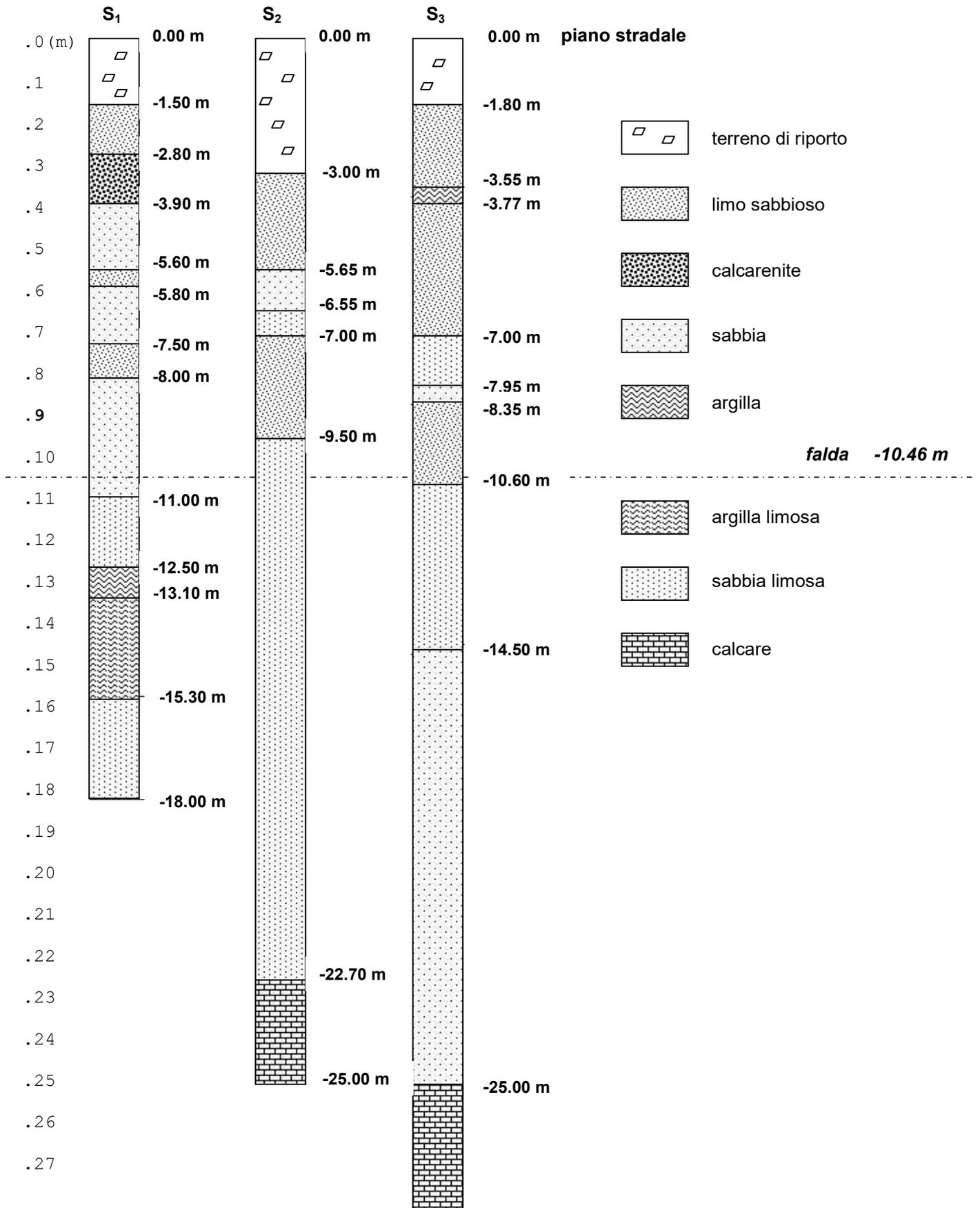
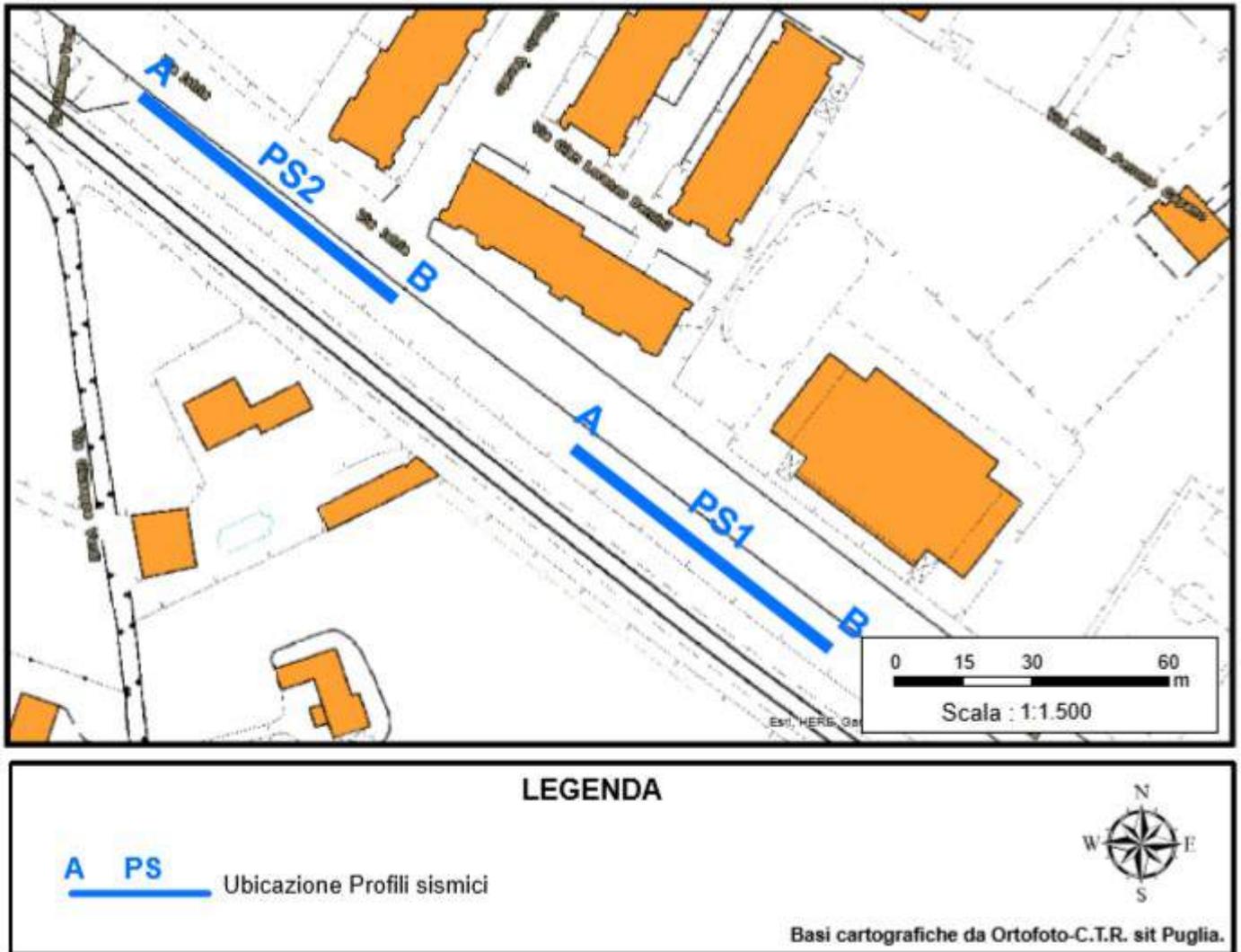


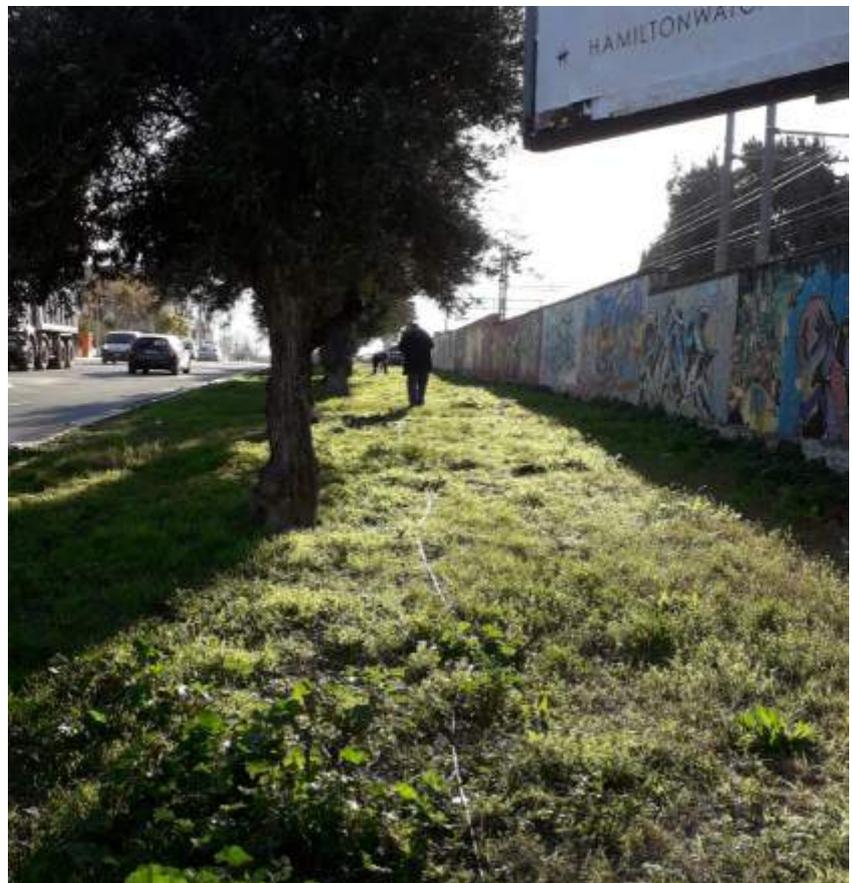
Fig.8: Ubicazione profili sismici
(Stralcio CTR sit Puglia – scala 1:500)



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Profilo sismico n°1
(rifrazione in onde P - MASW)



Profilo sismico n°2
(rifrazione in onde P - MASW)

Comune di:
TRANI (BT)



Regione Puglia



INDAGINE GEOFISICA ESEGUITA PER IL "SUOLO EDIFICABILE
RICOMPRESO NEL CP/9 DEL PUG FG. 25 P.LLA 2168 - PROP.
DE.LE.VA SRL VARIANTE STRUTTURALE AL PUG EX DELIBERA
COMMISSARIO AD ACTA N.01 DEL 21/08/2018"

Gennaio 2020

Committente:

"SOC. DE.LE.VA. s.r.l."

Via Papa Montini n.13
70058- Molfetta

Elaborato:

PROSPEZIONE SISMICA

PRO **GEO**

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

PRO-GEO s.a.s.
di Alberto Angelo Raffaele Quarto & C.
Via M. R. Imbriani, 13 - 76121 Barletta
P. IVA: 05578650722
TELE FAX: 0863-390511
EMAIL: progeosas@alice.it
MOB. 3356098214
PEC: info@pec.progeosas.net

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

GEOLOGIA E GEOFISICA

PROSPEZIONI GEOFISICHE IN SUPERFICIE ED IN FORO
INDAGINI IDROGEOLOGICHE E GEOLOGICO-TECNICHE

Indice

1	PREMESSA	2
2	AZIONE SISMICA	3
3	INDAGINE M.A.S.W.	6
	3.1 Metodologia indagine M.A.S.W.	6
	3.2 Attrezzature e tecniche operative	8
	3.3 Risultati	9
4	PROSPEZIONE SISMICA	11
	4.1 Metodologia sismica a rifrazione	11
	4.2 Attrezzature e tecniche operative	13
	4.3 Risultati	14

ALLEGATI

Ubicazione area d'indagine (da CTR) - scala 1:15.000

Ubicazione misure geofisiche (da CTR) - scala 1:500

Ubicazione misure geofisiche (da Ortofoto) - scala 1:500

Allegato profilo sismico

- *Sismogrammi analisi MASW (metodo Re.Mi.)*
- *Analisi profili MASW (metodo Re.Mi.)*
- *Sismogrammi sismica a rifrazione onde P*
- *Dromocrone*
- *Tomografie sismiche ed interpretazioni sismostratigrafiche*
- *Documentazione fotografica*

1 PREMESSA

Per incarico conferito alla "PRO-GEO s.a.s." dalla "DE.LE.VA. S.r.l." è stata eseguita una prospezione geofisica propedeutica alla VARIANTE STRUTTURALE AL PUG ex Delibera Commissario ad Acta n.01 del 21/08/2018 del Comune di Trani (BT). Suolo edificabile ricompreso nel Cp/9 del PUG (Fg. 25 p.IIa 2168).

L'indagine è stata mirata alla definizione delle caratteristiche fisico-dinamiche dei terreni, alla ricostruzione stratigrafica del sito e alla classificazione del sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018.

A tal fine sono state effettuate le seguenti indagini geognostiche:

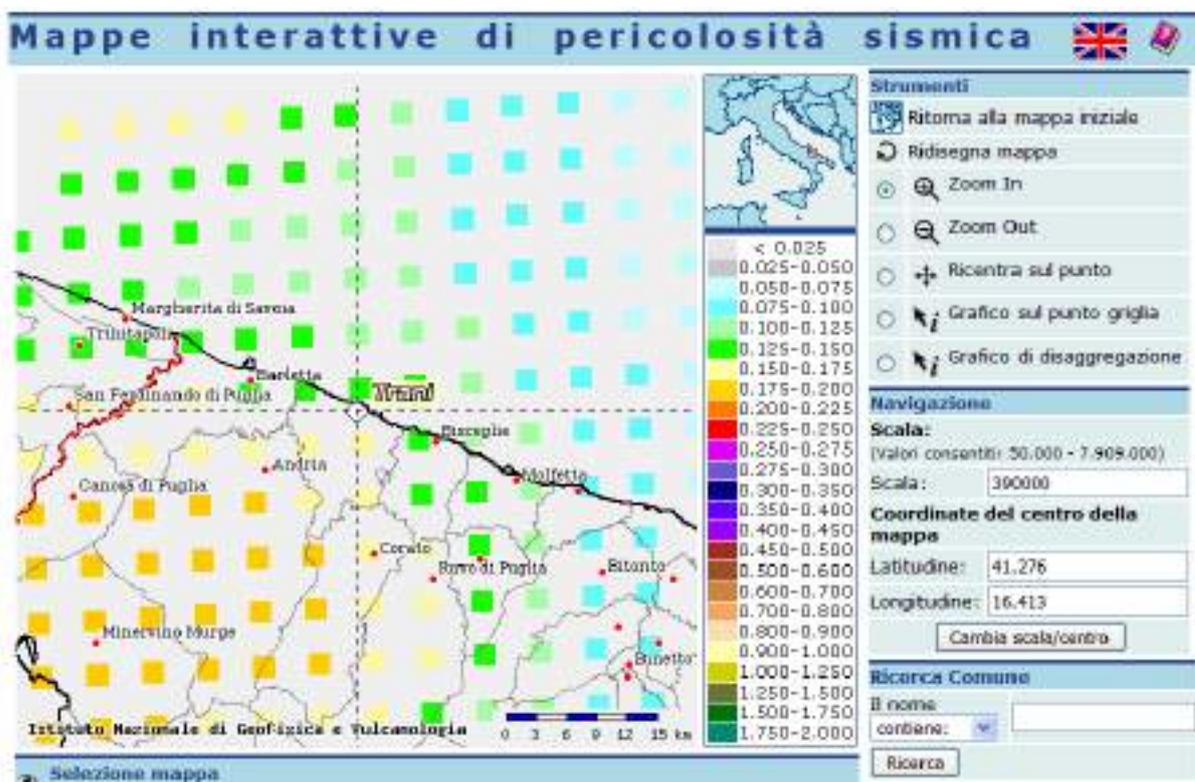
- n. 2 profili sismici con la tecnica MASW (metodo Re.Mi.);
- n. 2 profili sismici a rifrazione in onde P;



Ubicazione del sito d'indagine

2 AZIONE SISMICA

Le recenti Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 e l'OPCM del 20 marzo 2003 n. 3274, superano il concetto della classificazione del territorio in zone, imponendo nuovi e precisi criteri di verifica dell'azione sismica nella progettazione delle nuove opere ed in quelle esistenti, valutata mediante una analisi della risposta sismica locale. In assenza di queste analisi, la stima preliminare dell'azione sismica può essere effettuata sulla scorta delle "categorie di sottosuolo" e della definizione di una "pericolosità di base" fondata su un reticolo di punti di riferimento, costruito per l'intero territorio nazionale. Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di a_g e dei principali "parametri spettrali" riferiti all'accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima F_0 e periodo di inizio del tratto a velocità costante T^*C). Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica vengono forniti dall'INGV e pubblicati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.



Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Ordinanza 3274)

Secondo le NTC l'area in questione è caratterizzata da un'accelerazione compresa tra **0.125-0.150 g**, come evidenziato nella figura a, in cui è riportata la mappa di pericolosità sismica per il sito in questione con una probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni (riferita a suoli rigidi - categoria A).

Tale mappa di pericolosità sismica è riferita ad un periodo di ritorno $TR=975$, corrispondente ad una vita nominale dell'opera $V_N=50$ anni e ad un coefficiente d'uso $CU=1.5$ (strutture importanti), parametri legati tra loro dalla seguente formula:

$$TR = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) \text{ dove } V_R = V_N \cdot C_U$$

Valori dei parametri per la definizione del periodo di ritorno		
P_{V_R} (Stato Limite)	C_U	V_N [anni]
81% Operatività (SLO)	0.7 (I. Strutture secondarie)	≤ 10 (Opere provvisorie)
63% Danno (SLD)	1.0 (II. Strutture ordinarie)	≥ 50 (Opere ordinarie)
10% Salvaguardia della vita (SLV)	1.5 (III. Strutture importanti)	≥ 100 (Grandi opere)
5% Prevenzione del Collasso (SLC)	2.0 (IV. Strutture strategiche)	

I nuovi criteri di caratterizzazione sismica locale, come accennato in precedenza, sono menzionati nelle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni 2018", entrate ufficialmente in vigore in data 22/03/2018, per le quali è necessario, inoltre, caratterizzare il sito in funzione degli spettri di risposta sismica delle componenti orizzontali e verticali del suolo. Gli spettri di risposta sismica vanno stimati in relazione ai differenti Stati Limite a cui un manufatto è potenzialmente sottoposto; tale stima è stata effettuata mediante l'applicazione della GEOSTRU al seguente link:

<http://www.geostru.com/geoapp/parametri-sismici.aspx>

Essa fornisce i parametri sismici (a_g , F_0 e T_C^*) per gli stati limite SLO, SLD, SLV, SLC, tipici del luogo o della costruzione in esame.

Di seguito vengono mostrati i risultati riferiti alla seguente maglia sismica in cui ricade il sito:

Stati limite

Classe Edificio

Il Afollamento normale. Assenza di fuzi pe...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [mm]	$a_y [g]$	Fo	Tc' [s]
Operatività (SLD)	30	0.035	2.503	0.208
Danno (SLD)	50	0.044	2.515	0.204
Sottrazione via (SLV)	475	0.140	2.524	0.206
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.199	2.498	0.210
Periodo di riferimento per l'azione sismica	50			

Coefficienti sismici

Tipo: Mani di sostegno NTC 2008

Mani di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

$\beta_1 [m]$: 1 $\beta_2 [m]$: 0.1

Cat. soffrevoles: 0

Cat. Topografica: T1

	SLD	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. line. categoria	1,44	1,40	1,34	1,34
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0.0

Coefficienti	SLD	SLD	SLV	SLC
k_1	0.008	0.010	0.030	0.057
k_v	0.004	0.005	0.020	0.029
Area [m/s²]	0.409	0.510	1.647	2.336
Delta	0.100	0.150	0.240	0.240

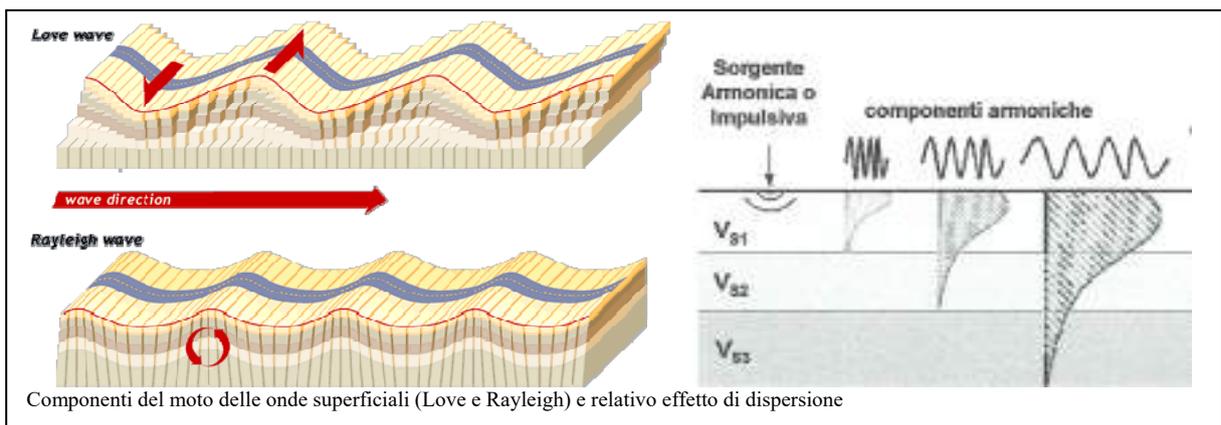
Visualizza verti della maglia di appartenenza.

Ubicazione dell'area all'interno della maglia sismica di riferimento e relativi parametri sismici – CATEGORIA B

3 INDAGINE M.A.S.W

3.1 Metodologia indagine M.A.S.W.

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



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

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

- Nel "metodo attivo" le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno

stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

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

In questa indagine è stato utilizzato il **“metodo Masw passivo”** (metodo Re.Mi.) poiché rappresenta il metodo più indicato in ambito urbano, dove è presente una grande quantità di “rumore” generato dal traffico.

3.2 Attrezzature e tecniche operative

Per le misure eseguite sono state utilizzate le seguenti attrezzature:

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



- Un cavo con 24 collegamenti per i geofoni.
- 24 geofoni a componente verticale con frequenza di 4.5 Hz.
- SeisOpt ReMi v.2.0 della Optim LLC.

I profili eseguiti hanno una lunghezza di 69 metri; l’acquisizione è stata effettuata con uno stendimento di 24 geofoni interdistanziati di 3.0 metri. Sono state acquisite sei registrazioni di 20 secondi con una frequenza di campionamento di 500 Hz.

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

I sei spettri di potenza p-f ottenuti sono stati sommati e sullo spettro risultante sono stati individuati una serie di punti sul confine inferiore dell’area ad alta energia (piking).

Tali valori sono stati riportati su un grafico velocità di fase/periodo ed è stata analizzata la relativa curva di dispersione. E’ stato poi calcolato un modello ottimale di velocità di onde trasversali mediante il “fitting” tra curva di dispersione e valori sperimentali.

3.3 Risultati

I modelli di Vs-profondità, ottenuti mediante l'analisi MASW, sono schematizzati di seguito:

Masw 1	
Vs (m/s)	Profondità (mt)
114	0.0÷1.0
442	1.0÷18.0
1210	18.0÷30.0

Masw 2	
Vs (m/s)	Profondità (mt)
168	0.0÷1.0
460	1.0÷17.0
1155	17.0÷30.0

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

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

dove:

- h_i** spessore dell'*i*-esimo strato;
- $V_{s,i}$** velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;
- N** numero di strati;
- H** profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

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.

Poiché le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II (di seguito), 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 .

Pertanto il sito in esame rientra in **categoria di sottosuolo B** con $V_{s,eq}$ pari a **381 m/s**, MASW 1, e $V_{s,eq}$ pari a **417 m/s**, MASW 2.

Categoria	Descrizione	V_s min [m/s]	V_s max [m/s]
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.	800	-
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 e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.	360	800
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.	180	360
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 m/s e 180 m/s.	100	180
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.	-	-

NB: in molti casi (contrastati di impedenza*, inversioni di velocità**, depositi di elevato spessore, etc.), la stima degli effetti di sito mediante la $V_{s,eq}$ risulta offetta da notevoli incertezze e si deve fare riferimento, come del resto prescritto in generale dalle NTC2018, alla RSL mediante analisi numerica: v. RSL III Geostru.

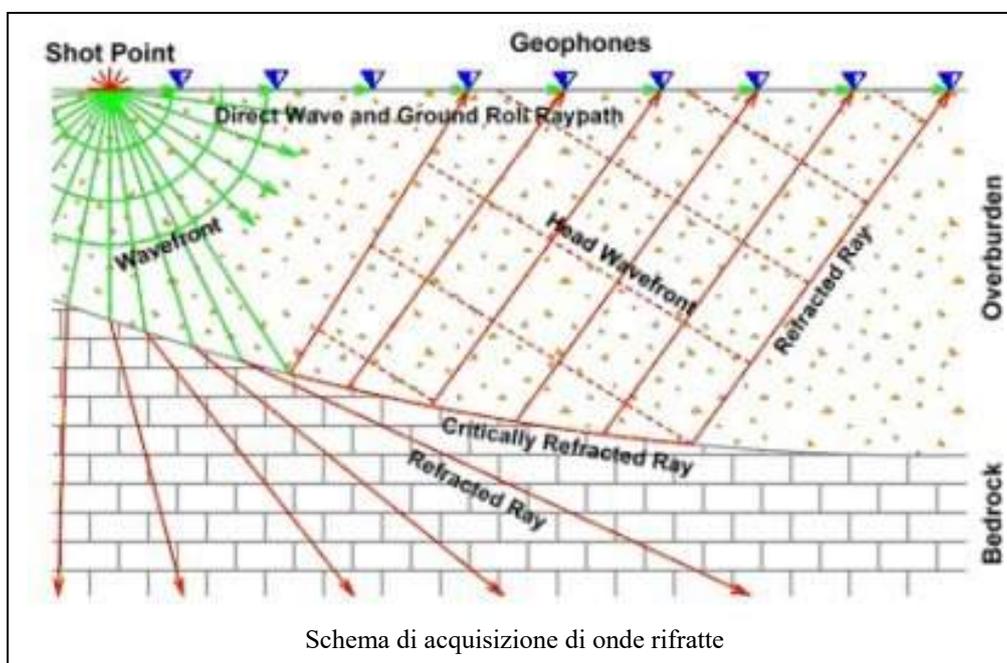
4 PROSPEZIONE SISMICA

4.1 Metodologia sismica a rifrazione

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

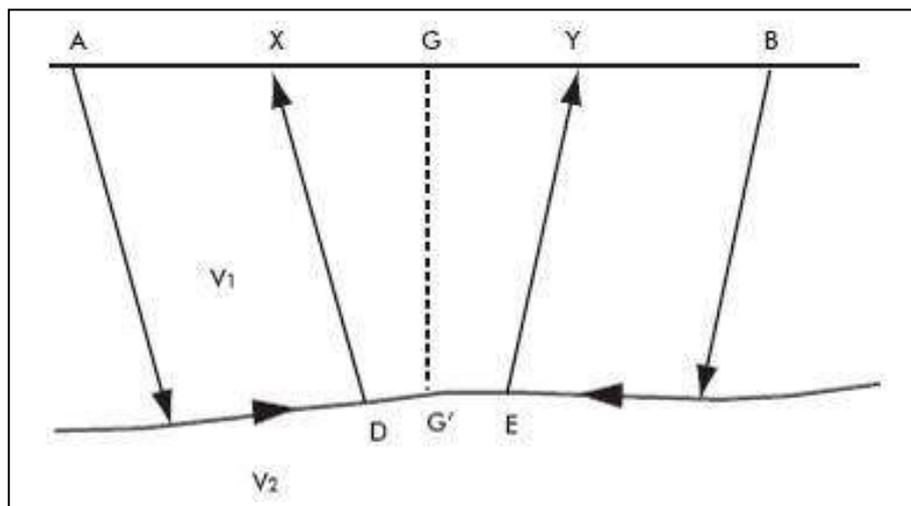
Mediante questo tipo di indagine si può risalire alla composizione litologica di massa dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità in cui si trova la roccia di fondo ("bedrock").

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



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

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



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

4.2 Attrezzature e tecniche operative

Per i profili eseguiti è stata utilizzata le seguenti attrezzature:

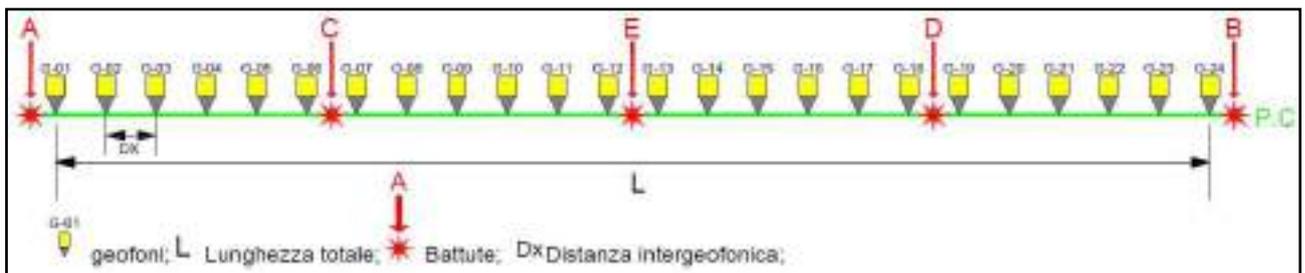
- Un sismografo DAQ LINK – III a 24 bit della “Seismic Source Co” con intervallo minimo di campionamento di 0.0208 ms e altissima risoluzione (118 db).



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

Denominazione	Lunghezza (metri)	Distanza geofonica (metri)
Profili sismici 1 e 2	72	3.0

Di seguito è mostrato lo schema geometrico di acquisizione:



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

4.3 Risultati

L'elaborazione dei dati ha permesso di ricostruire il sottosuolo secondo 3 "sismostrati", così caratterizzati:

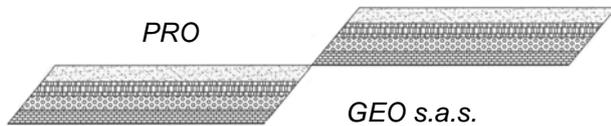
1. **Il primo sismostrato** (si approfondisce fino a 1.0 m circa dal p.c.) ha velocità V_p compresa tra 410-440 m/s e V_s compresa tra 114-168 m/s;
2. **Il secondo sismostrato** (è profondo circa 17-18 m dal p.c.) ha velocità V_p compresa tra 1100-1200 m/s e V_s compresa tra 442-460 m/s;
3. **Il substrato rifratore** ha velocità V_p compresa tra 2100-2200 m/s e V_s compresa tra 1155-1210 m/s.

Per ciò che concerne la correlazione delle caratteristiche fisico-dinamiche con quelle geologico-tecniche del sottosuolo esplorato, si può ritenere che:

1. **Il primo sismostrato** è associabile a *Terreno di riporto*;
2. **Il secondo sismostrato** è associabile a *Sabbie limose e limi sabbiosi*;
3. **Il substrato rifratore** è associabile a *Calcere mediamente fratturato e carsificato*.

Nella tabella che segue sono mostrati tutti i valori delle velocità sismiche, il coefficiente di Poisson ed i valori dei moduli dinamici E (di Young), G (di taglio) e K (di compressibilità), espressi in Kg/cm^2 . Questi valori sono calcolati considerando un peso di volume medio per le litologie presenti in sito.

Le velocità V_s sono state ricavate dall'indagine sismica MASW eseguita.



Profilo 1

Profondità media (m)	Vp	Vs	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0÷1	410	114	0,46	1,5	580	199	2308
2° sismostrato 1÷18	1100	442	0,40	1,8	10074	3588	17440
substrato >18	2200	1210	0,28	2,3	88182	34362	67776

Profilo 2

Profondità media (m)	Vp	Vs	σ	γ	E	G	K
1° sismostrato 0÷1	440	168	0,41	1,5	1222	432	2387
2° sismostrato 1÷17	1200	460	0,41	1,8	10990	3887	21267
substrato >17	2100	1155	0,28	2,3	80348	31309	61755

Vp = velocità onde longitudinali in m/s

Vs = velocità onde trasversali in m/s

σ = coefficiente di Poisson

γ = peso di volume in g/cm³

E = modulo dinamico di Young in Kg/cm²

G = modulo dinamico di taglio in Kg/cm²

K = modulo dinamico di compressibilità in Kg/cm²

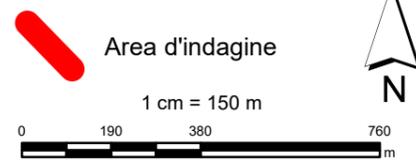
Ubicazione area d'indagine (da CTR)

Trani (BT)

Area d'indagine

Area d'indagine

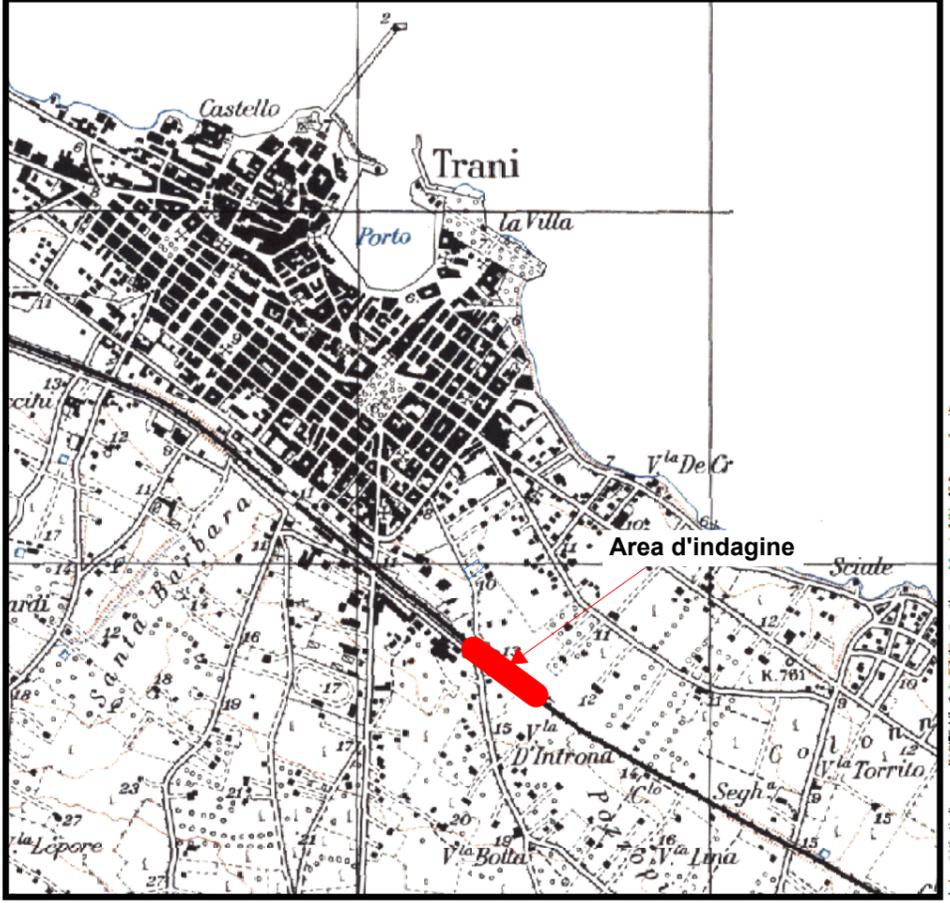
LEGENDA



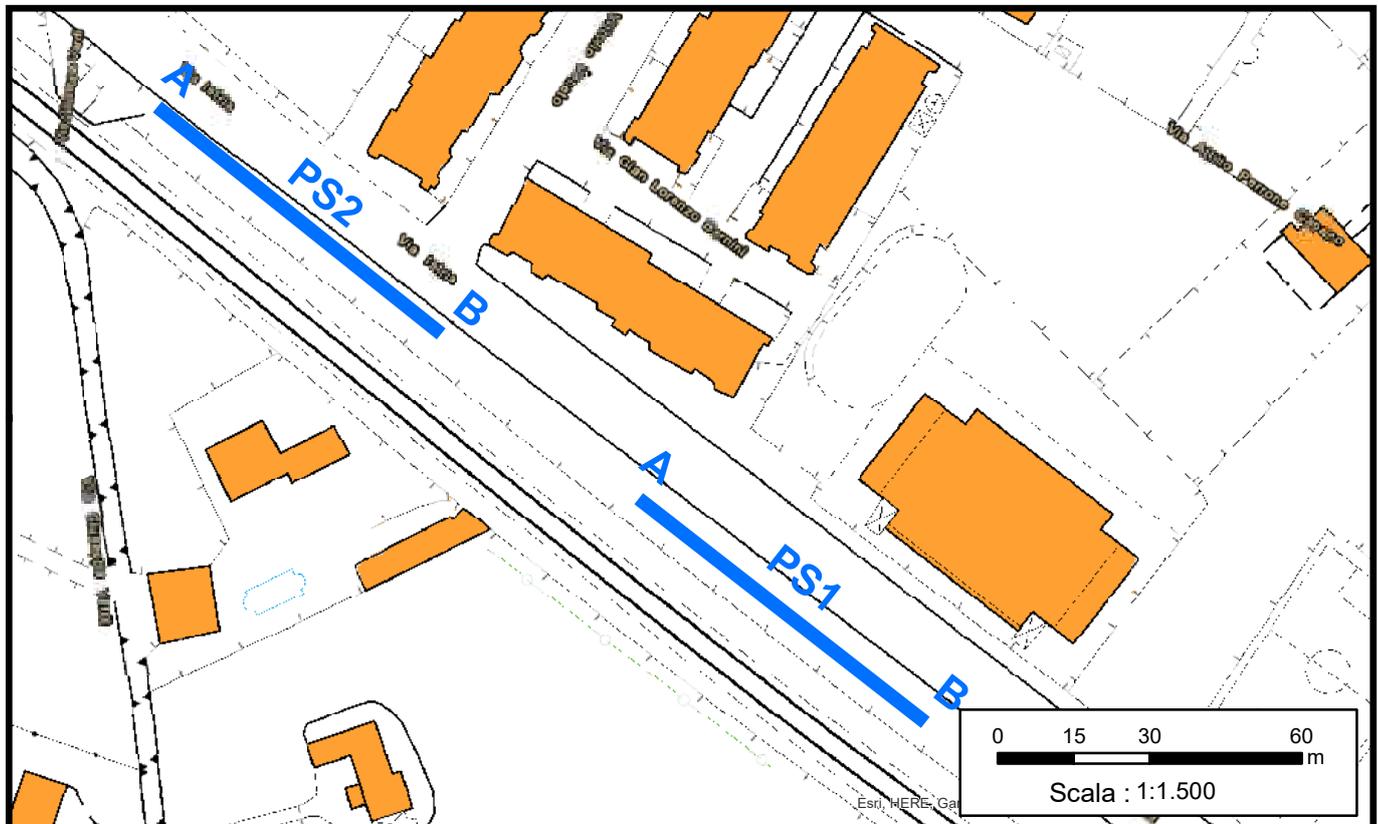
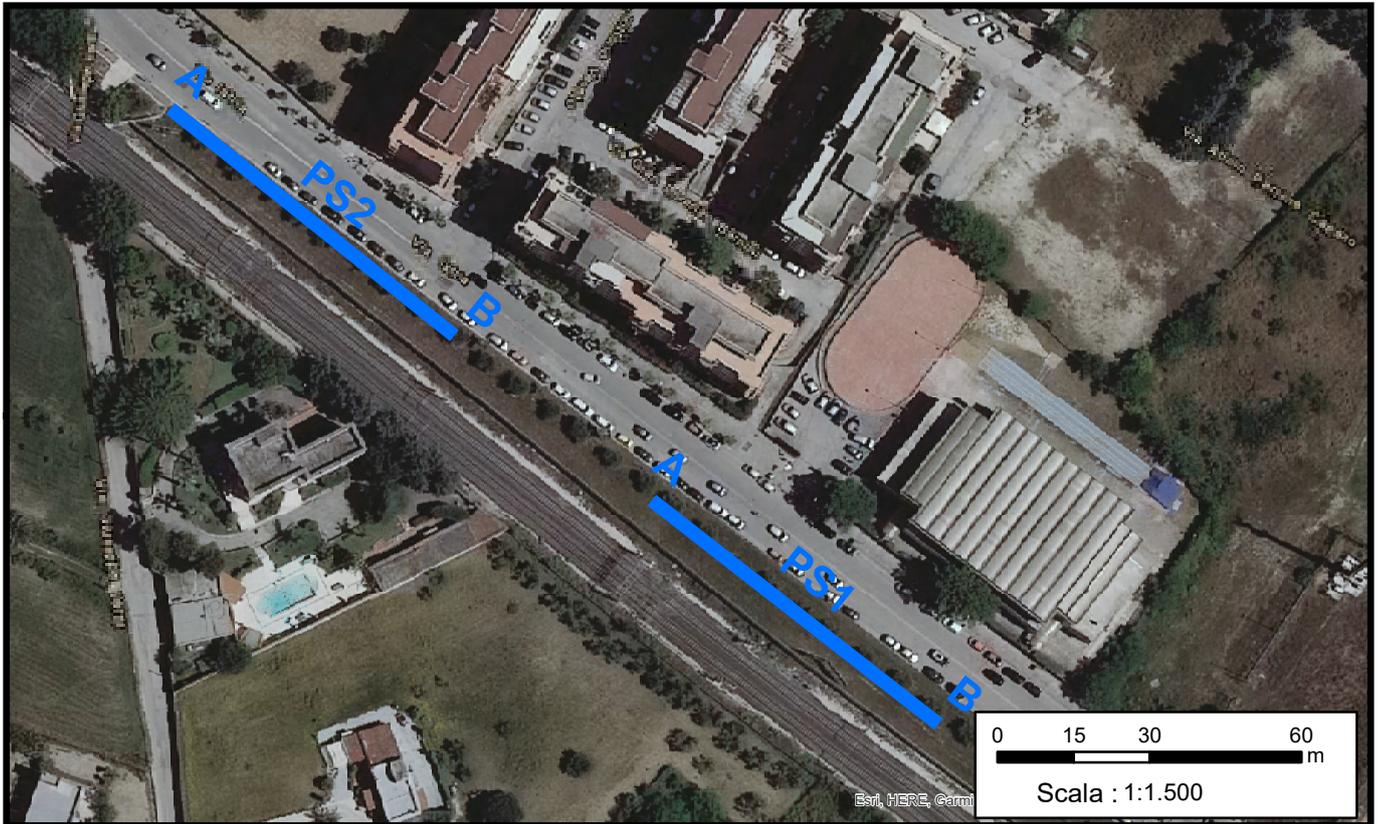
1 cm = 150 m

Scala : 1:15.000

Base cartografica da C.T.R. Puglia



Ubicazione profili sismici



LEGENDA

A PS
 Ubicazione Profili sismici

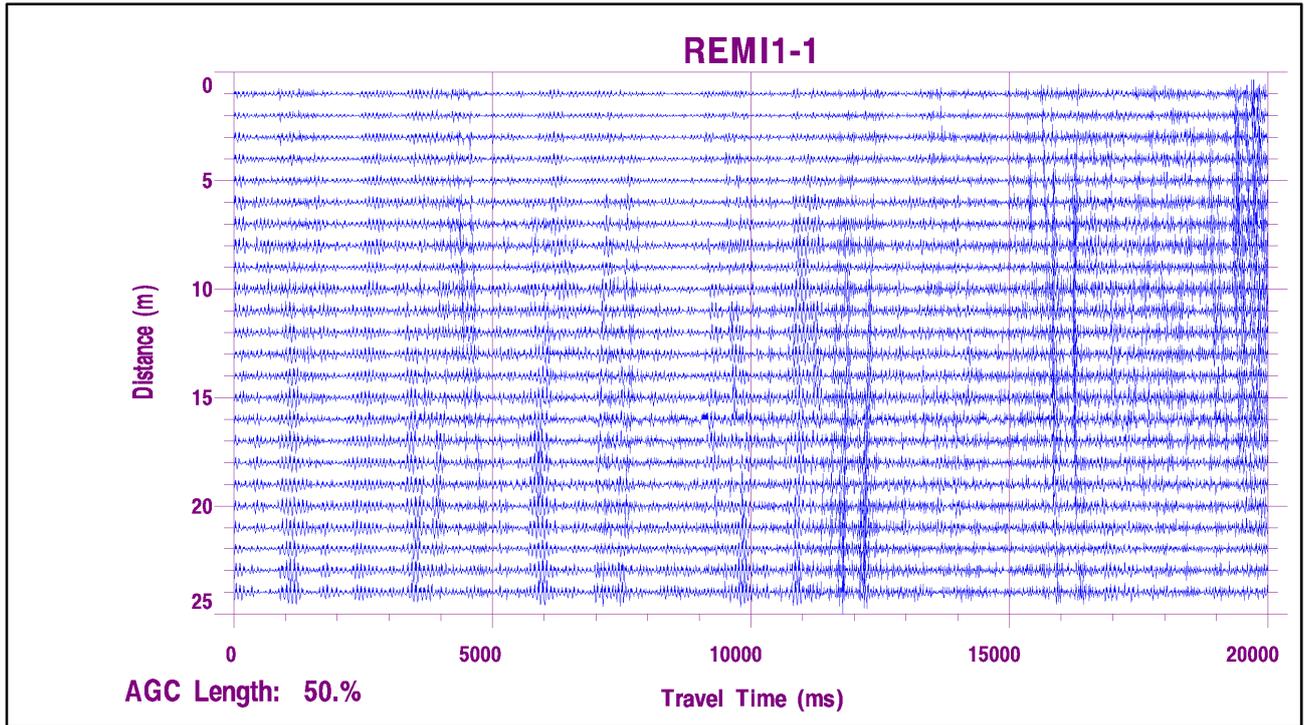


Basi cartografiche da Ortofoto-C.T.R. sit Puglia.

ALLEGATO "STENDIMENTO SISMICO 1"

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

SISMOGRAMMI ANALISI MASW 1 (METODO RE.MI.)



Analisi Re.Mi. 1 (Metodo Passivo)

Immagine p-f

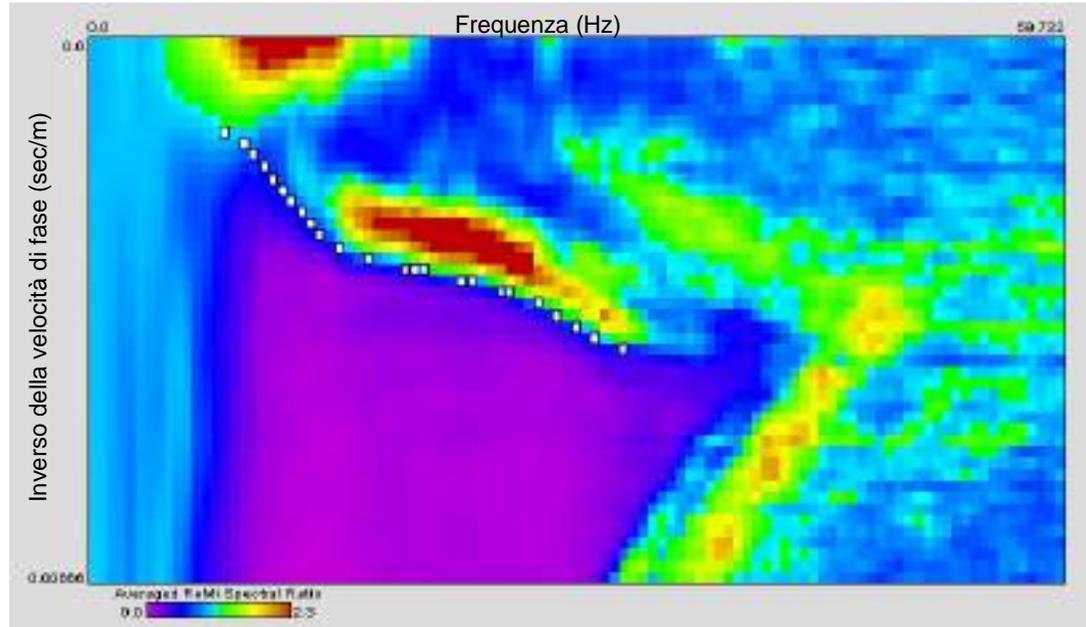


Grafico del modello di velocità
Delle onde trasversali

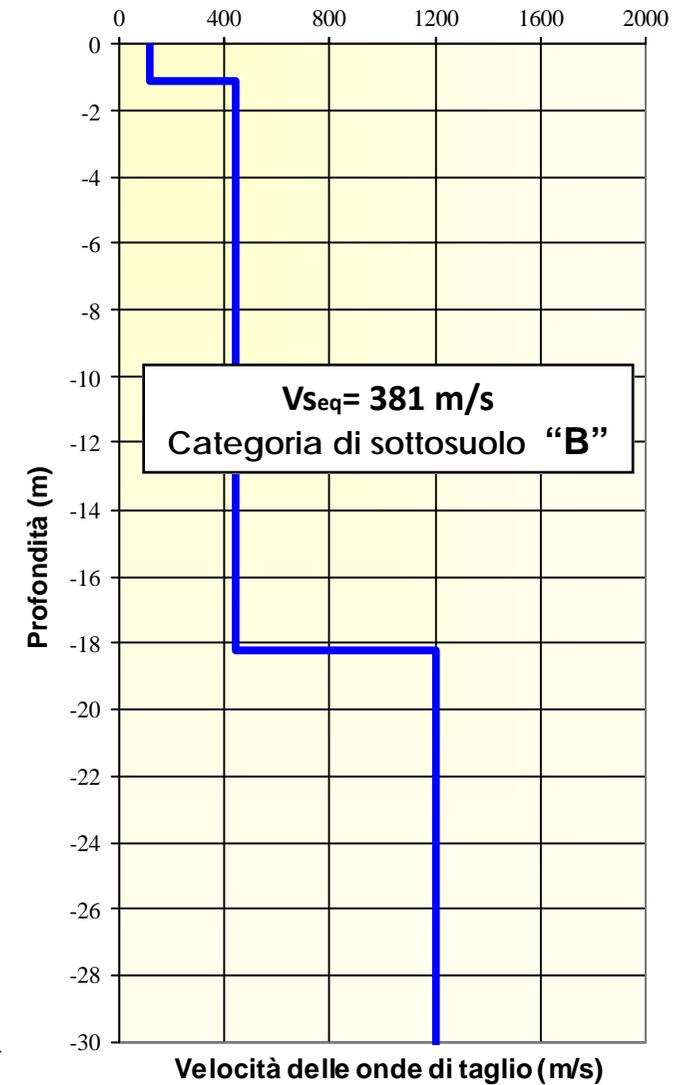
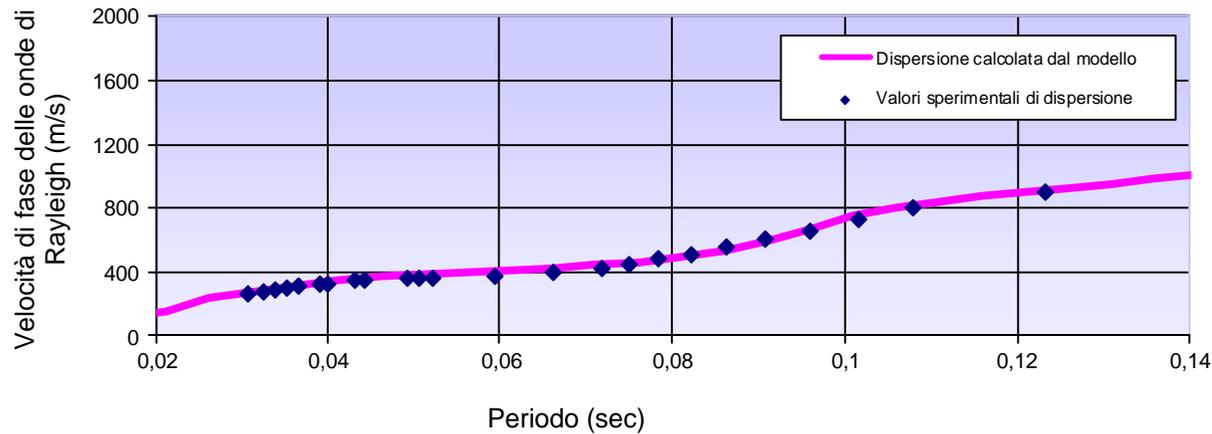
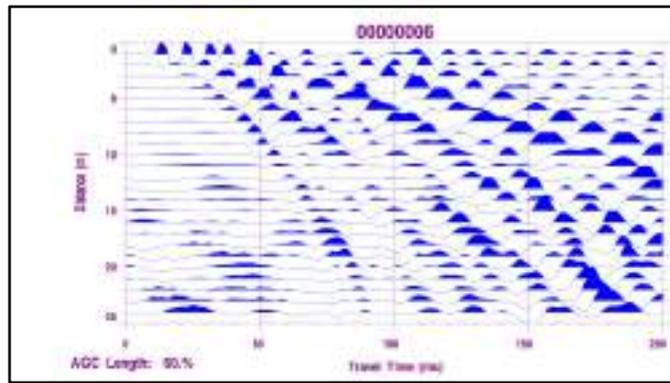


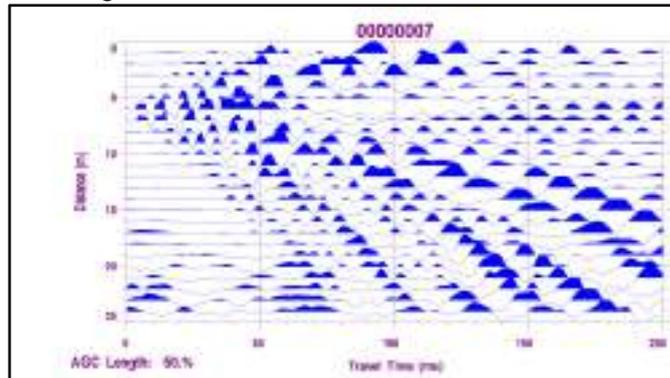
Diagramma velocità di fase-periodo



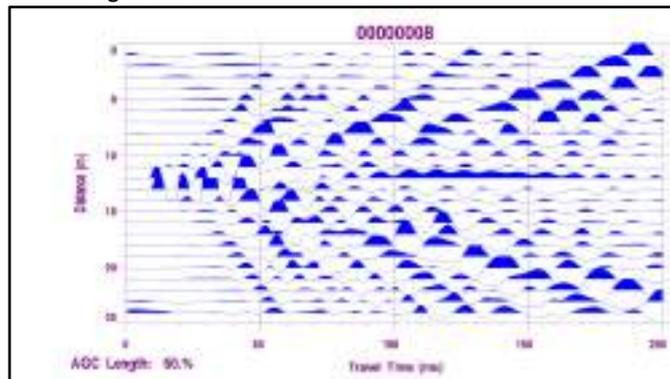
SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE LONGITUDINALI (ONDE P) PROFILO 1



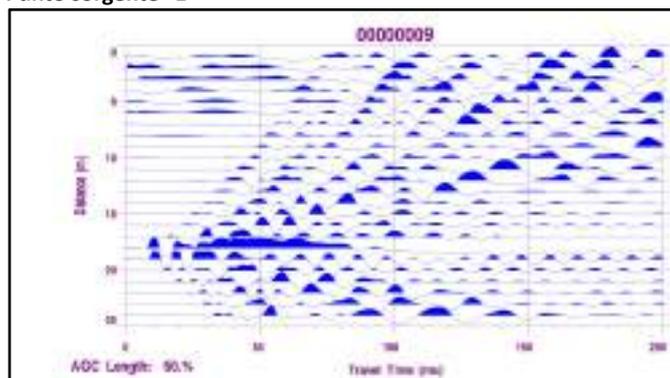
Punto sorgente "A"



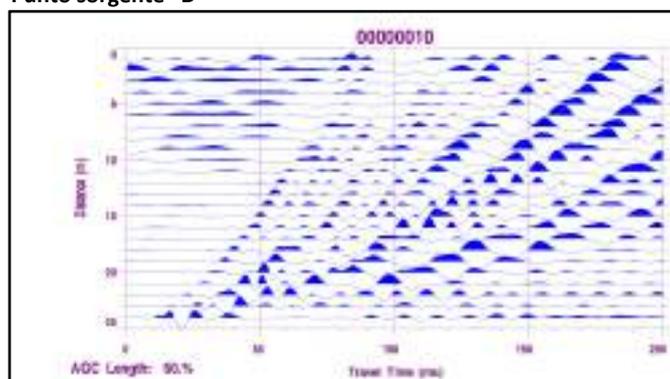
Punto sorgente "C"



Punto sorgente "E"

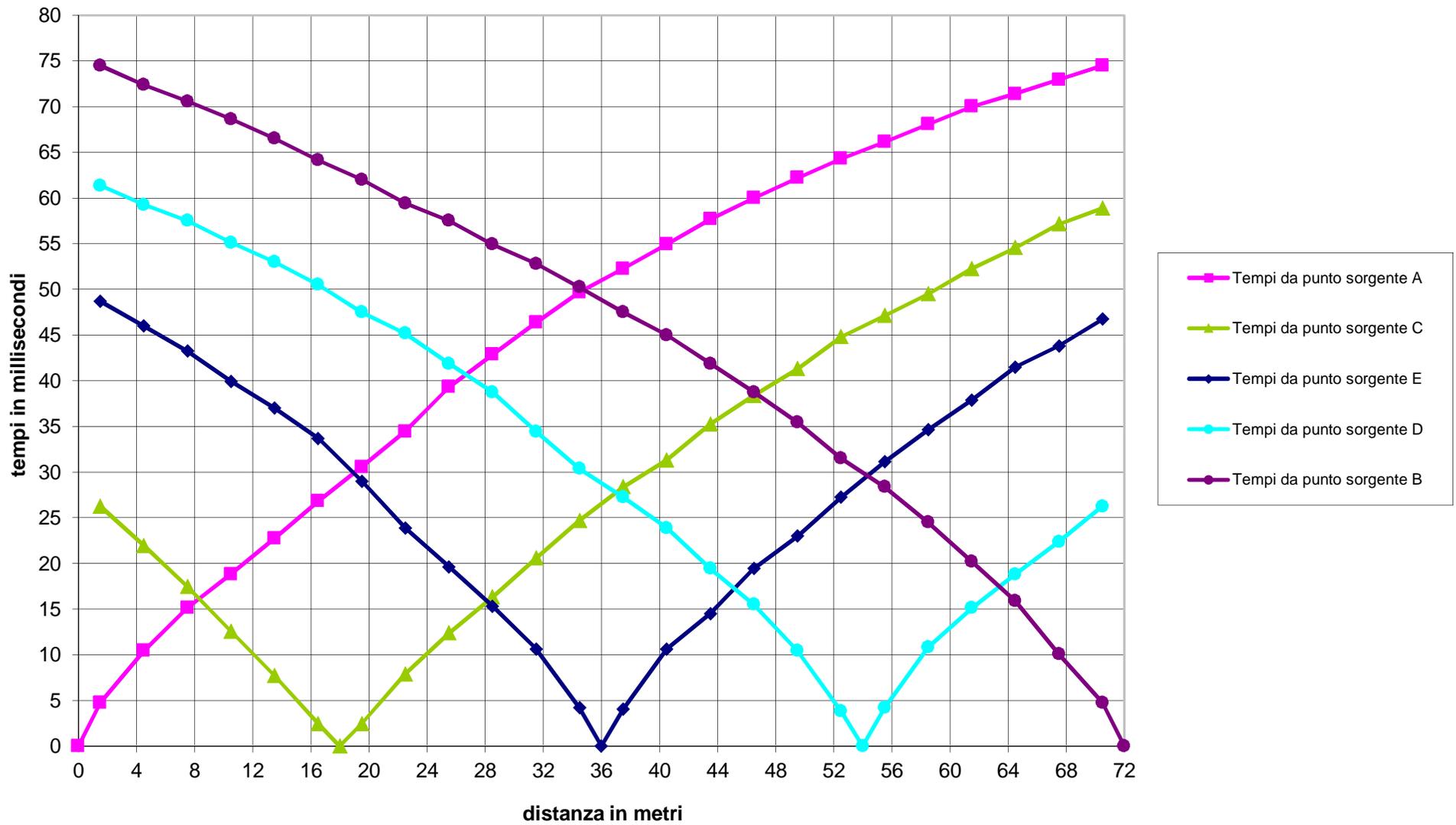


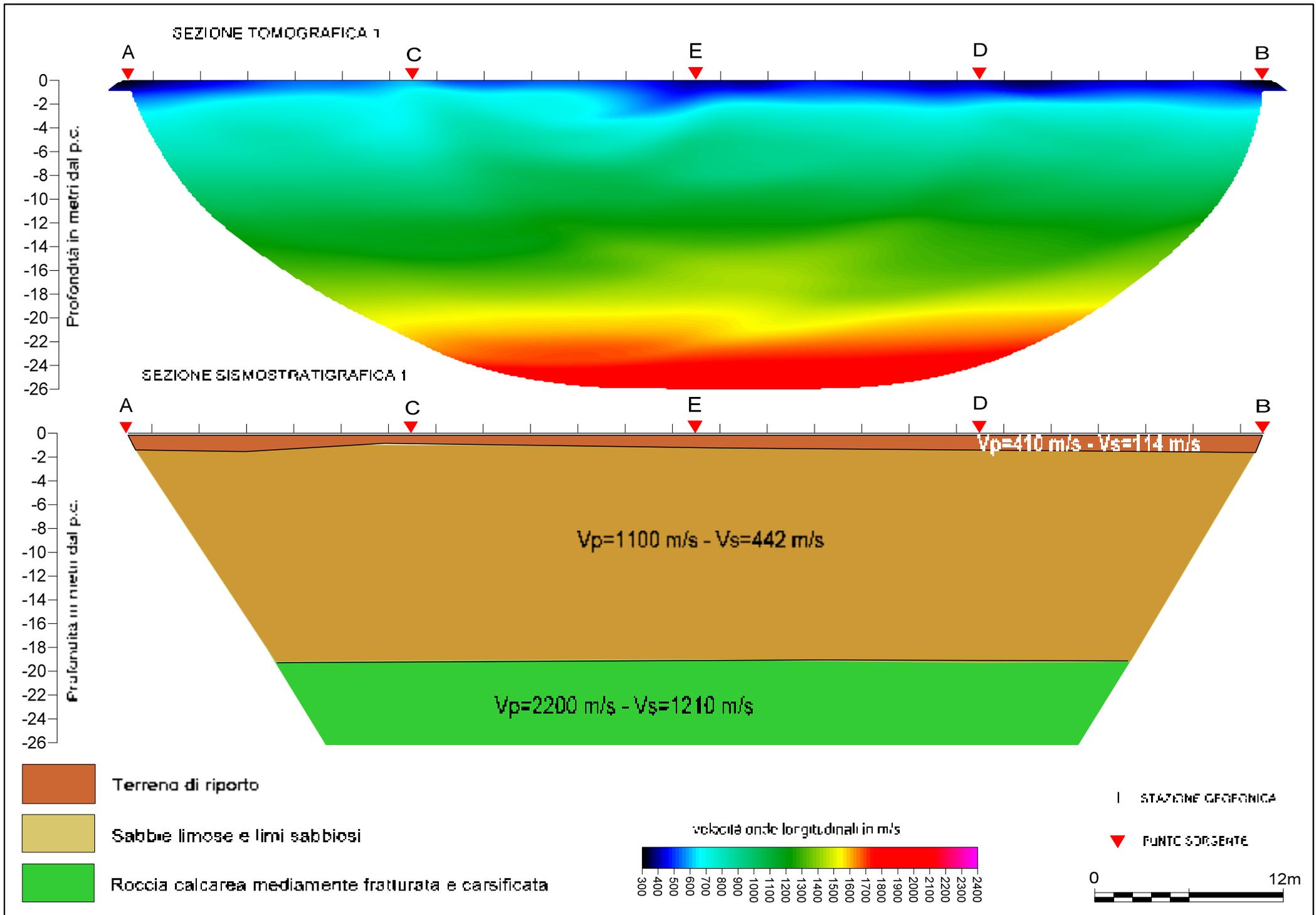
Punto sorgente "D"



Punto sorgente "B"

Dromocrone profilo sismico 1 - ONDE LONGITUDINALI





DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA STENDIMENTO SISMICO 1

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE LONGITUDINALI (ONDE P) E MASW.



Acquisizione dati misure sismiche



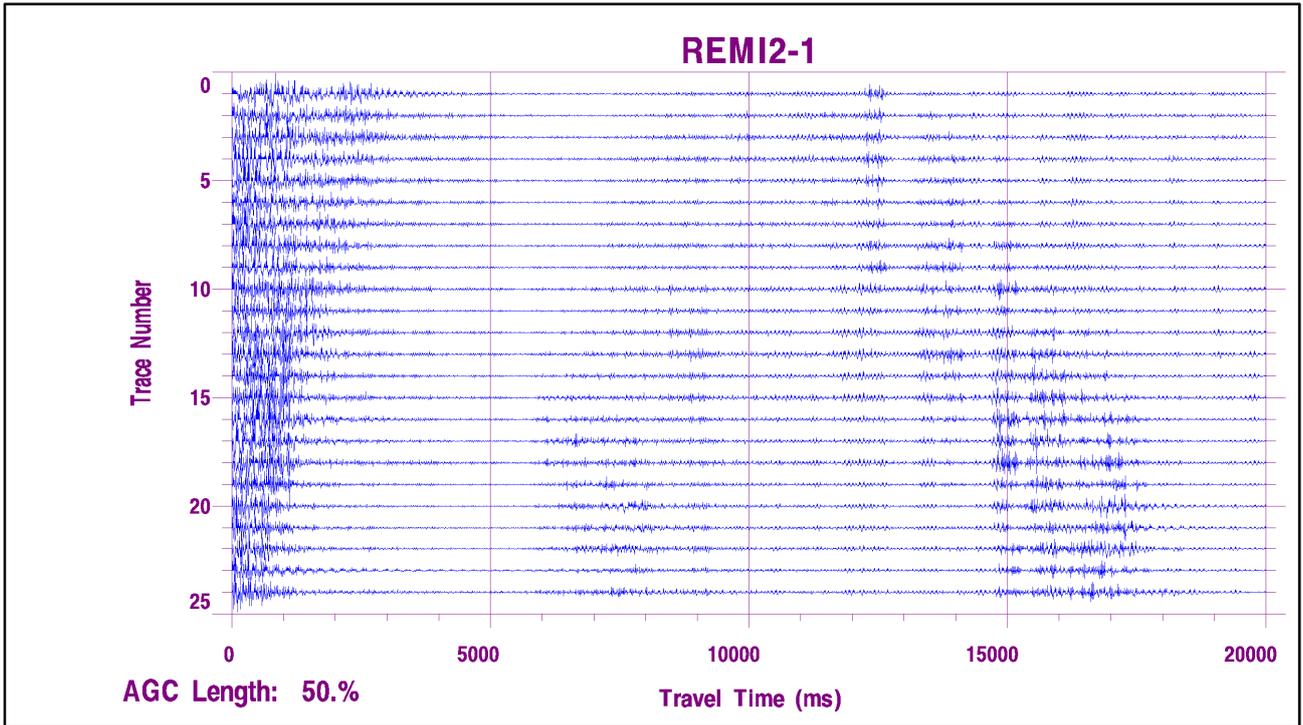
Energizzazione con mazza battente onde longitudinali (Onde P)



ALLEGATO "STENDIMENTO SISMICO 2"

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

SISMOGRAMMI ANALISI MASW 2 (METODO RE.MI.)



Analisi Re.Mi. 2 (Metodo Passivo)

Immagine p-f

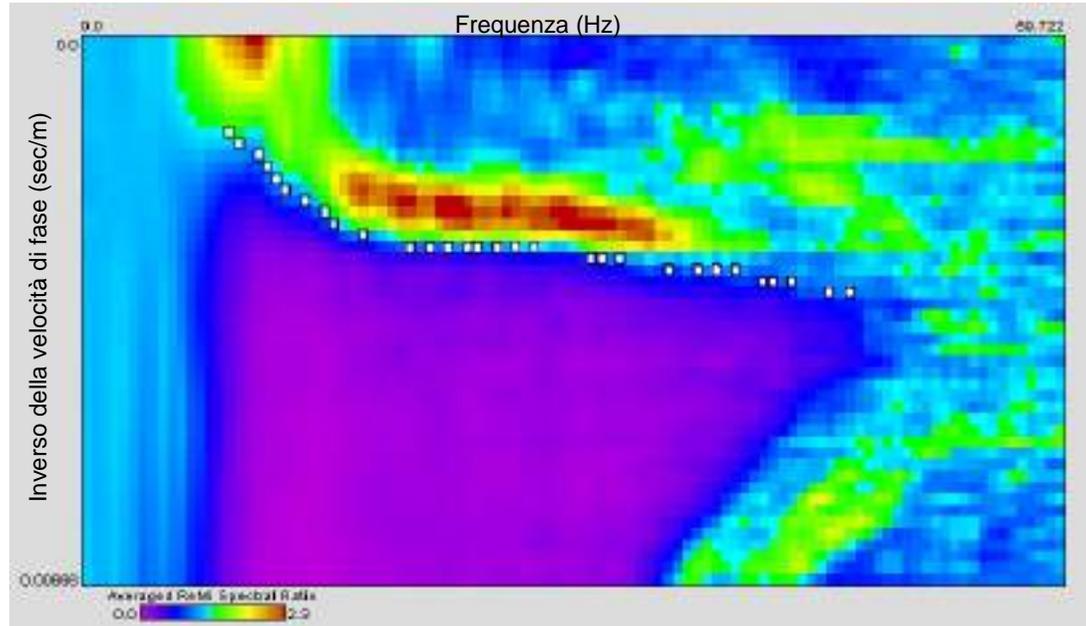


Grafico del modello di velocità
Delle onde trasversali

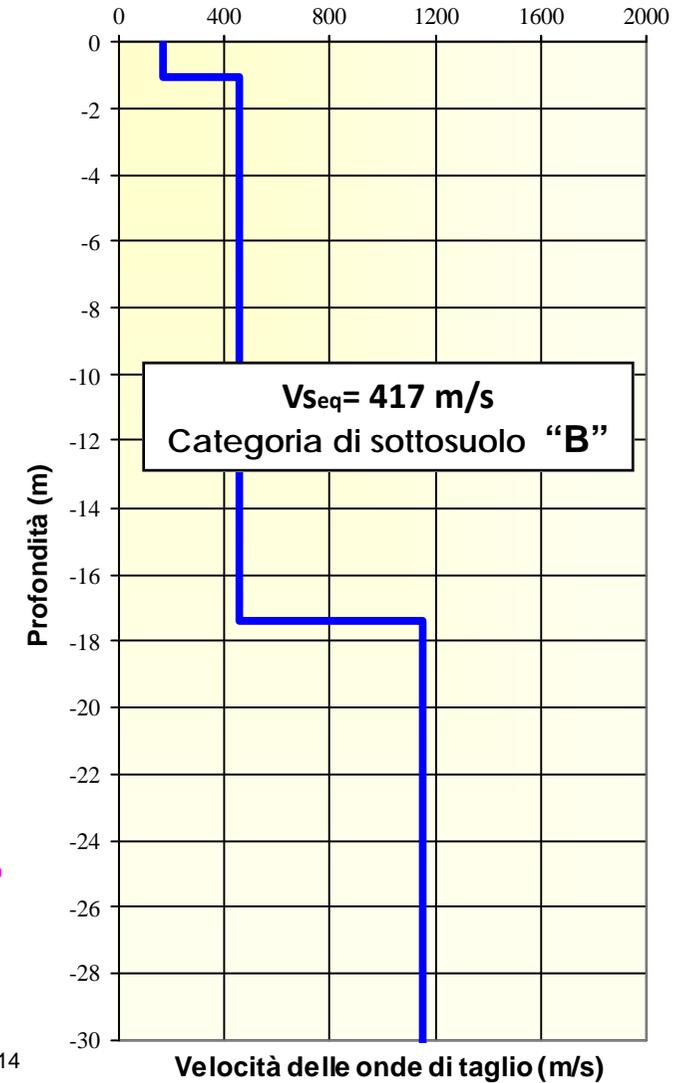
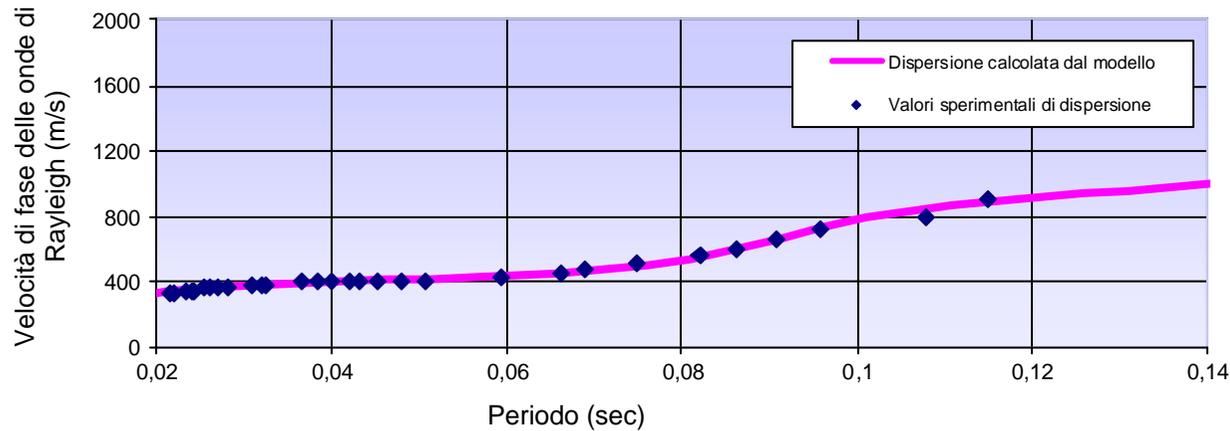
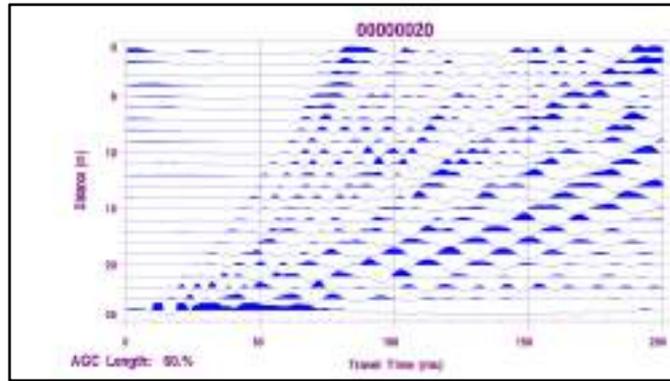


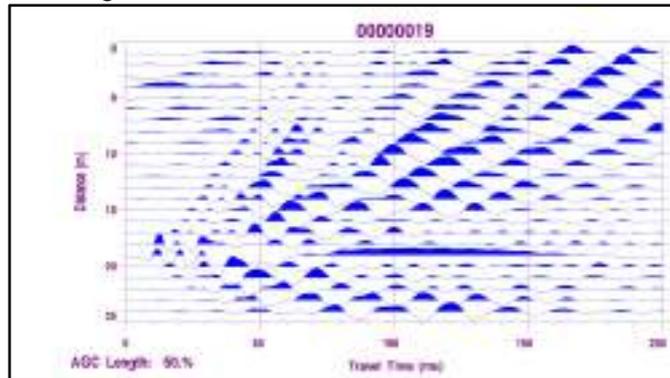
Diagramma velocità di fase-periodo



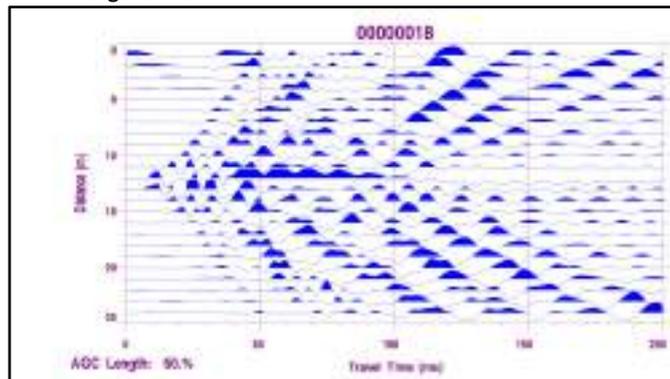
SISMOGRAMMI SISMICA A RIFRAZIONE ONDE LONGITUDINALI (ONDE P) PROFILO 2



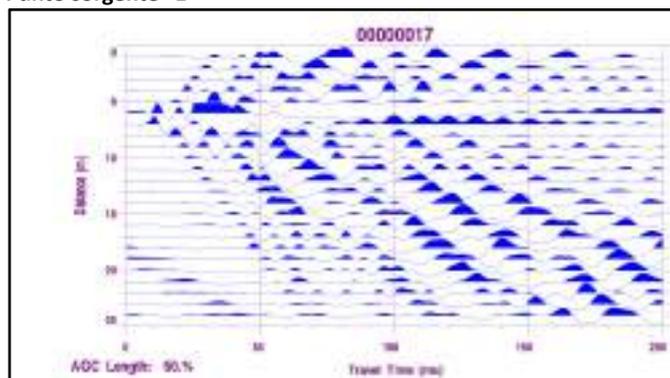
Punto sorgente "A"



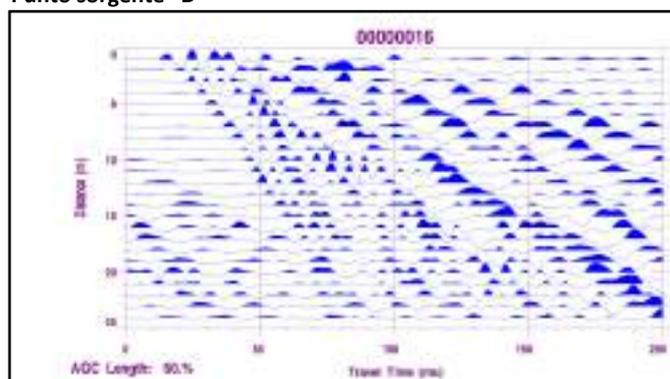
Punto sorgente "C"



Punto sorgente "E"

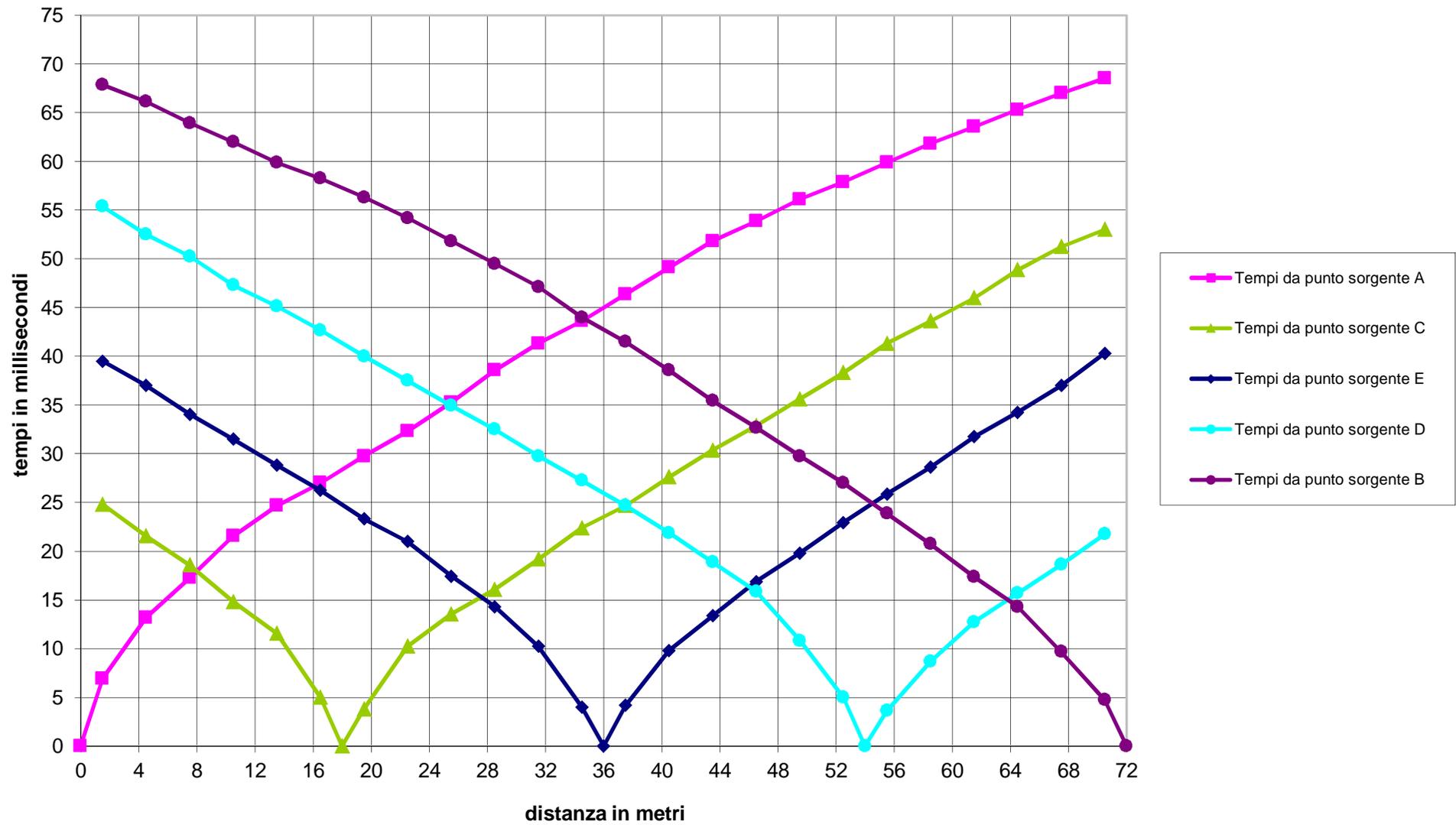


Punto sorgente "D"

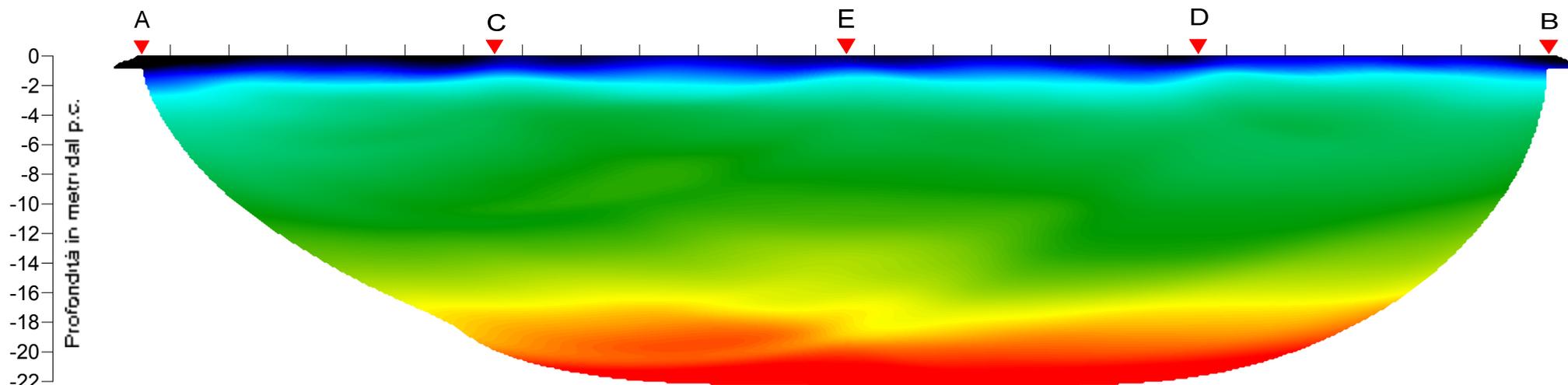


Punto sorgente "B"

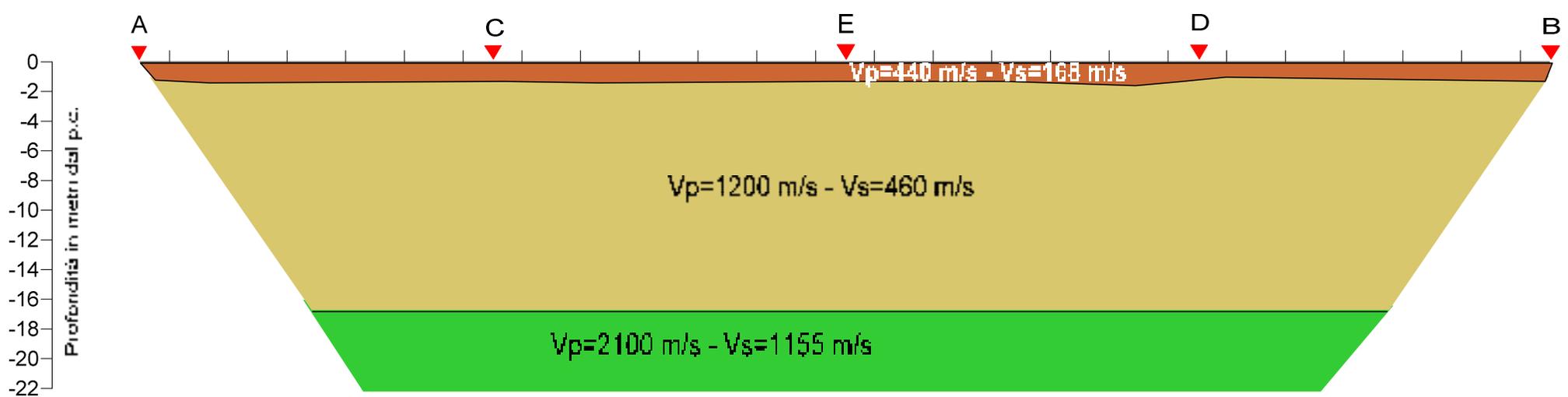
Dromocrone profilo sismico 2 - ONDE LONGITUDINALI

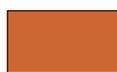


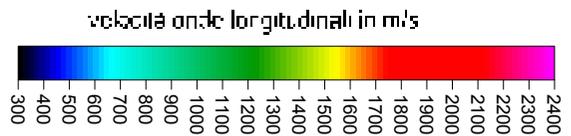
SEZIONE TOMOGRAFICA 2



SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA 2



-  Terrena di riporto
-  Sabbie limose e limi sabbiosi
-  Roccia calcarea mediamente fratturata e carsificata



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA STENDIMENTO SISMICO 2

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE LONGITUDINALI (ONDE P) E MASW.



Acquisizione dati misure sismiche



Energizzazione con mazza battente onde longitudinali (Onde P)